

Libros de **Cátedra**

Cereales de invierno

María Rosa Simón y Silvina Inés Golik
(coordinadoras)

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

n
naturales


EDITORIAL DE LA UNLP



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

CEREALES DE INVIERNO

María Rosa Simón
Silvina Inés Golik
(coordinadoras)

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA


EDITORIAL DE LA UNLP

A nuestros alumnos que nos incentivan para profundizar en la temática y son el principal destinatario de esta obra.
A los Profesores de Cerealicultura y de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales que nos precedieron y cuyos conocimientos e impulso nos estimularon a integrarnos a la docencia, investigación y extensión.
A nuestras familias y amigos por el constante apoyo en nuestra vida.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de La Plata, que a través de su editorial nos ha apoyado para la realización y publicación de este libro. A la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales que es el ámbito en que desarrollamos nuestro curso. A los docentes e investigadores de los que nos hemos nutrido a través de sus publicaciones y por las fotos e imágenes cedidas para completar esta obra.

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad de penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Albert Einstein

Índice

Introducción _____	9
---------------------------	---

María Rosa Simón y Silvina Golik

Capítulo 1

Trigo: origen, sistemática, importancia _____	10
---	----

Silvina Inés Golik

Capítulo 2

Trigo: crecimiento y desarrollo: etapa vegetativa _____	22
---	----

María Rosa Simón

Capítulo 3

Trigo: crecimiento y desarrollo: etapa reproductiva y llenado del grano _____	34
---	----

María Rosa Simón

Capítulo 4

Trigo: siembra, época y densidad _____	60
--	----

Silvina Golik

Capítulo 5

Trigo: fertilización y rotaciones _____	83
---	----

Silvina Golik

Capítulo 6

Trigo: manejo de enfermedades

<i>María Rosa Simón y María Constanza Fleitas</i> _____	118
---	-----

Capítulo 7

Trigo: manejo de plagas

<i>Juan Pablo Uranga y Axel Iván Voisin</i> _____	186
---	-----

Capítulo 8

Trigo: manejo de malezas _____ 199

Axel Iván Voisin y Juan Pablo Uranga

Capítulo 9

Trigo: rendimiento potencial, subregiones de cultivo _____ 213

Silvina Golik, Axel Iván Voisin, Ana Carolina Castro, Silvina Larrán

Capítulo 10

Trigo pan: calidad _____ 240

Ana Carolina Castro

Capítulo 11

Trigo pan: usos y comercialización _____ 276

Eugenia Esquisabel y Ana Carolina Castro

Capítulo 12

Trigo: mejoramiento _____ 283

María Rosa Simón

Capítulo 13

Trigo fideo _____ 299

Ana Carolina Castro

Capítulo 14

Cebada cervecera: origen, importancia del cultivo, crecimiento y desarrollo _____ 318

María Rosa Simón y Axel Iván Voisin

Capítulo 15

Cebada cervecera: época y densidad de siembra _____ 330

Laura Victoria Da Silva y Juan Ignacio Dietz

Capítulo 16

Cebada cervecera: manejo de enfermedades _____ 345

Silvina Larran

Capítulo 17

Cebada cervecera: fertilización _____ 372

Christian Weber

Capítulo 18

Cebada cervecera: regiones productoras, rotaciones y malezas _____ 379

Christian Weber y Axel Iván Voisin

Capítulo 19

Cebada cervecera: calidad _____ 387

Ana Carolina Castro

Capítulo 20

Cebada cervecera: usos y comercialización _____ 400

Eugenia Esquisabel

Capítulo 21

Cebada cervecera: mejoramiento _____ 415

Silvina Golik

Los autores _____ 438

Introducción

María Rosa Simón y Silvina Golik

Se estima que en 2050 se necesitará producir un 50% más de alimentos debido al incremento de la población mundial. El trigo es uno de los cultivos más importantes en el mundo y provee un 20% de las calorías y proteínas para la alimentación humana. Es el principal cereal de invierno globalmente y también en Argentina. Su actual producción mundial de más de 700 millones de toneladas tendrá que incrementarse sustancialmente para satisfacer los requerimientos de esta demanda, lo que deberá estar basado en el aumento en el rendimiento más que en incrementos en la superficie sembrada. En el caso de la cebada, con más de 140 millones de toneladas de producción a nivel mundial, es el segundo de los cereales de invierno y también a nivel nacional y su producción ha aumentado en Argentina considerablemente en los últimos años debido a diferentes factores, siendo la industria maltera su principal destino en el ámbito interno, con la particularidad de que a nivel global las preferencias son otras, solo el 25% tiene como destino la fabricación de cerveza. Para aumentar el rendimiento es necesario conocer las principales limitantes abióticas y bióticas de estos cultivos, sus posibilidades para adaptarse a diferentes ambientes y las herramientas tecnológicas de manejo y de mejoramiento para lograrlo, sin descuidar la calidad, en el marco de una agricultura sustentable. La calidad es un concepto multidimensional porque incluye aspectos físicos, tecnológicos, nutricionales y sanitarios. Es variable porque cambia según el mercado, las especificaciones de las industrias y los gustos y preferencias de los consumidores, que se modifican en el tiempo y el objetivo final para estos dos cereales. Se genera a través de todo el ciclo del cultivo, inclusive, antes de la siembra, con las decisiones agronómicas que se toman, en cuanto a la elección del lote, fecha de siembra en relación a las condiciones ambientales, realización de un correcto barbecho, manejo de los plaguicidas, manejo de la fertilización y otras.

Esta obra incluye trigo y cebada como principales cereales de invierno y está especialmente destinada a nuestros alumnos del curso de Cerealicultura, complementando una obra inicial ya publicada sobre cereales de verano. Ambos libros abarcan la totalidad de los contenidos, que serán ampliados y discutidos en la asignatura. Esperamos que su lectura les facilite la comprensión e integración de los conceptos dictados en el curso. Creemos que será también de interés para alumnos de posgrado y profesionales interesados en la temática. Se han abarcado todos los aspectos que hacen a la producción de estos cultivos, incluyendo su origen y morfología, crecimiento y desarrollo, siembra, densidad, adversidades, fertilización, subregiones y herramientas tecnológicas para su manejo, como así también, usos, calidad, comercialización y mejoramiento.

CAPÍTULO 1

Trigo: origen, sistemática, importancia

Silvina Inés Golik

Importancia

El trigo junto con el maíz y el arroz se cuenta entre los 'tres grandes' cultivos de cereales, con más de 700 millones de toneladas que se cosechan anualmente (FAO). Sin embargo, el trigo no tiene rival en su amplitud geográfica de cultivo, desde los 67° de latitud norte en Escandinavia y Rusia hasta los 45° de latitud sur en Argentina, incluyendo regiones elevadas en los trópicos y subtropicales (Feldman, 1995).

El trigo es ampliamente consumido por los seres humanos, en los países de producción primaria y en otros países donde no se puede cultivar. Por ejemplo, el trigo importado se utiliza para satisfacer las demandas de los consumidores de pan y otros productos alimenticios en los trópicos húmedos, particularmente aquellos con una tradición culinaria que se remonta a la ocupación colonial. A nivel mundial, no hay duda de que varios miles de millones de personas dependen del trigo para una parte sustancial de su alimentación.

Debido al alto contenido de almidón que posee el grano de trigo, aproximadamente del 60 al 70% en la harina integral y del 65 al 75% en la harina blanca, se considera una gran fuente de energía y a pesar de que su contenido de proteína es relativamente bajo (generalmente 8-15%), el trigo proporciona tanta proteína para la nutrición humana y ganadera como la cosecha total de soja (Shewry, 2000). Por lo tanto, no debe subestimarse la importancia nutricional del trigo, especialmente en los países subdesarrollados donde el pan, los fideos y otros productos (como el burgol y el cuscús) pueden constituir una proporción sustancial de la dieta.

Es reconocido el significado del pan en la tradición judeocristiana, incluido el uso de matzá (pan duro y plano) en la Pascua judía y del pan para representar a la 'hostia' en la Eucaristía cristiana (Santa Comunión). Este último puede ser una oblea delgada sin levadura, similar al matzo judío, en la Iglesia Católica Romana y algunas Iglesias protestantes, o leudada en otras Iglesias protestantes y la Iglesia Ortodoxa Oriental. También el pan se considera sagrado en la vida cotidiana en las comunidades mayoritariamente musulmanas de Asia Central, como Uzbekistán y Kirguistán. En esta cultura, los panes redondos con levadura (nan) se sellan antes de hornear y deben tratarse con respeto, lo que incluye mantenerlos en posición vertical y nunca dejarlos en el suelo o tirarlos en público. Es prácticamente seguro que estas costumbres se originan en religiones indígenas anteriores en el Medio Oriente, en las que el trigo desempeñaba un papel similar y, a veces, se equiparaba con el sol y su dios.

A pesar de su origen relativamente reciente, el trigo harinero o trigo pan muestra suficiente diversidad genética para permitir el desarrollo de más de 25000 tipos (Feldman, 1995) que se adaptan a una amplia gama de ambientes templados. Siempre que se disponga de suficiente agua y nutrientes minerales y se garantice un control eficaz de plagas y patógenos, los rendimientos pueden llegar a superar las 10 t ha⁻¹. Sin embargo, las deficiencias de agua y nutrientes y los efectos de plagas y patógenos hacen que el rendimiento promedio mundial sea bajo, de aproximadamente 2,8 t ha⁻¹. El trigo también se cosecha fácilmente utilizando cosechadoras mecánicas y se puede almacenar de manera efectiva indefinidamente antes de su consumo, siempre que el contenido de agua sea inferior al 15% del peso seco y se controlen las plagas (Shewry, 2009). No hay duda de que la adaptabilidad y los altos rendimientos del trigo han contribuido a su éxito, pero estos por sí solos no son suficientes para explicar su dominio actual sobre gran parte del mundo templado.

La característica clave que le ha dado una ventaja sobre otros cultivos de clima templado son las propiedades únicas de las masas formadas a partir de harinas de trigo, que le permiten transformarse en una gama de panes y otros productos horneados (incluidos pasteles y galletas), pastas y fideos, y otros alimentos procesados. Estas propiedades dependen de las estructuras e interacciones de las proteínas de almacenamiento de los granos, que juntas forman el gluten (Shewry, 2009). El gluten fue una de las primeras fracciones de proteínas descritas por los químicos, siendo descrita por primera vez por Beccari en el año 1728 (Bailey, 1941). Se prepara tradicionalmente lavando suavemente la masa de trigo en agua o solución salina diluida, dejando una masa cohesiva que comprende aproximadamente un 80% de proteína, siendo el resto principalmente gránulos de almidón que quedan atrapados en la matriz de proteína. La capacidad de preparar las proteínas del gluten en un estado esencialmente puro mediante un procedimiento tan simple depende de sus propiedades inusuales. En primer lugar, son insolubles en agua o en soluciones salinas diluidas, pero son solubles en mezclas de alcohol/agua (Osborne, 1924). En segundo lugar, las proteínas individuales del gluten están asociadas por fuertes fuerzas covalentes y no covalentes que permiten aislar la fracción completa como una masa cohesiva.

Actualmente, alrededor del 95% del trigo cultivado en todo el mundo es trigo harinero hexaploide, y la mayor parte del 5% restante es trigo duro tetraploide. Este último está más adaptado al clima mediterráneo seco que el trigo harinero y se lo llama vulgarmente trigo para pasta o trigo fideo para reflejar su principal uso. Sin embargo, también se puede usar para hornear pan y se usa para hacer alimentos regionales como el cuscús y el burgol en el norte de África. Todavía se cultivan pequeñas cantidades de otras especies de trigo: einkorn (diploides), emmer (tetraploides), espelta (hexaploide: esencialmente *T aestivum* ssp *spelta*) en algunas regiones, como España, Turquía, los Balcanes y el subcontinente indio. En Italia, estos trigos que deben ser descascarados porque en la trilla salen cubiertos por sus glumas y glumelas se denominan juntos faro (Szabó & Hammer, 1996).

El reciente interés en el espelta y otros trigos antiguos (incluido el kamut, un trigo tetraploide de taxonomía incierta, relacionado con el trigo duro) como alternativas saludables al trigo harinero (Abdel-Aal *et al.*, 1998) también puede conducir a un incremento de nichos de mercado en el futuro.

Sistemática

En el primer cuarto del siglo 20 se concretaron una serie de trabajos que ampliaron significativamente el conocimiento. Schulz (1913) ordenó los trigos en tres series naturales (Pequeño Spelta, Emmer y Gran Spelta), que luego fueron confirmadas por otros autores, fundamentalmente de la escuela japonesa, quienes, trabajando sobre extremos de raicillas, determinaron el número cromosómico de las especies. En 1921, Percival presentó su completísimo, y aún hoy vigente, trabajo sobre la morfología, la nomenclatura y descripción de trigos de casi todas las regiones.

El trigo pertenece a la familia Poaceae (generalmente conocida como Gramíneas), subfamilia Pooideae, tribu Triticeae. Para la mejor comprensión de sus relaciones taxonómicas, la tribu se divide en las subtribus Triticinae y Hordeinae y está formada por distintos grupos naturales caracterizados por una espiga compuesta comprimida lateralmente, con inflorescencia elemental en espiguilla definida por dos glumas, gránulos individuales de almidón y cromosomas largos, en múltiplos de 7.

En la tribu existen géneros que se pueden reunir dentro de grandes grupos con algún genoma en común y es así como los géneros *Triticum* y *Aegilops* se pueden combinar. Las especies de ambos forman series poliploides (diploides, tetraploides, hexaploides).

Origen filogenético

El primer cultivo de trigo se produjo hace unos 10000 años, como parte de la Revolución Neolítica, que vio una transición de la caza y la recolección de alimentos a la agricultura sedentaria. Estas formas cultivadas más tempranas fueron trigos diploides (genoma AA) (einkorn) y tetraploides (genoma AABB) (emmer) y sus relaciones genéticas indican que se originaron en la parte sureste de Turquía (Heun *et al.*, 1997, Nesbitt, 1998, Dubcovsky & Dvorak, 2007). El cultivo se extendió al Cercano Oriente hace unos 9000 años cuando hizo su primera aparición el trigo harinero hexaploide (Feldman, 2001).

Las primeras formas cultivadas de trigo fueron esencialmente variedades locales seleccionadas por agricultores de poblaciones silvestres, presumiblemente debido a su rendimiento superior y otras características. Una forma temprana y claramente no científica de fitomejoramiento, sin embargo, la domesticación también se asoció con la selección de rasgos genéticos que los separaban de sus parientes silvestres.

Otros dos rasgos lo suficientemente importantes fueron: la pérdida de rotura de la espiga a la madurez, lo que resultaba en la pérdida de semillas en la cosecha. Este es claramente un rasgo importante para asegurar la dispersión de semillas en poblaciones naturales (Nalam *et al.*, 2006). El segundo rasgo importante fue el cambio de formas que deben ser descascaradas, en las que las glumas se adhieren firmemente al grano, a formas desnudas a la trilla. Las formas cultivadas de trigo diploide, tetraploide y hexaploide tienen un raquis duro. De manera similar, las primeras formas domesticadas de einkorn, emmer y espelta son todas cubiertas o

vestidas por sus glumas y glumelas, mientras que las formas modernas de trigo tetraploides y hexaploides son de trilla libre.

La producción de trigo cultivado, especialmente de trigo pan, ha ido en aumento en forma permanente y constante durante las últimas décadas y ello se ha debido exclusivamente al aumento de rendimiento. Este incremento se verifica a fines de los '60 y principio de los '70 y es coincidente con el cambio de germoplasma que llevó a la difusión de variedades con mayor potencial de rinde, junto con técnicas de cultivo tendientes a lograr esos rendimientos.

Se prevé que el aumento en la producción continuará y que la herramienta genética seguirá siendo importante para el desarrollo de nuevos cultivares con mayores rendimientos o mejor adaptados para el cultivo en áreas marginales o no tradicionales. En este sentido, existen limitantes, ya que el material genético de los trigos cultivados ha sido utilizado dentro de los métodos convencionales de mejoramiento hasta casi su límite. Ello ha traído aparejada una reducción en la variación genética de los trigos cultivados, que no solo dificulta la obtención de cultivares de mayor rendimiento, sino que también acrecienta la vulnerabilidad de la producción frente a factores adversos.

En la actualidad, se intenta aumentar la variabilidad genética por varias vías, tales como la modificación de los métodos convencionales de mejoramiento, la utilización de mutaciones, la incorporación de genes extraespecíficos y el aprovechamiento de los amplios recursos genéticos que se encuentran en las especies silvestres de trigo y géneros afines.

La magnitud de la reserva de genes útiles en las especies silvestres se pone en evidencia al evaluar su adaptación a ambientes muy diferentes y el espectro de resistencia presentes en ellas. Dentro de la evaluación del material silvestre es muy importante conocer las probables interacciones génicas, ya que cuando se extraen genes del genoma silvestre y se introducen en el del cultivado, los efectos son muy difíciles de predecir.

Cuando las especies silvestres relacionadas tienen uno o más genomas homólogos con trigo, los genes allí situados se aparean sin mucha dificultad. No obstante, como la mayoría de las formas cultivadas tienen genomas lo suficientemente diferentes, existe necesidad de aplicar técnicas especiales para conseguir los resultados esperados. Para ello, es imprescindible el conocimiento de la evolución, el origen filogenético y las relaciones taxonómicas y citogenéticas entre las especies silvestres y de éstas con las cultivadas.

Dentro de las especies o géneros relacionados con trigo se destacan los géneros que integran la subtribu de las Triticinae, con los que se han obtenido híbridos interespecíficos, intergenéricos, anfidiplóides y líneas de adición o sustitución interespecíficas. Las diferentes especies diploides de la subtribu Triticinae derivan de un antepasado común. En virtud de ello, sus cromosomas conservan cierto grado de similitud (homólogos) y en ausencia de los homólogos, se pueden aparear sin inconvenientes. Este apareamiento inducido suele constituir un método elegido para la transferencia de genes desde cromosomas extras hasta los del trigo. Este es el mecanismo que ha ido produciendo la evolución de los trigos. Así, la especie tetraploide es el producto de la hibridación de dos especies diploides (AA x BB) y su duplicación. Un proceso similar ha generado los hexaploides, con el producto del cruzamiento de 4X por 2X y su posterior duplicación.

Mientras que el einkorn y el emmer se desarrollaron claramente a partir de la domesticación de poblaciones naturales como ya dijimos, el trigo harinero solo ha existido en el cultivo, habiendo surgido por hibridación de emmer cultivado con la hierba silvestre llamada *Aegilops tauschii* o *Aegilops squarosa*. Esta hibridación probablemente se produjo varias veces de forma independiente y los agricultores seleccionaron el nuevo hexaploide (genoma AABBDD) por sus propiedades superiores. Los cambios genéticos durante la domesticación significan que los trigos modernos no pueden sobrevivir en estado silvestre compitiendo con especies mejor adaptadas. Esto fue probado por John Bennet Lawes en la década de 1880 cuando decidió dejar parte de su trigo sin cosechar y supervisó el crecimiento en años sucesivos. Después de una buena cosecha en 1883, las malas hierbas dominaron y en 1885 se recolectaron y fotografiaron las pocas plantas de trigo que quedaban (que eran delgadas y con espigas pequeñas) (Dyke, 1993).

Los genomas AA de trigos tetraploides y hexaploide están claramente relacionados con los genomas AA de einkorn silvestres y cultivadas, mientras que el genoma DD de trigo hexaploide se deriva claramente de la de *Aegilops tauschii*. A su vez, el genoma BB de los trigos tetraploides y hexaploides probablemente deriva del genoma SS presente en la sección Sitopsis de *Aegilops* (Ae.), con *Ae. speltoides* como la especie existente más cercana. El genoma SS de *Ae. speltoides* es cercano al también genoma G de *T. timopheevii*, una especie tetraploide con los genomas AA y GG (Feldman, 2001).

Los trigos cultivados y sus parientes cercanos silvestres pertenecen al género *Triticum* L., miembro de la tribu Triticeae (Clayton & Renvoize 1986). El género *Triticum* tiene un número relativamente pequeño de especies (seis especies): *Triticum monococcum* L. (genoma AA), *Triticum urartu* Tumanian ex Gandilyan (genoma AA), *Triticum turgidum* L. (genoma AABB), *Triticum timopheevii* (Zhuk.) Zhuk. (genoma AAGG), *Triticum aestivum* L. (genoma AABBDD), y *Triticum zhukovskiyi* Menabde y Ericz. (genoma AAAAGG). De estas especies, *T. urartu* sólo existe en su forma silvestre, mientras que *T. aestivum* y *T. zhukovskiyi* sólo existen como formas cultivadas. Las otras especies, *T. monococcum*, *T. turgidum* y *T. timopheevii*, tienen tanto una forma salvaje como una forma domesticada (Fig. 1.1). Todas las especies de *Triticum* son nativas de la "Creciente Fértil" de Oriente Próximo, que abarca el Mediterráneo oriental, el sureste de Turquía, el norte de Irak y en el oeste de Irán, y sus regiones vecinas de la Transcaucasia, y el norte de Irán.

La alopoliploidización vía hibridación con especies del género *Aegilops* fue la fuerza principal que condujo a la diversificación en la evolución de las especies de *Triticum* (Tsunewaki, 2009). Las especies diploides con genoma AA, *T. urartu* y *T. monococcum*, divergieron hace menos de un millón de años (Huang *et al.*, 2002). La evidencia sobre la base de los estudios morfológicos, citológicos y genéticos sugiere que, después de la divergencia de *T. urartu* y *T. monococcum*, se han desarrollado espontáneamente las especies tetraploides con genoma AABB y con genoma AAGG, hace menos de 0,5 millones de años, a través de la hibridación entre *T. urartu* y una de las especies del género silvestre *Aegilops*, muy probablemente *Aegilops speltoides* Tausch (genoma SS).

En este proceso, se cree que al menos dos eventos de hibridación independientes se han producido: uno asociado con el origen de *T. turgidum* (genoma AABB), y el otro con el origen de *T. timopheevii* (genoma AAGG), dando sus formas silvestres: *T. turgidum* ssp. *dicocoides* y

T. araraticum respectivamente, que luego fueron domesticadas (Sarkar & Stebbins, 1956, Shands & Kimber, 1973, Chapman *et al.*, 1976, Dvorak *et al.* 1988, 1993, Ogihara & Tsunewaki, 1988, Noda & Ge, 1989, Dvorak & Zhang, 1990, Miyashita *et al.*, 1994, Huang *et al.*, 2002).

Los orígenes independientes para las especies tetraploides con genoma AABB y AAGG proporcionan el marco para la evolución de *Triticum*. Hay dos linajes poliploides en el género: el linaje de *T. turgidum* (que consiste en *T. turgidum* y *T. aestivum*) y el linaje de *T. timopheevii* (que consiste en *T. timopheevii* y *T. zhukovskyi*). De éstos, el linaje *T. timopheevii* tiene una distribución limitada y sus variedades son endémicas de la Transcaucasia. La evolución del linaje *T. turgidum* como cultivo se inició cuando el emmer silvestre de trigo (*T. turgidum* ssp. *dicoccoides*) fue sometido al proceso de domesticación. El trigo emmer doméstico (*T. turgidum* ssp. *dicoccum*) fue el producto de este proceso. La evidencia arqueológica indica que el trigo emmer fue domesticado en la región del Creciente Fértil hace ~ 10.000 años. Las otras especies cultivadas han derivado de formas iniciales sobre las cuales se ha aplicado la selección corriente para obtener grano desnudo y raquis tenaz. En 1986, se demostró que los tetraploides poseen el gen “Q”, asociado al genotipo de grano desnudo, raquis tenaz y espiga cuadrada, lo que indicaría que el origen de estos caracteres deriva del nivel tetraploide. La expresión recesiva “q” condiciona formas vestidas o cubiertas y de raquis frágil. (Jantasuriyarat *et al.*, 2004; Simons *et al.*, 2006; Dubcovsky & Dvorak, 2007).

Entre los trigos tetraploides encontramos las **siguientes subespecies**:

T. turgidum ssp. *durum* (2n= 28, AABB), vulgarmente llamado trigo fideos, tiene raquis tenaz, glumas relativamente flojas, dos a cuatro granos por espiguilla que se desnudan en la trilla y su espiga no está comprimida lateralmente. La mayoría de sus formas son de hábito primaveral y espigas aristadas. Los granos son blancos, ambarinos, rojos o púrpuras, aunque este color es muy raro. Son largos, duros y translucidos, siendo la especie que presenta la mayor dureza de grano. La quilla de la gluma externa es muy marcada desde la base y los tallos son típicamente altos. Es la especie que sigue en importancia al trigo pan y se cultiva en casi todos los países que bordean al Mediterráneo y con diferente intensidad, en casi todos los países productores de trigo pan. Sus sémolas son las de mayor calidad para la elaboración de pastas.

T. turgidum ssp. *turgidum* (2n= 28, AABB), llamado trigo inglés, es la especie de mayor altura del género y se asemeja en general a *T. turgidum* ssp. *durum*. Tiene una variedad, *T. turgidum* var. *mirabilis*, que se caracteriza por tener espigas ramificadas.

T. turgidum ssp. *polonicum* (2n= 28, AABB), llamado trigo de Polonia tiene una espiga generalmente aristada, larga y laxa, con glumas de textura papirácea, usualmente más largas que las glumelas. Se cultiva limitadamente en Rusia y Etiopía.

T. turgidum ssp. *carthlicum* = *T. turgidum* ssp. *persicum* (2n= 28, AABB), llamado trigo de Persia es en apariencia similar a los trigos hexaploides. La espiga es laxa, con raquis fino, tenaz y flexible. Se adapta a regiones de alta montaña, con aptitud para desarrollar con bajas temperaturas y es resistente a oídio y royas. Se cultiva en algunas áreas de Turquía y Transcaucasia.

T. timopheevii (2n = 28, AAGG), llamado trigo de Georgia, donde se lo cultiva en las zonas montañosas. Tiene esterilidad citoplasmática que es utilizada para la obtención comercial de trigo híbrido. Presenta considerable resistencia a roya, carbón y oídio.

La génesis de las especies tetraploides con genoma AABB y AAGG sentó las bases para una mayor diversificación a través de la especiación aloploiploide algunos cientos de miles de años más tarde. Durante el desarrollo de la agricultura en el Creciente Fértil hace alrededor de 10.000 años, *T. turgidum* y *T. timopheevii* fueron domesticados y entonces aparecieron sus formas cultivadas (Feldman, 2001, Salamini *et al.*, 2002). El diploide silvestre *T. monococcum* ssp. *boeoticum* también fue domesticado en la misma zona, llamándose *T. monococcum* ssp. *monococcum*. Después de este período, los trigos *hexaploides* surgieron a través de la hibridación natural entre los cultivares tetraploides de *Triticum* y diploides de *Aegilops*. Se cree que *T. aestivum* (genoma AABBDD) ha surgido a través de la hibridación de *T. turgidum* con la especie silvestre *Aegilops tauschii* Coss. (= *Aegilops squarrosa*) (genoma DD) (Kihara 1944, McFadden & Sears 1944). *T. zhukovskyi* (genoma AAAAGG) se originó a través de la hibridación de *T. timopheevii* con el einkorn cultivado: *T. monococcum* ssp. *monococcum* (=pequeño spelta o escaña menor o escanda menor) en Transcaucasia. Hasta la fecha no se conocen formas silvestres, ya sea para *T. aestivum* y *T. zhukovskyi* (Kihara, 1966; Dorofeev, 1966; Dvorak *et al.* 1993; Matsuoka, 2011).

Para las especies hexaploides las diferencias principales que se detectan son debidas a un único par de genes, con la posible excepción de *T. aestivum* ssp. *vavilovii* que puede diferir en dos pares. En el cromosoma 2 D se localiza el carácter “C” (espiga compacta) versus “c” (espiga laxa) y en el 3 D, “S” (grano aguzado) versus “s” (grano esférico, grueso). Como en *Aegilops squarrosa* no se han encontrado “C” ni “s”, no han podido ser *T. aestivum* ssp. *compactum*, *T. aestivum* ssp. *sphaerococcum* ni *T. aestivum* ssp. *aestivum* los primeros hexaploides. Entre ellas encontramos las siguientes especies:

T. aestivum ssp. *aestivum* (2n= 42, AABBDD), el trigo común o de pan, es significativamente la especie más desarrollada y cultivada. Existen más de 20.000 cultivares, adaptados a diferentes condiciones. Hay formas aristadas y místicas; generalmente la espiga es larga, semidensa y las glumas son aquilladas solamente en la mitad superior, con la base redondeada. El raquis y los granos, rojos, ambarinos y blancos, se desnudan a la trilla. Presenta un gran rango de texturas, que van desde los duros y vítreos hasta los blandos y harinosos, lo que lo hace apto para otros usos además de la panificación, tales como la repostería y galletitería.

T. aestivum ssp. *compactum* (2n= 42, AABBDD), trigo compacto o “club”, es muy similar a *T. aestivum* ssp. *aestivum*. Tiene una espiga muy corta, compacta y lateralmente comprimida. El raquis es tenaz; las espiguillas anchas y cortas se presentan como imbricadas dado lo extremadamente corto de sus artejos. Sus granos son típicamente blandos y harinosos, aunque hay formas vítreas. Produce una harina de pobre a mediocre calidad panadera, pero muchas de sus variedades son excelentes para galletitas, tortas, etc. Se cultiva principalmente en el oeste de EEUU sobre la costa del Pacífico donde se adapta muy bien a los climas fríos y secos.

T. aestivum ssp. *sphaerococcum* (2n= 42, AABBDD), llamado trigo indio, posee cañas, hojas, espigas, artejos, glumas y granos cortos. Estos son pequeños y globosos, de textura blanda. Se lo cultiva en reducidas extensiones de India y Pakistán.

Se considera que *T. aestivum* ssp. *aestivum*, *T. aestivum* ssp. *sphaerococcum* y *T. aestivum* ssp. *compactum* son genéticamente más evolucionadas que *T. aestivum* ssp. *vavilovii*, *T. aestivum* ssp. *spelta* y *T. aestivum* ssp. *macha*.

El carácter polimórfico de *T. aestivum* ssp. *macha*. (2n= 42, AABBDD), su amplia distribución en tiempos prehistóricos (hoy está muy limitado) y la presencia de “CC”, lo sugieren como el hexaploide más primitivo, tiene bastante similitud con algunos tetraploides, con espigas densas, raquis desarticulable y granos vestidos a la trilla. Se lo cultiva en el oeste de Georgia.

T. aestivum ssp. *vavilovii* (2n= 42, AABBDD), tiene una espiga grande y gruesa, con artejos largos y frágiles y granos vestidos. Se lo encuentra en Turquía y Armenia.

T. aestivum ssp. *spelta*, llamado espelta o escaña mayor o escanda mayor (2n= 42, AABBDD), tiene espiga larga, estrecha y muy laxa, con artejos largos que se quiebran inmediatamente por debajo de la espiguilla. Las espiguillas usualmente tienen dos granos (a veces tres) que permanecen vestidos a la trilla. Esta especie es muy resistente al frío. Se ha cultivado zonas montañosas de España, Alemania e Italia y se lo encuentra en Irán.

Las siguientes denominaciones son un esquema práctico que tiende a simplificar el problema y, aún con licencias taxonómicas y de nomenclatura, dan a los trigos nombres específicos, extensamente aplicados y aceptados:

		Genomio
Diploides	<i>T. urartu</i> Tum	AA
	<i>T. monococcum</i> ssp. <i>boeoticum</i> L.	AA
	<i>T. monococcum</i> ssp. <i>monococcum</i> L.	AA
Tetraploides	<i>T. turgidum</i> ssp. <i>dicoccoides</i> (Korn) Schweinf.	AABB
	<i>T. turgidum</i> ssp. <i>dicoccum</i> (Schränk.) Schulb.	AABB
	<i>T. turgidum</i> ssp. <i>carthlicum</i> Nevski	AABB
	<i>T. turgidum</i> ssp. <i>turgidum</i> L.	AABB
	<i>T. turgidum</i> ssp. <i>polonicum</i> L.	AABB
	<i>T. turgidum</i> ssp. <i>durum</i> Desf.	AABB
	<i>T. araraticum</i>	AAGG
	<i>T. timopheevii</i> Zhuk	AAGG
Hexaploides	<i>T. aestivum</i> ssp. <i>spelta</i> L.	AABBDD
	<i>T. aestivum</i> ssp. <i>vavilovii</i> (Tum) Jakubz.	AABBDD
	<i>T. aestivum</i> ssp. <i>macha</i> Dek. & Men.	AABBDD
	<i>T. aestivum</i> ssp. <i>sphaerococcum</i> Pere.	AABBDD
	<i>T. aestivum</i> ssp. <i>compactum</i> Host.	AABBDD
	<i>T. aestivum</i> ssp. <i>aestivum</i> L.	AABBDD
	<i>T. zhukovsky</i> Men. & Er.	AAAAGG

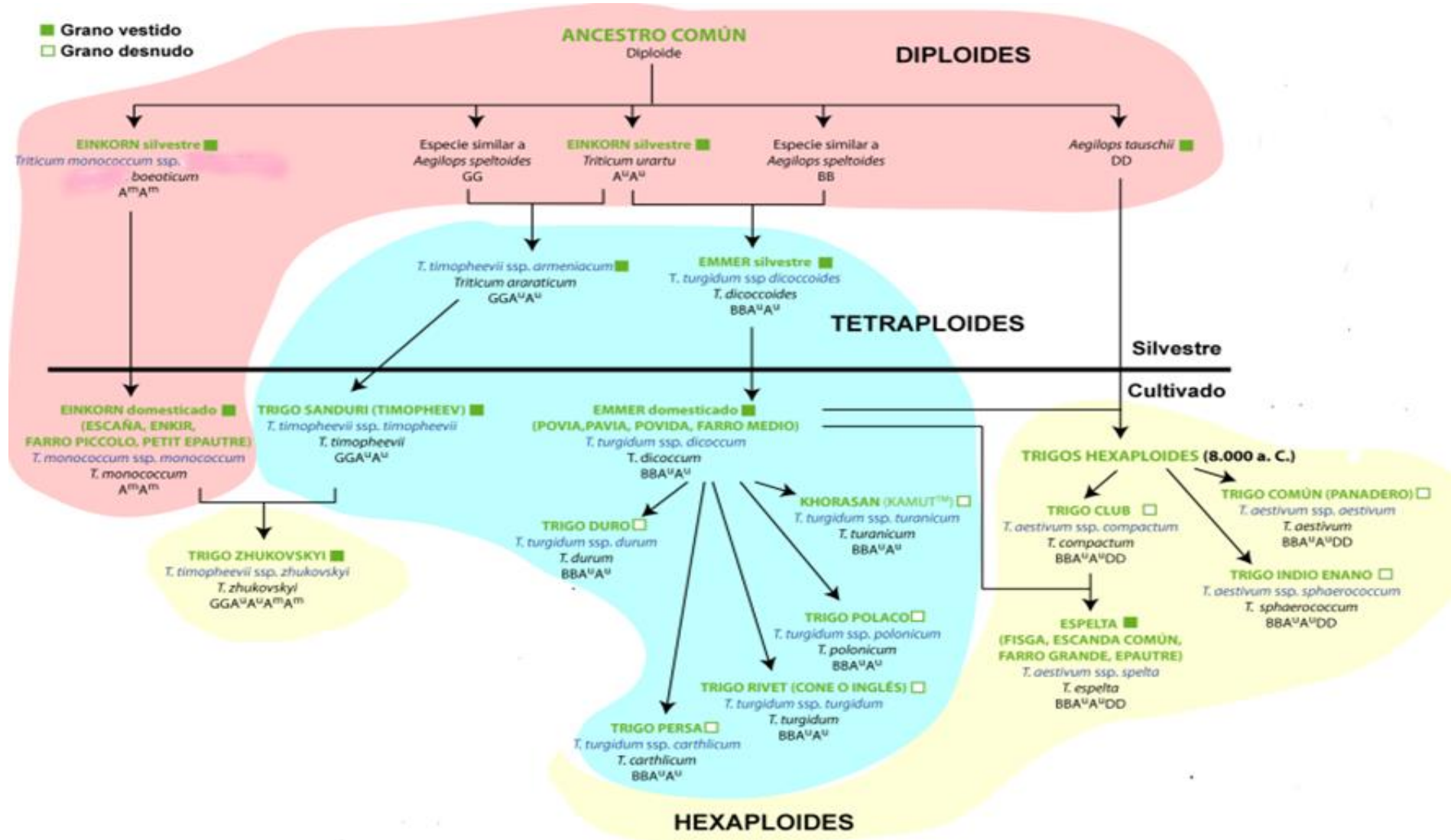


Fig.1.1. Evolución del trigo. Imagen creative commons.

Fuente: <https://paniquesillo.wordpress.com/2014/04/22/trigos-nuevos-trigos-salvajes-i-origen/>

Origen geográfico, historia y difusión del trigo cultivado

Las más tempranas evidencias de la agricultura neolítica se ubican en la región denominada de la “Creciente o Media Luna Fértil”, situada en la mesopotamia del Tigris y Éufrates y las montañas adyacentes. Allí se establecieron las primeras granjas, con la domesticación de cabras y ovejas y el cultivo de trigo, centeno y cebada, entre 7000 y 10000 años aC.

Los restos arqueológicos hallados en el norte de Siria indican la presencia de granos y espiguillas de las especies silvestres *T. monococcum* ssp. *boeoticum*, *T. araraticum* y *T. turgidum* ssp. *dicoccoides* y de las especies cultivadas de ellas derivadas.

Se estima que 7000 años aC *T. monococcum* y, principalmente, *T. turgidum* ssp. *dicoccum* estaban totalmente difundidos en las áreas agrícolas de Cercano Oriente y de allí, entre 6000 y 4000 años aC, se extendieron a Egipto, Etiopía, India y Europa Central. *T. turgidum* ssp. *dicoccum* mantiene su predominio hasta el 1000 aC, cuando es reemplazado por *T. turgidum* ssp. *durum*.

Otros tetraploides de grano desnudo pudieron ser posteriores en su origen y a ellos siguieron formas de *T. aestivum*. La primera forma difundida de hexaploide cultivado fue *T. aestivum* ssp. *compactum*, 7000 años aC en Siria. Se identifican formas hexaploides existentes entre 6000 y 5000 años aC en Irak, Irán y Anatolia Central (actualmente Turquía).

El trigo tuvo dos rutas de ingreso a Europa. En un caso se difundió, entre 4000 y 3500 años aC, siguiendo las cuencas del Danubio y del Rin, atravesando Hungría, Checoslovaquia, Polonia y Alemania. La otra vía fue a costa del Mediterráneo, por donde llegó a España y las islas británicas. Existen evidencias del cultivo de *T. aestivum* ssp. *spelta* en Italia entre el 2900 y 2700 aC.

La ruta principal hacia Europa fue a través de Anatolia a Grecia (8000 aC.) y luego hacia el norte a través de los Balcanes hasta el Danubio (7000 aC.) y a través de Italia, Francia y España (7000 aC.), llegando finalmente al Reino Unido y Escandinavia en aproximadamente 5000 años aC. De manera similar, el trigo se extendió a través de Irán hacia Asia central, llegando a China alrededor de 3000 aC. y a África, inicialmente a través de Egipto. Fue introducido por los españoles en México en 1529 y en Australia en 1788 (Feldman, 2001)

Referencias

- Abdel-Aal, E.S.M., Sosulski, F.W. & Hucl, P. (1998). Origins, characteristics and potentials of ancient wheats. *Cereal Foods World*, 43, 708–715.
- Bailey, C.H. (1941). A translation of Beccari's lecture 'Concerning Grain' (1728). *Cereal Chemistry*, 18, 555–561.
- Chapman, V., Miller, T.E. & Riley, R. (1976). Equivalence of the A genome of bread wheat and that of *Triticum Urartu*. *Genetics Research*, 27, 69–76.

- Clayton, W.D. & Renvoize, S.A. (1986) In *Genera Graminum Grasses of the World* (146–158). London: HMSO.
- Dyke, G.V. (1993). John Lawes of Rothamsted. Pioneer of science farming and industry. Harpenden, UK: Hoos Press.
- Dorofeev, V.F. (1966) Geographic localization and gene centers of hexaploid wheats in Transcaucasia. *Genetics*, 3, 16–33.
- Dubcovsky, J. & Dvorak, J. (2007). Genome plasticity a key factor in the success of polyploidy wheat under domestication. *Science* 316, 1862–1866.
- Dvorak, J., Di Terlizzi, P., Zhang, H.B. & Resta, P. (1993) The evolution of polyploid wheats: identification of the A genome donor species. *Genome*, 36, 21–31.
- Dvorak, J., McGuire, P.E. & Cassidy, B. (1988). Apparent sources of the A genomes of wheats inferred from polymorphism in abundance and restriction fragment length of repeated nucleotide sequences, *Genome*, 30, 680 – 689.
- Dvorak, J. & Zhang, H.B. (1990). Variation in repeated nucleotide sequences sheds light on the phylogeny of the wheat B and G genomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 87, 9640–9644.
- FAO. Recuperado de: <http://faostat.fao.org/>. Ultimo acceso abril 2021.
- Feldman, M. (1995). Wheats. En J. Smartt, N. W. Simmonds NW (Eds.), *Evolution of crop plants* (185-192). Harlow, UK: Longman Scientific and Technical.
- Feldman, M. (2001) Origin of cultivated wheat. En A.P. Bonjean, W.J. Angus (Eds.), *The World Wheat Book* (3–56). France: Lavoisier Publishing.
- Heun, M., Schafer-Pregl, R., Klawan, D., Castagna, R., Accerbi, M., Borghi, B., Salamini, F. (1997). Site of einkorn wheat domestication identified by DNA fingerprinting. *Science* 278, 1312–1314.
- Huang, S., Sirikhachornkit, A., Su, X., Faris, J., Gill, B. & Haselkorn, R. (2002). Genes encoding plastid acetyl-CoA carboxylase and 3-phosphoglycerate kinase of the *Triticum/ Aegilops* complex and the evolutionary history of polyploid wheat. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 99, 8133–8138.
- Jantasuriyarat, C., Vales, M.I., Watson, C.J.W. & Riera-Lizarazu, O. (2004). Identification and mapping of genetic loci affecting the freethreshing habit and spike compactness in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 108, 261–273.
- Kihara, H. (1944). Discovery of the DD-analyser, one of the ancestors of *Triticum vulgare* (abstr) (in Japanese), *Agricultural and Horticultural*, 19, 889–890.
- Kihara, H. (1966). Factors affecting the evolution of common wheat, *Indian J. Genetics*, 26A, 14-28.
- Kimber, G. & Sears, E.R. (1987). Evolution in the genus *Triticum* and the origin of cultivated wheat. En E.G. Heyne (Ed.), *Wheat and wheat improvement*. Wisconsin: Mad.
- Matsuoka, Y. (2011). Evolution of Polyploid *Triticum* Wheats under Cultivation: The Role of Domestication, Natural Hybridization and Allopolyploid Speciation in their Diversification *Plant Cell Physiol*, 52, 750-764.

- McFadden, E.S. & Sears, E.R. (1944). The artificial synthesis of *Triticum spelta*. *Genetics Society of America*, 13, 26–27.
- Miyashita, N.T., Mori, N. & Tsunewaki, K. (1994). Molecular variation in chloroplast DNA regions in ancestral species of wheat. *Genetics*, 137, 883–889.
- Nalam, V.J., Vales, M.I., Watson, C.J.W., Kianian, S.F. & Riera-Lizarazu, O. (2006). Map-based analysis of genes affecting the brittle rachis character in tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 112, 373–381.
- Nesbitt, M. (1998). Where was einkorn wheat domesticated? *Trends in Plant Science*, 3, 1360–1385.
- Noda, K., & Ge, K. (1989) Structural differentiation of chromosomes between *Triticum dicoccoides* Körn. and *T. araraticum* Jakubz., showing high meiotic pairing homology, *Jpn. Journal of genetics*, 64, 191–198.
- Ojihara, Y. & Tsunewaki, K. (1988) Diversity and evolution of chloroplast DNA in *Triticum* and *Aegilops* as revealed by restriction fragment analysis, *Theoretical and Applied Genetics*. 76, 321–332.
- Osborne, T.B. (1924). The vegetable proteins, 2nd ed. London, UK: Longmans Green & Co.
- Percival, J., (1921). - *The wheat plants*. Duckworth and Co. London. 463 pp.
- Sarkar, P. & Stebbins, G.L. (1956). Morphological evidence concerning the origin of the B genome in wheat. *American Journal of Botany*, 43, 297–304.
- Shands, H. & Kimber, G. (1973) Reallocation of the genomes of *Triticum timopheevii* Zhuk. En Proceedings of the 4th International Wheat Genetics Symposium, Missouri Agricultural Experimental Station. E.R. Sears, L.M.S. Sears (Eds.), 101–108. University of Missouri, Columbia.
- Shewry, P.R. (2000). Seed proteins. En M. Black, J.D. Bewley (Eds.), *Seed technology and its biological basis* (42-84). Sheffield, UK: Sheffield Academic Press.
- Simons, K.J., Fellers, J.P., Trick, H.N., Zhang, Z., Tai, Y.S. & Gill, B.S. (2006) Molecular characterization of the major wheat domestication gene Q. *Genetics*, 172, 547–555.
- Szabó, A.T. & Hammer, K. (1996). Notes on the taxonomy of farro: *Triticum monococcum*, *T. dicoccon* and *T. spelta*. In Hulled wheats Proceedings of the 1st International Workshop on Hulled Wheats (2–40), 21–22 July 1995, Tuscany, Italy: IPGRI.
- Tsunewaki, K. (2009). Plasmon analysis in the *Triticum-Aegilops* complex, *Breeding Science*, 59, 455-470.

CAPÍTULO 2

Trigo: crecimiento y desarrollo: etapa vegetativa

María Rosa Simón

Introducción

El trigo es un cultivo ampliamente adaptado, que se cultiva en zonas templadas que varían desde zonas secas hasta zonas de altas precipitaciones, en zonas cálidas, húmedas o secas, hasta ambientes fríos. Eso es posible dada la compleja naturaleza de su genoma, que provee plasticidad al cultivo. Es una planta C3, por lo que prospera en ambientes frescos (Acevedo *et al.*, 2002). Así es que existen diferentes tipos de trigo en base a sus requerimientos que se cultivan en distintas regiones a nivel mundial. Existen trigos primaverales con escasos o nulos requerimientos de vernalización y trigos invernales con importantes requerimientos de vernalización. Si bien los trigos primaverales pueden responder a la vernalización, sus requerimientos son menores que los de los trigos invernales (Levy & Peterson, 1972). Así el trigo puede adaptarse a regiones de altas latitudes en condiciones de inviernos muy fríos donde se siembran trigos primaverales con o sin sensibilidad al fotoperíodo durante la primavera, con la humedad de los deshielos y lluvias en condiciones de veranos cortos, o también trigos invernales sembrados en otoño cuando el suelo no se congela. También en zonas de latitudes bajas se pueden sembrar trigos sin requerimientos de vernalización ni fotoperíodo al comienzo del invierno, o en zonas de bajas latitudes con veranos frescos, típicos de zonas altas, pueden sembrarse trigos sin requerimientos de vernalización ni fotoperíodo en verano. En otras regiones, como Argentina pueden sembrarse trigos sin requerimientos o escasos requerimientos de vernalización y fotoperíodo, en épocas tardías en el invierno o trigos con algunos requerimientos de vernalización y/o fotoperíodo en el otoño.

El crecimiento y desarrollo del trigo pueden ser descriptos a través de diferentes estadios que se inician en la siembra. En algunos casos el crecimiento y desarrollo se subdivide en subperíodos para facilitar su estudio, que pueden variar en la bibliografía y que serán considerados en este capítulo en base a la morfología externa del cultivo como: 1- Pre-siembra, germinación, emergencia y pre-macollaje hasta la cuarta hoja 2: macollaje, 3: encañazón, espigazón, floración 4: formación de estructuras del grano, llenado del grano, madurez. En otros casos se los menciona haciendo alusión a la morfología interna considerando la fase vegetativa, la fase reproductiva temprana desde el inicio de la diferenciación reproductiva hasta la formación de la última espiguilla (espiguilla terminal), la fase reproductiva tardía que comprende la encañazón, espigazón y floración y finalmente el crecimiento y desarrollo del grano. De cualquier manera,

el crecimiento y desarrollo del cultivo son procesos continuos, tal como se describirá en este capítulo. Diversas escalas han sido diseñadas para diagramar la ontogenia del trigo, en base a su morfología externa la más utilizada ha sido la escala de Zadoks *et al.* (1974) (Fig.1) que se basa en un código decimal, en que el primer dígito define los siguientes estadios de crecimiento: 0: germinación; 1: crecimiento de plántula; 2: macollaje, 3: elongación de tallo; 4: vaina engrosada; 5: emergencia de inflorescencia; 6: floración; 7: desarrollo lechoso del grano; 8: desarrollo pastoso del grano; 9: madurez. El segundo dígito, con valores de 0 a 9 puede indicar número de hojas, de macollos, de nudos y otros, según el estadio considerado.

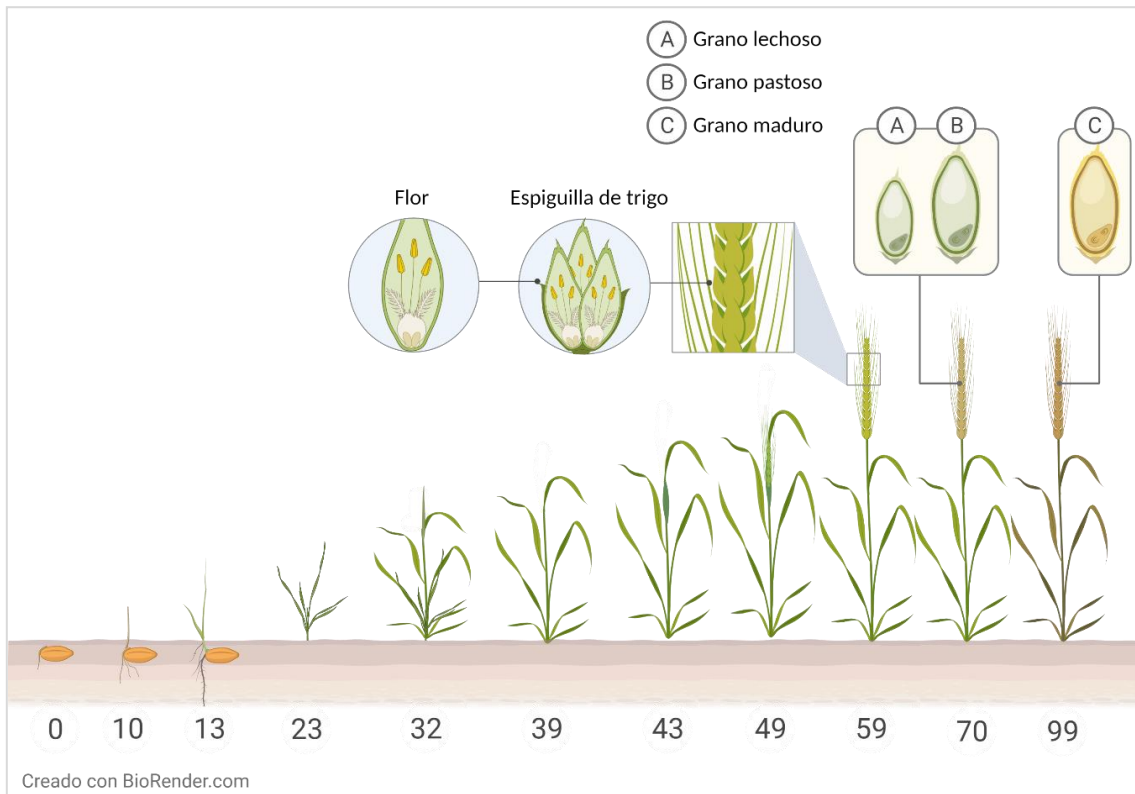


Fig.2.1. Escala de Zadoks
(Adaptado de <http://cimmyt.org>)

Otra escala externa muy usada es la de Feekes (adaptada de Large, 1954) que establece los estadios 1: emergencia y formación de macollo principal; 2: comienzo de macollaje; 3: macollos formados; 4: comienzo de crecimiento erecto, alargamiento de vainas, 5: vainas de hojas erectas; 6: primer nudo visible; 7: segundo nudo visible; 8: hoja bandera visible; 9: lígula de hoja bandera visible; 10: estado de vaina engrosada (10.1 a 10.5.4. desde aristas visibles, a través de espigazón, floración, madurez acuosa) 11: maduración. Otra escala externa usada es la de Haun (1973), que considera la proporción de elongación de una hoja con respecto a la anterior. También hay escalas de desarrollo interno como pueden ser la de Gardner *et al.* (1985) o la de Waddington *et al.* (1983) que describen los diferentes estadios del ápice vegetativo y reproductivo.

El crecimiento está determinado por la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), que es el incremento en peso seco aéreo por unidad de superficie y de tiempo, expresado en $g.m^{-2}.d^{-1}$

(Monteith, 1972), y es el producto entre la radiación fotosintéticamente activa incidente en el cultivo (RFA, en MJ m⁻² d⁻¹), la eficiencia de interceptación que es el porcentaje de radiación incidente fotosintéticamente activa acumulada interceptada por el cultivo (RFA_i, en % MJ. m⁻².d⁻¹) y la eficiencia de uso de la radiación (EUR, en g.MJ⁻¹), que es la cantidad de materia seca producida por el cultivo por unidad de radiación interceptada, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$TCC = RFA \times RFA_i \times EUR$$

La RFA depende de la latitud y época del año. A su vez, la RFA_i se describe mediante una función exponencial basada en la Ley de Beer-Lambert de transmisión de la luz (Monsi & Sae-ki, 1953) como:

$RFA_i = 1 - e^{-k \cdot IAFV}$, siendo $e = 2,72$, que es la base de los logaritmos naturales, IAFV (expresado en m² de hojas. m⁻² de suelo) es el índice de área foliar verde y k es un coeficiente de extinción lumínica adimensional.

El IAFV que permite lograr la mayor radiación interceptada absorbida está dado por el índice de área foliar crítico que es el que permite interceptar el 95% de la radiación incidente, condicionado por características genotípicas, por la densidad, estado hídrico y nutricional. Puede considerarse también el IAF en lugar del IAFV, pero aún cuando intercepte el 95%, si las hojas están enfermas o senescentes no podrán absorber la totalidad de la radiación. Se estima que este IAFV crítico se encuentra entre 4,3 y 4,5 de acuerdo a los valores de k que oscilan para cultivares argentinos entre 0,42 y 0,52 (Abbate *et al.*, 2017). Luego la EUR, dependerá de la tasa fotosintética, del valor de k , ya que es mayor en cultivares con bajo k , de la temperatura que afecta la fotosíntesis y la respiración, y también de la relación fuente/destino. Varía entre 2,7 y 2,3 g MJ⁻¹ en los ambientes potenciales de la región pampeana, correspondiendo los mayores valores a localidades frescas y húmedas y los menores a localidades con clima más cálido. La fuente más importante de variación de la TCC para una determinada localidad es el IAFV con valores inferiores al crítico; con valores superiores, la RFA_i es el factor limitante y la EUR solo presenta reducciones importantes en situaciones alejadas del potencial (Abbate *et al.*, 2017).

A su vez el rendimiento puede expresarse como la biomasa acumulada en el ciclo del cultivo (BT) multiplicado por el índice de cosecha (IC), que representa la partición hacia los órganos reproductivos o a través de sus componentes numéricos como se verá más adelante

$$Rendimiento = BT \times IC$$

o también en condiciones de limitaciones hídricas como el agua evapotranspirada (AE) entre la emergencia y la madurez fisiológica multiplicada por la eficiencia del uso del agua (EUA) para transformarse en biomasa, multiplicado por el índice de cosecha

$$Rendimiento = AE \times EUA \times IC$$

Presiembra, germinación, emergencia, premacollaje

El período previo a la siembra, incluyendo aplicaciones de herbicidas y todas las prácticas culturales que se realicen, afecta especialmente los estadios iniciales del cultivo. Desde la imbibición de la semilla y la reactivación del metabolismo se inicia la etapa vegetativa que continúa hasta la diferenciación floral en que comienzan a diferenciarse espiguillas. En esta etapa se hace necesario tener en cuenta los requerimientos para una adecuada germinación de la semilla, como así también otros factores que resultan determinantes para una adecuada instalación del cultivo y su posterior desarrollo. Entre ellos se pueden mencionar: la dormancia, la calidad de la semilla y preparación del suelo, la temperatura y humedad, el oxígeno disponible para la germinación, las características edáficas y la adecuada ubicación del período de siembra de acuerdo a los requerimientos de los cultivares y características climáticas de las subregiones en el momento de la siembra, en el período crítico y llenado de granos

Para que se produzca la germinación, la semilla necesita reunir una serie de condiciones:

Dormancia: El trigo y muchas otras especies no germinan o lo hacen en forma deficiente inmediatamente después de cosechados, aún en condiciones óptimas, debido a un proceso de dormancia. La dormancia está condicionada por características genéticas, pero los factores ambientales durante el desarrollo y maduración del grano y en el almacenaje también tienen incidencia. El trigo posee sustancias fenólicas en las glumelas, pericarpio, testa que tienen efecto inhibitorio de la germinación (Krogmeier & Bremner, 1989). Estas estructuras también reducen el oxígeno que llega al embrión a través de su efecto de barrera y de reacciones de oxidación de compuestos fenólicos, especialmente a temperaturas altas de 30°C en la germinación (Lenoir *et al.*, 1983).

La dormancia se incrementa con temperaturas bajas en el desarrollo del grano (Nakamura *et al.*, 2011). La sequía en el llenado del grano puede producir diferentes efectos, en algunos casos favorece la ruptura de la dormancia promoviendo la germinación (Gualano & Benech-Arnold, 2009), en tanto que en algunos trigos con baja dormancia se ha observado el efecto opuesto (Biddulph *et al.*, 2005) incrementando la tolerancia al brotado. Además, los granos rojos tienen un nivel más alto de dormancia que los blancos (Gordon, 1979). Mayor cantidad de ácido abscísico en el grano es también indicador de dormancia, aunque las giberelinas tienen un efecto antagónico promoviendo la germinación (Rodríguez *et al.*, 2015).

La baja hidratación del grano y la temperatura muy alta durante la imbibición de la semilla se relacionan con el mantenimiento de altos niveles de ácido abscísico en el embrión promoviendo la dormancia. También la hipoxia, la luz blanca y azul pueden mantener el ácido abscísico (Benech Arnold *et al.*, 2006).

La dormancia se pierde a temperatura ambiente durante el almacenaje, aunque se incrementa con la alta temperatura (Simpson, 1990) y en ese período se hace menos sensible al efecto inhibitorio de la hipoxia (Bradford *et al.*, 2007) y de la luz (Chaussat & Zoppolo, 1987), es decir necesitan más oxígeno y luz para germinar antes que después de la madurez. En tanto que mantenidas a -18°C la dormancia se mantiene (Lenoir *et al.*, 1983). También puede producirse una dormancia secundaria en condiciones de alta temperatura y falta de oxígeno producida por inmersión en agua en semillas que aún tienen algún grado de dormancia primaria (Hilhorst, 2007).

En trigo, la dormancia es de importancia para evitar el brotado precosecha que disminuye la calidad y el rendimiento en grano en condiciones de lluvias en ese período. En los granos susceptibles al brotado, la germinación se inicia rápidamente e induce la expresión de enzimas hidrolíticas como la alfa amilasa que se mide mediante el índice de caída o *“falling number”* y de proteasas que degradan el almidón y las proteínas de reserva. Así estos granos no son adecuados para la fabricación de pan y deben ser utilizados como forrajeros. También puede conducir a reducción en la duración de la viabilidad de la semilla (Gualano *et al.*, 2014). La dormancia es un carácter controlado por múltiples genes y se han encontrado numerosos loci de tratamientos cuantitativos (QTL), uno de ellos en el cromosoma 4 AL explicando el 40% de la variación fenotípica.

Sanidad de la semilla y preparación del suelo: Asimismo, la semilla debe estar sana o curada con fungicidas, que de acuerdo al tipo de patógeno que la afecte podrán ser de contacto o sistémicos. Debe tener además, un adecuado poder germinativo y energía germinativa. Serán también de importancia para una adecuada germinación la preparación del lote y/o pasaje de herbicidas previo, como así también las características del barbecho y de los rastrojos.

Temperatura y humedad: La germinación se produce en un amplio rango de temperatura que va desde los 4° C a los 37° C, con un óptimo ubicado entre los 12 y 25 ° C (Acevedo *et al.*, 2002). Una semilla que no está en dormancia necesita para reanudar su crecimiento y desarrollo, absorber agua, además de una temperatura adecuada y suficiente oxígeno. Con un 25 % de su peso en agua, el grano comienza un proceso de germinación incipiente, alcanzando la plenitud de la actividad enzimática con un 40 % (Evans *et al.*, 1975). La penetración del agua en el grano de trigo no es tan rápida como en el maíz debido a la característica de la testa continua. El agua penetra con mayor facilidad a través de la apertura del hilium y también por difusión a través del pericarpio y cubiertas seminales. El suelo debe tener un contenido adecuado de humedad entre 60-80 % de la capacidad de campo. Tanto la deficiencia como el exceso son determinantes de falencias de germinación-nacimiento. En el inicio hay una absorción rápida de agua por el embrión y la concentración pasa del 12% al 40%, luego se incrementa más lentamente y el volumen aumenta alrededor de un 40% en las primeras 24 h (Milthorpe & Moorby, 1982).

Oxígeno: La tasa de intercambio gaseoso se incrementa rápidamente al comenzar la absorción de agua; la tasa de producción de anhídrido carbónico se aproxima a menudo a una función exponencial del contenido de agua durante las primeras fases a 25° C, antes de que se rompa la testa. Esta, antes de romperse, representa una barrera para la difusión del oxígeno hacia dentro de la semilla. Para la mayoría de las semillas, el suministro de oxígeno es insuficiente y, por ende, la fermentación es importante, si no el principal proceso respiratorio, hasta que se rompe el tegumento seminal. La remoción de éste conduce, a menudo, a una duplicación o triplicación de la tasa de absorción de oxígeno. Sin embargo, ciertas especies, como el arroz, son capaces de germinar en ausencia de oxígeno; en tanto que otras, como el trigo, no germinan en estas condiciones. Su presencia es indispensable para que se produzcan los procesos reductivos y oxidativos. A medida que el proceso avanza y con el aumento de humedad, se incrementa su demanda (Milthorpe & Moorby, 1982).

Época de siembra: La época de siembra se definirá teniendo en cuenta diversas características regionales entre ellas la ubicación de la espigazón para que no sea anterior a la fecha media de última helada, las condiciones de humedad en el momento de la siembra y la ubicación de la floración y el llenado del grano en un momento en que la radiación sea alta y las temperaturas y humedad no sean demasiado elevadas. Estos aspectos serán considerados en el capítulo de época y densidad de siembra.

Germinación

La escala de Zadoks mencionada describe los estadios 0.0 a 0.9 con diferentes estadios de germinación hasta que la primera hoja se despliega. Una vez que el embrión se ha embebido en agua, produce hormonas que estimulan la actividad enzimática. Para que el embrión crezca se necesitan fuentes de energía. Una oferta limitada de reservas es almacenada dentro del embrión mismo, principalmente en el escutelo, como componentes de variada complejidad. Algunos de esos componentes son solubles y, por lo tanto, están inmediatamente disponibles para la nutrición del embrión (por ejemplo, azúcares, dextrinas y proteínas solubles). Los componentes más complejos son desdoblados por las enzimas producidas en el embrión. Estas desdoblan el almidón y las proteínas en azúcares y aminoácidos suministrando energía para el crecimiento del embrión, una semilla de mayor tamaño contiene más almidón y provee más energía haciendo que el crecimiento de la plántula sea más rápido y vigoroso, originando generalmente más macollos que pueden traducirse en más rendimiento y mayor facilidad para superar diferentes estreses (Roy, 1973). A su vez, los cultivos provenientes de semillas con alto contenido de proteína pueden desarrollar también niveles más altos de compuestos proteicos, y mayor porcentaje de emergencia (Torres & Paulsen, 1982).

El endosperma también proporciona al embrión diversos componentes, para lo cual las paredes de sus células tienen que ser disueltas para liberar el almidón y las proteínas. Las células epiteliales del escutelo entran en contacto con el endosperma almidonoso y cuando ingresa suficiente cantidad de agua en la semilla para iniciar la germinación, esas células se elongan y humedecen. Las mismas secretan tres enzimas: citasas, que pueden disolver las paredes de las células del endosperma; amilasas, que convierten el almidón en maltosa, y maltasas que convierten la maltosa en glucosa. Las células de la aleurona también secretan citasas, amilasas y otras enzimas.

Luego de la ruptura de la testa comienza el crecimiento visible del embrión, emerge la radícula, seguida de otras raíces seminales primarias que pueden ser hasta ocho y profundizar hasta 2 m y el coleoptile. Los azúcares y aminoácidos son transferidos a los tejidos en crecimiento del embrión (Fig. 2.2a). El epicotile debe elongarse para ubicar la zona de la corona de donde se originarán los macollos y las raíces verdaderas, a unos pocos centímetros de la superficie del suelo cuando la profundidad de siembra supera los 4 cm (Fig. 2.2b). Cuanto mayor es la elongación implica menor tasa de acumulación de materia seca radicular y foliar, menor número de hojas y menor elongación de entrenudos (Fig.2.3). Los cultivares semienanos tienen usualmente menor elongación del epicotile (Kirby, 1993).

Emergencia-premacollaje

Cuando el coleoptile emerge de la superficie del suelo su crecimiento cesa y aparece la punta de la primera hoja, indicando la emergencia de la plántula. Antes de que la primera hoja se vuelva fotosintéticamente funcional, la plántula depende de la energía y nutrientes provistos por las reservas del grano. La emergencia del coleoptile o de la plúmula por encima del suelo hace que la planta quede expuesta a la luz y que se produzca una supresión del crecimiento del epicótilo, estimulándose la producción de clorofila. Luego, la fotosíntesis adquiere gradualmente preeminencia sobre las reservas seminales en la provisión de reservas para el crecimiento. La escala de Zadoks describe esta fase como producción de hojas (indicada con 1), con un segundo dígito que va del 1 al 9 que implica la cantidad de hojas desplegadas. Las plántulas de trigo se vuelven totalmente independientes alrededor de la fase en que la segunda hoja emergió por completo y la tercera está comenzando a hacerlo (Peterson *et al.*, 1989).

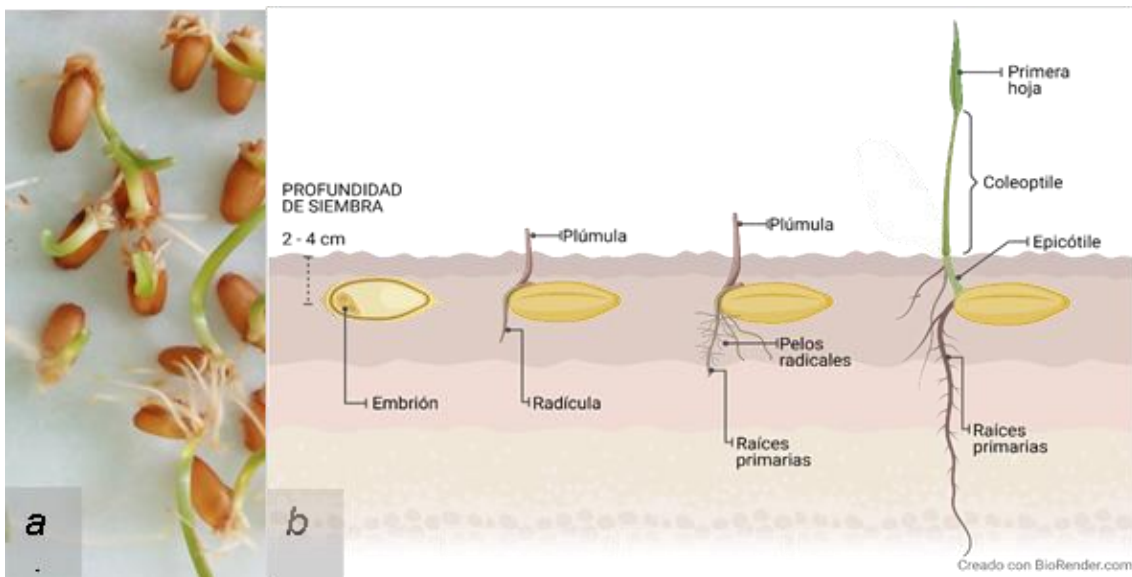


Fig. 2.2.a. Germinación de semillas de trigo, mostrando emergencia de raíces seminales y coleoptile, b. elongación del epicótilo en siembras más profundas



Fig. 2.3. Siembras a distintas profundidades

En el embrión hay 3 a 4 hojas preformadas y en el ápice vegetativo que se encuentra por debajo de la superficie del suelo se forman otras 2 a 3 hojas (Baker & Gallagher, 1983), de manera que hay entre 5-7 primordios diferenciados cuando emerge la planta. Esto asegura un tiempo mínimo de duración para el desarrollo reproductivo, ya que las hojas diferenciadas van apareciendo hasta llegar a la última que es la hoja bandera. El ápice vegetativo mantiene la forma de domo durante un período que varía con el genotipo y el ambiente. Los primordios se inician a una determinada tasa sobre la temperatura base, la temperatura tiene efecto universal ya que afecta a todos los genotipos y fases por encima de una base y hasta una temperatura óptima. Así ante incrementos de temperatura, la tasa de desarrollo se incrementa reduciendo la duración de las fases y a la inversa con disminuciones de temperatura. Para eliminar el efecto de la temperatura, la duración de las fases puede expresarse en tiempo térmico en grados centígrados días ($^{\circ}\text{Cd}$), que es la sumatoria de las diferencias entre las temperaturas medias (T_m) y las temperaturas base (T_b) para esa fase (Monteith, 1984). Para alcanzar una determinada fase fenológica se requerirá un determinado tiempo térmico. Esta sumatoria de grados día varía con el estadio de desarrollo y permitirá realizar una estimación del momento en que ocurrirá una determinada fase en un sitio en particular.

$$TT_{A-B} = \sum(T_{mi} - T_b) \quad (1)$$

(1) Corresponde a la sumatoria entre 1 y n a través de los días que dura la fase entre los estadios A y B

Por lo que la ecuación queda expresada de la siguiente manera

$$TT = (T_m - T_b) \times \text{duración}$$

El tiempo entre la diferenciación de dos hojas sucesivas se denomina plastocrono y entre la aparición de dos hojas sucesivas se denomina filocrono. Plastocrono y filocrono son fuertemente dependientes de la temperatura (Rickman & Klepper, 1991) y con influencia genotípica (Frank and Bauer, 1995), pero también el estrés hídrico severo (Cutforth *et al.*, 1992) e importantes deficiencias en nitrógeno (Longnecker *et al.*, 1993) retardan la tasa de emergencia de hojas. Así, desde que aparece la primera hoja (Fig.2.4), las siguientes aparecen a un intervalo o tiempo térmico variable entre 70 y 160 $^{\circ}\text{C}$ día sobre la temperatura base de 0 $^{\circ}\text{C}$, variando también con la posición de las hojas (Jamieson *et al.*, 1995, El Jarroudi *et al.*, 2020) y en menor proporción con el estado nutricional e hídrico (Fischer, 1993; Abeledo *et al.*, 2004, Valle *et al.*, 2010), en tanto que el plastocrono es de 40-50 $^{\circ}\text{C}$ día, con variabilidad genotípica (Kirby *et al.*, 1987, Slafer *et al.*, 2004). A mayor cantidad de hojas diferenciadas hasta el inicio de la diferenciación reproductiva, que es cuando se llega al número máximo de hojas diferenciadas, mayor será la duración del período hasta anthesis, dado que estas hojas tienen que aparecer, siendo el filocrono el doble aproximadamente del plastocrono. Esto sumado a las 3-4 hojas diferenciadas en el embrión, más las que diferencian hasta la diferenciación reproductiva hace que sigan apareciendo hojas un tiempo largo, luego de su diferenciación.



Fig. 2.4. Plántulas de trigo luego de la emergencia (estadio de una hoja)

En una primera etapa hasta la cuarta hoja las hojas emergen de un falso tallo formado por las vainas de las hojas que ya aparecieron. A partir de tercera o cuarta hoja se desarrollan también las raíces nodales o verdaderas que son generalmente más importantes que las seminales y tienen un mayor grosor. Pueden llegar hasta 2 m. de profundidad, pero el mayor porcentaje se encuentra en los primeros 30 cm (Abbate & Divito, 2017). El pasaje al estado reproductivo se produce usualmente desde alrededor de tres hojas hasta siete hojas dependiendo de los requerimientos del genotipo, la fecha de siembra y los valores de fotoperíodo y vernalización en una determinada localidad. Este pasaje, se produce entonces desde inicios de macollaje hasta macollaje avanzado, ya que el macollaje se inicia en la tercera hoja desplegada, inicio de cuarta hoja (Fig.2.5).

En el período que va desde la pre-siembra hasta la cuarta hoja se habrá definido el número de plantas.m⁻² y el cultivo puede ser afectado por diferentes enfermedades y plagas, que serán descritas en el capítulo correspondiente. A los efectos de relacionarlas con el momento del cultivo en que aparecen, se menciona que entre las enfermedades se encuentra el tizón de la plántula y entre las plagas más importantes los gusanos blancos, gusanos alambres y orugas cogolleras.

Tanto en la emergencia como en el período hasta iniciación del macollaje, el trigo puede estar expuesto a bajas o altas temperaturas. Las altas temperaturas reducirán la duración de la fase, en tanto que en las condiciones de la región triguera Argentina, las bajas temperaturas suelen ser más usuales. Si bien el ápice vegetativo se encuentra bajo la superficie del suelo, puede ser afectado con temperaturas extremas, que serán más importantes en condiciones de estrés hídrico ya que el suelo húmedo se enfría más lentamente; también los vientos y la presencia de rastrojo en superficie son una barrera para la transferencia de calor acentuando el daño por heladas. El trigo es sensible a bajas temperaturas hasta las 2-3 hojas y se hace más resistente durante el macollaje. Si bien es tolerante a temperaturas de entre -3°C y -6°C en plántula, pueden existir distintas temperaturas dentro del mismo lote, el efecto es mayor en zonas de bajos y una mayor cantidad de rastrojos en superficie actúa como barrera física para la transferencia de calor incrementando el daño. Además, la cantidad de horas de temperaturas frías y el estado hídrico y nutricional del cultivo también incide Des-

pués de la helada el calentamiento rápido, el viento, el aire seco y la alta evaporación pueden reducir la recuperación (Raper, 2017).

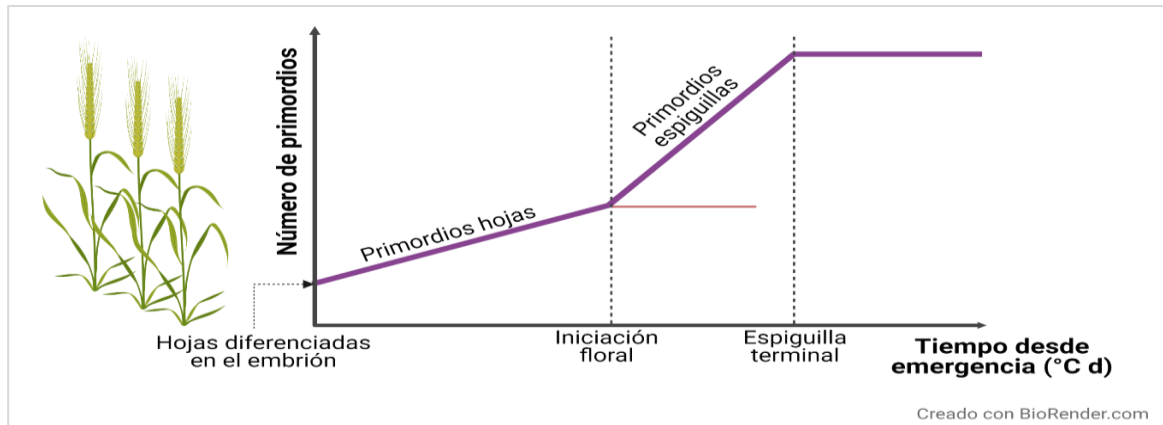


Fig.2.5. Diferenciación de primordios foliares y primordios de espiguillas (Adaptado de Miralles & Slafer, 2000)

Referencias

- Abbate, P. (2017). Bases ecofisiológicas del manejo del cultivo de trigo en la región pampeana. En P. B. Abadia, G. Divito, F. García (Comp), / G.A. Divito, F.O. García (Eds.), *Manual del cultivo de trigo* (33-52) Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina – Acassuso: International Plant Nutrition Institute.
- Abbate, P.E. & Divito, G.A. (2017). Como crece y se desarrolla el cultivo de trigo. En P. B. Abadia, G. Divito, F. García (Comp), / G.A. Divito, F.O. García (Eds.), *Manual del cultivo de trigo* (22-32) Unidad Integrada Balcarce. EEA INTA-FCA UNMP, Buenos Aires, Argentina – Acassuso: International Plant Nutrition Institute.
- Abeledo, L.G., Calderini D.F. & Slafer G.A. (2004) Leaf appearance, tillering and their coordination in old and modern barleys from Argentina. *Field Crops Research* 86, 23–32.
- Acevedo, E., Silva, P. & Silva, H. (2002). Wheat growth and physiology. En B.C. Curtis, S. Rajaram & H. Gomez Macpherson (Eds.). *Bread Wheat Improvement and Production* (1-47). FAO.
- Baker, C.K. & Gallagher, J.N. (1983). The development of winter wheat in the field. The control of primordium initiation rate by temperature and photoperiod. *Journal of Agricultural Science*, 101, 337-344.
- Benech-Arnold, R.L., Gualano, N., Leymarie, J., Côme, D. & Corbineau, F. (2006) Hypoxia interferes with ABA metabolism and increases ABA sensitivity in embryo of dormant barley grains. *Journal of Experimental Botany*, 57, 1423–1430.
- Biddulph, T.B., Mares, D.J., Plummer, J.A. & Setter, T.L. (2005) Drought and high temperature increases preharvest sprouting tolerance in a genotype without grain dormancy. *Euphytica*, 143, 277–283.
- Bradford, K.J., Côme, D. & Corbineau, F. (2007) Quantifying the oxygen sensitivity of seed germination using a population-based threshold model. *Seed Science Research*, 17, 33–43.
- Chaussat, R. & Zoppolo, J. (1983) Lumière et germination de l'Orge. *Bios*, 14, 30–32.

- El Jarroudi, M., Kouadio, L., Junk, J. & Clive, H. (2020). Prediction of Leaf Emergence for Efficient Crop Protection: Assessing Field Variability in Phyllotherms for Upper Leaves in Winter Wheat and Winter Barley. *Agronomy*, 10, 1825.
- Evans, L.T., Warlaw, I.F. & Fischer, R.A. (1975). En L.T. Evans (Ed.), *Trigo (traducción de Crop Physiology)*. (113-164). Buenos Aires, Argentina: Editorial Hemisferio Sur.
- Fischer, R.A. (1993) Irrigated spring wheat and timing and amount of nitrogen fertilizer. II. Physiology of grain yield response. *Field Crops Research*, 33, 57–80.
- Frank, A.B. & Bauer, A. (1995). Phyllochron differences in wheat, barley and forage grasses. *Crop Science*, 35, 19-23.
- Gardner, J.S., Hess, W.M. & Trione, E.J. (1985). Development of the Young Wheat Spike: A Sem Study of Chinese Spring Wheat. *American Journal of Botany*, 72, 584-559.
- Gordon, I.L. (1979) Selection against sprouting damage in wheat. III Dormancy, germinative alpha-amylase, grain redness and flavonols. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30, 1–16.
- Gualano, N.A. & Benech-Arnold, R.L. (2009) The effect of water and nitrogen availability during grain filling on the timing of dormancy release in malting barley crops. *Euphytica*, 168, 291–301.
- Gualano, N.A., Del Fueyo, P.A. & Benech-Arnold, R.L. (2014) Potential longevity (Ki) of malting barley (*Hordeum vulgare* L.) grain lots relates to their degree of pre-germination assessed through different industrial quality parameters. *Journal of Cereal Science*, 60, 222–228.
- Haun, J.R. (1973). Visual quantification of wheat development. *Agronomy Journal*, 65, 116-117.
- Hilhorst, H.W.M. (2007) Definitions and hypotheses of seed dormancy. In K.J. Bradford, & H. Nonogaki, (Eds), *Seed development, dormancy, and germination* (50–71) Oxford, UK: Blackwell Publishing.
- Jamieson, P.D., Brooking, I.R., Porter, J.R. & Wilson, D.R. (1995). Prediction of leaf appearance in wheat: A question of temperature. *Field Crops Research*, 41, 35–44.
- Kirby, E., Porter, J., Day, W., Adam, J., Appleyard, M., Ayling, S., Baker, C.K., Belford, R.K. P. V. Biscoe, P.V. Chapman, A., Fuller, M.P., Hampson, Hay, J.R.K., Matthews, S., Thompson, W.J., Weir, A.H., Willington, V.H & Wood, D.H. (1987). An analysis of primordium initiation in Avalon winter wheat crops with different sowing dates and at nine sites in England and Scotland. *The Journal of Agricultural Science*, 109, 123-134.
- Kirby, E.J.M. (1993). Effect of sowing depth on seedling emergence, growth and development in barley and wheat. *Field Crops Research*, 35, 101-111.
- Krogmeier, M.J. & Bremner, J.M. (1989). Effects of phenolic acids on seed germination and seedling growth in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 8, 116–122.
- Large, E.C. (1954). Growth stages in cereals. Illustration of the "Feekes" Scale. *Plant Pathology*, 3, 128-129.
- Lenoir, C., Corbineau, F. & Côme, D. (1983). Rôle des glumelles dans la dormance des semences d'orge. *Physiologie Végétale*, 21, 633–643.
- Levy, J. & Peterson, M. (1972). Responses of Spring Wheats to Vernalization and Photoperiod. *Crop Science*, 12, 487-490.

- Milthorpe, F.L. & Moorby, J. (1982). Germinación y emergencia de la plántula. En F.L. Milthorpe & J. Moorby (Eds), *Introducción a la fisiología de los cultivos* (141-156). Buenos Aires, Argentina: Hemisferio Sur.
- Miralles, D. & Slafer, G. (2000). Wheat development. En E. Satorre, G. Slafer (Eds.) *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination* (13-42), Binghamton, New York: Food Product Press.
- Monsi, M. & Saeki, T. (1953). U"ber den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung fu"r die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany*, 14, 22–52.
- Monteith, J.L. (1972). Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 9, 747–766.
- Peterson, C.M., Klepper, B. & Rickman, R.W. (1989). Seed Reserves and Seedling Development in Winter Wheat. *Agronomy Journal*, 81, 245-251.
- Rickman, R.W. & Klepper, E.L. (1991). Tillering in wheat. In T. Hodges (Ed), *Predicting crop phenology* (73-83). Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- Raper, T. (2017). Freeze-Damage-Jointing-Wheat. Recuperado de <http://news.utcrops.com/2017/03/freeze-damage-jointing-wheat/> Institute of Agriculture the University Tennessee.
- Roy, N.N. (1973). Effect of seed size differences in wheat breeding by single seed descent. *Journal of Australian Institute of Agricultural Science*, 39, 70-72.
- Simpson, G.M. (1990) Seed dormancy in grasses. Cambridge, Cambridge University Press.
- Slafer, G.A., Miralles, D., Savin, R., Whitechurch, E. & González, F.G. (2003). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. En E.H. Satorre, R.L. Benech Arnold, G. A. Slafer, E.B. de la Fuente, D. J. Miralles, M. E. Otegui & R. Savin (Eds), *Producción de granos* (99-132). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Torres, J.L. & Paulsen, G.M. (1982) Increasing seed protein content enhances seedling emergence and vigor in wheat, *Journal of Plant Nutrition*, 5, 1133-1140.
- Valle, A.B.D. & Calderini, D. (2009). Phyllochron and tillering of wheat in response to soil aluminum toxicity and phosphorus deficiency. *Crop and Pasture* 61, 863-872.
- Waddington, R., Carwright, P.M. & Wall, P.C. (1983). A Quantitative Scale of Spike Initial and Pistil Development in Barley and Wheat. *Annals of Botany*, 51, 119-130.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T. & Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421.

CAPÍTULO 3

Trigo: crecimiento y desarrollo: etapa reproductiva y llenado del grano

María Rosa Simón

Etapa reproductiva temprana

Luego de la etapa de pre-siembra, germinación, nacimiento, emergencia y pre-macollaje hasta la cuarta hoja, desarrollada en el capítulo anterior, continua lo que hemos descripto como segunda etapa, que es el macollaje. Dentro de esta etapa se produce la diferenciación reproductiva y el período entre el inicio de la diferenciación reproductiva y la última espiguilla en formarse, se conoce también como etapa reproductiva temprana.

Macollaje

Generalmente con la tercera hoja desplegada e inicio de cuarta hoja comienza el macollaje. La escala de Zadoks *et al.* (1974) indica esta fase como producción de macollos (mencionado como estadio de crecimiento (EC) 2), en tanto el segundo dígito indica la cantidad de macollos generados. La producción de macollos es variable dependiendo de las características del genotipo y factores ambientales y culturales, apareciendo los macollos desde el interior de las vainas, de yemas ubicadas en yemas axilares de hojas, en nudos basales cuyos entrenudos no desarrollan, lo que se conoce como zona de la corona (Fig.3.1).

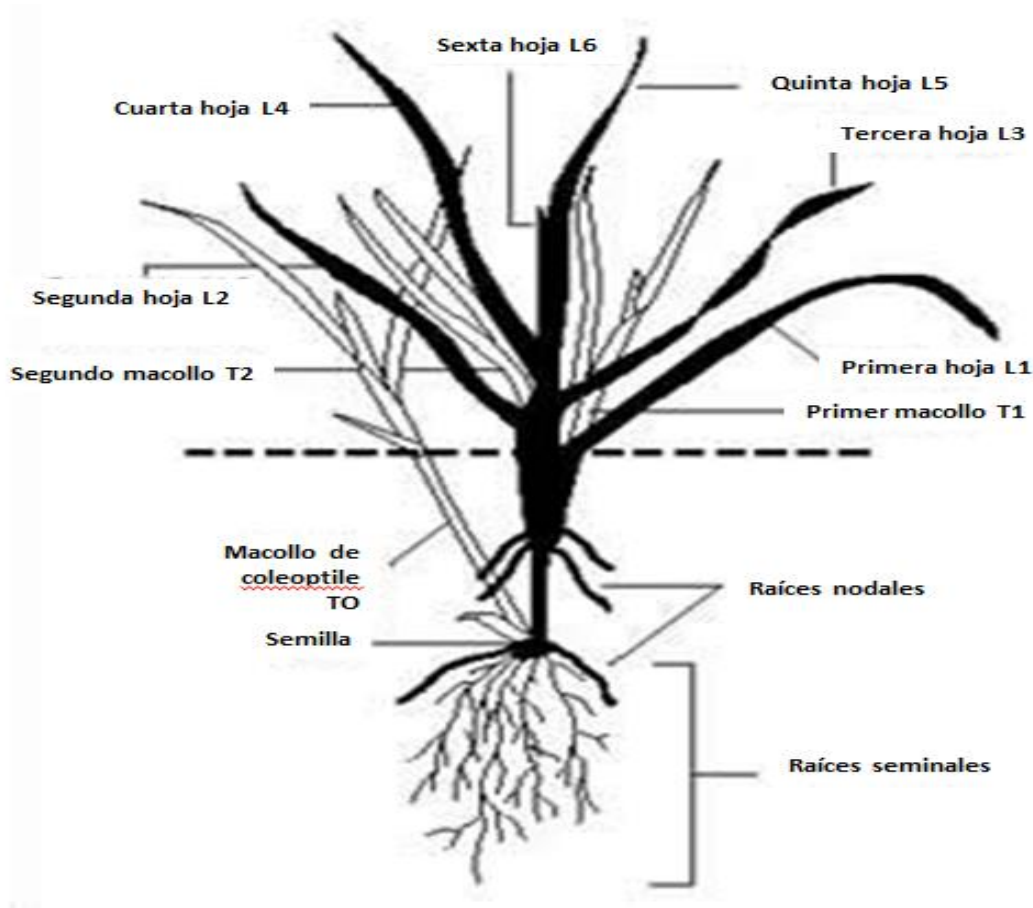


Fig.3.1. Macollaje del trigo

(Adaptada de <http://cimmyt.org>, licenciada bajo Creative Commons Attribution)

Friedberg (1932) determinó que en algunos casos pueden producirse macollos originados en el coleoptile de la semilla, lo que es un carácter varietal. Dicha aparición está en sincronía con la aparición de las hojas, con cada nueva hoja aparece un nuevo macollo. Cuando llegan a tres hojas desplegadas, los macollos generan su propio sistema radicular y se independizan. Asimismo, cada macollo primario puede generar macollos secundarios y éstos a su vez, terciarios. En tanto exista disponibilidad de recursos, la capacidad de macollaje es ilimitada, pero factores genéticos, ambientales y/o culturales pueden limitar esta capacidad. Así es que no todos los macollos que se espera aparezcan, lo hacen y luego de un patrón máximo, la tasa de macollaje disminuye. Además, debido a una falta de recursos, un porcentaje de los macollos que se han generado muere en forma inversa a su generación. Esta mortandad generalmente se inicia con el momento en que comienza la elongación del tallo, que coincide con la formación de la espiguilla terminal. El macollaje cesa generalmente cuando el trigo encaña debido a la competencia por recursos con el tallo y se inicia la mortandad de los macollos ya formados, lo que continúa hasta la espigazón. Los macollos que mueren reciclarán una parte de los nutrientes hacia los tallos principales. La duración del macollaje es variable pudiendo fluctuar, de acuerdo a diferentes factores, entre 25 y más de 80 días en nuestra región triguera, lo que lo convierte en la fase que presenta mayor variación.

En aquellos genotipos de ciclo corto (bajos o nulos requerimientos de fotoperíodo y/o vernalización), en fechas de siembra tardías, el inicio del período reproductivo puede producirse

ya desde la tercera hoja, es decir inicios de macollaje. En cambio, en genotipos de ciclo largo (con requerimientos de fotoperíodo y/o vernalización) en fechas de siembra tempranas puede producirse alrededor de la séptima hoja y el cultivo en pleno macollaje. En este momento comienza la fase reproductiva temprana, el ápice mide unos 0,5 mm (Acevedo, 2002). El inicio de la diferenciación reproductiva se visualiza mediante el doble lomo, aunque la diferenciación floral ha comenzado con algo de anterioridad, pero recién se visualiza en ese momento (Kirby, 1990). Este doble lomo está constituido por primordios de hojas y de espiguillas. En cada doble lomo que se forma, el lomo inferior es el primordio de hoja y el superior el de espiguillas (Bonnet, 1966). La fase vegetativa ha finalizado y ya no se diferenciarán más hojas. Una vez iniciada esta diferenciación reproductiva, primero se diferencian las glumas y glumelas y luego las espiguillas en las axilas de las lemmas. La diferenciación de espiguillas comienza en la parte central de la espiga y continua hacia los extremos, esta diferenciación continúa varias semanas hasta la última espiguilla que es la terminal. Una vez que se han diferenciado alrededor de la mitad de las espiguillas, comienza la diferenciación de las flores en las espiguillas del centro de la espiga.

La duración del macollaje, está influenciada por factores genotípicos, ambientales y culturales. Le otorga al cultivo flexibilidad para compensar factores adversos como adversidades bióticas (enfermedades, plagas) o abióticas (heladas, sequías, granizo) o fallas en la densidad de siembra. Los factores genotípicos que condicionan su duración se relacionan con los requerimientos que presentan en cuanto a los factores que condicionan el desarrollo (temperatura, fotoperíodo, vernalización) y como se satisfacen, que se verán a continuación. Los factores que condicionan el desarrollo están relacionados con la longitud del macollaje al determinar la iniciación de la diferenciación reproductiva (doble lomo) y luego de la espiguilla terminal, que determina el inicio de la encañazón (Kirby, 1991) finalizando el macollaje. Así, los genotipos de ciclo largo con mayores requerimientos tienen generalmente una mayor duración del macollaje.

La vernalización se define como la aceleración de la habilidad para pasar al estado reproductivo a través de un tratamiento de frío (Chouard, 1960). Dixon *et al.* (2019) definen la vernalización como la respuesta a un tratamiento prolongado de frío ('termoinducción') que se requiere para que ciertas plantas se vuelvan competentes para florecer y, por lo general, funciona iniciando la expresión de activadores florales después del tratamiento y/o suprimiendo la actividad de los represores florales. La respuesta a la vernalización puede diagramarse a través de un modelo cuantitativo en el que, a partir de una determinada duración del tratamiento de vernalización, se alcanza una duración mínima de la etapa de desarrollo, debido a que el cultivo se encuentra en la máxima tasa de desarrollo (Miralles *et al.*, 2003). Las temperaturas vernalizantes pueden oscilar entre 0 y 12°C (Ahrens & Loomis, 1963). Por su parte, Brooking (1996) indicó que la tasa de vernalización se incrementa entre 0 y 11° y también se ha reportado que suele ser más efectiva a temperaturas entre 3 y 10°C (Weir *et al.*, 1984), diferenciándose los distintos tipos de trigo por los requerimientos de vernalización. Así, los trigos primaverales tienen bajos o nulos requerimientos, con temperaturas entre 7 y 18°C durante un período de 5 a 15 días, en tanto que los invernales tienen importantes requerimientos de 30 a 60 días a temperaturas entre 0 y 7°C (Evans *et al.*, 1975). Los requerimientos de vernalización están condi-

cionados por al menos cuatro genes *Vrn-1*, *Vrn-2*, *Vrn-3* y *Vrn-4* (Yan *et al.*, 2003, 2004b) siendo *Vrn1* el mayor determinante (Pugsley, 1971). Los tres homeólogos encontrados en trigos hexaploides están asociados con alelos dominantes para insensibilidad (*Vrn1-A1*, *VrnB1* y *VrnD1*) (Yan *et al.*, 2004a). En cambio, el dominante de *Vrn2* condiciona sensibilidad y es epistático a los alelos dominantes de *Vrn1*, retardando la floración, pero la vernalización bajo días largos suprime la expresión de *Vrn2* y aumenta la expresión de *Vrn1*. Por su parte, *Vrn3* también se expresa mejor cuando *Vrn2* está ausente (Dowla, 2018). La vernalización no solo afecta la fase vegetativa hasta la diferenciación reproductiva, sino también hasta la formación de espiguilla terminal al menos en genotipos con altos requerimientos (Fischer, 1984, Slafer & Rawson, 1994, González *et al.*, 2002).

En cuanto al fotoperíodo, el trigo es una planta longidiurna, ya que es inducida a florecer cuando el período de oscuridad es menor a 12 h, frecuentemente denominada como de día largo, ya que cuanto más larga es la duración del día (más de 12 h), más rápida es la tasa de desarrollo, acortando la duración de las fases hasta un determinado umbral, por encima del cual un incremento en el fotoperíodo no implica un cambio en la tasa de desarrollo, la respuesta a este factor se satura y la duración de las etapas es definida por la temperatura (Thomas & Vince, 1997). La sensibilidad (pendiente de la recta en la Fig. 2) varía ampliamente entre los genotipos (Major, 1980), con una respuesta generalmente cuantitativa, existiendo cultivares insensibles. El estímulo es percibido en las hojas y la señal se traslada al ápice por lo que para que la planta responda al fotoperíodo debe haber emergido la primera hoja (Flood & Halloran, 1986, Evans, 1987).

Los genes *Ppd*, entre ellos el ampliamente usado *Ppd1*, condicionan la sensibilidad al fotoperíodo, siendo el dominante el que condiciona insensibilidad (Dowla, 2018) y están relacionados con reducción en altura, menos macollaje y menor número de espiguillas. espiga⁻¹. Si bien se considera que el fotoperíodo afecta principalmente la etapa vegetativa hasta la diferenciación reproductiva (Porter & Delécolle, 1988) o a espiguilla terminal (Rawson, 1971), también se han informado efectos hasta anthesis (Angus *et al.*, 1981, Slafer & Rawson, 1994).

La precocidad intrínseca es el tiempo térmico mínimo para cumplir una fase, una vez que los requerimientos de vernalización y fotoperíodo han sido satisfechos o en genotipos que no son sensibles a estos factores (Major, 1980, Slafer, 1996). De esta manera, estas diferencias son propias del genotipo. La precocidad intrínseca está condicionada predominantemente por QTL, pocos genes han sido identificados, pero si numerosos QTL que controlan la floración independientemente de la vernalización y fotoperíodo (Dowla, 2018).

La interacción entre las características del genotipo, la vernalización y el fotoperíodo determina el número de hojas y la duración de otros procesos del desarrollo. Así cuando se satisfacen los requerimientos en días largos y vernalización, se reduce el tiempo hasta la diferenciación reproductiva y la espigazón y se reduce el número de hojas siendo escaso el efecto sobre la tasa de aparición de las mismas y la tasa de formación de espiguillas, por lo que habrá menos espiguillas y hojas aunque generadas a una mayor tasa (Mossad *et al.*, 1995). Esto implica que la cantidad de hojas será mayor cuanto más tarde en producirse la diferenciación reproductiva y ese número de hojas es indicador de la sensibilidad a este factor (Levy & Peterson,

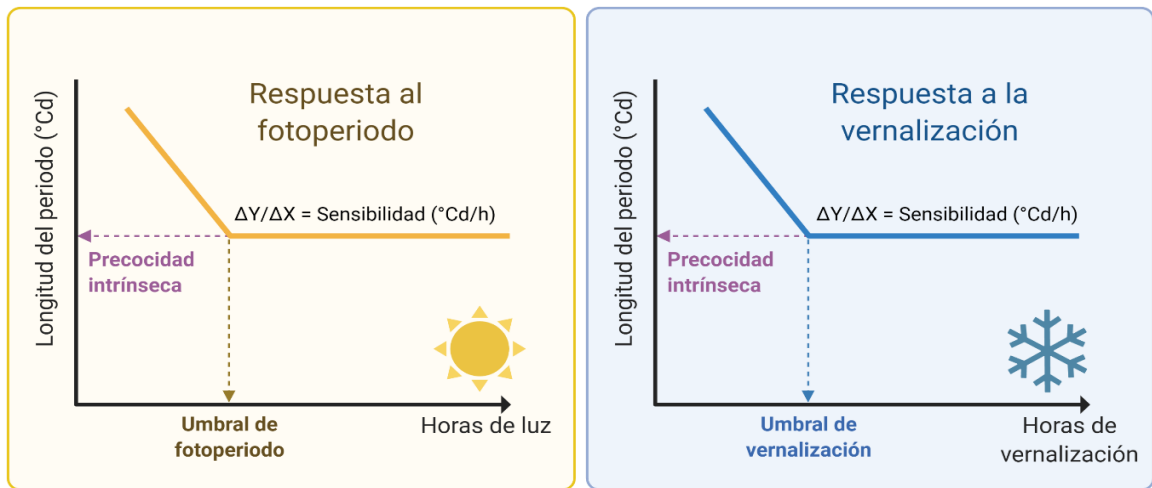
1972). Como se indicó la temperatura es universal y afecta todas las fases y genotipos, en tanto que la vernalización afecta el tiempo hasta diferenciación del doble lomo y la etapa hasta espiguilla terminal y el fotoperíodo afecta la etapa hasta doble lomo, hasta espiguilla terminal y hasta antesis.

Gomez *et al.* (2014) en un set de 32 cultivares argentinos determinaron que la sensibilidad fotoperiódica explicó la mayor parte de la variación en fechas de espigazón, que la mayor parte de la variación se debe a la combinación de los genes *Pd1* y *Vrn1* y que se observó poca variación en precocidad intrínseca. Trabajos realizados por Appendino *et al.* (2003), analizando 68 cultivares de trigo argentino, señalan diferente grado de respuesta a la vernalización, aunque la mayoría de los genotipos son de hábito primaveral y por lo tanto tienen bajos requerimientos. De igual manera, Vanzetti *et al.* (2013) en un estudio molecular realizado sobre cultivares de trigo argentinos, encontraron que la mayor parte de los genotipos evaluados presentó hábito primaveral, y solo unos pocos fueron genotipos invernales. Dietz (2021) determinó en un set de 10 cultivares de trigo respuesta a tratamientos de vernalización de 20 días a 4°C en nueve de ellos y de más de 40 días a dicha temperatura en uno de los cultivares.

Por su parte, el efecto de la temperatura es universal, afectando todas las fases y genotipos, el incremento de la temperatura acelera la tasa de desarrollo desde que la semilla se embebe en agua y continua hasta la madurez (Angus *et al.*, 1981; Slafer & Savin, 1991), por lo que temperaturas frescas alargarán el período a diferenciación reproductiva, el tiempo a espiguilla terminal y las restantes fases. La duración de todas las fases puede ser considerada en tiempo térmico, que surge de multiplicar el tiempo calendario por las temperaturas medias de la fase (cuando es a campo) sobre la temperatura base y sus unidades serán °C día. Como se indicó en el capítulo de crecimiento y desarrollo vegetativo, la respuesta lineal de la tasa de desarrollo a la temperatura, al menos dentro de un rango de temperaturas permite utilizar el tiempo térmico para medir cualquier etapa de desarrollo, haciendo que la duración en °C día de cualquier etapa sea independiente de la temperatura.

En la Fig.3.2 se indica la respuesta a estos factores a través de un modelo cuantitativo, en los que se señala un período subóptimo en que hay una respuesta a los factores y otro en que se ha alcanzado la máxima tasa de desarrollo por haberse satisfecho los requerimientos necesarios de cada uno de los factores (vernalización/fotoperíodo). Óptimo implica una máxima tasa de desarrollo, de manera que se logrará el tiempo mínimo a espigazón, aunque para el cultivo puede no ser óptimo porque acelera sus fases. La respuesta, como se señaló, es generalmente cuantitativa ya que no es una condición obligatoria para pasar al estado reproductivo; cuando los requerimientos no se cumplen se requiere un mayor tiempo térmico para cumplir una determinada fase. Sin embargo, Rahman (1980) y González *et al.* (2002) confirmaron que las respuestas cualitativas no son una excepción en genotipos con altos requerimientos.

Frecuentemente se producen interacciones entre fotoperíodo y vernalización. Diversos investigadores (Slafer & Rawson (1994, Dietz *et al.*, 2021) demostraron una baja respuesta al fotoperíodo cuando los requerimientos de vernalización o parte de ellos no fueron satisfechos. El fotoperíodo y la vernalización interactúan fuertemente para determinar el desarrollo de las fases y el momento de espigazón del cultivo.



Creado con BioRender.com

Figura 3.2. Respuesta general al fotoperiodo o vernalización. Longitud del periodo de desarrollo ($^\circ\text{Cd}$) en función de la duración del día (fotoperiodo en horas) o de las horas de vernalización. Adaptado de Miralles et al. (2014).

A través de estos requerimientos el trigo puede ubicar su floración luego de la fecha media de última helada o puede evitar acelerar su floración cuando se lo siembra muy temprano con temperaturas y fotoperíodos elevados. Al contrario, ante siembras tardías, ciertos genotipos con requerimientos importantes, como sucede en algunos sembrados en Argentina pueden no llegar a cubrir sus requerimientos de horas de frío cuando se siembran en regiones o épocas inadecuadas, produciéndose no sólo un retraso en la fecha de antesis, sino también una espigazón y antesis desapareja en el lote (Miralles, et al., 2014).

En relación al macollaje, la radiación acumulada durante el período está relacionada con la cantidad máxima de macollos y si bien las temperaturas de alrededor de 20°C - 25°C incrementan la tasa de macollaje, las temperaturas frescas entre 8 y 12°C incrementan la longitud del mismo originando una mayor cantidad de macollos final. Así Friend (1965) en un ensayo con temperaturas entre 10 y 30°C encontró una tasa máxima de producción con 20°C , pero la mayor cantidad de macollos se logró con 10°C debido a la mayor longitud de las fases. Además, si bien la máxima tolerancia a sequía se manifiesta en este subperíodo, cuando el estrés hídrico es prolongado y el cultivo avanza en su estación de crecimiento, especialmente con mayores temperaturas o fotoperíodos, se acelera la manifestación de las fases. Blum et al. (1990) indicó que la recuperación luego de la sequía dependió del mantenimiento del número de granos.espiga⁻¹ en condiciones de estrés y la producción de espigas luego de la recuperación. Cuando la sequía sucedió hacia el final del macollaje, la recuperación fue menor ya que el número de granos.espiga⁻¹ y el macollaje luego de la recuperación se redujeron y señaló que el rendimiento estuvo más relacionado con el número de granos.espiga⁻¹ que con el número de macollos.

Los días largos contribuyen a una menor duración del macollaje, a través de una aceleración de la tasa de desarrollo y consecuentemente la formación de espiguillas, hasta llegar a la espiguilla terminal y elongación del tallo que causa mayor competencia por recursos y sombreado y cambia la relación rojo: rojo lejano en el canopeo inhibiendo las yemas que generan

macollos (Evers *et al.*, 2007). Además, cuando los requerimientos de vernalización se satisfacen rápidamente, el período de macollaje también se acortará, al acortarse el período a espiguilla terminal, efecto que resulta más marcado con genotipos portadores de algunos alelos que condicionan la respuesta a la vernalización (Emtseva, 2013). Los macollos tardíos presentan usualmente un menor número de espiguillas desarrolladas y de granos por el acortamiento en su desarrollo.

Además, la duración del macollaje está influenciada por factores culturales como la época y densidad de siembra y la disponibilidad de recursos. Así, una época temprana de siembra condicionará una mayor duración del macollaje, ya que el cultivo se desarrolla con menores temperaturas y fotoperíodos más cortos. En esas condiciones puede utilizarse una menor densidad de siembra, ya que cada planta originará una mayor cantidad de macollos, en densidades muy altas la cantidad de macollos.planta⁻¹ disminuye, aunque el número por unidad de superficie puede ser similar al aumentar la cantidad de plantas.

La fertilización nitrogenada a la siembra y al inicio del macollaje, el estado hídrico y la radiación incidente en el cultivo, también inciden en la cantidad de macollos generados y en su supervivencia y determinan una mayor área foliar, interceptación de la radiación, un mayor número de espigas.m⁻² y rendimiento. Un cultivo en buenas condiciones ambientales y nutricionales puede generar 1000-1500 macollos.m⁻² e incluso más, pero habrá mortandad de macollos y el número final podrá alcanzar 400 a 700 espigas.m⁻² (Miralles *et al.*, 2014). Durante el período de macollaje se define el número potencial de macollos y por lo tanto de espigas.m⁻² y el número potencial de espiguillas.espiga⁻¹. La mortandad de macollos contribuye a lograr una fecha similar de antesis entre los macollos de una misma planta; además la iniciación de espiguillas se produce más rápidamente en los macollos que en el tallo principal.

Si bien el macollaje es el período de mayor resistencia a adversidades, entre ellas las climáticas y el punto de crecimiento se encuentra por debajo de la superficie del suelo, temperaturas inferiores a -11°C durante 2 h en trigos invernales producen clorosis y quemado de las puntas de las hojas, originando daños de leves a moderados en el rendimiento. La mayor parte del daño ocurre en las hojas que además se retuercen. También puede haber un olor a vegetación deshidratada luego de varios días. Se retrasa el crecimiento y se puede reducir el número de macollos, pero usualmente el crecimiento de nuevas hojas y macollos con temperaturas más templadas mejora la situación (Klein & Drew, 2020). Es también afectado por la sequía. Entre las adversidades bióticas en este período pueden señalarse el pulgón verde, la mancha amarilla, la mancha de la hoja y otras manchas, el oidio y las royas. Durante el macollaje se definen potencialmente dos componentes del rendimiento: el número potencial de espigas.m⁻², a través del número potencial de macollos y el número potencial de espiguillas. espiga⁻¹, mediante el número de espiguillas diferenciadas hasta espiguilla terminal.

Etapa reproductiva tardía

Encañazón, espigazón, floración

Cuando todas las espiguillas de la espiga están formadas, de manera que se ha formado la espiguilla terminal se inicia la encañazón (Fig.3.3a), el ápice ha ascendido sobre la superficie del suelo y se visualiza un nudo a 1 cm sobre el suelo, se elongan los entrenudos del tallo, tomando la planta un porte erecto. La escala de Zadoks *et al.* (1974) indica esta fase como producción de nudos en el tallo principal (mencionado como 3), siendo el segundo dígito la cantidad de nudos que se han generado. El ápice tiene en ese momento alrededor de 4mm y se han diferenciado entre 7 y 12 hojas en el tallo principal (Acevedo, 2002). Como se indicó cesa la producción de macollos (Baker & Gallagher, 1983) y comienza su mortandad (Gallagher & Biscoe, 1978). En este momento, ya se ha iniciado un número de flósculos (flores) de entre 3 y 5 en las espiguillas centrales, en tanto que las restantes aún no han iniciado la formación de flores, el 40 a 50% de las flores están formadas en este momento (Miralles *et al.*, 2007). Las flores se van desarrollando desde la base de cada espiguilla hacia las posiciones distales (Sibony & Pinthus, 1988). La iniciación de las flores dentro de cada espiguilla continúa durante la encañazón hasta 200-300°C días antes de la aparición de la lígula de la hoja bandera (Kirby, 1988).

En cada una de las espiguillas se forman entre 6 y 12 flores (Sibony & Pinthus, 1988), dependiendo de la posición de la espiguilla, de las cuales un máximo de cinco flores completan su desarrollo. De acuerdo a Kirby (1988) esa "mortandad" de flores está relacionada con la competencia por asimilados por el rápido crecimiento de tallos y espigas y se produce porque pocas flores continúan su desarrollo ya que la tasa de desarrollo decrece progresivamente desde las flores que están en posiciones proximales con respecto al raquis comparado con las distales (Langer & Hanif, 1973). El porcentaje de flores que continúan su desarrollo depende de la partición de asimilados entre espigas y tallos, cuanto mayor es la partición hacia la espiga en antesis mayor es el número de flores fértiles (Brooking & Kirby, 1981, Slafer & Miralles, 1993).

El crecimiento de la raíz puede ser mayor al del tallo a bajas temperaturas (Welbank, 1971), pero cuando esta aumenta, el tallo crece más que la raíz (Brouwer, 1966), indicando que el crecimiento del tallo tiene una temperatura óptima más alta que la de la raíz, pero esta diferencia puede deberse a una mayor competencia por compuestos orgánicos entre ambos órganos a las temperaturas más altas (Friend, 1966). Las raíces no se ven favorecidas en la competencia con otros órganos cuando existe un suministro limitado de carbohidratos disponibles; las hojas inferiores constituyen su principal fuente de compuestos orgánicos (Wardlaw, 1967). Además, un déficit de agua moderado y la baja disponibilidad de nitrógeno puede reducir el crecimiento del tallo, en tanto la raíz puede continuar creciendo, aumentando la relación raíz/tallo (Brouwer, 1966).

El crecimiento de la espiga es lento en el inicio y se incrementa cuando se visualiza la lígula de la hoja bandera. El cese de la formación de las flores se produce desde el estadio de vaina engrosada (Fig. 3.3b), hasta antesis (Fig. 3.3d), solo alrededor del 15 al 40% continuará su desarrollo hasta convertirse en flores fértiles (González *et al.*, 2011).

En esta etapa de encañazón se elongan los entrenudos, excepto los de la base que tienen escasa elongación, dando origen al tallo, cada entrenudo se va elongando más que el anterior. El

último es el pedúnculo de la espiga. Luego emerge la última hoja que es la bandera y corresponde al EC 3.7 cuando comienza su aparición y 3.9 cuando está totalmente desplegada (Zadoks *et al.* 1974). Posteriormente, se produce el estado de vaina engrosada en que la espiga está encerrada en la vaina de esta hoja. Este estadio se indica como EC 4 en la mencionada escala, en tanto el segundo dígito señala los diferentes estadios antes de la emergencia de la espiga en que la espiga crece y la vaina se va abriendo hasta el EC 4.9 en que aparecen las aristas. Se produce además la meiosis de los granos de polen que madurarán en antesis y luego se elonga el pedúnculo y emerge la espiga. El estadio de espigazón (Fig.3.3c) se indica como EC 5 en la misma escala, indicando el segundo dígito diferentes estadios de la emergencia de la espiga, desde el inicio de la emergencia y siendo el EC 5.5 cuando la mitad de la espiga está emergida. Luego de la espigazón, el trigo se autofecunda dentro de las mismas flores (cleistogamia) lo que se denomina floración y las flores se abren emergiendo las anteras (antesis). Este estadio se indica como EC 6, con el segundo dígito indicando diversos estadios de la madurez de las anteras, así 6.5 indica anteras amarillas en el 50% de las espigas. El grado de extrusión de las anteras es genotípico y la radiación y temperatura pueden afectarlo (Ueno & Itoh, 1997) (Fig.3.3b).

Durante el período que va de encañazón a floración se definen componentes del rendimiento, así en el inicio del período cuando se forma la espiguilla terminal quedará definido el número potencial de espiguillas, en tanto que el número final de espigas, espiguillas y flores fértiles quedará definido en antesis. La determinación de los componentes es secuencial, con algún grado de superposición entre ellos. La mayor parte de estas flores fértiles producirá granos. Así, este período es esencial para la determinación del número de granos.m⁻² (Fischer, 1985a) que es el componente más importante del rendimiento (Slafer *et al.*, 2003, Peltonen-Sainio *et al.*, 2007, Fischer, 2008) y la disponibilidad de asimilados para el crecimiento de la espiga es esencial para la determinación de este componente. Este período crítico abarca desde unos 20 a 30 días antes de floración hasta unos 5 a 10 días posteriores a floración (Fischer, 1985a) y el cultivo debe disponer de las mejores condiciones hídricas, nutricionales, de radiación y temperatura. En este período se produce la mortandad de los macollos y flores y un activo crecimiento del pedúnculo de la espiga y de la espiga misma y se determina el número de granos.m⁻².

El coeficiente fototermal que es la relación entre la radiación incidente (en condiciones hídricas y nutricionales adecuadas para lograr una alta interceptación de esta radiación) y la temperatura por arriba de la base, que se considera 4,5°C en el período crítico es esencial en la determinación del rendimiento (Fischer, 1985a). Dhillon & Ortiz Monasterio (1993) encontraron una alta asociación entre el coeficiente fototermal y el número de granos.m⁻². Una buena radiación interceptada determina una mayor tasa de crecimiento y dado que el aumento de temperatura acelera las fases, una temperatura relativamente baja determina el alargamiento del período, condicionando una mayor generación de biomasa y componentes del rendimiento durante el crecimiento de la espiga. Es conocido que la relación entre la cantidad de radiación interceptada y la tasa de crecimiento del cultivo es lineal (Monteith, 1977) y el rendimiento del trigo se puede expresar a través de la biomasa acumulada durante el ciclo y su partición a los órganos reproductivos que es el índice de cosecha (Van der Werf, 1996). Así, la biomasa se determina mediante la radiación incidente durante el ciclo del cultivo multiplicada por la eficiencia de interceptación que es función del índice de área foliar y de

la arquitectura del canopeo (Monteith, 1977) y por la eficiencia de conversión o eficiencia de uso de la radiación que indica la capacidad del cultivo de transformar la energía lumínica interceptada o absorbida en biomasa (Evans *et al.*, 1978).

El rendimiento puede también ser expresado a través de sus componentes numéricos: el número de granos.m⁻² y el peso de los granos (Slafer & Rawson, 1994). Si bien el número de granos.m⁻² es el componente más importante del rendimiento (Austin, 1980, Slafer *et al.*, 1990), también el peso de los granos adquiere importancia. Ambos componentes del rendimiento suelen estar negativamente asociados no solamente por el hecho de que hay una menor cantidad de asimilados por grano cuando hay un mayor número de granos, sino también porque al haber mayor número de granos se forman más flores distales que tienen un peso potencial menor al formarse más tarde y al no tener comunicación directa con el raquis (Slafer *et al.*, 1996). Como se indicó, durante el crecimiento de la espiga, se pierden granos potenciales debido a la competencia por recursos (Acevedo, 2002). El número de flores fértiles se relaciona con el peso seco de la espiga (Fischer, 1983). A su vez el peso seco de la espiga depende de 1-la tasa de crecimiento de la espiga, 2-la duración de la fase de crecimiento y 3- la partición de asimilados hacia la espiga (Acevedo, 2002). Una etapa más larga implica una mayor radiación fotosintéticamente activa acumulada e incrementa la disponibilidad de carbohidratos hacia la espiga, por lo que el peso de la espiga en antesis se incrementa (González *et al.*, 2003).



Fig. 3.3. Encañazón (a), estadio de vaina engrosada (b), espigazón (c) y floración o anthesis (d) en trigo. Gentileza Dra. María Constanza Fleitas

Asimismo, se ha observado variación genotípica en la duración de la etapa reproductiva tardía de alrededor de 250°C.d para la fecha de siembra recomendada (Whitechurch *et al.*, 2007a) y también para la duración de la etapa, manteniendo similar fecha de antesis, asociado a la respuesta al fotoperíodo y vernalización (Whitechurch *et al.*, 2007b).

El número de granos está determinado por el número de espigas-m⁻² y el número de granos.espiga⁻¹. El mejoramiento ha conducido a un incremento del número de granos.espiga⁻¹, que condujo a un mayor número de granos.m⁻². Esto se ha debido a un incremento de la proporción de peso seco de espiga con respecto al total de materia seca en antesis y una mayor partición hacia la espiga en las tres semanas previas a antesis que es cuando la hoja bandera y la última hoja han aparecido (Slafer *et al.*, 1990). La introducción de los genes *Rht* de enanismo fue de importancia en este incremento de la partición hacia la espiga, aumentando el peso seco de la espiga en antesis, que condujo a un incremento de flores fértiles y de granos.espiga⁻¹ (Youdsefian *et al.*, 1992; Miralles & Slafer, 1995). El mejoramiento impactó más en la supervivencia de las flores que en el número de flores diferenciadas (Siddique *et al.*, 1989). Es importante incrementar durante este período el suministro de asimilados a través de un alto índice de área foliar y alta tasa de fotosíntesis. Un estrés en este período decrece los destinos (número de granos potenciales) y la fuente (índice de área foliar) (Frederic & Bauer, 2000).

La espiga de trigo posee solo una espiguilla por nudo del raquis, con tres a seis flores fértiles que se autopolinizan (Kirby & Appleyard, 1984), la fecundación cruzada puede alcanzar 2-3% (Martin *et al.*, 1976). Las flores de trigo constan de glumelas (lemma y palea) y entre ellas los órganos florales y las lodículas en la base de las flores. Cuando estas se vuelven turgentes las glumelas se abren, originando la antesis y se produce la polinización (de Vries, 1971). La fecundación se produce previo a la antesis, con la mayor parte de las semillas producidas por autofecundación, lo que es favorable para minimizar efectos ambientales en la polinización y asegurar rendimientos estables. Esta característica de cleistogamia se ha incrementado con la introducción del germoplasma proveniente de la revolución verde con los genes *RhtB1* y *RhtD1* que acentuó las glumas más rígidas y la retención de anteras (Buerstmayr & Buerstmayr, 2016), que además son pequeñas. Esta particularidad de reducida extrusión de anteras es también favorable para disminuir la incidencia de la Fusariosis en el cultivo (Gilsinger *et al.*, 2005) y para lograr la homogeneidad que se necesita para registrar variedades y producir semilla de las mismas. Sin embargo, frecuentemente las anteras salen de las flores (extrusión) dependiendo del genotipo y del ambiente y hay variabilidad para fecundación cruzada en los genotipos con un mayor grado de apertura y extrusión. Dicha extrusión de anteras es una característica deseada para la producción de trigos híbridos que implican el aprovechamiento de la F₁ comercial y que significa un costo adicional en la producción de semilla dada las características de autogamia del trigo.

La antesis comienza en la parte central de la espiga y continua hacia la parte basal y apical durante 3 a 5 días (Peterson, 1965). Las flores cercanas al raquis de las espiguillas centrales se fertilizan antes que las distales y usualmente estos granos tienen mayor peso (Simmons & Crookston, 1979).

Para este período se consideran adecuadas temperaturas entre 15,5 y 17,7°C (Menéndez & Satorre, 2007). El número de granos decrece un 4% por cada grado de incremento en la temperatura en los 30 días previos a antesis (Fischer, 1985b). Asimismo, temperaturas durante encañazón inferiores a -4°C producen daños en el ápice, amarillamiento y quemado de hojas y lesiones en los tallos. Durante el estadio de vaina engrosada temperaturas inferiores a -2°C producen daños en las flores, las espigas pueden quedar atrapadas en la vaina de la hoja bandera, daños en tallos, decoloración de hojas. Cuando en espigazón y floración se producen temperaturas inferiores a -1°C, causan daños en las flores, espigas y aristas blancas, daños en tallos y decoloraciones de hojas (Klein & Lyon, 2006). Los daños son más severos en espigazón y floración, pero ya desde encañazón hay daños importantes y luego también en grano lechoso (Klein & Lyon, 2006).

Además, tanto un estrés hídrico como un estrés biótico conducen a una menor cantidad de granos.m⁻². Las disminuciones en la fotosíntesis de la hoja y en el índice de área foliar debidas a sequía ocurridas previo a la antesis se correlacionan con reducciones en el número de granos por espiga, que puede ser mejor explicado por la reducción en el crecimiento de la espiga en estas condiciones que por una reducción en el suministro de asimilados (Nanomi & Boyer, 1989).

Asimismo, la encañazón es el período de máxima absorción de nutrientes y la mayor parte del N se absorbe previo a la antesis (Oscarson *et al.*, 1995), así una adecuada disponibilidad de nitrógeno es esencial en este período. Para maximizar el crecimiento de la espiga una estrategia es incrementar la duración de la etapa pre-antesis (Slafer *et al.*, 1996), aumentando la radiación interceptada para lo que hay que mantener la fecha de antesis que se encuentran dentro del óptimo en las regiones trigueras. Esto implica alargar esta etapa reduciendo la fase vegetativa o la reproductiva temprana (Slafer *et al.*, 1996).

Asimismo, las enfermedades foliares pueden producir importantes disminuciones en el rendimiento y sus componentes. Estas afectan la duración del área foliar verde (Castro *et al.*, 2018, Schierenbeck *et al.*, 2019a, b, c) por necrosis y muerte de macollos y por lo tanto reducen la capacidad del cultivo de interceptar y absorber radiación y pueden afectar la eficiencia de uso de la radiación, dependiendo del hábito nutricional de los patógenos involucrados. Como consecuencia, causan disminuciones en la tasa de crecimiento del cultivo (Bancal *et al.*, 2008, Carretero *et al.*, 2010, Castro & Simón, 2016, Schierenbeck *et al.*, 2016) afectan en el número de granos.m⁻², el peso de los granos, el rendimiento y la dinámica del nitrógeno afectando la calidad del grano (Simón *et al.*, 1996, 2002, 2011, Simón *et al.*, 2013, Castro & Simón, 2016, 2017, Fleitas *et al.*, 2017, Castro *et al.*, 2018, Fleitas *et al.*, 2018a, b, Schierenbeck *et al.*, 2019a, b, c).

Etapa de desarrollo y llenado del grano

Luego de la fecundación, comienza la división celular. Los núcleos primarios del endosperma se dividen rápidamente, dando numerosos núcleos libres relacionados con el número de células endospermáticas. Unos 8 a 10 días después de la fecundación se forman las primeras capas de células del endosperma, siendo su desarrollo inicial a expensas de las antípodas y

del tejido nucelar circundante, unos 10 a 14 días posteriores a la fertilización, las células del endosperma están formadas y comienza la fase líneal de llenado.

El crecimiento del grano sigue una curva sigmoideal, comenzando con una fase denominada "lag" o cuaje en que las células del endosperma se dividen rápidamente con poco incremento del peso del grano. En esta etapa se determina el peso potencial del grano (Brocklehurst, 1977), se forman los sitios donde se acumularán almidón y proteínas y empieza a aparecer una pequeña cantidad de proteínas especialmente metabólicas y gliadinas y de almidón. Luego sigue la fase de llenado en que el peso seco se incrementa como una función lineal hasta una tasa máxima, luego la tasa de acumulación de materia seca disminuye hasta la madurez fisiológica en que no se producen incrementos posteriores de peso seco (Brocklehurst, 1977). Las fases de llenado del grano luego de la fase de multiplicación celular comprenden el grano lechoso con más de 40% de humedad, el pastoso entre 30 y 40% y el grano duro con menos del 30% y luego se produce la pérdida de humedad hasta madurez comercial. Los diferentes estadios se detectan a través de presión en el grano y por observación de la consistencia del mismo. Durante la fase de multiplicación celular la coloración es verdosa y el contenido predominante es agua, correspondiendo este estadio a EC71, luego en el estadio lechoso temprano el contenido del grano es blanco (EC73). En grano lechoso intermedio (EC75), el grano tiene aproximadamente el 50% de su peso final y en estado lechoso tardío (EC77) el grano ha alcanzado el 80% de su peso y la tasa de llenado comienza a reducirse (Abbate & Divito, 2017). En grano pastoso, el grano adopta una consistencia pastosa y varía su color verde hacia el amarillo, en pastoso temprano (EC83) todas las estructuras se desarrollaron y el máximo peso se alcanza en EC85 que corresponde a pastoso duro. La madurez fisiológica se produce con porcentajes de humedad entre 36 y 41 % (Calderini *et al.*, 2000) en que las hojas están senescentes y los tallos, pedúnculo y espigas amarillean.

Los principales componentes del endosperma del grano son el almidón y las proteínas. El almidón es el 65 a 80% del peso del grano, está constituido por amilosa (25-30%) y amilopectina (70-75%) y determina en mayor medida el peso del mismo, en tanto que las proteínas representan un 10 a 15% (Hurkman *et al.*, 2003). Los carbohidratos provienen fundamentalmente de la fotosíntesis durante el llenado (Blum, 1998), en tanto que las proteínas provienen de: 1- el N acumulado previo a la antesis y derivado al grano, 2: el N absorbido del suelo luego de la antesis, 3: la redistribución durante el llenado (Gaju *et al.*, 2014). A diferencia de lo que sucede con los carbohidratos la mayor parte (50-95%) proviene de la removilización (Palta & Fillery, 1995), siendo las hojas y tallos la fuente principal (Critchley, 2001). Por su parte el N absorbido post antesis puede contribuir un 5 a 50% dependiendo del N disponible en el suelo, características ambientales, estado radicular y factores bióticos y abióticos presentes (Palta *et al.*, 1994, Barbottin *et al.*, 2005).

Las primeras proteínas que se forman en el grano en los 10 días posteriores a antesis son las metabólicas, es decir las abúminas y las globulinas (Gupta *et al.*, 1991), representan un 20 a 30% del total de proteínas y contienen aminoácidos esenciales comparadas con las prolaminas (Tasleem-Tahir *et al.*, 2012). Si bien se acumulan durante todo el llenado, representan un bajo porcentaje en la madurez fisiológica dado que ya se han acumulado proteínas de reserva

que representan el 70 a 80% (Stone & Savin, 1999). Si bien se ha reportado que algunas albúminas tienen influencia en las propiedades reológicas de la masa, las proteínas formadoras de gluten (gluteninas y gliadinas) son las principales responsables de las propiedades viscoelásticas de la masa. Así, el gluten está compuesto principalmente por gliadinas, solubles en alcohol y gluteninas solubles en ácidos o bases diluídas. Las gliadinas se empiezan a acumular 5 a 10 días después de la fecundación y las gluteninas unos 20 días después y se acumulan hasta el final del llenado (Panozzo *et al.*, 2001). Las gliadinas aportan la extensibilidad y viscosidad a la masa, en tanto que las gluteninas aportan la elasticidad y fuerza de la masa (Wieser, 2007). Cualquier factor que afecte la longitud y tasa de llenado del grano puede alterar la concentración y la composición de las proteínas y afectar las propiedades de la masa (Jamieson *et al.*, 2001). La proteína está generalmente correlacionada con la cantidad de gluten, que se basa en la configuración de tres proteínas de alto peso molecular, tres de bajo peso molecular y seis loci codificando gliadinas (Wrigley *et al.*, 2006) (Fig.3.4).

Finalmente, en el estado de madurez el sistema vascular de la espiga se bloquea y el pedúnculo adopta un color más oscuro. El grano se vuelve de color marrón dorado, luego alcanza la madurez comercial (EC92) con 14% de humedad en base húmeda (Abbate & Divito, 2017). Entre grano lechoso y pastoso, el contenido de agua se hace constante, se alcanza el "plateau hídrico" en que la cantidad de agua que ingresa compensa a la que se pierde, que es una etapa crítica ya que la interrupción del suministro de agua en este momento en que se produce la máxima tasa de crecimiento disminuye la migración de asimilados al grano (Miralles & Serrago, 2007). Entre el inicio de llenado y la madurez fisiológica, la tasa de pérdida de humedad no presenta importantes variaciones, sin embargo desde madurez fisiológica a madurez comercial es muy variable, siendo determinada por la demanda atmosférica y la temperatura del aire y variando entre 0,6-1% hasta 4-5% de pérdida de humedad por día (Miralles & Serrago, 2007).

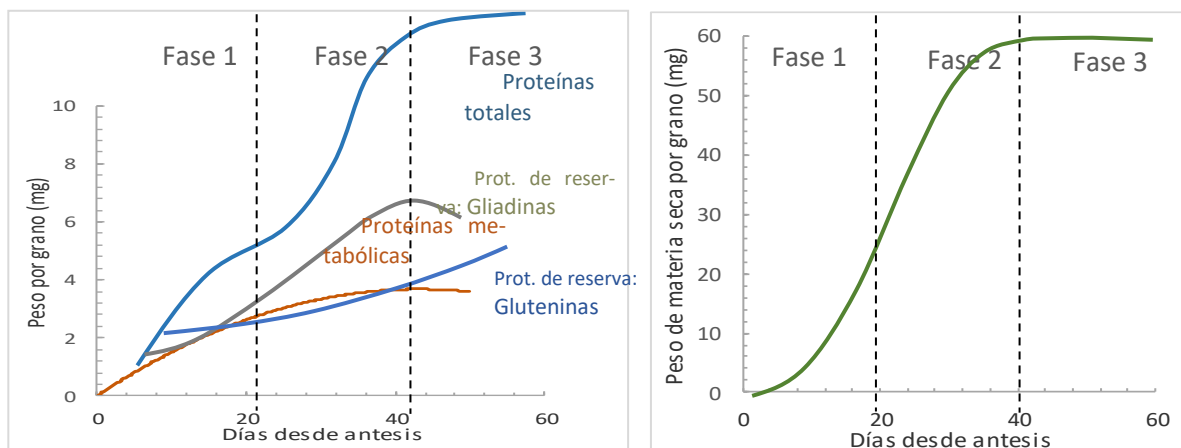


Fig.3.4. Acumulación de proteínas e hidratos de carbono en el grano de trigo, fase 1: cuaje; fase 2: llenado de grano; fase 3: madurez fisiológica.
(Adaptado de Stone & Nicolas, 1996 y Stone & Savin, 1999)

Si bien el peso del grano tiene menor incidencia que el número de granos. m^{-2} en la determinación del rendimiento, es un carácter que también debe ser incrementado a través del mejo-

ramiento. Usualmente hay una relación negativa entre el número de granos.m⁻² y el peso de mil granos (Slafer & Andrade, 1993). Esto puede explicarse básicamente por dos teorías: 1- la acumulación de peso seco es mayor en los granos del centro de la espiga y proximales dentro de las espiguillas respecto al raquis, por lo que al generarse un mayor número de granos. espiga⁻¹ a través del mejoramiento, se incrementan los granos en posiciones distales de la espiga y dentro de la espiguilla que tienen menores tasas de crecimiento. 2- Si la producción de fotoasimilados no se incrementa proporcionalmente al incremento en el número de granos, el incremento en el número de granos conducirá a una menor tasa de crecimiento de los mismos.

Los hidratos de carbono que se forman durante el llenado provienen en mayor medida de la fotosíntesis durante el llenado, por lo que el 70 a 90% del peso del grano proviene de esta fotosíntesis (Austin & Jones, 1975), en tanto que el resto proviene de la removilización de fotosintatos formados previamente a la antesis, desde la hoja bandera, que aporta aproximadamente la mitad de este remanente y luego de la penúltima hoja, vainas de las hojas y espiga, aunque este porcentaje se puede incrementar en condiciones de estrés (Rawson *et al.*, 1983).

Se ha mencionado que en muchos casos, el incremento de la fotosíntesis de la hoja bandera tiene poco efecto en el incremento de la tasa de crecimiento del grano (Frederick & Camberato, 1995). Dentro de un determinado genotipo, esto indica que la provisión de asimilados puede no ser limitante en la tasa de crecimiento del grano al menos en las etapas tempranas de llenado del mismo antes de la senescencia de las hojas y la duración del llenado puede ser tan importante como la tasa de fotosíntesis (Frederick & Bauer, 2000).

Las altas temperaturas entre antesis y madurez fisiológica afectan la disponibilidad y translocación de fotoasimilados al grano y la síntesis y deposición de almidón, resultando en un menor peso de grano. Acevedo (1991) reportó una reducción de 4% por grado de incremento en la temperatura media superiores a 25.6°C durante el llenado, si bien la tasa de llenado se incrementó hasta esa temperatura, la duración del llenado comenzó a decrecer a 24°C. El acortamiento del llenado se compensa parcialmente por la tasa de llenado que se incrementa hasta más altas temperaturas (Sofield *et al.*, 1977). La tolerancia al estrés térmico se produce en parte por la síntesis de proteínas de estrés térmico que se inducen también por sequía y salinidad (El Madidi & Zivy, 1993).

La sequía conduce a menores incrementos en el peso seco y acumulación de carbohidratos durante estadios tempranos del llenado, lo que se incrementa en condiciones de estrés térmico (Rawson & Evans, 1971), las reservas del tallo pueden mantener una tasa lineal de llenado cuando declina la producción de fotoasimilados (Simmons, 1987). A su vez, la duración del llenado puede ser afectada por diferentes factores. Así, la senescencia de las hojas determinará la duración del llenado que se relaciona con la provisión de nitrógeno (N). Aunque el N del grano proviene en su mayor parte de la removilización de N acumulado previo a la antesis, también el cultivo puede absorber N luego de la antesis (van Sanford & MacKown, 1987) por lo que la disponibilidad en el suelo, la actividad de las raíces luego de la antesis y las aplicaciones tardías de N pueden favorecer la absorción de N postantesis y removilizar al grano. La hoja bandera senesce rápidamente cuando el grano llegó a la mitad de su tamaño final (Frederick, 1997), lo que acorta la duración del llenado y la fotosíntesis y removilización de la espiga serán

a partir de ese momento, la principal fuente de carbohidratos para el llenado. El contenido de proteína en estas condiciones de sequía usualmente se incrementa al reducirse la acumulación de carbohidratos y mantenerse la acumulación de N (Frederic & Bauer, 2000).

Los agentes bióticos, entre ellos las enfermedades pueden también afectar el número y peso de granos modificando el contenido de proteína de los granos y la calidad panadera y comercial, dependiendo del nivel y momento de infección, características de los cultivares y hábito nutricional de los agentes bióticos involucrados.

Si bien hay una relación generalmente negativa entre el número de granos.m⁻² y el peso de los granos (Pinthus & Miller, 1978, Slafer & Miralles, 1993), en algunos genotipos con mayor cantidad de espiguillas, no se han encontrado reducciones en peso de mil granos (Wolde *et al.*, 2019), lo que indica que se puede lograr un mayor peso de mil granos manteniendo el número de granos.m⁻², mejorando el rendimiento (Mashilo *et al.*, 2019). Además, el peso de mil granos es un carácter estable que puede seleccionarse en generaciones segregantes (Sehgal *et al.*, 2019) y que está relacionado con el rendimiento en harinas (Marshall *et al.*, 1986).

Las temperaturas óptimas en el período crítico del trigo se encuentran entre medias de 15 a 20°C (Wardlaw *et al.*, 1989, Shewry *et al.*, 2009). En la región pampeana argentina las temperaturas en el llenado del grano fluctúan entre 17,8 y 19,8°C cuando la antesis se ubica en la época adecuada (Menendez & Satorre, 2007). Djanaguiraman *et al.* (2020) ensayaron diferentes temperaturas diurnas/nocturnas de 22/14°C consideradas como óptimas y de 32/22°C consideradas como altas durante 14 días en dos experimentos (a partir de antesis y de llenado de grano). Estos autores determinaron que el tratamiento con alta temperatura en antesis redujo el número granos.espiga⁻¹ y el rendimiento grano.planta⁻¹, en tanto que en llenado de granos redujo el peso de los granos y el rendimiento grano.planta⁻¹. Además, redujo el índice de clorofila (medido en unidades SPAD) en ambos estadios, redujo la fluorescencia máxima de la clorofila, aumentó el daño en la membrana tilacoidal de los cloroplastos y produjo modificaciones en la composición de los lípidos.

En el estadio de grano lechoso, temperaturas bajas de -2°C causan espigas y anteras blancas, daños en los tallos, decoloración en las hojas, granos arrugados, decolorados y también en grano pastoso las mismas temperaturas originan granos arrugados y decolorados y germinación pobre. Asimismo, las bajas temperaturas pueden producir daños en la calidad del grano. Preston (1991) realizando tratamientos de frío a campo, determinó que cuando los tratamientos se realizaron antes de que el grano tuviera 45% de humedad, es decir en grano lechoso con temperaturas de -3°C se produjeron reducciones en peso del grano y proteína y en el volumen de pan y características de calidad molinera (cenizas en grano y en harina, color y rendimiento en harina) pero la dureza se incrementó. En estadios más avanzados, cuando la humedad disminuyó, se incrementó el almidón dañado, disminuyó la absorción del farinógrafo, peso hectolítrico, cenizas y parámetros de la molienda.

Durante el período de llenado de grano pueden producirse también defectos en la calidad comercial. Así, temperaturas medias relativamente bajas, con baja radiación y alta humedad producirán granos panza blanca, que se ven predispuestos también por factores genotípicos y baja disponibilidad de N. En este caso las bajas temperaturas y la humedad alargan el llenado

originando una panza blanca proveniente de la acumulación de hidratos de carbono. En tanto que altas temperaturas, con alta radiación y baja humedad conducirán a un acortamiento del llenado, originando granos chuzos, ambos defectos se castigan en la comercialización. En los granos panza blanca la concentración de proteínas suele ser menor debido a la dilución con respecto a los hidratos de carbono, en tanto que en los granos chuzos la concentración de proteínas suele ser mayor por un proceso de concentración con respecto a los hidratos de carbono. Sin embargo, este incremento es ventajoso para la calidad panadera por incrementar la fuerza de la masa hasta ciertas temperaturas. Cuando éstas son muy altas (máximas de más de 33°C) el incremento en la fuerza de la masa se pierde (Savin & Sorlino, 2000), además el grano chuzo tiene inconvenientes en la molienda, por menor rendimiento harinero e incorporación de cenizas provenientes de un mayor porcentaje de pericarpio en relación al endosperma. Asimismo, las proteínas son menos sensibles al incremento de la temperatura que los hidratos de carbono. Por otra parte, con incrementos de temperatura puede haber cambios en la composición de las proteínas ya que las gliadinas son menos afectadas por las altas temperaturas que las gluteninas.

Durante este período pueden producirse también granos lavados con lluvias en la madurez que implican pericarpios ásperos que condicionan un menor peso hectolítrico. Pueden producirse también granos brotados, en que por humedad y temperatura en pre-cosecha, se ha quebrado la dormancia y los granos germinan en la planta madre, produciendo una alta actividad de la enzima alfa amilasa que licua el almidón y se detecta mediante el índice de caída o "Falling Number". Este defecto hace que las harinas no sean aptas para panificación y se castiga como granos dañados en la comercialización.

En este subperíodo se define entonces el tercer componente del rendimiento, el peso de los granos, además de los factores abióticos que pueden afectarlo (sequías, heladas, alta temperatura, variaciones en radiación, granizo), también inciden los factores bióticos. Entre estos últimos pueden mencionarse la roya del tallo, la fusariosis, los carbones y el pietín que si bien se iniciaron antes son evidentes en este período y entre las plagas, el pulgón de la espiga y las orugas desgranadoras principalmente.

Referencias

- Abbate, P. & Divito, G. (2017). Como crece y se desarrolla el cultivo de trigo. En G. Divito & G. García *Manual del cultivo de trigo* (7-32). Acassuso: International Plant Nutrition Institute.
- Acevedo, E. (1991). Improvement of winter cereal crops in Mediterranean environments: use yield, morphological and physiological traits. En E. Acevedo, A.P. Conesa, P. Monneveux & P. Srivastava (Eds). *Physiology breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments* (273-305). Montpellier, France, INRA.
- Acevedo, E., Silva, P. & Silva, H. (2002). Wheat growth and physiology. En B.C.Curtis, S.Rajaram & H.Gomez Macpherson, ed. *Bread Wheat Improvement and Production* (1-47). FAO.

- Ahrens, J.F. & Loomis, W.E. (1963). Floral induction and development in winter wheat. *Crop Science*, 3, 463-466.
- Angus J.F., Mackenzie D.H., Morton R. & Schafer C.A. (1981). Phasic development in field crops. II Thermal and photoperiodic responses of spring wheat. *Field Crops Research*, 28,177-181.
- Appendino M.L., Bartoloni N. & Slafer, G.A. (2003). Vernalization response and earliness per se in cultivars representing different eras of wheat breeding in Argentina. *Euphytica*, 130, 61-69.
- Austin, R.B. & Jones, H. G. (1975). The physiology of wheat, *Australian Plant Breeding Institute*, 20.
- Austin, R.B., Bingham, J., Blackwell, R.D., Evans, L.T., Ford, M.A., Morgan, C.I. & Taylor, M. (1980). Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *Journal of Agricultural Science*, 94, 675-689.
- Baker, C.K. & Gallagher, J.N. (1983). The development of winter wheat in the field. The control of primordium initiation rate by temperature and photoperiod. *Journal of Agricultural Science*, 101, 337-344.
- Bancal, M. O., Roche, R. & Bancal, P. (2008). Late foliar diseases in wheat crops decrease nitrogen yield through N uptake rather than through variations in N remobilization. *Annals of Botany*, 102, 579–590.
- Barbottin, A., Lecompte, C., Bouchard, C. & Jeuffroy, M. H. (2005). Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. *Crop Science*, 45, 1141–1150.
- Blum, A. (1998). Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. *Euphytica*, 100, 77-83.
- Blum, A. Ramaiah, S., Kanemasu, E.T. & Paulsen, G.M. (1990) Wheat recovery from drought stress at the tillering stage of development. *Field Crops Research*, 24, 67-85.
- Bonnet, O.O. (1966). Inflorescences of maize, wheat, rye, barley and oats. Their initiation and development. Illinois College of Agriculture. *Agricultural Experiment Station Bulletin* 721.
- Brocklehurst, P.A. (1977). Factors controlling grain weight in wheat. *Nature* 266, 348–349.
- Brooking, I. (1996). Temperature Response of Vernalization in Wheat: A Developmental Analysis *Annals of Botany* 78, 507–512.
- Brooking, I.R. & Kirby, E.J.M. (1981) Interrelationships between Stem and Ear Development in Winter Wheat: The Effect of a Norin 10 Dwarfing Gene, Gai/Rht2. *Journal of Agricultural Science*, 97, 373-381.
- Brouwer, R. (1966). Root growth of grasses and cereals. En F.L. Milthorpe & J.D Ivins (Eds.). *The Growth of cereals and grasses* (153-166), London. Butterworths
- Buerstmayr, M. & Buerstmayr, H. (2016). The Semidwarfing Alleles Rht-D1b and Rht-B1b Show Marked Differences in Their Associations with Anther-Retention in Wheat Heads and with Fusarium Head Blight Susceptibility. *Phytopathology*, 106, 1544-1552.
- Calderini D.F., Abeledo L.G. & Slafer G.A. (2000). Physiological maturity in wheat based on kernel water and dry matter. *Agronomy Journal*, 92, 895-901.

- Carretero, R., Serrago, R. A., Bancal, M. O., Perelló, A. E. & Miralles, D. J. (2010) Absorbed radiation and radiation use efficiency as affected by foliar diseases in relation to their vertical position into the canopy in wheat. *Field Crops Research* 116, 184-195.
- Castro, A. C., Fleitas, M. C., Schierenbeck, M., Gerard, G. S. & Simón, M. R. (2018). Evaluation of different fungicides and nitrogen rates on grain yield and bread-making quality in wheat affected by *Septoria tritici* blotch and yellow spot. *Journal of Cereal Science*, 83, 49-57.
- Castro, A. C., & Simón, M. R. (2016). The effect of tolerance to *Septoria tritici* blotch in grain yield, yield components and quality among Argentinean wheat cultivars. *Crop Protection*, 90, 66-76.
- Castro, A. C. & Simón, M. R. (2017). The impact of *Septoria tritici* blotch in bread-making quality among Argentinean wheat cultivars. *Journal of Cereal Science*, 77, 259-265.
- Chouard P. (1960). Vernalization and its relations to dormancy. *Annual Review of Plant Physiology*, 11, 191-238.
- Critchley, C. S. (2001). A physiological explanation for the canopy nitrogen requirement of winter wheat. PhD thesis, University of Nottingham. Recuperado de <http://eprints.nottingham.ac.uk/id/eprint/12834>.
- De Vries, A.P. (1971). Flowering biology of wheat, particularly in view of hybrid seed production — A review. *Euphytica* 20, 152–170.
- Dhillon, S.S. & Ortiz-Monasterio, J.I. (1993). Effect of date of sowing on the yield and yield components of spring wheat and their relationship with solar radiation and temperature at Ludhiana, Punjab, India. Wheat Special Report No. 23^a. Mexico, DF, CIMMYT.
- Dietz, J.I. (2021). Determinación del periodo crítico y requerimientos de fotoperiodo y vernalización en avena”. Tesis doctoral Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Recuperada de <http://www.sedici.unlp.edu.ar>.
- Dixon L.E., Karsai I., Kiss T., Adamski N.M., Liu Z., Ding Y., Allard V., Boden S. & Griffiths S. (2019). Vernalization 1 controls developmental responses of winter wheat under high ambient temperatures. *Development*. 146, dev172684 1-10.
- Djanaguiraman, M., Narayanan, S. - Erdayani, E & Prasad, P. V. (2020). Effects of high temperature stress during anthesis and grain filling periods on photosynthesis, lipids and grain yield in wheat. *BMC Plant Biology*, 20, 268.
- Dowla, M.N., Edwards, I., O’Hara, G., Islam, S. & Ma, W. (2018). Developing Wheat for Improved Yield and Adaptation Under a Changing Climate: Optimization of a Few Key Genes. *Engineering*, 4, 514-522.
- El Madidi, S. & Zivy, M. (1993). Variabilité génétique des protéines de choc thermique et thermo-tolérance chez le blé. Le progrès génétique passet-il par le repérage et l’inventaire des gènes? En H. Chlyah & Y. Demarly (eds). *Actualités scientifiques* (173-181). Paris. John Libbey Eurotext.
- Emtseva, M.V., Efremova, T.T. & Arbuzova, V.S. (2013). Influence of Vrn-B1a and Vrn-B1c alleles on length of developmental phases of substitution and near-isogenic lines of common wheat. *Genetika*, 49, 632-40.
- Evans, L.T. (1975). Fisiología de los cultivos (traducción de Crop Physiology). Editorial Hemisferio Sur.

- Evans L.T. (1987). Short day induction of inflorescence initiation in some winter wheat varieties. *Functional Plant Biology*, 14, 277-286.
- Evans L.T., Wardlaw I.F. & Fischer R.A. (1978). Wheat. En L.T Evans (Ed.) *Crop Physiology* (101-149) Cambridge University Press, GB.
- Evers, J.B. Vos, J., Chelle, M., Andrieu, B., Fournier, C. & Struik, P. (2007). Simulating the effects of localized red:far-red ratio on tillering in spring wheat (*Triticum aestivum*) using a three-dimensional virtual plant model. *New Phytologist* 176, 325-336.
- Fischer, R.A. (1983). Wheat. En H. Smith (Ed). *Proceeding Symposium Potential Productivity of Field Crops under Different Environments* (129-154). Los Baños, Philippines, IRRI.
- Fischer, R.A. (1984) Wheat. In W.H Smith & S.J. Banta. *Symposium on Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments* (129-153). Los Baños, Philippines, IRRI.
- Fischer, R.A. (1985a). Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science*, 100, 447-461.
- Fischer, R.A. (1985b). Physiological limitation to producing wheat in semitropical and tropical environments and possible selection criteria. In *Proc. Int. Symp. Wheats for More Tropical Environments* (209-230). Mexico, DF, CIMMYT.
- Fischer R.A. (2008). The importance of grain or kernel number in wheat: a reply to Sinclair and Jamieson. *Field Crops Research* 105, 15-21.
- Fleitas, M. C., Castro, A. C. & Simón, M. R. (2017). Quality and yield response to the control of *Mycosphaerella graminicola* in wheat as affected by nitrogen rate and cultivar bread-making characteristics. *Crop Pasture Science* 68, 317-327.
- Fleitas, M. C., Schierenbeck, M., Gerard, G. S., Dietz, J. I., Golik, S. I. & Simón, M. R. (2018 a). Breadmaking quality and yield response to the green leaf area duration caused by fluxapyroxad under three nitrogen rates in wheat affected with tan spot. *Crop Protection* 106, 201-209.
- Fleitas, M. C., Schierenbeck, M., Gerard, G. S., Dietz, J. I., Golik, S. I., Campos, P. E. & Simón, M.R. (2018 b). How leaf rust disease and its control with fungicides affect dough properties, gluten quality and loaf volume under different N rates in wheat. *Journal of Cereal Science* 80, 119–127.
- Flood, R.G. & Halloran, G.M. (1986). Genetics and physiology of vernalisation response in wheat. *Advances in Agronomy* 39, 87-125.
- Frederic, J.R. & Bauer, P. (2000). Physiological and numerical components of wheat yield. En E. Satorre and G.A. Slafer (eds.) *Wheat: ecology and physiology of yield determination* (45-65). New York, London, Oxford Food Product Press. The Haworth Press Inc.
- Frederick, J.R. & Camberato, J.J. (1995). Water and Nitrogen Effects on Winter Wheat in the Southeastern Coastal Plain: II. Physiological Responses. *Agronomy Journal*, 87, 527-533.
- Friedberg, R. (1932). Relation entre la profondeur du noeud de tallage et la resistance au froid. *Annals of Agronomy*, 2, 215-228.
- Friend, D.J.C. (1965). Tillering and leaf production in wheat as affected by temperature and light intensity. *Canadian Journal of Botany*, 63, 1063-1076.

- Friend, D.J.C. (1966). The effects of light and temperatura on the growth of cereals En F.L. Miltorpe & J.D Ivins (Eds.). *The Growth of cereals and grasses* (181-199), London. Butterworths.
- Gaju, O., Allard, V., Martre, P., Le Gouis, J., Moreau, D., Bogard, M. *et al.* (2014). Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and grain nitrogen concentration in wheat cultivars. *Field Crops Research*, 155, 213–223.
- Gallagher, J.N. & Biscoe, P.V. (1978). A physiological analysis of cereal yield. II. Partitioning of dry matter. *Agricultural Progress*, 53, 51-70.
- Gilsinger, J., Kong, L., Shen, X. & Ohm, H. (2005). DNA markers associated with low Fusarium head blight incidence and narrow flower opening in wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 110,1218–1225.
- Gómez D., Vanzetti L., Helguera M., Lombardo L., Fraschina J. & Miralles D.J. (2014). Effect of *Vrn-1*, *Ppd-1* genes and earliness *per se* on heading time in Argentinean bread wheat cultivars. *Field Crops Research*, 158,73-81.
- González F.G., Miralles D.J. & Slafer G.A. (2003). Grain and floret number in response to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheats. *Field Crops Research*, 81,17-27.
- González F.G., Miralles D.J. & Slafer G.A. (2011). Wheat floret survival as related to spike growth during pre-anthesis. *Journal of Experimental Botany* 62, 4889-4901.
- González F.G., Slafer G.A. & Miralles D.J. (2002). Vernalization and photoperiod responses in wheat pre-flowering reproductive phases. *Field Crops Research*, 74, 183-195.
- Gupta, R. B., Shepherd, K. W., & MacRitchie, F. (1991). Genetic control and biochemical properties of some high molecular weight albumins in bread wheat. *Journal of Cereal Science*, 13, 221–235.
- Hurkman, W. J., Mc Cue, K. F., Altenbach, S. B., Korn, A., Tanaka, C. K., Kothari, K. M *et al.* (2003). Effect of temperature on expression of genes encoding enzymes for starch biosynthesis in developing wheat endosperm. *Plant Science*, 164, 873-881.
- Jamieson, P. D., Stone, P. J. & Semenov, M. A. (2001). Towards modelling quality in wheat: From grain nitrogen concentration to protein composition. *Aspnet of Applied Biology*, 64, 111-126.
- Kirby, E.J.M. (1988). Analysis of leaf stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. *Field Crops Research*, 18, 127-140
- Kirby, E.J.M. (1990). Co-ordination of leaf emergence and and leaf and spikelet primordium initiation in wheat. *Field Crops Research*, 25,253-264.
- Klein, R., Lyon, D. & Drew, J. (2006). Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension. 4784.
- Langer, R.H.M. & Hanif, M. (1973). A study of floret development in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Annals of Botany* 37,743-751.
- Levy, J.& Peterson, M.L. (1972) Response of spring wheats to vernalization and photoperiod. *Crop Science* 12, 487-490.
- Major D.J. (1980). Photoperiod response characteristics controlling flowering of nine crop species. *Canadian Journal of Plant Science*, 60,777-784.

- Marshall, D. R., Mares, D. J., Moss, H. J., & Ellison, F. W. (1986). Effects of grain shape and size on milling yields in wheat. II. Experimental studies. *Australian Journal of Agricultural Research*, 37, 331-342.
- Martin, J.H., Leonard, W.H. & Stamp, D.L. (1976). *Principles of field crop production*. New York, NY, USA, Macmillan.
- Mashilo, J., Tshikunde, N. M., Shimelis, H., & Odindo, A. (2019). Agronomic and physiological traits, and associated quantitative trait loci (QTL) affecting yield response in wheat (*Triticum aestivum* L.): A review. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1428.
- Menendez, F. & Satorre, E. (2007). Evaluating wheat yield potential determination in the Argentine Pampas. *Agricultural Systems*, 95, 1-10.
- Miralles D.J. & Slafer G.A. (1995). Individual grain weight responses to genetic reduction in culm length in wheat as affected by source-sink manipulations. *Field Crops Research*, 43, 55-66.
- Miralles, D., Carretero, Serrago, R. & Carretero, R. (2007). Generación del rendimiento de trigo. En Satorre, E. (Ed.) *Producción de trigo* (15-26). Buenos Aires, Argentina. AACREA.
- Miralles, Daniel J., González F.G., Abeledo L.G., Serrago R.A., Alzueta I., García G.A., de San Caledonio R.P. & Lo Valvo P. (2014). Manual de trigo y cebada para el Cono Sur: procesos fisiológicos y bases de manejo. Buenos Aires, Orientación Gráfica Editora, 2014.
- Miralles, D., Serrago, R. & Carretero, R. (2007). Generación del rendimiento en trigo. En E. Satorre et al. (Eds.) *Producción de trigo* (15-26). AACREA.
- Miralles D.J., Windauer, L.B. & Gómez N.V. (2003). Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de grano. En E.H. Satorre et al. (Eds.) *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo* (60-71). Bs. As., Argentina, Editorial FAUBA.
- Monteith J.L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of Royal Society of London B*.
- Mossad, M., Ortiz-Ferrara, G., Mahalakshmi, V. & Fischer, R.A. (1995). Phyllochron response to vernalization and photoperiod in spring wheat. *Crop Science*, 35, 168-171.
- Nonami, H. & Boyer, J.S. (1989). Turgor and growth at low water potentials. *Plant Physiology*, 89: 798-804.
- Oscarson, P., Lundborg, T., Larsson, M. & Larsson, C.M. (1995). Genotypic differences in nitrate uptake and nitrogen utilization for spring wheat grown hydroponically. *Crop Science*, 35, 1056-1062.
- Palta, J. & Fillery, I. (1995). Nitrogen application enhances remobilization and reduces losses of pre-anthesis N in wheat grown on a duplex soil. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46, 519-531.
- Palta, J. A., Kobata, T., Turner, N.C. & Fillery, I. R. (1994). Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficits. *Crop Science*, 34, 118-124.
- Panozzo, J. F., Eagles, H. A. & Wootton, M. (2001). Changes in protein composition during grain development in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52, 485-493.

- Peltonen-Sainio P., Kangas A., Salo Y. & Jauhiainen L. (2007). Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: evidence based on 30 years of multi-location trials. *Field Crops Research*, 100, 179-188.
- Peterson, R.F. (1965). *Wheat: botany, cultivation and utilisation*. London, Leonard Hill.
- Pinthus, M. J. & Millet, E. (1978). Interactions among number of spikelets, number of grains and grain weight in the spikes of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Annals of Botany*, 42, 839-848.
- Porter, J.R. & Delecolle, R. (1988) Interaction of temperature with other environmental factors in controlling the development of plants. *Symposium Society of Experimental Biology*, 42,133-56.
- Preston, R. H. Kilborn, B., Morgan, C. & Babb, J.C. (1991). Effects of Frost and Immaturity on the Quality of a Canadian Hard Red Spring Wheat. *Cereal Chemistry*, 68, 133-138.
- Pugsley, A.T. (1971). A genetic analysis of the spring–winter habit of growth in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 22, 21–31
- Rahman, M.S. (1980). Effect of photoperiod and vernalization on the rate of development and spikelet number per ear in 30 varieties of wheat. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, 46,68-70
- Rawson, H.M.& Evans, L.T. (1971). The contribution of stem reserves to grain development in a range of wheat cultivars of different heights. *Australian Journal of Agricultural Research*, 22, 851-863.
- Rawson, H.M., Hindmarsh, H.J.& Stockman, Y.M. (1983). Changes in leaf photosynthesis with plant ontogeny and relationships with yield per ear in wheat cultivars and 120 progeny. *Australian Journal of Plant Physiology*, 10, 503-514.
- Savin, R. & Sorlino, D.M. 2003. Calidad de los granos y estimadores más comunes. En E.H. Satorre *et al.* (Eds.) *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo* (24-46) Editorial FAUBA, Bs. As., Argentina.
- Schierenbeck, M., Fleitas, M. C. & Simón, M. R. (2019a). Nitrogen fertilization and fungicide mixtures in wheat: how do they affect the severity, yield and dynamics of nitrogen under leaf rust infections? *European Journal of Plant Pathology* 155, 1061-1075.
- Schierenbeck, M., Fleitas, M. C., Gerard, G. S., Dietz, J. I. & Simón, M. R. (2019b). Combinations of fungicide molecules and nitrogen fertilization revert nitrogen yield reductions generated by *Pyrenophora tritici-repentis* infections in bread wheat. *Crop Protection* 121, 173-181.
- Schierenbeck, M., Fleitas, M. C., Cortese, F., Golik, S. I. & Simón, M. R. (2019c). Nitrogen accumulation in grains, remobilization, and post-anthesis uptake under tan spot and leaf rust infections on wheat. *Field Crops Research* 235, 27-37.
- Sehgal, D., Mondal, S., Guzman, C., Barrios, G. G., Franco, C., Singh, R. P. & Dreisigacker, S. (2019). Validation of candidate gene-based markers and identification of novel loci for thousand-grain weight in spring bread wheat. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1189.
- Shewry P.R. 2009. Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60, 1537–53.
- Sibony, M. & Pinthus, M.J. (1988) Floret initiation and development in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) *Annals of Botany* 62, 473-479.

- Siddique, K.H.M., Kirby, E.J.M. & Perry, M.W. (1989). Ear: stem ratio in old and modern wheat varieties: relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Research*, 21, 59-78.
- Simmons, S.R. (1987). Growth, development and physiology. En E. G. Heyne (Ed.). *Wheat and Wheat Improvement. Agronomy Series 13* (877-113). Madison, American Society of Agronomy.
- Simmons, S.R. & Crookston, R.K. (1979). Rate and duration of growth of kernels formed at specific florets in spikelets of spring wheat. *Crop Science*, 19, 690-693.
- Simón, M. R., Ayala, F., Terrile, I., Golik, S. I., Perelló, A., Cordo, C. A. *et al.* (2011). Integrated foliar disease management to prevent yield loss in Argentinean wheat production. *Agronomy Journal* 103, 1441-1451.
- Simón, M.R., Fleitas, M.C. & Schalamuk, S. (2013). Recent advances on integrated foliar disease management in wheat in Argentina. En M. Nita (Ed) *Fungicides* (3-34). College of Agriculture and Life Sciences, Department of Plant Pathology, Physiology, and Weed Science, Virginia Tech, USA).
- Simón, M. R., Perelló, A. E., Cordo, C. A. & Arriaga, H. O. (1996). Influencia de la infección tardía de *Septoria tritici* Rob. ex Desm. sobre el peso de mil granos y algunos parámetros de calidad en *Triticum aestivum*. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal* 11, 161-171.
- Simón, M. R., Perelló, A. E., Cordo, C. A. & Struik, P. C. (2002). Influence of *Septoria tritici* on yield, yield components, and test weight of wheat under two nitrogen fertilization conditions. *Crop Science* 42, 1974-1981.
- Slafer G.A. (1996). Differences in phasic development rate amongst wheat cultivars independent of responses to photoperiod and vernalization. A viewpoint of the intrinsic earliness hypothesis. *Journal of Agricultural Science*, 126, 403-419.
- Slafer G.A. (2003). Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Annals of Applied Biology*, 42, 117-128.
- Slafer, G.A. & Andrade, F.H. (1993) Physiological Attributes Related to the Generation of Grain Yield in Bread Wheat Cultivars Released at Different Eras. *Field Crops Research*, 31, 351-367.
- Slafer, G.A., Andrade, F.H. & Satorre, E.H. (1990). Genetic improvement effects on pre-anthesis physiological attributes related to wheat grain yield. *Fields Crops Research*, 23, 255-263.
- Slafer, G.A., Calderini, D.F. & Miralles, D.J. (1996). Yield components and compensation in wheat: opportunities for further increasing yield potential. En M.P. Reynolds, S. Rajaram & A. McNab, (Eds.) *Increasing yield potential in wheat: breaking the barriers* (101-133). Mexico, DF, CIMMYT.
- Slafer, G. A., & Miralles, D. J. (1993). Fruiting efficiency in three bread wheat (*Triticum aestivum*) cultivars released at different eras. Number of grains per spike and grain weight. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 170, 251-260.
- Slafer, G.A. & Rawson, H.M. (1994). Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a reexamination of some assumptions made by physiologists and modelers. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, 393-426.

- Slafer, G.A. & Savin, R. (1991). Developmental Base Temperature in Different Phenological Phases of Wheat (*Triticum aestivum*), *Journal of Experimental Botany*, 42, 1077–1082
- Sofield, I., Wardlaw, I.F., Evans, L.T. & Lee, S.Y. (1977). Nitrogen, phosphorus, and water contents during grain development and maturation in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 4, 799-810.
- Stone, P.J. & Nicolas, M.E. (1996). Varietal differences in mature protein composition of wheat resulted from different rates of polymer accumulation during grain filling. *Australian Journal of Plant Physiology* 23, 727-737.
- Stone, P. J. & Savin, R. (1999). "Grain quality and its physiological determinants". En E. Satorre & G.A. Slafer (Eds.). *Wheat: ecology and physiology of yield determination* (85-119). New York, London, Oxford. Food Product Press. The Haworth Press Inc.
- Tasleem-Tahir, A., Nadau, I., Chambon, C. & Branlard, G. (2012). Expression profiling of starchy endosperm metabolic proteins at 21 stages of wheat grain development. *Journal of Proteome Research*, 11, 2754-2773.
- Thomas B. & Vince Prue D. (1997). *Photoperiodism in plants*. Academic Press, New York, NY. 244 pp.
- Ueno, k. & Itoh, H. (1997). Cleistogamy in wheat: genetic control and the effect of environmental conditions. *Cereal Research Communications* 25, 185-189
- Van der Werf A. (1996). Growth analysis and photoassimilate partitioning. En E. Zamski & A. Schaffer (Eds.). *Photoassimilate Distribution in Plants and Crops: Source-Sink Relationships* (1-209) New York. Marcel Dekker Inc
- Van Sanford, D.A & MacKown, C.T. (1987). Cultivar differences in nitrogen remobilization during grain fill in soft winter wheat. *Crop Science* 27, 295-300.
- Vanzetti, L.S., Yerkovich, N., Chialvo, E., Lombardo, L., Vaschetto, L. & Helguera, M. (2013). Genetic structure of Argentinean hexaploid wheat germplasm. *Genetic Molecular Biology*, 36, 391-399.
- Wardlaw, I.F. (1967). The effect of water stress on translocation in relation to photosynthesis and growth. I Effect during grain development in wheat. *Australian Journal of Biological Sciences*, 20, 25-36.
- Wardlaw, I. F., I. A. Dawson, P. Munibi, & R. Fewster (1989): The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth: I. Survey procedures and general response patterns. *Australian Journal of Agricultural Research*, 40, 1—13.
- Weir, A. H, Bragg, P. L., Porter, J. R. & Rayner, J. H. 1984. A winter wheat crop simulation model without water or nutrient limitations. *Journal of Agricultural Science (Camb.)* 102, 371-382.
- Welbank, P.J. (1971). Root growth of wheat varieties. Rothamsted Report. pp 104-106.
- Whitechurch E.M., Slafer G.A. & Miralles D.J. (2007a). Variability in the duration of stem elongation in wheat and barley genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193, 138-145.
- Whitechurch E.M., Slafer G.A. & Miralles D.J. (2007b). Variability in the duration of stem elongation in wheat genotypes and sensitivity to photoperiod and vernalization. *Journal of Agronomy & Crop Science* 193, 131-137.

- Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology* 24, 115-119.
- Wolde, G. M., Mascher, M., & Schnurbusch, T. (2019). Genetic modification of spikelet arrangement in wheat increases grain number without significantly affecting grain weight. *Molecular Genetics and Genomics*, 294, 457-468.
- Wrigley, C. W., Békés, F. & Bushuk, W. (2006). Gluten: A balance of gliadin and glutenin. En: C. W. Wrigley, F. Békés, and W. Bushuk. (eds.) Gliadin and Glutenin: The Unique Balance of Wheat Quality (1-30). St. Paul, MN, USA AACC International.
- Yan, L., Helguera, M., Kato, K., Fukuyama, S., Sherman, J. & Dubcovsky, J. (2004a). Allelic variation at the VRN-1 promoter region in polyploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 109, 1677–1686.
- Yan, L., Loukoianov, A., Blechl, A., Tranquilli, G., Ramakrishna, W., SanMiguel, P., Bennetzen, J.L., Echenique, V. & Dubcovsky, J. (2004b). The wheat VRN2 gene is a flowering repressor down-regulated by vernalization. *Science* 303, 1640–1644.
- Youssefian, S. Kirby, E.J.M. & Gale, M.D. (1992). Pleiotropic effects of the GA-insensitive Rht dwarfing genes in wheat. 1. Effects on development of the ear, stem and leaves. *Field Crops Research*, 28, 179-190.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T. & Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421.

CAPÍTULO 4

Trigo: siembra y densidad

Silvina Inés Golik

Preparación del suelo y siembra

La labranza tiene como objetivo promover en el suelo cambios favorables de orden físico, químico y biológico que permitan obtener las óptimas condiciones para las labores de siembra, nacimiento y crecimiento de las plantas. Para alcanzar dicha finalidad resulta imprescindible tener en cuenta las condiciones edafoclimáticas de cada región tratando de seguir un camino conservacionista de los recursos. Así, la preparación del suelo comprende los siguientes aspectos: incremento del agua disponible favoreciendo su captación y disminuyendo su escurrimiento, reducción de la erosión, compactación, eficiente control de malezas, adecuado manejo de los rastrojos, conservación de los nutrientes. Teniendo en cuenta todo esto, actualmente, prácticamente todo el cultivo en nuestro país se realiza bajo siembra directa. La labranza convencional o tradicional consistía en una labranza básica a fin de verano con arado de rejas, más o menos superficial (10-12 cm), para incorporar el residuo, controlar malezas y mejorar la captación de agua. Luego de un barbecho de alrededor de 60 días, efectuándose una segunda labranza con arado de rejas cruzado al anterior, por lo menos 30 a 40 días antes de la siembra para que el suelo se asiente naturalmente y brinde una cama firme en profundidad y suelta en la superficie. Procediéndose, luego, hasta la siembra, con las labores de refinamiento con rastra de discos, dientes y vibrocultivadores.

En gran parte de la pampa ondulada, la difusión de la rotación trigo-soja ha provocado un excesivo laboreo del suelo, que unido al poco rastrojo que deja el cultivo de soja, ha producido disminuciones importantes en el contenido de materia orgánica y pérdidas de suelo por erosión. Esto se tradujo en una pérdida de estructura y fertilidad de esos suelos, aumentando los problemas de planchado, compactación y escurrimiento que derivan en un mayor déficit hídrico.

Siembra directa

Debido a los problemas citados precedentemente, en los últimos años han tomado mucho impulso las labranzas conservacionistas, entre ellas la siembra directa. Esta tecnología fue implementada inicialmente para cultivos de verano, como la soja y el maíz. En la actualidad su uso y difusión se extendió a todos los otros cultivos comerciales, entre ellos el trigo. La siembra directa es parte de un sistema integral de producción de granos que consiste en la implantación

del cultivo sin remoción de suelo y con una cobertura permanente del mismo, con no menos de un 30 %, de residuos de cosecha (Fig. 4.1).

Una de las principales limitantes no sólo en nuestro país, sino a nivel global en la producción de cultivos, es la cantidad de agua disponible. Y esto en gran parte de los casos no es debido a la falta de precipitaciones sino a dificultades en su captación, almacenaje, pérdidas por escurrimiento y evaporación de la misma. Puesto que el manejo convencional de los suelos produce la rotura de su estructura lográndose cada vez menos captación y almacenamiento de agua, a tal punto que sólo se aprovecha el 50% del agua caída como precipitaciones. Además, con este manejo se produce una constante disminución de la materia orgánica. La materia orgánica resulta fundamental tanto en la fertilidad química, a través del aporte de nutrientes, como física del suelo, manteniendo la estabilidad estructural del mismo y favoreciendo con ello la dinámica del agua y del aire (Pognante *et al.*, 2011).

Argentina es a nivel mundial uno de los pioneros en adopción de esta práctica. La adopción de la siembra directa empezó en nuestro país hacia fines de los 80 y ya para fines de los 90 su incorporación era muy marcada, abarcando desde la campaña 2012/13 más del 90 % del área bajo cultivo (más de 30 millones de hectáreas) (Bolsa de Cereales, 2019; Rainaud, 2019). Entre los beneficios de su adopción se pueden citar: mejor aprovechamiento del agua, mayor protección contra la erosión (90% menos de erosión versus la labranza convencional), mejor balance de la materia orgánica, al permitir una degradación más lenta y sostenida en el tiempo, disminución de la formación de costras superficiales, aumentos en la oportunidad de siembra, ya que permite la siembra inmediatamente después de cosechado el cultivo anterior (el ejemplo más claro es la secuencia trigo/ soja de segunda, ampliamente difundida en todas las subregiones trigueras), permite sembrar donde arar no era posible por falta de agua, reduce la cantidad de maquinaria utilizada y por lo tanto el consumo de combustible en un 40% respecto a la labranza convencional (AAPRESID/INTA, 2012).

Los sistemas productivos bajo labranza convencional, que se mantuvieron por más de 40 años, trajeron como consecuencia erosiones hídricas y eólicas causadas por el arrastre de partículas en suspensión y su efecto en la contaminación de cursos de agua, encostramiento, planchado. Siendo el principal problema la pérdida, en promedio del 2% de la materia orgánica, por oxidación de la misma en forma de dióxido de carbono, llevándose el 50% de su fertilidad potencial (por cada 1% de pérdida de materia orgánica, se pierde alrededor de 1200 kg.ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ de P y 40 kg.ha⁻¹ de S). Y es bien sabido que la materia orgánica, una vez desaparecida, la naturaleza tarda miles de años para volver a formarla (AAPRESID, 2012). Nuestro sistema de siembra directa, a diferencia de otros sistemas, no sólo implica sembrar directamente sobre cobertura de residuos, sino que involucra **rotaciones de cultivos y fertilizaciones**. La rotación de cultivos con distintos sistemas radiculares que exploran diferentes estratos del perfil permite una colonización del suelo con raíces de diferente arquitectura que favorecen la generación de macroporos por acción biológica (microorganismos). Estos según su tamaño tendrán funciones de aireación, ingreso de agua al perfil, almacenamiento o bien funciones mixtas (Lorenzatti, 2005). Estos macroporos llamados biocanales se caracterizan por presentar gran estabilidad y continuidad espacial. Esto deriva en una mejor estructura que hace más eficiente el

uso del agua, y el aporte de carbono a través de rastrojos con distinta calidad, relación C/N y volumen, alternando principalmente gramíneas con leguminosas, que nos permite hacer un uso más sustentable del recurso suelo (Lorenzatti, 2005; Pognante *et al.*, 2011). La descomposición gradual, pero constante de los rastrojos en superficie estimula la formación de una capa superficial de suelo enriquecida en compuestos orgánicos, asociada a una intensa actividad biológica (Lorenzatti, 2005). Asimismo, los rastrojos en superficie dejados por este sistema de siembra resultan fundamentales durante los barbechos en subregiones como la V norte y V sur, donde el manejo del cultivo de trigo está muy influenciado por el recurso más limitante: el agua.

Es fundamental almacenar agua de verano–otoño para utilizarla en el cultivo durante los inviernos muy secos. En general se considera que existe una estrecha relación entre la duración del barbecho, que permita acumular una buena cantidad de agua y nutrientes y el logro de buenos rendimientos. Siendo también imprescindible buenas precipitaciones en octubre y noviembre, durante el periodo crítico del trigo. La dinámica del agua y la eficiencia de su utilización mejoran mucho respecto a una labranza convencional ya que la presencia de cobertura sumada a una mejor estructuración de los primeros centímetros hace que aumente la infiltración, disminuyan las pérdidas por escurrimiento y evaporación directa, y mejore la retención y movimiento del agua en el suelo. Todo esto debe ir acompañado con una adecuada estrategia de fertilización que al menos reponga los nutrientes que hoy presentan respuesta (nitrógeno, fósforo y azufre) (Lorenzatti, 2005).

El cultivo de trigo realiza un importante aporte a la cobertura de suelo con sus residuos de cosecha, con una alta relación C/N, que por su distancia de siembra deja un rastrojo distribuido de manera uniforme en la superficie del suelo y se caracteriza por su durabilidad en el tiempo (Forjan & Manso, 2016). Por otro lado, los rastrojos dejados por el cultivo antecesor bajo este sistema de labranza también son muy importantes para la implantación y primeras etapas de desarrollo del trigo debido a la baja ocurrencia de lluvias como mencionamos para las regiones VN y VS, debido a las escasas precipitaciones durante el invierno en gran parte de la región triguera Argentina. Ya durante la primavera, la probabilidad de lluvia aumenta y la disponibilidad hídrica generalmente resulta suficiente para abastecer al cultivo. De esta manera, el trigo puede lograr eficiencias de uso de agua entre 10 y 13 kg de grano por cada mm de agua consumida en zonas como el sudeste de Córdoba (Fraschina *et al.*, 2002; Fraschina *et al.*, 2003a; Fraschina *et al.*, 2012). Esta situación resulta especialmente importante en la región central norte triguera donde el antecesor maíz o sorgo, comparado con los lotes que provienen de soja de primera y segunda siembra, permiten lograr una mayor acumulación de agua en el suelo antes de la siembra de trigo. Las variedades de soja precoces de siembra temprana que maduran durante el mes de marzo también resultan un buen antecesor de trigo siempre que los rastrojos alcancen un mínimo de cobertura (Fraschina *et al.*, 2002). Con respecto a la elección de variedades de trigo para siembra directa se debe analizar previamente cual será el ambiente de producción. Ya que, si bien las variedades que permiten una siembra temprana muestran una buena adaptación, en los buenos ambientes se alcanzan iguales rendimientos con variedades de siembra más tardía (Fraschina *et al.*, 2012). Para la producción de trigo en gran parte del área triguera argentina, la siembra temprana presenta ventajas frente a la siembra más tardía, debido a un mejor uso del agua almacenada en el suelo. Cuando los ambientes de producción

de trigo mejoran, las diferencias desaparecen y prevalece el potencial de rendimiento de la variedad (Fraschina *et al.*, 2012). Para la elección de variedades de trigo adaptadas a siembra directa, también se deberá prestar atención a su comportamiento frente a enfermedades producidas por patógenos necrotróficos, que perduran en los rastrojos como son la mancha amarilla y la fusariosis de la espiga (Fraschina *et al.*, 2002; Galich & Galich, 2000).

Actualmente en el área de mayor expansión del trigo en siembra directa, la rotación más frecuente está dada por el doble cultivo trigo/soja seguido de maíz y una soja de primera siembra. En estos sistemas de producción, la secuencia trigo/soja con buenos resultados físicos suele ser la alternativa más rentable (Peretti, 2001). Para ello el cultivo de soja de segunda siembra debe ser implantado lo antes posible, eligiendo una variedad adecuada que permita alcanzar una buena cobertura lo antes posible y así maximizar la captación de la radiación. Lo deseado sería llegar a sembrar la soja de segunda a fines de noviembre y allí es donde adquieren importancia la elección de variedades de trigo de siembra temprana con madurez rápida o bien ciclos más cortos que permitan una cosecha más temprana y que a su vez, realicen un menor consumo de agua, situación que resulta fundamental para lograr una mayor eficiencia de implantación de la oleaginosa (Fraschina *et al.*, 2002; Fraschina *et al.*, 2012).

Entre las desventajas podríamos citar que una descomposición más lenta de los rastrojos nos brinda una menor fertilidad actual, menor control de malezas, mayor presencia de patógenos necrotróficos. Todo ello nos lleva a mayores necesidades de agroquímicos. En general, se considera que es imprescindible la fertilización nitrogenada, aportando fertilidad actual, cuando se utiliza un sistema de siembra directa, pudiendo aplicarse en la siembra o durante el macollaje (AAPRESID, 2012). Podemos tener, también, fallas en la implantación del cultivo, por quedar la semilla sobre los rastrojos y no en contacto con el suelo.



Fig.4.1. Trigo bajo siembra directa.

Fuente: <https://search.creativecommons.org/photos/42b7c8ad-3589-4c45-805e-963658a6e5de>

Fecha de siembra

Cuando se elige una fecha de siembra, lo primero a considerar es la factibilidad ecológica de producir el trigo en una determinada zona, por lo tanto, se deben cotejar los requerimientos del cultivo con la oferta ambiental. A su vez, dentro de cada zona donde es factible su cultivo, la fecha de siembra determinará cambios en los regímenes fototermales e hídricos a los que las plantas quedarán expuestas durante el ciclo y particularmente durante los períodos críticos para la determinación del rendimiento. El rendimiento del trigo puede tener variaciones significativas en las diferentes subregiones que componen la región triguera argentina y aún dentro de una misma subregión, entre campañas agrícolas. Cotejar los requerimientos del cultivo con la oferta ambiental conlleva a identificar las limitaciones existentes priorizándolas según la reducción que produzcan en dicho rendimiento (Otegui & López Pereira, 2004). Entonces, dentro de los **factores que condicionan la fecha de siembra** del trigo encontramos:

Heladas

Las heladas definen la estación de crecimiento de numerosos cultivos. Para una determinada zona resulta fundamental conocer las fechas medias de primer y última helada, con sus respectivos desvíos y con un criterio probabilístico. Para el caso del trigo, la afectación por heladas puede incidir en el establecimiento del cultivo, ya que durante la emergencia y hasta el estado de 2 hojas, las plantas de trigo son sensibles a las bajas temperaturas donde es común observar muerte de plantas pequeñas durante la implantación (Fig.4.2). Pero luego de ello, durante el macollaje y hasta el período encañazón su incidencia en el cultivo como factor deletéreo es menor, mientras que si suceden con posterioridad a estas fases pueden provocar pérdidas altamente significativas en el rendimiento, quiere decir que comienza un período de sensibilidad creciente que tiene el máximo de susceptibilidad alrededor de floración o antesis con un umbral de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ con una exposición de 2 horas (Shroyer *et al.*, 1995; Coma, 2004) (Fig.4.3). El mayor efecto en este momento se produce por la reducción de la viabilidad del polen, lo que origina la esterilidad de las flores afectadas. La exposición previa del cultivo a bajas temperaturas antes de la ocurrencia de las primeras heladas en los estadios iniciales del mismo resulta un factor muy importante para atenuar su daño (Miralles, 2015; Corró Molas *et al.*, 2016). Los daños más fácilmente visibles van desde una leve clorosis con pérdida de turgencia o marchitamiento de hojas completas o solamente en las puntas, hasta alcanzar importantes daños en el área foliar con pérdida de tallos durante la encañazón, y esterilidad de flores y de espigas completas cuando las heladas ocurren cerca de la floración (Corró Molas *et al.*, 2016).

Los efectos sobre el rendimiento dependerán no sólo de la capacidad de compensación del cultivo (relacionada a su vez con el momento de ocurrencia y el o los órganos afectados), sino también de la posibilidad de recuperación que permite el ambiente de producción, es decir, dependerá de las condiciones de humedad, temperatura y disponibilidad de nutrientes posterior al momento del daño (Corró Molas *et al.*, 2016).

En una siembra temprana y en un buen ambiente de producción, el trigo puede llegar a compensar alguna pérdida inicial de área foliar, de plantas e incluso de macollos, situación observada en algunas campañas (Di Pane *et al.*, 2004; Corró Molas *et al.*, 2016).

Existe una importante variabilidad entre los genotipos en el comportamiento frente a las heladas durante el período vegetativo (en general los ciclos largos resisten mejor el daño por heladas tempranas) (Miralles, 2015). La fuente principal de diferencias en el requerimiento de vernalización en trigos son las diferencias alélicas encontradas en el locus VRN1, mapeado sobre el grupo 5 de cromosomas homólogos. En esta misma región fue identificado un QTL (loci para rasgo cuantitativo) para tolerancia a heladas en cebada y trigo llamado FR-2. El locus FR-2 se encuentra próximo a VRN-1 (30 centimorgans) (Basualdo *et al.*, 2011).

Los daños ocurridos alrededor de la floración difícilmente puedan ser compensados. La susceptibilidad del cultivo en este momento obliga a elegir una fecha de siembra adecuada para cada variedad de acuerdo a su ciclo y región, y de esa manera poder escapar al efecto de una probable helada tardía desde la antesis del cultivo (Castellarin, 2009).

Se debe tener particular cuidado cuando la siembra directa presenta abundante acumulación de rastrojo en superficie, ya que el daño por heladas durante la implantación del cultivo de trigo suele ser mayor que en una labranza convencional, puesto que el rastrojo actúa como barrera física para la transferencia de calor del suelo a la planta, aumentando las lesiones por heladas (Alberione & Andreucci, 2017). Este tipo de daño suele verse con frecuencia en las subregiones IIN y VN, como consecuencia de la importante superficie dedicada a la secuencia trigo/soja ocupando lotes que provienen de maíz con abundante cantidad de rastrojo (Alberione & Andreucci, 2017). También se pudo observar, que en varios casos una gran acumulación de rastrojo dificulta el trabajo de las sembradoras, dejando las semillas sin el adecuado contacto con el suelo, exponiéndolas a daños por tener sus raíces expuestas a las primeras heladas (Fraschina *et al.*, Bainotti, 2003b). Posteriormente de la ocurrencia de heladas pueden existir otros factores que pueden agravar más la situación como el calentamiento rápido, las condiciones secas del aire, el viento y la alta evaporación, disminuyendo las posibilidades de recuperación de las plantas (Raper, 2017). No obstante, tanto el trigo como la cebada y la avena son muy tolerantes a temperaturas tan bajas como -6°C , cuando el meristema apical se encuentra aún por debajo de la superficie del suelo.

En Marcos Juárez el observatorio del INTA en 2019, registró 22 heladas entre junio y julio, que afectaron la implantación de las variedades de ciclo largo, intermedio y corto. Continuaron registrándose heladas durante el macollaje, en agosto afectando la implantación de las siembras más tardías y heladas en septiembre durante la encañazón. Observaciones registradas en años anteriores han mostrado que existe un grupo de variedades muy sensibles a bajas temperaturas durante la implantación, que no deberían usarse en condiciones de siembra directa con abundante rastrojo, debido a que las pérdidas de área foliar no pueden ser compensadas (Fraschina *et al.*, 2000). En nuestra región triguera, el periodo libre de heladas disminuye de noreste hacia el sudoeste (Fig.4.4).



Fig. 4.2. Daño por heladas en estado de pasto en trigo.
Fuente: Croissant RL, Bugwood.org



Fig.4.3. Daño por heladas en espigazón.
Fuente: Mary Burrows, Universidad Estatal de Montana, Bugwood.org

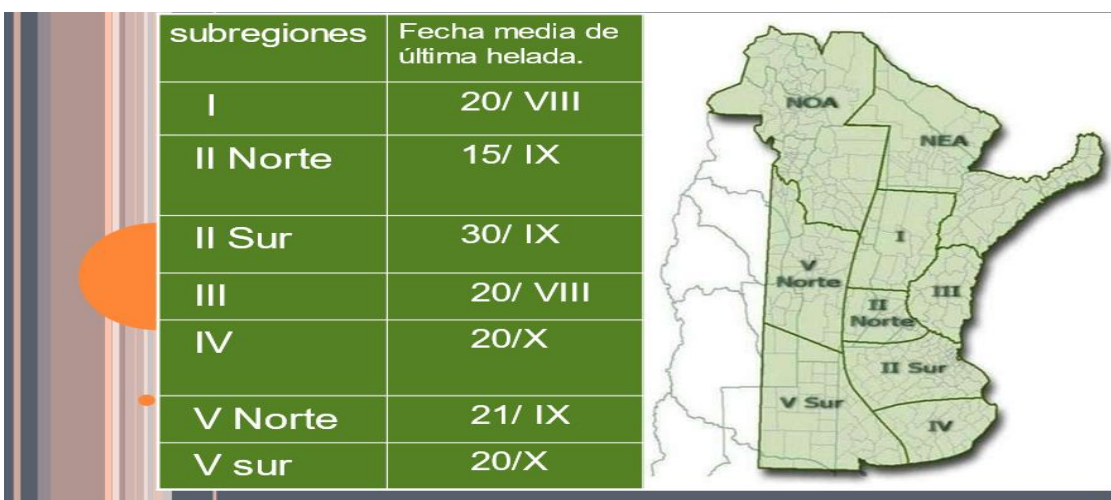


Fig.4.4. Fecha de última helada promedio para las distintas subregiones trigueras del país.
Fuente: Fernández Long et al., (2011), Sistema de Información de clima y agua, INTA (2014).

Temperatura de siembra

La estación de crecimiento considerando el periodo libre de heladas no implica la elección de una única fecha de siembra y ciclo de cultivo, sino que nos da un marco de referencia dentro del cual los distintos cultivares pueden cultivarse en función de otras restricciones. Entre ellas se encuentra la temperatura a la cual cada especie, en general, y un cultivar, en particular, es capaz de crecer. Esta temperatura base permite definir el momento a partir del cual se puede comenzar a sembrar en cada sitio en particular, e impone una nueva restricción a la elección de la fecha de siembra.

En el caso del cultivo de trigo a nivel mundial, es posible plantear dos alternativas en función del ambiente y del genotipo considerados: sitios donde el suelo en invierno se congela y la temperatura desciende por debajo de -5°C (Canadá, Rusia), y por lo tanto se siembran cultivares de ciclo muy corto, sensibles al fotoperíodo e insensibles a la vernalización, son los llamados trigos primaverales (Otegui & López Pereira, 2004). O bien zonas donde nieva y la temperatura del suelo no desciende por debajo de -5°C y se emplean trigos con altos requerimientos de vernalización, los cuales son sembrados antes de las primeras nevadas, transcurren el invierno en el estado de 4-5 hojas expandidas y reanudan su actividad luego de que la nieve se derrite en primavera; este tipo de cultivares se emplea fundamentalmente en países del centro-norte de Europa (Francia, Alemania) y son los llamados trigos invernales. En Argentina una parte considerable de los cultivares tienen bajos o nulos requerimientos de vernalización, aunque hay otros con importantes requerimientos y pueden ser sensibles o insensibles al fotoperíodo. Estos requerimientos condicionan el ciclo: corto (solo requieren suma térmica para su desarrollo), intermedio (requieren suma térmica y presentan algo de respuesta al fotoperíodo) o largo (responden a la suma térmica, al fotoperíodo y a la vernalización o suma de temperaturas frescas para su desarrollo); son sembrados en otoño- invierno, completando su ciclo al finalizar la primavera o comienzo del verano. La germinación se produce en un amplio rango de temperaturas que va desde los 4°C a los 37°C .

Temperaturas supraóptimas

Estas temperaturas tienen efectos negativos sobre los cultivos en diferentes etapas. En trigo, un **golpe de calor** puede interrumpir temporal o definitivamente el llenado del grano, con la consecuente reducción del peso del grano y el rendimiento (se define al mismo como la exposición del cultivo a temperaturas por encima de los 32 grados). La probabilidad de golpes de calor fue cambiando, incrementándose, en la década 2000/2010 frente a la anterior, pudiendo afectar estadios más tempranos del cultivo, comprometiendo incluso al número de granos (Miralles, 2015). Cabe destacar que estos golpes de calor resultan bastante frecuentes hacia el norte de la región triguera argentina.

Requerimientos térmicos para su desarrollo, fotoperíodo, vernalización

Una vez establecido el período durante el cual puede tener lugar la siembra y el ciclo posible del cultivo, deberán analizarse los requerimientos de los distintos cultivares, para establecer su factibilidad de producción. Deberá conocerse la suma térmica en que cada cultivar cumple las etapas que resultan de interés para poder establecer si es posible su inclusión en un sitio determinado y si además presentan o no requerimientos de fotoperíodo y/o de vernalización.

Régimen hídrico

El crecimiento y el rendimiento de los cultivares son altamente dependientes de la disponibilidad hídrica, ya que su déficit provoca mermas en la producción de magnitud variable según el momento del ciclo en que se produce. Los efectos de una deficiencia son más marcados cuando ocurren a la siembra y en las etapas en que se definen los componentes del rendimiento, especialmente en el periodo crítico. Una manera de evitar la coincidencia del período de déficit con las etapas críticas del cultivo es la modificación de la fecha de siembra. Se busca así ubicar las etapas más sensibles de la fenología en épocas de menor demanda atmosférica y/o de mayores precipitaciones. Sin embargo, la decisión de adelantar la fecha de siembra está necesariamente asociada a la elección de cultivares con buen comportamiento ante bajas temperaturas en estadios iniciales e incluso alguna helada en estado de pasto (Sadras & Hall, 1989; Miralles, 2015).

Fecha de siembra y rendimiento potencial

Las fechas de siembra del trigo abarcan un amplio rango que va de mayo hasta agosto. Esta amplitud de fechas de siembra determina cambios en el ambiente que explora el cultivo, lo que repercute en la duración del ciclo y en la capacidad de capturar la radiación solar, y por ende en la producción de biomasa total y en el rendimiento. Siendo que la radiación afecta el número de granos por medio de su relación lineal positiva con la tasa de crecimiento del cultivo y la temperatura lo afecta negativamente, acelerando el desarrollo, se ha demostrado que el número de granos, principal componente del rendimiento depende de la relación de estos factores durante el período crítico. Fischer (1985) denominó a esta relación cociente fototermal (Q), representado por la ecuación: $Q = R/T$, donde, **R** es la radiación solar media diaria ($MJ\ m^{-2}\ día^{-1}$) y **T** es la temperatura media del período menos $4,5\ ^{\circ}C$ (temperatura base para esta etapa de desarrollo). A mayor valor de Q mayor número de granos por unidad de superficie. Por lo tanto, cuando más se acerque el período crítico del cultivo a los mejores valores del Q, (posee variación temporal y espacial a lo largo de la región triguera), más nos acercaremos al rendimiento potencial (Castellarín, 2009). A medida que la fecha de siembra se retrasa, el cultivo será sometido a mayores temperaturas y fotoperíodo más largo, que provocarán una disminución en la duración del ciclo, con una menor acumulación de biomasa. En caso contrario, las siembras tempranas se hallan asociadas

a mejores condiciones fototermales (Q) alrededor del período crítico. El Q constituye un factor de decisión que, junto con la fecha media de última helada, determinan la fecha de siembra que asegure la ubicación del período crítico bajo las mejores condiciones posibles para cada región. Ubicar el período crítico mucho después de la fecha media de última helada, puede determinar la existencia de un golpe de calor en floración, con un posible aborto de flores y con un efecto aún más negativo sobre el tamaño, peso y calidad comercial del grano. De esta manera, dependiendo del ciclo del cultivar seleccionado, la mejor estrategia es realizar la siembra lo más temprano posible, a fin de maximizar el rendimiento potencial (mayor Q) procurando que la floración escape tanto a la última helada como a un posible golpe de calor. Identificar esta ventana para cada región o localidad implica conocer las características ambientales como de fenología y duración del ciclo de los diferentes cultivares analizados (Otegui & López Pereira, 2004).

En la Región Pampeana, dichos cocientes aumentan de norte a sur, y para una latitud similar, son mayores en ambientes con mayor amplitud térmica. A su vez, el cociente tiende a maximizarse en los meses más fríos – inicio de la primavera. Para el trigo, con una temperatura base cercana a 4,5 °C para la etapa crítica (20 días antes a 10 días posteriores a antesis), los mejores rendimientos en la Región Pampeana se obtendrían haciendo coincidir dicha etapa con los meses de agosto-septiembre. Sin embargo, las heladas tardías en muchas de las subregiones determinan la ubicación de la espigazón en fechas posteriores (Otegui & López Pereira, 2004).

Considerando los datos de los grupos CREA, INTA, Bolsa de Cereales de Bs.As. y Rosario, las fechas y ciclos utilizados en las campañas 2018/19 y 2019/20, para las distintas subregiones trigueras actuales, en promedio son las indicadas en la Fig.4.5.

<p>SUBREGION I</p> <p>CICLO: PREVALECEN LOS CICLOS INTERMEDIOS A CORTOS (70 %) AL NORTE Y LOS CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS AL SUR (60%)</p> <p>FECHA DE SIEMBRA: 10 AL 30 DE MAYO CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS 10 DE JUNIO A PRINCIPIOS DE JULIO CICLOS CORTOS</p>
<p>SUBREGION II N</p> <p>CICLO: SE SIEMBRA UN 50% CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS Y UN 50 % CICLOS CORTOS</p> <p>FECHA DE SIEMBRA: AL SUR DE SANTA FE, LOS CICLOS LARGOS SE SIEMBRAN DEL 20 DE MAYO AL 1 DE JUNIO Y LOS CICLOS CORTOS DEL 15 DE JUNIO AL 15 DE JULIO. AL NORTE DE BUENOS AIRES CONSIDERANDO EL DOBLE CULTIVO TRIGO/ SOJA DE 2DA, EXISTE UNA TENDENCIA A SIEMBRAS TEMPRANAS DE LOS CICLOS LARGOS, CON UN PERIODO DE LLENADO DE GRANO RÁPIDO O BIEN CICLOS CORTOS EN JUNIO- JULIO.</p>
<p>SUBREGION II S</p> <p>CICLO: 75-80 % DE CICLOS INTERMEDIOS Y LARGOS.</p> <p>FECHA DE SIEMBRA: DEL 20 DE MAYO AL 10 DE JUNIO PARA LOS CICLOS LARGOS, LOS CICLOS INTERMEDIOS EN JUNIO Y LOS CICLOS CORTOS DE MEDIADOS DE JUNIO A MEDIADOS DE JULIO</p>

<p>SUBREGION III</p> <p>CICLO: SE SIEMBRAN TODOS LOS CICLOS FECHA DE SIEMBRA: DEL 20 DE MAYO AL 30 DE JUNIO LOS CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS Y DEL 30 DE JUNIO AL 15 DE JULIO LOS CORTOS</p>
<p>SUBREGION IV</p> <p>CICLO: MAYOR PORCENTAJE DE CICLOS INTERMEDIOS Y LARGOS FECHA DE SIEMBRA: LOS CICLOS LARGOS DE FINES DE MAYO A FINES DE JUNIO Y LOS CICLOS CORTOS DEL 15 DE JULIO AL 15 DE AGOSTO</p>
<p>SUBREGION VN</p> <p>CICLO: 90% DE CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS FECHA DE SIEMBRA: DEL 10 DE MAYO A FINES DE JUNIO LOS CICLOS INTERMEDIOS- LARGOS Y DE FINES DE JUNIO AL 20 DE JULIO LOS CICLOS CORTOS</p>
<p>SUBREGION VS</p> <p>CICLO: CICLOS LARGOS- INTERMEDIOS LARGOS FECHA DE SIEMBRA: DEL 20 DE MAYO AL 10 DE JUNIO</p>
<p>SUBREGIONES NOA Y NEA</p> <p>CICLO: CORTO-INTERMEDIOS FECHA DE SIEMBRA: DE FINES DE MAYO A FINES DE JUNIO.</p>

Fig.4.5. Fechas y ciclos utilizados en las dos últimas campañas (2018/19 y 2019/20), para las distintas subregiones trigueras actuales

Intersiembras trigo/soja

Una variante de siembra es la intersiembra, en el cual se dejan hileras para la intersiembra de la soja cuando el trigo se halla en las primeras etapas de la madurez. Cuando la soja nace, el trigo ya está senescente y el consumo de agua no es muy elevado; aunque si bien la soja tiene luz para crecer, la falta de agua, a no ser que se riegue, constituye el mayor problema para esta práctica ya que con este sistema no hay humedad acumulada para la soja porque ha sido consumida por el trigo. Así, la soja dependerá, casi exclusivamente, del agua que caiga durante su ciclo. Y muchas veces esta falta de agua en la implantación de la soja provoca gran mortandad de plántulas de la misma. Por otro lado, con este sistema se pueden esperar reducciones en el rendimiento de trigo del orden del 15-20%. Esta práctica del doble cultivo trigo-soja de segunda se ha extendido a la mayoría de las subregiones trigueras y a medida que se avanza hacia el sur las condiciones ecológicas para la implantación de la soja empeoran y el tiempo para el desarrollo se acorta: por lo tanto en estas subregiones (por ejemplo subregión IV) es donde más se experimenta con la intersiembra, tratando fundamentalmente de adelantar la siembra de la oleaginosa, aunque aún los resultados no son lo satisfactorio que se desearía (Fig.4.6).



Fig. 4.6. Intersiembra trigo/soja.

Fuente: <https://search.creativecommons.org/photos/71192d7e-ab92-46f9-84f4-ee6d6854a8f1>

Fecha de siembra y el cambio climático

Entre las proyecciones del cambio climático se encuentra el **aumento de las temperaturas medias**, provocando en los cultivos de trigo y cebada el acortamiento de sus ciclos, la modificación de la fecha de floración, la exposición del llenado de granos a mayores temperaturas y el menor período de macollaje. De acuerdo a la etapa del cultivo en el que se dé el **golpe de calor** (exposición del cultivo a temperaturas por encima de los 32 grados), los efectos son distintos. Cuando ocurre entre el fin del período vegetativo y la primera mitad del reproductivo, se logrará un menor número máximo de macollos; cuando el golpe de calor se produce en la segunda parte de la fase reproductiva se da una mayor mortandad de macollos, menor número de flores fértiles y un menor número de granos.m² y por ende menor rendimiento. Y cuando los golpes de calor coinciden con el llenado de granos, los efectos son un menor peso de los granos, menor peso hectolítrico y menor calidad comercial e industrial (Miralles, 2015). Miralles (2015) indicó que,

(...) si bien esto trae aparejado un acortamiento del ciclo del cultivo y que, si el período con heladas se reduce por aumentos de la temperatura mínima, cabría pensar en un adelantamiento de la fecha de siembra, pero esto resulta riesgoso, ya que no se da un patrón uniforme en la tendencia del corrimiento de las heladas, lo que puede conducir en igual, menor o mayor riesgo de heladas en la floración.

Asimismo, al sembrarse más temprano, con temperaturas mayores en las primeras etapas del cultivo para adelantar la floración, se pierde capacidad de aclimatación para tolerar heladas

en la etapa de pasto, puesto que un período de aclimatación a temperaturas frescas previas a las heladas permite soportarlas mejor. Siendo los ciclos largos menos susceptibles que los ciclos cortos a dicho fenómeno ambiental.

Al mismo tiempo, Miralles (2015) indicó que

(...) los cultivares actuales de trigo y cebada presentan sensibilidad a la pérdida de rendimiento por atrasos en las fechas de siembra respecto de la fecha óptima. De esta manera, se expone al cultivo a mayores temperaturas acortando el ciclo y reduciendo el rendimiento en valores que oscilan entre 4 y 6% por cada grado de incremento en las temperaturas medias.

Profundidad de siembra

La profundidad de siembra es esencial para un buen nacimiento e implantación del cultivo y depende del tipo de suelo. Para suelos arcillosos se recomienda sembrar a 3 cm y a 5 cm para suelos arenosos. Se debe tener en cuenta que el trigo lleva su corona, de donde saldrán las raíces adventicias, a 2,5 cm por debajo de la superficie del suelo, independientemente de la profundidad de siembra. Por lo tanto, a mayores profundidades, mayor será el gasto energético de la planta para elevar su corona. Esto puede significar un atraso en la emergencia y una reducción en la capacidad de macollaje.

Un resumen de todo lo visto referido a los efectos de la época de siembra sobre el cultivo de trigo se indica en la Fig. 4.7.



Fig. 4.7. Efectos de la época de siembra sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad.

Densidad

La elección de la densidad junto con la fecha de siembra, constituye una de las decisiones más importantes a tomar al momento de comenzar a planear la siembra. Estas medidas de manejo determinan, asumiendo que no existen limitaciones de agua ni nutrientes y existe un efectivo control de plagas, malezas y enfermedades, el nivel potencial de rendimiento a alcanzar con cada variedad. Con el manejo de la densidad de siembra se busca lograr captar más del 90% de la radiación incidente al momento del comienzo de la etapa crítica de generación de rendimiento (inicio de crecimiento de la espiga). Como vimos, cada cultivo posee distintas estrategias de compensación ante disminuciones de la densidad. El trigo se caracteriza por su gran capacidad de compensación a través del macollaje. Esta capacidad, junto con la variación en el número de granos por espiga y el peso de los mismos en menor medida, le permite al cultivo mantener constante el rendimiento final dentro de cierto rango amplio de densidades de siembra. La capacidad de macollaje está determinada genéticamente y, a su vez, se encuentra regulada por condiciones ambientales. Entre otros factores, la densidad de siembra, la fertilidad del lote y la fecha de siembra modifican la expresión del macollaje. Deficiencias de nitrógeno y/o hídricas durante la etapa inicial del cultivo, o bien atrasos en la fecha de siembra, disminuyen en gran medida la capacidad de generar macollos, con la consecuente disminución en la cantidad de espigas, y por ende determina un menor número de granos.m⁻² que es el principal componente del rendimiento.

La densidad de siembra dependerá de las condiciones ecológicas, del cultivar, época y prácticas culturales (fertilización, riego, herbicidas, etc.). En general, se busca que en madurez haya una población de 500-600 espigas.m⁻² y ello dependerá de la cantidad de macollos emitidos por el cultivo. De allí que todas las condiciones que afecten la capacidad de macollaje deben ser tenidas en cuenta para el cálculo de la densidad de plantas a sembrar. Dependiendo de la época de siembra y del cultivar, en zonas semiáridas la densidad aconsejada es de 180-220 pl.m⁻² y para la zona húmeda es de 250-350 pl.m⁻². Un atraso en la época de siembra trae aparejado un menor número de macollos emitidos lo que hace necesario un aumento de la misma.

Los cultivares de ciclo largo e intermedio-largo tienen una mayor capacidad de macollaje, por lo que se usan densidades más bajas. La densidad también depende de la calidad del ambiente, mejores condiciones de fertilidad y humedad; admiten densidades más altas, con respecto a ambientes con estreses hídricos y/o nutricionales. El tipo de sembradora es otro factor importante a tener en cuenta. La menor densidad se logra con el uso de las llamadas sembradoras de precisión; por el contrario, la densidad se debe aumentar cuando se usa siembra directa, aunque en ese caso no es un problema de la máquina en sí, sino de las condiciones de la cama de siembra, con la presencia de abundantes rastros en superficie, el adecuado contacto semilla suelo suele no ocurrir y en consecuencia disminuye la eficiencia de implantación. Con las sembradoras de precisión se puede bajar la densidad de plantas debido a que la mejor distribución permite que se exprese la plasticidad del cultivo para compensar, dentro de ciertos límites, los componentes del rendimiento y dar rendimientos similares a los obtenidos con una

densidad convencional. Ya por debajo de 100 pl.m⁻², la mayor cantidad de macollos.planta⁻¹ no alcanza a compensar el menor número de ellas, dando como resultado un menor rendimiento.

La densidad de siembra es una de las prácticas de manejo que determina la capacidad del cultivo de interceptar recursos: luz, agua y nutrientes. Y frecuentemente está orientada a maximizar la utilización de los recursos y reducir los efectos perjudiciales de los factores abióticos y bióticos con el fin de aumentar los rendimientos y calidad de los granos. Para ello, la densidad debe asegurar coberturas vegetales uniformes y elevadas desde etapas tempranas y especialmente en los períodos críticos del ciclo del cultivo.

Dentro de los mecanismos generales de la respuesta a la densidad encontramos a la competencia. La **competencia** es el proceso por el cual las plantas comparten recursos que se hayan provistos en forma insuficiente para satisfacer su demanda combinada (Satorre, 1988). Es el proceso de mayor importancia en la regulación de las respuestas del cultivo a la densidad. La competencia puede ser interespecífica, cuando se da entre individuos de especies diferentes (por ejemplo, cultivo y malezas) o bien intraespecífica, es decir entre individuos de la misma especie. En este caso puede suceder que la competencia sea entre genotipos semejantes, es decir especies autógamas (trigo) o poblaciones híbridas de especies alógamas (híbridos de maíz) y entre genotipos diferentes de especies de fecundación cruzada (variedades de maíz). En poblaciones de genotipos semejantes es esperable que las necesidades y usos de los recursos limitantes entre los individuos del cultivo sean más parecidas y, por lo tanto, la competencia pueda resultar mayor que entre individuos semejantes, pero genéticamente heterogéneos (Satorre, 1988).

En general, el diseño de los cultivos en el mundo, para la comercialización, tienden al manejo de poblaciones de genotipos semejantes fuertemente seleccionados por su uniformidad genética y similitud fenotípica, utilizando semillas de tamaño parecido y que emergen simultáneamente. Estas son características que tienden a aumentar la competencia intraespecífica, pudiendo resultar en una reducción de la supervivencia, de la producción de biomasa y rendimiento por planta individual. No obstante, un cultivo creciendo en condiciones de elevada competencia a partir de una correcta elección de la densidad de siembra, maximiza la utilización de los recursos por unidad de área y su rendimiento (Satorre, 1999).

También existen **interacciones no competitivas** frente al aumento de la densidad o cambio del arreglo espacial de las plantas, como ser respuestas al ambiente frente a estas situaciones. Existen evidencias que el aumento de la densidad modifica la calidad de la luz que reciben a través de cambios en la relación rojo-rojo lejano, provocando un alargamiento de los tallos e inhibición en la emisión de macollos (Barnes & Bugbee, 1991; Maddonni *et al.*, 2002).

Influencia de la densidad sobre la producción de biomasa del cultivo

Cuando no existen limitantes hídricas ni nutricionales, el crecimiento del cultivo está directamente relacionado con la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RFAi) que es interceptada por el canopeo (ei) y la eficiencia con que dicha radiación es convertida en biomasa.

Cuando se producen reducciones en la densidad existen cultivos que se ven menos afectados que otros en la interceptación de la radiación incidente, debido a su capacidad de compensación, como asimismo en su capacidad de conversión (ec) (aunque para este parámetro no hay un patrón general de respuesta). $Biomasa = \sum RFA_i \cdot e_i \cdot ec \cdot n$.

Existen cultivos que tienen la capacidad de compensar bajas densidades y tolerar altas densidades a través de diferentes mecanismos, por ejemplo, la soja a través de ramificaciones, el trigo a través de macollos, el girasol modificando el área foliar, poseen lo que se conoce como plasticidad fenotípica. Otros como el maíz carecen de estas posibilidades, lo que implica que existe muy poco margen de error frente a la densidad a implantar, puesto que posee escasa regulación del área foliar por planta ante variaciones de la densidad, ya que su área foliar es relativamente estable. Por lo tanto, en bajas densidades el maíz no alcanza a desarrollar suficiente área foliar para alcanzar el IAF crítico. En cambio, los cultivos de soja, girasol y trigo poseen la capacidad de aumentar el área foliar por planta ante bajas densidades de siembra, a través de los distintos mecanismos citados anteriormente.

Cuando existen limitaciones hídricas o nutricionales, los mecanismos de compensación de las especies no son los mismos que los citados para capturar la radiación incidente y en general en ambientes con restricciones, la tasa de crecimiento del cultivo o biomasa dependerá más de la disponibilidad de recursos que de su densidad.

Relaciones entre biomasa y densidad

En general, la biomasa del cultivo producida por unidad de área se incrementa con el aumento de la densidad hasta aproximarse a un valor máximo. El aumento de la densidad provoca un incremento del área foliar del cultivo y consecuentemente de la captación de recursos. Este proceso es continuo hasta que el área foliar se maximiza. Paralelamente, la producción de biomasa por planta va disminuyendo, siendo la producción por unidad de área compensada por el mayor número de individuos. Al alcanzarse el valor crítico de interceptación de la radiación (95%) o de los otros recursos, esta compensación se equilibra y la biomasa del cultivo se estabiliza.

Al inicio del cultivo, la materia seca o biomasa del cultivo por unidad de área está asociada linealmente a su densidad, con una tasa que depende de las características del cultivo. A medida que las plantas del cultivo crecen, es decir aumentan de tamaño y con ello su capacidad para captar recursos, la relación dejará de ser lineal en alguna densidad, dependiendo esto del cultivo. En trigo la competencia entre plantas en las primeras etapas es muy baja y solo puede evidenciarse en muy altas densidades. A medida que el ciclo del cultivo avanza, las plantas aumentan su tamaño y el área foliar y la competencia se establece aún en densidades bajas, de manera que el tamaño de las plantas individuales decrece ante aumentos de la densidad de siembra sobre una densidad umbral donde la biomasa del cultivo se estabiliza (Kruk & Satorre, 2004) (Fig. 4.8). Por lo tanto, el tipo de curva que se origina entre la densidad y la biomasa del cultivo es de tipo asintótica y se extiende sobre un amplio rango de densidades para cultivos

como el trigo con plasticidad fenotípica. De este modo el peso medio de cada individuo del cultivo se reduce, compensando los aumentos en la densidad. Se ha comprobado que plantas de trigo creciendo sin competencia intraespecífica pueden tener un tamaño entre 10 a 80 veces mayor que el que presentan en un cultivo en densidades normales de siembra.

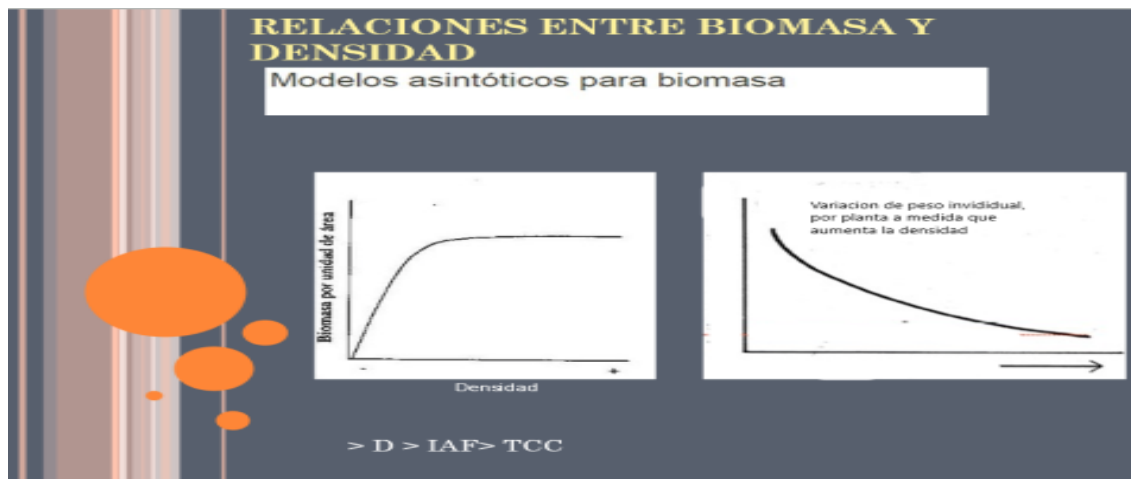


Fig. 4.8. Relación entre el incremento de la densidad y la biomasa del cultivo y de cada planta en forma individual.

El efecto de la densidad sobre el rendimiento en grano

La sensibilidad del rendimiento y de la biomasa total frente a variaciones en la densidad de plantas, depende de la plasticidad de los genotipos en la generación y fijación de estructuras reproductivas adicionales por planta (Ruget, 1989). Por otra parte, la plasticidad en el crecimiento y los mecanismos de tolerancia a estrés por competencia de cada especie determinarán las respuestas en materia seca total y rendimiento ante aumentos en la densidad de plantas (Andrade *et al.*, 2002).

La respuesta a la densidad de los órganos reproductivos varía según la especie, el genotipo y el rango de densidades considerado, ajustándose en algunas situaciones a un modelo parabólico como en el caso del maíz y en otras, a uno asintótico como en el trigo y la soja. La respuesta de tipo parabólica se ha atribuido al hecho de que la partición de recursos a los órganos de almacenamiento puede ser fuertemente afectada por la competencia.

En general, la elección de la densidad de siembra debería buscar el máximo aprovechamiento de los recursos, para asegurar la mayor productividad de los cultivos. Atento a lo visto en capítulos anteriores, esto se logra maximizando las tasas de crecimiento del cultivo durante sus etapas críticas de generación del rendimiento. El aumento de la captura de recursos, particularmente en las etapas tempranas del cultivo, no necesariamente maximiza el criterio de productividad comentado. Por ejemplo, en condiciones de sequo, una elevada densidad de plantas, que provoca el consumo de agua en exceso por el cultivo en una etapa relativamente temprana, puede reducir la disponibilidad de este recurso durante las etapas críticas, determinando la obtención de rendimientos semejantes a los logrados con los cultivos creciendo a menores densidades.

Para el trigo como para la soja, que presentan tanto para la biomasa como para el rendimiento una relación de tipo **asintótica** con la densidad (Willey & Heath, 1969), el concepto que resulta agronómicamente más adecuado es el de densidad **óptima económica de siembra**, definida como aquella densidad por encima de la cual el rendimiento extra obtenido iguala o es levemente inferior al costo extra de las semillas utilizadas. Distinto es el caso del rendimiento en maíz, que presenta una relación con la densidad de tipo parabólica, ya que no presenta la plasticidad fenotípica que presentan cultivos como el trigo y la soja. En este caso hablamos de una densidad óptima de siembra, definida como la densidad en la que se obtienen los máximos rendimientos (Kruk & Satorre, 2004).

Hay evidencias de que el aumento de la densidad no solo aumenta la captura de la radiación sino también la de recursos del suelo (agua y nutriente), al menos tempranamente en el ciclo del trigo. Sin embargo, a medida que el cultivo avanza en su ciclo, en ambientes con restricciones, su tasa de crecimiento dependerá más de la disponibilidad de recursos que de su densidad (Kruk & Satorre, 2004).

Puckridge & Donald (1967) analizaron el efecto de la densidad sobre el rendimiento y sus componentes en el cultivo de trigo sobre un amplio rango de densidades (1,4-1.078 pl.m⁻²) para las condiciones de Australia Occidental, con precipitaciones entre 250-450 mm por año. Para dichas condiciones ambientales, el rendimiento por unidad de área fue mayor a densidades intermedias y en cuanto a sus componentes: el peso de los granos no resultó afectado en forma significativa, en cambio, si resultaron muy afectados el número de granos.espiga⁻¹ y el número de espigas.planta⁻¹, presentando un efecto compensador sobre el rendimiento. En condiciones de baja disponibilidad de recursos, las plantas creciendo a altas densidades (severa competencia) muestran una reducción progresiva de la tasa de crecimiento, que afecta el número de granos principalmente durante el período crítico (20 días antes y 10 días después de anthesis). Sin embargo, la cantidad de luz interceptada tempranamente por el cultivo resulta mayor que en bajas densidades y, en consecuencia, la tasa de crecimiento del cultivo en preanthesis puede resultar mayor a altas densidades. Cuando el cultivo alcanza el 95% de interceptación lumínica antes de iniciar el crecimiento de la espiga, el rendimiento del cultivo sería independiente del número de plantas establecidas. Por lo tanto, en un amplio rango de densidades, el peso de las espigas en anthesis y el número de granos, serán lo suficientemente altos para maximizar el rendimiento por unidad de superficie. Ensayos realizados en Argentina corroboran, en líneas generales, esos resultados y señalan la capacidad del cultivo de compensar reducciones en el número de plantas.unidad de área⁻¹, principalmente, a través del aumento en el número de espigas de macollos (Lerner & Satorre, 1990). Dado que el rendimiento del cultivo de trigo está positivamente correlacionado con el número de espigas.unidad de área⁻¹ (Calderini *et al.*, 1995), esto se puede lograr usando bajas densidades de siembra, siendo importante en esta situación la contribución de espigas de macollos o altas densidades de siembra, con espigas provenientes principalmente de los vástagos principales (Satorre, 1999).

A su vez, existen, diversas **características genéticas** que pueden modificar las relaciones **entre** la densidad y el rendimiento a través de su influencia sobre la plasticidad fenotípica. En trigo, los aumentos de la densidad por encima de la densidad óptima no producen cambios

importantes en el rendimiento (a no ser que sea demasiado elevada, lo que aumentaría el riesgo de vuelco y daño por enfermedades e insectos) (Satorre, 1999) mientras que en el maíz puede provocar disminuciones significativas en el rendimiento debido a fenómenos de competencia intraespecífica, por dominancia apical de la panoja (Vega & Andrade, 2000). El **ciclo** del genotipo modifica la relación rendimiento- densidad. Para un ciclo de crecimiento largo la densidad óptima a utilizar es menor que en los genotipos de ciclo de crecimiento más cortos. Esto se debe a la mayor capacidad de capturar recursos de los cultivares de mayor duración de ciclo y por ende de producir macollos (Ventimiglia & Torrens Baudrix, 2015). En condiciones de buena **disponibilidad de agua y nutrientes**, los mayores rendimientos se alcanzan con densidades más altas que en ambientes de menor disponibilidad de recursos (Nafziger, 1998). En trigo, cuando el crecimiento vegetativo se ve restringido por la falta de recursos, suele pensarse en un aumento de la densidad a fin de favorecer una mayor intercepción de radiación por el canopeo (Pepper, 1998), sin embargo, si el recurso limitante es el agua y/o nutrientes, cuya situación no cambia durante el período crítico de determinación del rendimiento, una mayor densidad seguramente producirá rendimientos menores, por lo que siempre es aconsejable en estos casos sembrar una densidad baja. La **fecha de siembra** afecta la producción de biomasa de la planta y su rendimiento, por lo que en trigo atrasos en la fecha de siembra aceleran la tasa de desarrollo reduciendo la duración del ciclo de crecimiento, dando como resultado plantas más chicas, por lo que en estos casos aumentos en la densidad actúan compensando ese menor crecimiento (Popa, 1995). La **calidad de la semilla** puede afectar el rendimiento y la respuesta a la densidad de los cultivos. Las semillas con poco vigor pueden reducir la eficiencia de emergencia e implantación del cultivo debido a que las plantas que emergen son débiles y se comportan peor que aquellas provenientes de semillas con alto vigor (Kruk & Satorre, 2004). Los cultivos tradicionalmente se sembraron en hileras distanciadas de modo de permitir el tránsito de maquinarias para el control de malezas en los espacios entre las hileras. Pero en la actualidad, la aparición de herbicidas selectivos en muchos casos no justifica el uso de ciertos **distanciamientos entre hileras**. No obstante, el sistema de dosificación de semillas o la necesidad de aplicar fertilizantes pueden influir en esto (Kruk & Satorre, 2004). En los cultivos de grano, la distancia entre hileras suele ser mayor que la distancia entre plantas dentro de la hilera. La particularidad de este **arreglo espacial** en cada especie se define por la **rectangularidad** que surge del cociente de la distancia entre hileras y la distancia entre plantas dentro de la hilera. Por ejemplo, la rectangularidad de un cultivo de trigo sembrado a 25 cm entre hileras es de 13,75 y mayor que la de uno sembrado a 15 cm entre hileras (4,94), a una misma densidad de 220 pl.m⁻² (Kruk & Satorre, 2004). En general, se considera que el rendimiento del cultivo tiende a ser mayor a cualquier densidad cuando las plantas se distribuyen regularmente (rectangularidad 1:1) dado que se minimiza la competencia por recursos tales como el agua, nutrientes y radiación. La reducción del espaciamiento entre hileras contribuye a anticipar el cierre de los entresurcos e incrementa la producción temprana de biomasa vegetativa, aumentando el aprovechamiento de la radiación solar y la competencia con malezas. No obstante, ese acortamiento de la distancia entre hileras puede resultar negativo para el rendimiento en años secos, puesto que un consumo temprano del agua puede provocar un déficit importante duran-

te el período crítico para la determinación del rendimiento. De lo visto podemos resumir en la Fig. 4.9, los efectos de la disponibilidad de recursos sobre la densidad en el cultivo de trigo.

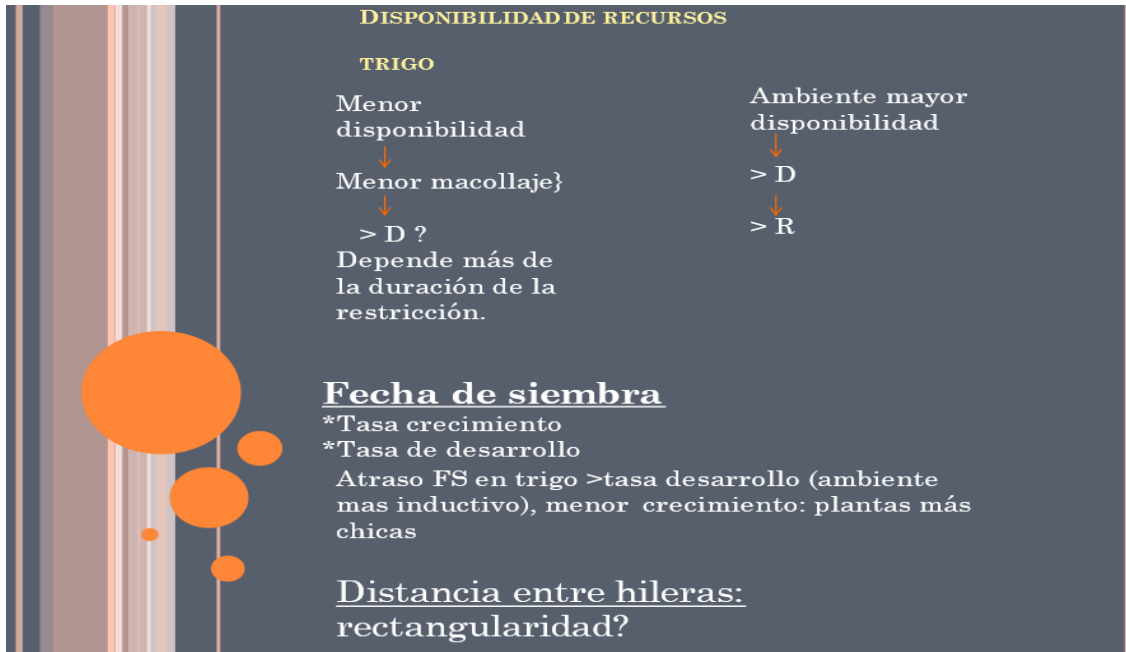


Fig. 4.9. Efectos de la disponibilidad de recursos sobre la densidad del cultivo

Cálculo de la densidad de siembra

En el cálculo, se necesita el peso de mil semillas (PMG), densidad de plántulas.m⁻² objetivo que va a variar con la variedad y el ambiente, siendo menor para hábitat más secos y mayor para los húmedos, el % de pureza, el % poder germinativo y el % de logro. Debemos multiplicar por 10.000 para llevarlo a kg.ha⁻¹ de semillas (Pognante *et al.*, 2011).

$$\text{Kg/ha} = \frac{\text{PMG} \times \text{pl/m}^2 \times 10000}{\%P \times \%PG \times \%Logro}$$

Referencias

- Aapresid. (2012). Evolución de la superficie en Siembra Directa por cultivos. Recuperado de <https://www.aapresid.org.ar>
- Alberione, E. & Andreucci, A. (2017). Daños por heladas en trigos en estadíos de crecimiento temprano. EEA INTA Marcos Juárez. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_trigo_danoheladas17.pdf.
- Bardner, R. & Fletcher, K. (1974). Insect infestations and their effects on the growth and yield of field crops. A review. *Bulletin of Entomology Research*, 64, 141-160.

- Barnes, C. & Bugbee, B. (1991). Morphological responses of wheat to changes in phytochrome photoequilibrium. *Plant Physiology*, 97, 359-365.
- Basualdo, J. Díaz, M., Echenique, V. & Carrera, A. (2011). Control de la floración y tolerancia al frío. Vernalización en cereales. *AgroUNS, Año IX, N° 16*, 15-17.
- Bolsa de cereales departamento de estimaciones agrícolas. (2019). Recuperado de <https://www.bolsadecereales.com › estimaciones-agricolas>.
- Bragachini, M., Méndez, A. & Scaramuzza, F. (2004). Trigo sobre Maíz. *Proyecto Agricultura de Precisión, INTA Manfredi*.
- Calderini, D.F., Maddonni, G.A., Miralles, D.J., Ruiz, R.A. & Satorre, E.H. (ex aequo) (1995). Trigo: Modelos de alta producción. *Revista CREA*, 177, 44-47.
- Castellarin, J.M. (2009). Influencia de las prácticas de manejo sobre la generación del rendimiento en el cultivo de trigo. *Para mejorar la producción* 40, 23 -38. INTA EEA Oliveros Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-influencia-practicas-manejo-sobre-la-generacion-de.pdf>
- Corró Molas, A., Pérez Fernández, J., Figueruelo, A., Funaro, D., Cabo, S. & Olguin Paez, R. (2016). Daño por frío en cereales de invierno. *Informe técnico*. EEA Anguil, AER Gral. Pico. Recuperado de <https://ruralnet.com.ar/dano-frio-cereales-invierno>.
- Chidichimo, H.O., Golik, S.I., Pardi, M.H. & Asborn, M. (2004). Análisis del ápice y crecimiento de la espiga de trigo. Su relación con factores ambientales y de manejo. En VI Congreso Nacional de Trigo, 55–56.
- Di Pane, F.J. & Kraan, G. (2004). Comportamiento a heladas en pasto de variedades de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) en la subregión triguera IV. En VI Congreso Nacional de Trigo, 57 – 58.
- Fernández Long, M.E., Barnatán, I.E., Spescha, L., Hurtado, R. & Murphy, G. (2014) Caracterización de las heladas en la región pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. Recuperado de https://www.agroconsultasonline.com.ar/ticket.html/Fernandez%20Long%20et%20al.pdf?op=d&ticket_id=3550&evento_id=7224#:~:text=En%20la%20zona%20triguera%20IV,principios%20y%20mediados%20de%20setiembre.
- Fischer, R.A. (1985). Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science*, 105, 447 – 461.
- Forján, H. & Manso, L. (2016). Los cereales de invierno en la rotación de cultivos. Recomendaciones de la Chacra Experimental Integrada Barrow para potenciar el funcionamiento de los agroecosistemas mediante un sistema de producción sustentable. INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow. Tres Arroyos. Pcia. Buenos Aires. Argentina. Recuperado de <https://intainforma.inta.gob.ar/los-cereales-de-invierno-en-la-rotacion-de-cultivos>
- Fraschina, J., Bainotti, C. & Salines, J. (2003a). El cultivo de trigo y la siembra directa en la región central norte. En *Trigo, Actualización 2003*, 59–61.
- Fraschina, J., Bainotti, C., Salines, J. & Formica, B. (2003b). Daño por frío en trigo. Recuperado de www.engormix.com. Último acceso febrero 2021.
- Fraschina, J., Bainotti, C. & Salines, J. (2012). El cultivo de Trigo y la siembra directa en la región central norte. Grupo Mejoramiento de Trigo, EEA INTA Marcos Juárez. Recuperado de

<https://www.agrositio.com.ar/noticia/44899-el-cultivo-de-trigo-y-la-siembra-directa-en-la-region-central-norte>

- Fraschina, J., Salines, J. & Bainotti, C. (2002). El cultivo de trigo y la siembra directa. AAPRE-SID. *Trigo en siembra directa*, pp 31.
- Galich, M T. Villar de & Galich, A. (2000). Manejo de enfermedades del trigo en el área pampeana central norte. *Hoja Informativa n° 339*. EEA INTA Marcos Juárez.
- INTA. (2019). Daños por frío en trigo. Recuperado de <https://www.revistachacra.com.ar>.
- Kruk, B. & Satorre, E. (2004). Densidad y arreglo espacial del cultivo. En Antonio Pascale (Ed.), *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* (13), 279-316. Buenos Aires; Editorial Facultad de Agronomía.
- Lerner, S.E. & Satorre, H.E. (1990). Aplicación de un diseño experimental sistemático al estudio de la respuesta a la densidad de cultivares de trigo. En Asoc Ings. Agrs. del Norte de la de Buenos Aires (Eds.), *Actas II Congreso Nacional de Trigo*, Pergamino. Argentina. Vol 1, 44-50.
- Lorenzatti, S. (2005). Siembra directa: trigo. Su impacto en la materia orgánica. Recuperado de <http://www.eeaoc.org.ar/noticias/noticia.asp?seccion=noticias&id=230>
- Maddoni, G., Otegui, M.E., Andrieu, B., Chelle, M. & Casal, J.J. (2002). Maize leaves turn away from neighbors. *Plant Physiology*, 130, 1181- 1189.
- Miralles, D. (2015) Disertación en "A Todo Trigo 2015". Federación de Acopiadores. Recuperado de <http://www.acopiadores.com> > biblioteca > material > congresos.
- Miralles, D.J., Gonzalez, F.G., Abeledo, L.G., Serrago, R.A., Alzueta, I., Garcia, G.A., de San Caledonio, R.P. & Lo Valvo, P. (2014). En D.J. Miralles, F.G. Gonzalez, L.G. Abeledo, R.A. Serrago, I. Alzueta, G.A.García, R.P. de San Caledonio & P. Lo Valvo (Eds.), *Manual de trigo y cebada para el cono sur. Procesos fisiológicos y bases de manejo*.
- Nafziger, E. (1998). Corn. En *Agronomy Handbook*. (2), 1997-1998. University of Illinois at Urbana-Champaign. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences Department of Crop Sciences.
- Otegui, M.E. & López Pereira, M. (2004). Fecha de siembra. En Antonio Pascale (Ed.), *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* (259- 275). Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.
- Pepper, R. (1998). Soybeans En *Agronomy Handbook*. University of Illinois at Urbana-Champaign. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences Department of Crop Sciences.
- Peretti, M. (2001). Economía del cultivo de trigo en los últimos 20 años. *Trigo Actualización 2001. Información para extensión N° 65* (42– 48). Córdoba: EEA INTA Marcos Juárez.
- Pognante, J., Bragachini, M. & Casini, C. (2011). Siembra Directa. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina. *Actualización Técnica N° 58*.
- Popa, M. (1995). Results on the formation of grain yields under the influence of agronomic factors. *Probleme de Agrofitehnie Teoretica si Aplicata* 17, 57-67.
- Puckridge, D.W. & Donal, C.M. (1967). Competition among wheat plants sown at a wide range of densities. *Australian Journal of Agricultural Research*, 18, 193-211.

- Purvis, O.N. (1961). The physiological analysis of vernalization. *Encyclopedia of Plant Physiology* 16, 76-122.
- Rainaud, M. (2019). Informe de evolución de la siembra directa en Argentina, campaña 2018/19. Recuperado de <https://www.aapresid.org.ar/blog/evolucion-de-siembra-directa-en-argentina-campana-2018-19/>.
- Raper, T. (2017). Freeze-Damage-Jointing-Wheat. Recuperado de <http://news.utcropl.com/2017/03/freeze-damage-jointing-wheat/> Institute of Agriculture the University Tennessee.
- Ruget, E. (1989). Relations entre matière sèche a floraison et rendement en grains chez le maïs : importance du rayonnement disponible par plante. *Agronomie*, 9, 457-465.
- Russel, W. (1986). Contribution of breeding to maize improvement in the United States, 1920s-1980s. *Journal Research*, 51, 6-34.
- Sadras, V., Fereres, A. & Ratcliffe, R. (1999). Wheat growth, yield, and quality as affected by insect herbivores. En E.H. Satohe & G.A. Slafer (Eds.), *Wheat: Ecology and Physiology of yield determination* (183-227). The Haworth Press, Inc. New York, London, Oxford.
- Sadras, V.O. & Hall, A.J. (1989). Patterns of water availability for sunflower crops in semi-arid central Argentina. A simulation-based evaluation of their interactions with cropping strategies and cultivar traits. *Agricultural Systems*, 31, 221-238.
- Satorre, E.H. (1988). *The competitive ability of spring cereals*. PhD Thesis, University of Reading. UK. Recuperado de <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.383423>.
- Satorre, E.H. (1999). Plant density and distribution as modifiers of growth and yield. En E.H. Satorre, & G.A. Slafer (Eds.), *Ecology and Physiology of yield determination* (141-159). The Haworth Pre, Inc. New York, London, Oxford.
- Shroye, J., Merrel P., Mikesell, E. & Gary, M. (1995). *Spring Freeze Injury to Kansas Wheat*. Kansas State University.
- Sistema de Información de clima y agua, INTA (2014). Estadísticas de Heladas Meteorológicas, fechas promedio ultima heladas. Recuperado de http://climayagua.inta.gob.ar/estad%C3%ADsticas_de_heladas_meteorol%C3%B3gicas
- Vega, C.R.C. & Andrade, F.H. (2000). Densidad de plantas e hileras. En F.H. Andrade y V.O. Sadras (Eds.), *Bases para el manejo del girasol y la soja* (97-133). Argentina: Panamericana S.A.
- Ventimiglia, L & Torrens Baudrix, L. (2015). Trigo: efecto de la densidad de siembra sobre el comportamiento de variedades de ciclo largo y corto. Grupo Mejoramiento de Trigo. Area Mejoramiento Genético Vegetal. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_9_de_julio_trigo_efecto_de_la_densidad_de_siemb.pdf
- Wiley, R. & Heath, S. (1969). The quantitative relationships between population and crop yield. *Advances in Agronomy*, 281-321.

CAPÍTULO 5

Trigo: fertilización y rotaciones

Silvina Inés Golik

Fertilización en trigo

La producción de biomasa, el rendimiento y la calidad del trigo dependerán de la disponibilidad de nutrientes y por ende del conocimiento de su dinámica de acumulación, de sus requerimientos y de sus funciones en la determinación del rendimiento y sus componentes (Maddonni *et al.*, 2004). Dichos requerimientos varían a lo largo del ciclo del trigo debido a cambios en el patrón de absorción de nutrientes, que depende de la tasa de crecimiento del cultivo. El manejo de los nutrientes dependerá en gran parte de su movilidad en el suelo. Cuando se manejan nutrientes que tienen mayor movilidad, como el N y el S, la cantidad de fertilizante a aplicar está directamente relacionado con el rendimiento objetivo, en cambio para los nutrientes de baja movilidad, como el P y K la estrategia estará centrada en aumentar el nivel del mismo en el suelo para sostener determinado nivel de producción (Salvagiotti, 2004).

En la Tabla 5.1 se presentan los **requerimientos** nutricionales del cultivo de trigo y la extracción en grano. Estos valores deben considerarse promedios, debido a que la concentración de nutrientes en planta y grano es variable según las condiciones de producción, el rendimiento objetivo y la disponibilidad del nutriente en el suelo (Castellarín, 2009; Divito *et al.*, 2017). El índice de cosecha (extraído/absorbido) de los macronutrientes nitrógeno (N) y fósforo (P) es elevado, respecto al de los otros nutrientes.

Tabla 5.1. Requerimiento, índice de cosecha y extracción por tonelada de grano en trigo

TRIGO	Necesidad Kg/ t de grano	Índice de cosecha	Extracción Kg/ t de grano
Nitrógeno (N)	30	0,66	19,8
Fosforo (P)	5	0,75	3,8
Azufre (S)	4,7	0,25	1,2
Potasio (K)	19	0,17	3,2
Calcio (Ca)	3	0,14	0,4
Magnesio (Mg)	3	0,5	1,5

Adaptado de García F. & Berardo A. 2006.

Además de los requerimientos totales, es necesario conocer la **dinámica de absorción** durante todo el ciclo del cultivo. En trigo, como en los demás cereales, una vez finalizadas las primeras etapas (donde la tasa de crecimiento es baja) de instalación del cultivo y la expansión de las primeras hojas, los ritmos de crecimiento (área foliar) y desarrollo se incrementan marcadamente. Con ello se incrementa también la acumulación de nutrientes y una gran proporción del requerimiento total es absorbido en un lapso relativamente breve del ciclo del cultivo, que se concentra en el período de prefloración. En trigo, igual que otros cultivos, existe un adelantamiento de la absorción de los nutrientes respecto a la acumulación de materia seca. Mientras que hasta antesis acumula cerca del 40-45% de la biomasa aérea total, la acumulación hasta dicho momento de N es de 70-80% (Fig. 5.1), de P un 75-85% y de S alrededor del 50-60%, del total acumulado de cada uno de ellos a madurez (Divito *et al.*, 2017). El cultivo puede tolerar deficiencias nutricionales tempranas sin que se afecte el rendimiento, siempre que éstas se reviertan antes del período crítico. Cada nutriente cumple funciones específicas en el metabolismo de las plantas, así N, P y S son constituyentes esenciales de moléculas orgánicas, el K es osmoregulador y al igual que el Mg, es activador enzimático. El Ca desarrolla funciones estructurales como estabilizador de membranas celulares y los micronutrientes son constituyentes esenciales de varias enzimas (Divito *et al.*, 2017).

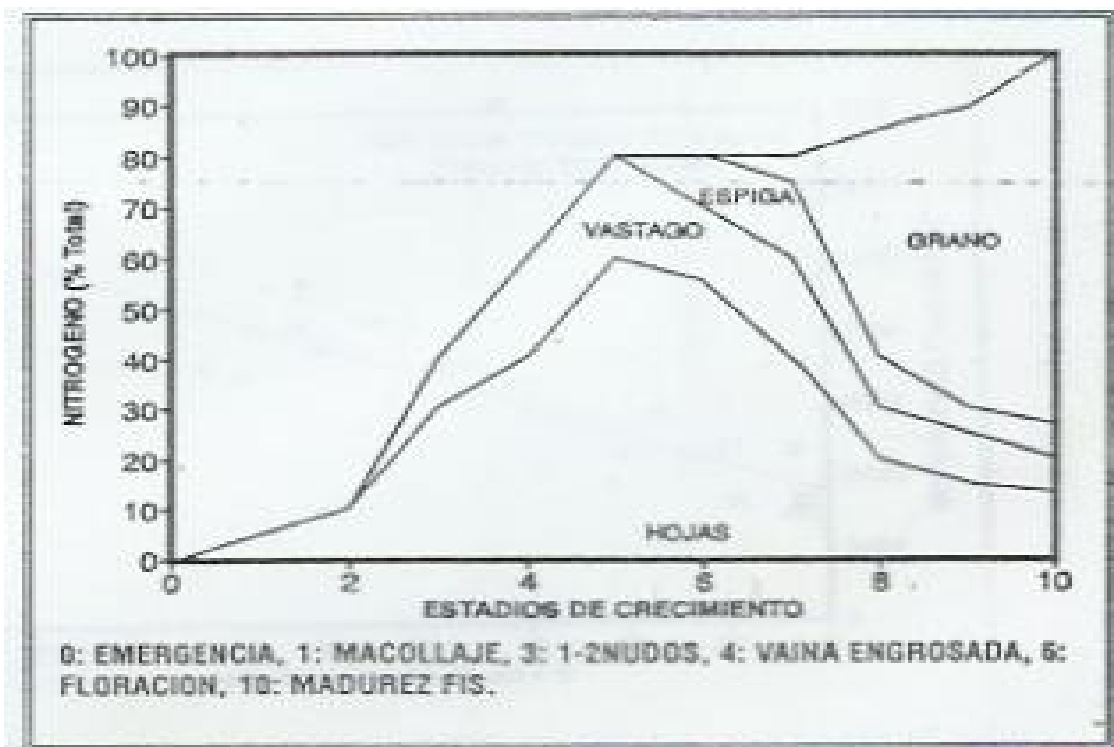


Fig.5.1. Acumulación de N durante el ciclo del trigo. Fuente de Waldren & Floerday (1979).

Efectos sobre el crecimiento

La disponibilidad de nutrientes, especialmente de N y P provoca cambios tanto en la fuente de fotoasimilados (área foliar del cultivo, IAF), como en sus destinos (granos). La deficiencia de

estos nutrientes altera la dinámica de expansión del área foliar verde, afectando por lo tanto la fracción de radiación interceptada por el cultivo, disminuyendo por ende la eficiencia de interceptación y su duración (senescencia). En el trigo, una deficiencia de N y P afecta el IAF, modificando sus componentes: el número de hojas por planta a través de una modificación en la generación y supervivencia de macollos (el número de hojas por vástago está regulado por el genotipo, por lo tanto, no se ve modificado por una deficiencia). En otros cultivos como la soja, la deficiencia de dichos nutrientes modifica el número de ramificaciones. También puede afectar la expansión de las hojas individuales principalmente en cultivos que no macollan ni se ramifican, como son el maíz y el girasol. La disponibilidad de nutrientes, además de modificar el IAF, puede provocar cambios en el coeficiente de extinción lumínico (k), modificando el ángulo de inserción de las hojas y su reflectancia (Dreccer *et al.*, 2004). Respecto a la senescencia, que, en los cultivos anuales, ocurre generalmente luego de la floración, se ve incrementada por la deficiencia de N, puesto que en esta etapa la resíntesis de proteínas para mantener las hojas verdes compite con la removilización del N hacia los granos que se constituyen el principal destino. Además, en esta etapa del ciclo del cultivo muy frecuentemente la disponibilidad de N en el suelo se encuentra limitada en condiciones de campo. La menor disponibilidad de N y P también afecta la eficiencia de uso o de conversión de la radiación en fotoasimilados para la planta, a través de una menor tasa fotosintética (Fig. 5.2).

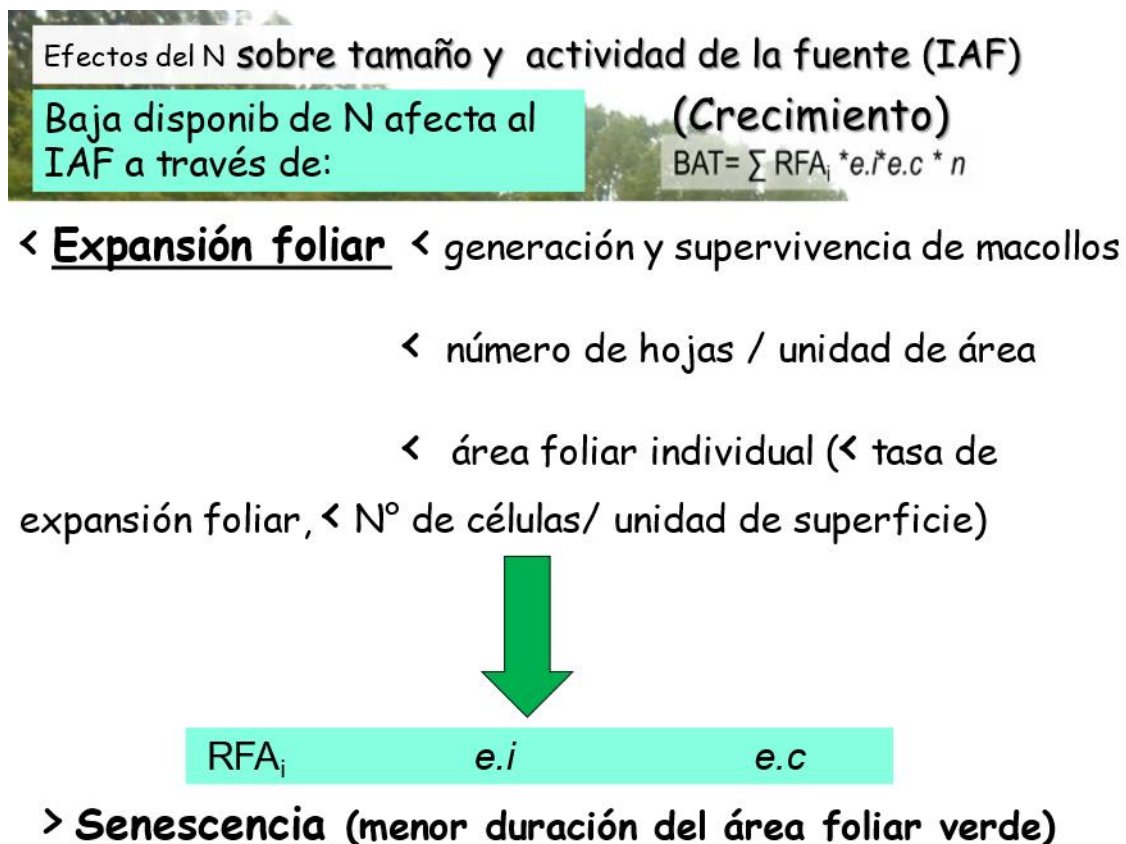


Fig.5.2. Efecto del déficit de N sobre el crecimiento del cultivo.

Efectos sobre el rendimiento y sus componentes

La relación entre la disponibilidad de nutrientes y el rendimiento es de tipo pendiente-plateau, es decir que llega un momento en la cual la absorción de N no provoca aumentos del rendimiento. En general se considera que el número final de granos queda definido durante la etapa crítica del cultivo (un mes alrededor de floración). Durante esta etapa existe una competencia importante por los fotoasimilados entre los órganos cosechables y los órganos vegetativos (tallos). En este período no solo la tasa de crecimiento del cultivo es importante en la definición del número de granos sino también la disponibilidad de N lo es a través de su regulación en la tasa de crecimiento del cultivo, a través de los efectos que ya vimos sobre la interceptación y eficiencia de uso de la radiación. Un aumento en la disponibilidad de N y P favorece el macollaje y la fertilidad de los macollos y por ende del número de espigas.m⁻². Dentro de cada espiga, el número potencial de flores y su fertilidad responden también a la disponibilidad de nutrientes. En el peso de los granos, aunque la disponibilidad de nutrientes presenta menor respuesta, su efecto se da a través de su influencia sobre la producción de fotoasimilados (tasa y duración), modificando el número de células endospermáticas y el número de gránulos de almidón (Andrade *et al.*, 1996).

Efectos sobre la calidad

El porcentaje de proteínas del grano de trigo es el parámetro más utilizado comercialmente para definir su calidad panadera ya que determina el contenido de proteínas y gluten en la harina, componentes que le confieren las características viscoelásticas necesarias para su procesamiento. Normalmente entre un 70-80% del N disponible es absorbido antes de floración, por lo tanto, las proteínas de los granos se forman en su mayor parte utilizando N que se removiliza desde el tallo y las hojas hacia los granos como del proveniente de la absorción remanente (20% aproximadamente) (Fig. 5.3). La relación entre el rendimiento y el contenido de proteína en grano depende de la disponibilidad de N. En situaciones de baja disponibilidad de N, el rendimiento del cultivo se incrementa con el agregado de este nutriente, mientras que los niveles de proteína en grano no se modifican o disminuyen (Región 1 de la Fig. 5.3); en situaciones de disponibilidad media, el agregado de N genera aumentos tanto de los rendimientos como de los porcentajes de proteína (Región 2, de la Fig. 5.3); y frente a una alta disponibilidad de N la fertilización con este nutriente provoca solamente un efecto sobre la concentración de proteína en grano (Región 3, de la Fig. 5.3) (Stone & Savin, 1999).

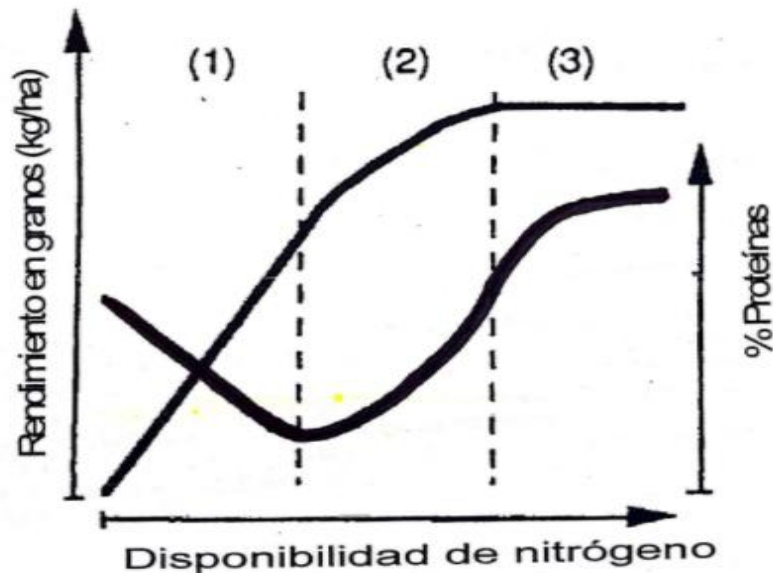


Fig.5.3. Relación entre la disponibilidad de N, el rendimiento y la concentración de proteína en grano. Adaptado de Stone & Savin (1999).

Es decir, bajo estas últimas condiciones de alta disponibilidad de N, pueden obtenerse rendimientos y porcentajes de proteínas altos. Esta situación se presenta cuando la fertilización se encuentra en dosis de los rangos del denominado consumo de lujo, que suele ser antieconómica para la relación insumo/producto en nuestro país. Fertilizaciones menores suelen aumentar el rendimiento a través de la generación de mayor cantidad de destinos de fotoasimilados (flores que se convertirán en granos) relacionados con incrementos en el número de macollos (espigas.m⁻²) y/o de flores por espiga, lo que suele generar efectos de dilución en el contenido de proteínas de los granos.

Para la región 1 del gráfico, es interesante destacar que al incrementarse más que proporcionalmente la acumulación de almidón en los granos con respecto a la de proteína, los valores relativos de proteína (%) bajan en respuesta a mayores disponibilidades de nitrógeno. En ese sentido, una disminución del porcentaje de proteína suele provocar cambios desfavorables en algunas propiedades reológicas de las masas (por ejemplo, fuerza de la masa, W de alveograma). Es interesante destacar que las acumulaciones de proteínas en los granos por la aplicación de fertilizantes nitrogenados están más vinculadas con la formación de gliadinas que de gluteninas. Por lo tanto, en la Región 2 de la Fig.5.3, si bien dosis altas de nitrógeno o fertilizaciones tardías suelen generar aumentos en los porcentajes de proteína, en esos casos se generarían mayores relaciones gliadinas/gluteninas, y por lo tanto menores relaciones P/L del alveograma (masas más extensibles), de toda manera, estos cambios no suelen ser negativos, debido a que conllevan a aumentos en la fuerza de las masas (W). Las aplicaciones tardías de nitrógeno son consideradas una herramienta para incrementar el porcentaje de proteínas en los granos. Normalmente las fertilizaciones en estados avanzados del ciclo de cultivo, luego de la determinación del número de destinos (flores que se convertirán en granos) no poseen efectos en los rendimientos, y son utilizadas únicamente para incrementar parámetros de calidad. Apli-

caciones tardías, en antesis, de fertilizante nitrogenado en forma de urea foliar poseen efectos positivos en los porcentajes de proteína y la fuerza de las masas.

Nitrógeno

Las deficiencias de N se presentan con un amarillamiento y clorosis de las hojas. Se reduce el crecimiento y la elongación celular y la síntesis de proteínas. Cuando la deficiencia es severa se observa marchitamiento de las hojas inferiores y clorosis en toda la planta.

Respuesta de los cultivos a la fertilización

La decisión de implementar una práctica agronómica tendiente a incrementar el rendimiento implica la necesidad de conocer si el adicional de rendimiento logrado supera en términos económicos lo invertido en dicha práctica. La respuesta de un cultivo a la aplicación de un nutriente mediante la fertilización involucra tanto la absorción como su utilización para la producción de materia seca. La falta de respuesta a la fertilización puede estar relacionada a problemas en la absorción del nutriente como por ejemplo fallas en la aplicación por el sitio, momento o forma, o en que luego de ser absorbido, no fue utilizado eficientemente por el cultivo en la producción de materia seca (por ejemplo, por deficiencias de otro recurso, ya sea agua u otro nutriente).

La **eficiencia agronómica** o de respuesta del cultivo a la fertilización, es decir el incremento de rendimiento o biomasa por unidad de nutriente agregado surge de multiplicar la eficiencia de **conversión o fisiológica** por la eficiencia de **absorción o recuperación** (Fig. 5.4). Representa para cada dosis la relación entre el incremento en la biomasa producida respecto al testigo y la dosis de nutriente aplicado y responde a la ley de los rendimientos decrecientes, lo que implica que la respuesta del cultivo disminuye a medida que el nutriente va dejando de ser limitante. La **eficiencia de conversión o fisiológica** surge de la relación entre el rendimiento y la absorción y es de tipo pendiente plateau, lo que implica que durante la pendiente existe respuesta a la absorción del nutriente. A medida que el elemento deja de ser limitante para la producción, la relación se aleja de la linealidad y finalmente, la relación se hace inexistente, alcanzado un plateau, que indica la ausencia de limitación por parte de dicho nutriente para la producción del cultivo. En este caso, sin otro factor nutricional o hídrico limitante, el cultivo habría alcanzado su rendimiento potencial para la región considerada. En trigo son frecuentes valores para esta relación de 30 a 35 kg grano. Kg N absorbido⁻¹. Esta relación es en general independiente del tipo de fertilizante y del método de aplicación. Dependiendo de la disponibilidad de N y de la variedad. La inversa de esta relación se denomina coeficiente b y es utilizado en la ecuación de balance de N, para conocer la demanda del nutriente para el rendimiento esperado (Maddonna *et al.*, 2004).

La eficiencia de **absorción o recuperación** surge de la relación entre la absorción del nutriente y las dosis de fertilizante, resulta lineal para el rango en que dicho elemento es limitante para el crecimiento. El ajuste entre ambas variables a una función lineal permite obtener dos parámetros: la abscisa al origen y su pendiente. La abscisa indica la fertilidad intrínseca del lugar, puesto que representa la absorción del cultivo en ausencia de dosis aplicada. Este parámetro es dependiente del tipo de suelo y de todas las variables bióticas y abióticas que afectan en la dinámica del N como ser: mineralización, desnitrificación, volatilización, lixiviación, fijación biológica, bajas temperaturas, etc. El segundo parámetro, la pendiente, se define como eficiencia de absorción o de recuperación y está influenciada por los mismos parámetros que afectan a la disponibilidad del sitio. También se encuentra afectada por el tipo de fertilizante empleado y la forma de aplicación (Maddonni *et al.*, 2004).

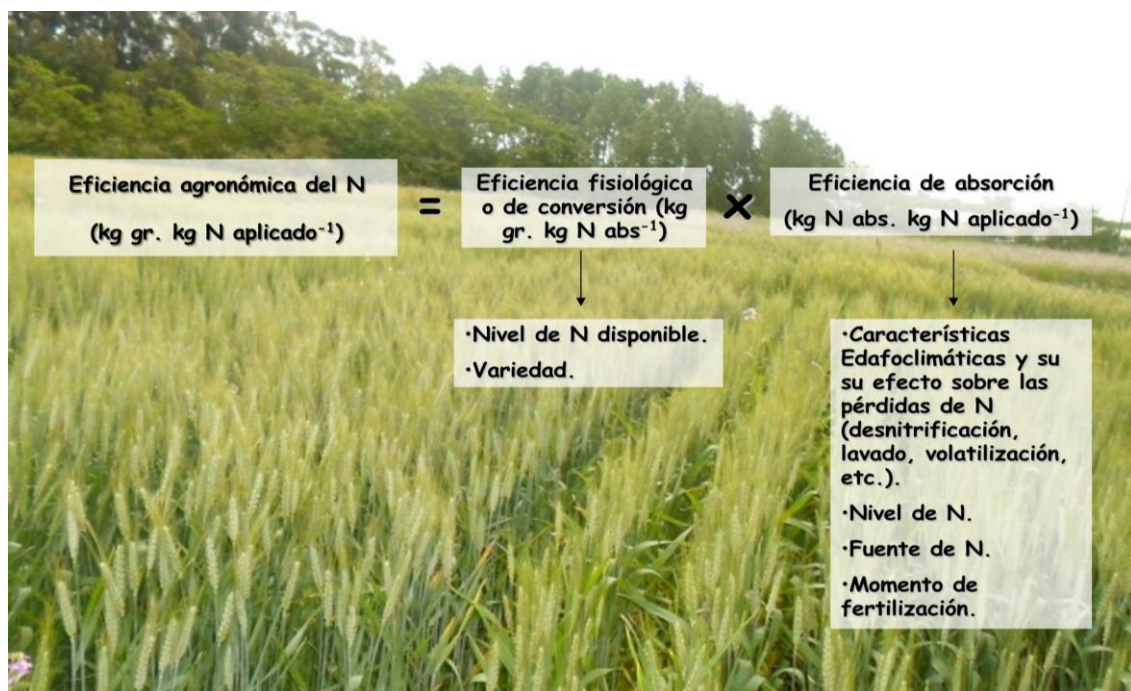


Fig.5.4. Eficiencia agronómica y sus componentes.

Diagnóstico de la fertilización nitrogenada (indicadores)

Las diferentes alternativas para diagnosticar las deficiencias nutricionales en trigo hacen uso de indicadores que deben reflejar el estado nutricional lo más preciso posible, ser fáciles de realizar, repetibles, fáciles de manipular, rápidos y lo menos costosos posible. Existen dos tipos de indicadores. El primero utiliza resultados de experimentos individuales para determinar una dosis de N económicamente óptima (Fig. 5.5a) y el segundo emplea experimentos diseñados para cuantificar la respuesta del cultivo, varios experimentos se reúnen luego de la conversión de los valores absolutos en valores relativos con el máximo obtenido y esto da como resultado

un valor crítico del indicador que provee un umbral por debajo del cual resulta efectivo el agregado de fertilizante (Fig.5.5b).

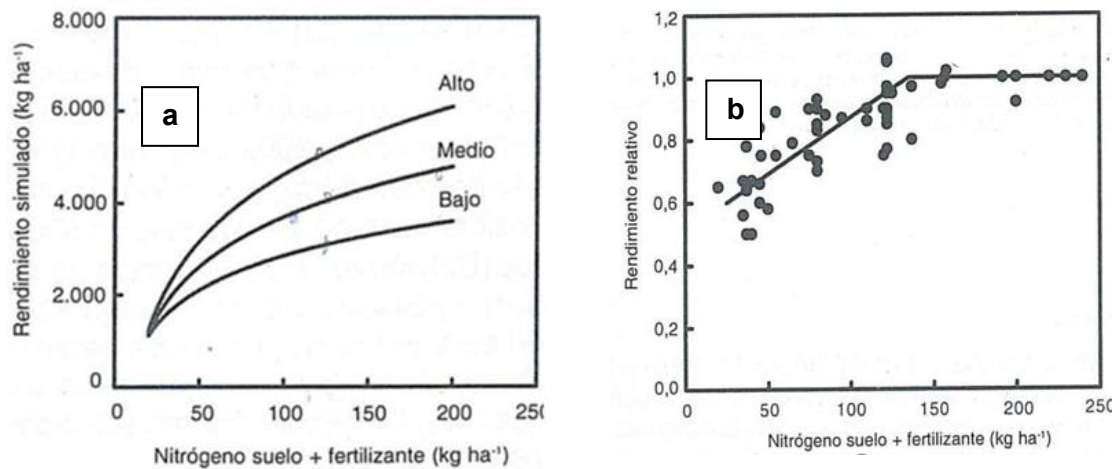


Fig.5.5. Curvas de respuesta (a) y Modelos de rendimiento relativo (b).
Adaptado de Maddonni et al. (2004)

Indicadores de suelo

Disponibilidad de N en el suelo en presiembra

Esta metodología es utilizada frecuentemente para caracterizar cada sitio y realizar recomendaciones de fertilización (Calviño *et al.*, 2002; Maddonni *et al.*, 2004; Salvagiotti *et al.*, 2004) (Fig. 5.6). Teniendo en cuenta la producción esperada para cada región en particular, la metodología consiste en complementar el contenido de N en el suelo en presiembra hasta los 60 cm con fertilizante para satisfacer ese rendimiento. La cantidad de N a aplicar para alcanzar la máxima producción de granos que el sitio admite se expresa de la siguiente manera: $UC = N_{\text{inic}} + N_{\text{fert}}$, siendo UC el umbral crítico de N disponible a la siembra ($N - NO_3$ a la siembra + N_{fert} que permite maximizar el rendimiento), N_{inic} es la cantidad de N determinado en el suelo a 60 cm de profundidad y N_{fert} es la cantidad de fertilizante a aplicar. Los umbrales críticos de disponibilidad de N a la siembra dependen de la zona y del nivel de rendimiento esperado o posible. Es así que actualmente dichos UC varían entre 70 – 175 kg N.ha⁻¹ según las condiciones edafoclimáticas, el rendimiento objetivo y el sistema de manejo.

Entre las limitaciones que presenta este indicador se pueden citar: condiciones climáticas que afecten la mineralización y nitrificación del N de la materia orgánica o del fertilizante, suelos mal estructurados con alto riesgo de lixiviación, desnitrificación o inmovilización pueden afectar la disponibilidad de nitratos del suelo (Maddonni *et al.*, 2004; Castellarín, 2009). Se ha encontrado que la relación del N mineral (N del suelo + N fertilizante) y el rendimiento de trigo resulta significativa pero variable según condición hídrica (Álvarez *et al.*, 2006). Los trabajos de experimentación realizados establecen que la disponibilidad de N a la siembra debe ser de 175 kg.ha⁻¹ para lograr rendimientos de 6000 kg.ha⁻¹ en el sudeste de Buenos Aires (García, 2007), de 100-120 kg.ha⁻¹ para lograr rendimientos de 3500 – 4000 kg.ha⁻¹ en el sur de Santa Fe (Gar-

cía *et al.*, 2006), de 100 – 140 kg. ha⁻¹ en el norte de Buenos Aires (Satorre, 2005), de 70 kg. ha⁻¹ en el centro- sur de Santa Fe, de 90 kg. ha⁻¹ en el oeste de Buenos Aires.

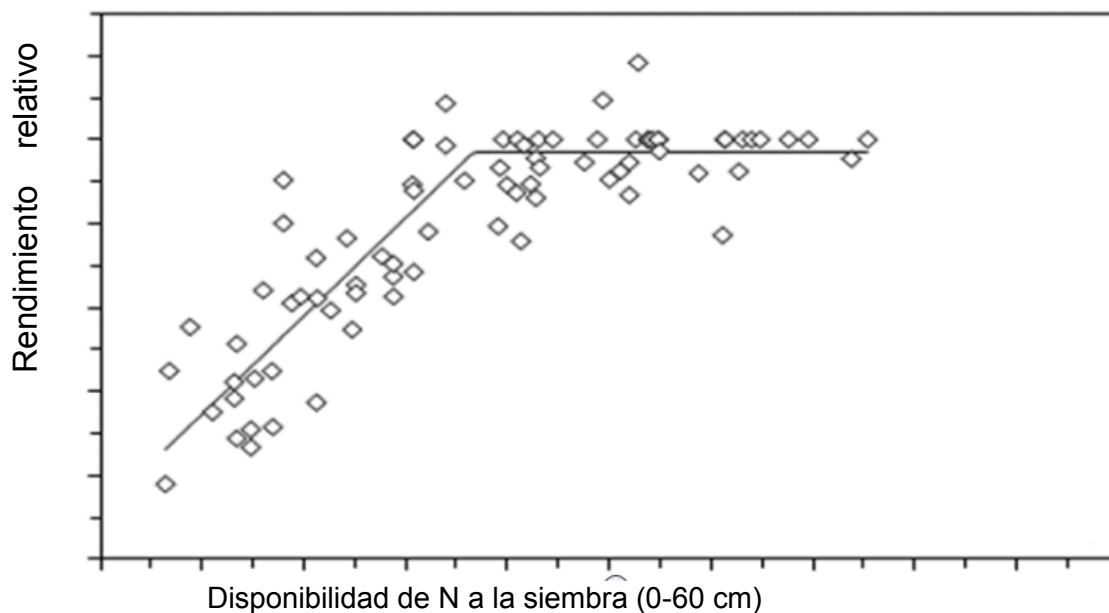


Fig. 5.6. Relación entre el nitrógeno disponible a la siembra en los primeros 60 cm (N-NO₃ + N fertilizante) y el rendimiento relativo en trigo.

Adaptado e Maddonni *et al.* (2004)

Indicadores de planta o cultivo

Los análisis de planta entera o de órganos de la planta también son utilizados como indicadores del estado nutricional del cultivo e integra los efectos de suelo y de los factores ambientales sobre la nutrición nitrogenada.

Concentración de nitratos en la base del tallo

Este análisis de nitratos en pseudo tallos de trigo, resulta útil en trigo durante el periodo de macollaje y se puede realizar sobre base seca (BS) en muestras secas y molidas o bien determinar el contenido de nitratos en el jugo de la base de los tallos (JBT) obtenido por prensado del material fresco (Castellarín, 2009), mediante un instrumental denominado Nitracheck (Fig.5.7), por colorimetría. La concentración de nitratos se reduce a medida que avanza el ciclo del cultivo, independientemente de la disponibilidad de N. Los órganos de la planta también difieren en la concentración de nitratos, siendo mayor en los tallos que en las hojas. Se determinó que con esta metodología era posible predecir las necesidades de N y diferenciar efectos de barbechos y rotaciones sobre el cultivo de trigo (Vigliezzi *et al.*, 1996). Si bien se ha determinado que en macollaje se obtienen los valores más representativos en trigo, al ser un estadio amplio, presenta variaciones. Así, Strada *et al.* (2000) y Vigliezzi *et al.* (1996), citan valores cerca del ápice de 4,47, 1,88 y 1,25 N- NO₃ kg⁻¹ para obtener un rendimiento superior al 94% del rinde máximo, para los estadios de doble lomo, primordio de gluma visible y espiguilla terminal, respectivamente. Por otro lado, el JBT no refleja el flujo instantáneo de absorción de nitrato, sino la integración del flujo de absorción de nitrato de las raíces

a la parte aérea durante los días previos a la medición. Esta determinación resulta afectada por el estado hídrico del cultivo, por lo cual se debe cumplir con un cierto protocolo para su determinación. Presenta la desventaja de ser un método destructivo y la ventaja que, al poder utilizarse en estadios tempranos del cultivo, permite en caso de ser necesario, mejorar el estado nutricional del mismo con el agregado N.



Fig.5.7. Nitratechek, instrumental utilizado para medir nitratos en pseudo tallos de trigo.

Fuente propia

Índices de verdor (Medidor de clorofila)

La concentración del nitrógeno de las hojas de las gramíneas se relaciona con su contenido de clorofila y ésta a su vez con la intensidad de color verde de las hojas o índice de verdor (IV) que puede ser determinada con medidores de clorofila como el Minolta SPAD 502[®] (Fig. 5.8) (Castellarín, 2009). Esta metodología presenta mayor exactitud en estados avanzados del cultivo, por lo que constituye una herramienta útil si se quiere mejorar el contenido de N para calidad (Andrián *et al.*, 2001; Bergh *et al.*, 2004) o bien para considerar la situación para la próxima campaña. Es adimensional, es un método rápido, no destructivo y fácil de utilizar, pero el IV resulta afectado por numerosos factores como ser: estado de crecimiento del cultivo, presencia de plagas y enfermedades, condiciones climáticas y el cultivar. Para relativizar algunas de estas limitantes se estima un índice de suficiencia de N (ISN):

$$\text{ISN} = (\text{SPAD del lote a caracterizar} / \text{SPAD parcela sin deficiencias de N}) \times 100$$

Valores relativos de SPAD entre 0,92 – 0,95 con relación a las parcelas sin deficiencia es indicativo de suficiencia de N (Falótico *et al.*, 1999). Con este indicador no se puede predecir correctamente el exceso de N, ya que no todo el N es convertido en clorofila cuando la disponibilidad de este nutriente es elevada (Maddoni *et al.*, 2004; Castellarín, 2009). Se han realizado mediciones del IV en cultivos de trigo con diferentes sistemas de labranzas (siembra directa y convencional) y diferentes dosis de N. El ISN reveló las deficiencias más severas en las parcelas testigo sin aplicación de N, siendo más pronunciadas bajo siembra directa. La corrección se logró con 60 kg de N.ha⁻¹ en la labranza convencional y con 120 kg de N.ha⁻¹ en siembra directa para alcanzar valores de ISN de 0,90.



Fig.5.8. Medidor de clorofila Minolta SPAD 502.

Fuente propia.

Se observó que la diferencia para las distintas dosis de fertilización nutricionales se hizo más evidente en la medida que avanzaba el ciclo, principalmente en siembra directa (Falótico *et al.*, 1999).

Curvas de dilución de N

Se denomina concentración crítica, a la concentración de N en la planta que permite alcanzar la tasa máxima de crecimiento del cultivo (TCC) (Fig. 5.9). Esta concentración tiende a disminuir a medida que la planta crece (mayor biomasa) debido a un fenómeno de dilución. Cuando estas concentraciones son menores a las críticas producen algún grado de estrés y por lo tanto TCC son inferiores a las máximas. Pero, a su vez, el efecto del estrés de N sobre el rendimiento no sólo depende de su intensidad sino también del momento en que éste ocurra (Uhart & Echeverría, 2002). Suele determinarse un índice de estrés, que resulta del cociente entre la concentración real y la crítica. Las curvas de dilución pueden llegar a ser específicas para una especie y/o grupo de especies y tener validez para diferentes ambientes.

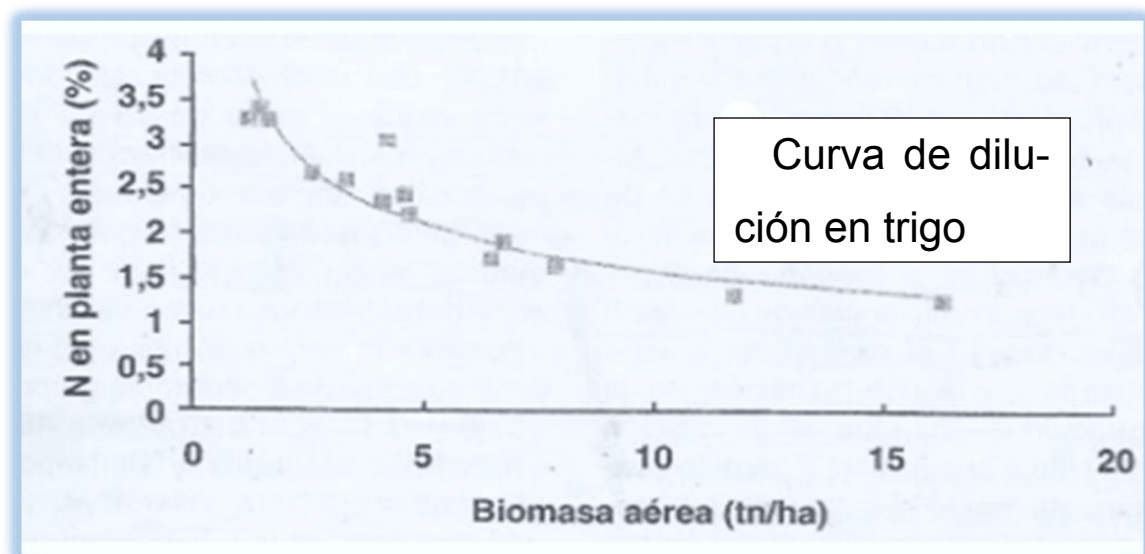


Fig.5.9. Modelo de Curva de dilución. Adaptada de Uhart & Andrade (1996).

Sensores remotos

Los sensores remotos (Ejemplo en Fig.5.10), se utilizan para diferenciar áreas con deficiencias de N y permitir su aplicación de dosis variables y por lo tanto realizar un uso más eficiente de la fertilización. El principio en que se basa este indicador es que la luz roja es absorbida por la clorofila de las plantas y la luz del infra rojo cercano (NIR) es reflejada por las hojas. Una planta que crece bajo buenas condiciones nutricionales lo hace vigorosamente y presenta una baja reflectancia en la luz roja y una alta reflectancia en el infra rojo cercano, por lo tanto, muestra valores altos de NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada). Para el trigo se han encontrado buenas respuestas con este indicador cuando las mediciones se realizan a fin de macollaje, primer nudo, encontrándose relaciones significativas con el rendimiento. Con este indicador se realizan las mediciones de reflectancia del cultivo e indica dosis de aplicación variable de N en tiempo real. El manejo de sitios específicos de aplicación permite lograr mayores rendimientos que el manejo de dosis uniformes y, por lo tanto, a igual dosis de aplicación, mejora la eficiencia de uso del N aplicado. El NDVI, al igual que el IV, están afectados por varios factores como el cultivar, el estado de desarrollo, la incidencia de plagas, enfermedades etc. Por ello, es necesario establecer en el lote a monitorear áreas de referencia con suficiencia de N a fin de relativizar las mediciones según:

$$\text{IR} = \text{NDVI de la franja sin limitaciones} / \text{NDVI del lote a caracterizar}$$



Fig.5.10. Sensor GreenSeeker. Fuente propia

Sistema Integrado de Recomendación y Diagnóstico (DRIS)

Con esta técnica se evalúa el estado nutricional foliar, confrontando la concentración de nutrientes de nuestro cultivo con aquellas obtenidas en cultivos de rendimiento máximo (Normas DRIS). Las relaciones de nutrientes se ordenan en expresiones llamadas Índices DRIS (Landriscini *et al.*, 2001). Los Índices DRIS negativos indican deficiencias, mientras que los positivos expresan excesos respecto al nutriente considerado. La principal ventaja de este método sobre otros métodos de análisis de planta es que permite realizar diagnósticos foliares independientemente de la edad, variedad y parte de la planta utilizada, aunque déficits hídricos pueden interferir significativamente sobre los resultados obtenidos (Summer, 2001).

Recomendaciones de fertilización

Curvas de eficiencia de respuesta al agregado de un nutriente

La concentración de un nutriente a una profundidad determinada (dependiendo del nutriente) a la siembra del cultivo, se utiliza como valor económico orientativo para predecir la eficiencia de respuesta a una dosis del fertilizante (Fig. 5.11). Por lo tanto, se considera que la fertilización sería económicamente factible siempre y cuando se obtenga una eficiencia de respuesta que supere la relación precio del cereal-precio del fertilizante. Para el caso del trigo se toma como base una relación histórica de 8:1, es decir 8 kg del cereal por kg de fertilizante aplicado (Maddoni *et al.*, 2004). Este tipo de curvas pueden verse modificadas por diversos factores, como ser el cultivo antecesor, puesto que la respuesta a la fertilización resulta diferente si el antecesor fue una leguminosa como la soja o una gramínea como un maíz; la disponibilidad hídrica, lográndose mayor respuesta cuanto mayor es la disponibilidad de agua; los años de agricultura, encontrándose mayor respuesta en suelos más empobrecidos provenientes de varios años de ciclos agrícolas; duración del barbecho y su capacidad para la descomposición de los rastrojos; sistema de labranza. En la actualidad, prácticamente todo el cultivo se realiza bajo siembra directa, que, al dejar los rastrojos en superficie, presenta descomposición más lenta de los mismos comparados con una labranza convencional, lo que implica una menor fertilidad actual y la necesidad de incrementar la dosis de fertilizante a aplicar.

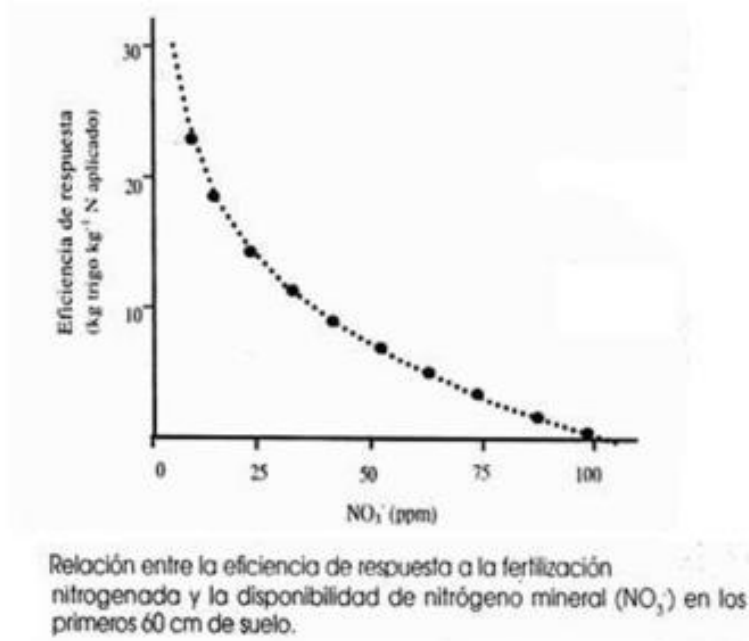


Fig.5.11. Curvas de eficiencia de respuesta al agregado de un nutriente.

Adaptado de Maddoni *et al.* (2004)

Balance de nutrientes

Balance de nitrógeno

Este método considera la oferta y la demanda en el sistema suelo-planta. La demanda está dada por el rendimiento objetivo para una zona determinada y el nitrógeno absorbido por toneladas de grano, conocido como coeficiente *b*. El valor de este coeficiente para el trigo es de aproximadamente 30 kg de N/t de grano, pero suele variar principalmente debido al contenido de proteína de los granos. Por el otro lado se considera la oferta de nitrógeno, dada por el N disponible a la siembra y N mineralizado durante el ciclo del cultivo y el N del fertilizante. La dinámica del N en el sistema suelo-planta incluye pérdidas de N disponible por lavado, volatilización y desnitrificación. La estimación de dichas pérdidas resulta difícil de cuantificar en forma práctica, por lo tanto, se considera una eficiencia para cada una de las fuentes de N utilizadas por el cultivo. Los valores de eficiencia para el N inicial y el proveniente de los fertilizantes se consideran similares y oscilan entre 0,4 y 0,6, mientras que la eficiencia de utilización del N mineralizado es mayor (0,7 a 0,8) (Meisinger, 1984). Las necesidades de fertilización **nitrogenada** se estiman a través del balance de N de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Yb = (N_i * E_i) + (N_{min} * E_{min}) + (N_f * E_f)$$

Donde:

Y: rendimiento esperado; *b*: nitrógeno requerido por tonelada de granos; *N_i* = N disponible a la siembra del cultivo (N-nitratos, N-NO₃), *E_i* = Eficiencia de uso del N disponible a la siembra, *N_{min}* = N mineralizado durante el ciclo del cultivo, *E_{min}* = Eficiencia de uso del N mineralizado durante el ciclo del cultivo, *N_f* = N a aplicar como fertilizante, *E_f* = Eficiencia de uso del N del fertilizante.

Los aportes de N del suelo (*N_i* y *N_{min}*) dependen principalmente de la materia orgánica, textura y estructura del suelo, de factores abióticos como la temperatura y las lluvias y cuestiones de manejo como tipo de labranzas, cantidad y calidad de los residuos del cultivo antecesor. El *N_i* puede ser estimado a través de un muestreo y análisis de los nitratos disponibles. El *N_{min}* es mucho más complejo de estimar. Dentro de las pérdidas, la volatilización del amoníaco se produce por la conversión del amonio a amoniaco (NH₃) y resulta particularmente importante cuando se aplican fertilizantes amoniacales como la úrea, con PH elevado, baja capacidad buffer, alta actividad ureásica (muy importante bajo siembra directa), elevada temperatura y rangos de humedad específicos. La desnitrificación es un proceso que ocurre en anaerobiosis y consiste en la reducción de los nitratos a formas gaseosas, principalmente óxido nitroso y N₂ (Uhart, 2002). El *N_{in}* se determina en presiembra, siembra o postsiembra temprana por métodos tradicionales de laboratorio. El *N_{min}* se estima en laboratorio o a partir del N absorbido por el cultivo en parcelas sin fertilizar. Salvagiotti *et al.* (2000) determinaron una amplia variación del *N_{min}* entre ciclos agrícolas en el área triguera del sur de Santa Fe, desde 11 hasta 157 kg.ha⁻¹ de N. En los últimos años se avanzó en el estudio de estimadores sencillos para este parámetro, siendo el N anaeróbico (*N_{an}*) el que mejor resultado ha mostrado, permitiendo un mejor ajuste de las dosis de N a aplicar. El *N_{an}* corrige la sobrestimación de la dosis de N a

aplicar en ambientes de alto potencial (lotes que han tenido pasturas recientemente) o bien la subestimación de la misma en situaciones de bajo potencial de mineralización (lotes con prolongada historia agrícola) (Divito *et al.*, 2017).

Esta metodología presenta limitaciones debido a: variabilidad de los rendimientos objetivos, variabilidad del N_{inic} , las estimaciones del N_{min} y las eficiencias de uso de cada fracción y baja relación entre la cantidad de N en los residuos y el rendimiento de trigo, no obstante, es una de las más utilizadas por los productores.

Modelos de simulación

Es una herramienta de gran utilidad en la predicción de respuestas y la evaluación del riesgo asociado a distintos manejos del cultivo, suelos y climas. Son capaces de simular con un paso diario el crecimiento y la absorción de nutrientes por el cultivo y el suministro de éstos por el suelo, permitiendo generar un diagnóstico más integral de las necesidades de N y definir el resultado económico de la fertilización (Doberman & Cassman, 2002). Dentro de sus limitaciones muchos no consideran a las plagas, enfermedades, malezas, adversidades climáticas como granizo. Requieren datos de entrada del clima (temperatura, radiación, lluvias), suelo (materia orgánica, perfil, granulometría), diarios; datos del cultivar para determinar los coeficientes genéticos y de las condiciones iniciales de agua y nitrógeno. Estos modelos deben ser calibrados y validados. En base a estos datos, se obtiene información de salida: como por ejemplo fenología, biomasa, rendimiento, componentes del rendimiento. Uno de los primeros modelos utilizados en el país, para el trigo fue el modelo CERES – WHEAT. Se observó una estrecha relación entre los valores relevados a campo y los simulados por dicho modelo en un amplio rango de condiciones ambientales. El modelo logra explicar el 94% de la variación de los rendimientos observados (Satorre *et al.*, 2001; Salvagiotti *et al.*, 2005). Actualmente existen muchos otros modelos de simulación como el Triguero y el Strin 2.0. Con ellos generalmente se obtienen dos tipos de gráficos. Uno de ellos representa la evolución de los rendimientos para tres condiciones del año a medida que se incrementa la dosis de N disponible (suelo + N fertilizante): la curva del centro indica la evolución media de los rendimientos (80 % de los casos), la curva superior explica el 20 % para los mejores casos y la curva inferior el 20 % para los peores casos. El otro tipo de gráficos indica la probabilidad acumulada de alcanzar un rendimiento dado.

Momento de aplicación

Una de las principales causas que hace a las bajas eficiencias en el uso del N observadas a escala mundial radica en el hecho de que las prácticas de fertilización son realizadas sin tener en cuenta la sincronización entre la demanda del cultivo y la capacidad del suelo para suministrar el nutriente, utilizándose como práctica común la aplicación de fertilizantes en pre- siembra o siembra por razones operativas o de costos (Cassman *et al.*, 2002; Fageria & Baligar, 2005). Diversos estudios sostienen que la aplicación de fertilizantes nitrogenados en plena estación de

crecimiento resulta en mayores eficiencias en el uso del N comparadas a las aplicaciones en pre-siembra-siembra (Raun *et al.*, 2001; Randall *et al.*, 2003). Estos autores coinciden en que el éxito de ello radica en el aplicar fertilizante en el momento de mayor demanda por parte del cultivo. Esto reduce las posibilidades de pérdida de N en cualquiera de sus formas. No obstante, diversos factores condicionan el momento de fertilización. En base a ello, en la mayor parte de las regiones trigueras, las precipitaciones durante estadios iniciales del cultivo determinan el momento de aplicación de N especialmente por dos motivos: ya sea porque la deficiencia hídrica limita la incorporación del nutriente al suelo o bien porque los excesos hídricos incrementan la probabilidad de que ocurran pérdidas, principalmente por lavado. La primera situación es muy frecuente en gran parte de la región triguera, especialmente hacia el oeste y norte, por lo que las aplicaciones a la siembra resultan en una eficiencia de uso del N igual o mayor que la de las aplicaciones al macollaje. Por el contrario, en el sudeste de Buenos Aires (subregión IV), las aplicaciones en macollaje presentan mayor eficiencia (Divito *et al.*, 2017). Las aplicaciones divididas son frecuentes cuando se usan dosis elevadas de N, para cultivos de altos rendimientos, con siembras tempranas. Si se quiere aumentar el rendimiento y mejorar el contenido de proteína en grano se deben realizar aplicaciones tempranas de base y complementar luego entre hoja bandera (EC39, Zadoks *et al.*, 1974) y post-floración (EC 60) (Divito *et al.*, 2017).

Para obtener altos rendimientos en trigo es necesario obtener un elevado número de macollos por unidad de superficie. Para asegurar la máxima formación de macollos, además de establecer una fecha correcta de implantación del cultivo, es importante un correcto suministro de nutrientes, sobre todo de nitrógeno (N). Así desde etapas tempranas del cultivo se inicia el establecimiento de subcomponentes que determinarán el componente principal de rendimiento como es el número final de granos por unidad de superficie (Slafer., 2003). Diversos autores indican que si la cantidad de macollos es baja hacia fines del macollaje (EC29), (menos de 1000 macollos. m⁻², llegando algunos a fijar inclusive valores críticos de 550), aplicaciones de N en esta etapa, estimulan la formación de nuevos vástagos. Por lo tanto, considerar la densidad de macollos podría ser utilizada como un instrumento más para decidir una aplicación de N.

Fuentes y forma de aplicación

Existen numerosas fuentes de fertilización nitrogenada (Tabla 5.2) y pueden dividirse en tres grupos: amoniacales (urea, amoníaco anhidro, sulfato de amonio); nítricos (nitrato de potasio) y nítrico-amoniacales (nitrato de amonio, nitrato de amonio calcáreo (CAN), urea-amonio-nitrato (UAN), sulfonitrato de amonio. Su eficiencia de su uso es similar cuando son incorporados. Pero, las aplicaciones superficiales de N pueden provocar pérdidas por volatilización de amoníaco principalmente cuando se utiliza urea o fuentes que contengan urea (Uhart, 2002). Las pérdidas por volatilización se incrementan con contenidos de humedad cercanos a capacidad de campo y temperaturas de 25 °C o superiores, bajo SD por la alta actividad ureásica de los residuos, pH neutro, suelos de bajo poder buffer; en estos casos se recomienda el empleo de fuentes como CAN o UAN. Aunque en la región triguera argentina, estas pérdidas no son muy

relevantes (<10% de lo aplicado) debido a las bajas temperaturas y, según las zonas, la falta de humedad en el suelo. El principal mecanismo de pérdidas del nutriente durante el ciclo del cultivo es el lavado de nitrato, ante el cual las distintas fuentes se comportan de manera similar (Divito et al., 2017).

Tabla 5.2. Fuentes de fertilización nitrogenada

Fuente de N	Fórmula qca	N %
Amoníaco anhidro	NH ₃	82
Nitrato de amonio	NH ₄ NO ₃	33,5
Sulfato de amonio	(NH ₄) ₂ SO ₄	21
Fosfato diamónico	(NH ₄) ₂ H ₂ PO ₄	18-21
Fosfato monoamónico	NH ₄ H ₂ PO ₄	11
Nitrato de calcio	Ca(NO ₃) ₂	15
Nitrato de potasio	KNO ₃	13
Nitrato de sodio	NaNO ₃	16
Urea	CO(NH ₂) ₂	46
Urea-Amonio-nitrato (UAN)	CO(NH ₂) ₂ + NH ₄ NO ₃	32

Es indispensable realizar un diagnóstico nutricional que permita la aplicación de los cuatro “requisitos” (4Rs) básicos: la “fuente” correcta de nutrientes, en la “dosis” correcta, en el “momento” correcto, y en la “ubicación” correcta para cada caso en particular (Divito *et al.*, 2017).

Fósforo

El P llega a las raíces por difusión, al igual que el potasio y es absorbido como ión ortofosfato (P₂O₅) o fosfato mono o diácido contra un gradiente electroquímico, por lo que la absorción es activa, con gasto de energía. No necesita ser reducido para su asimilación, integrándose rápidamente a compuestos orgánicos. La respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada depende del nivel de P disponible en el suelo, pero también es afectada por diversos factores como ser la textura del suelo, la temperatura, el contenido de materia orgánica, el pH, la capacidad buffer (resistencia a cambiar la concentración de equilibrio del fósforo), tortuosidad de los poros (aumenta a partir de una densidad aparente mayor de 1,3 g.cm⁻³) y presión de oxígeno (Uhart, 2002); mientras que entre los factores del cultivo deben mencionarse los requerimientos y el nivel de rendimiento. El diagnóstico de la fertilización fosfatada se basa en el análisis de muestras de suelo del horizonte superficial (0-20 cm) en presiembra, utilizando un extractante

adaptado a los suelos del área en evaluación. En la región pampeana, en general, el extractante utilizado es Bray y Kurtz 1 (García, 2007).

La dosis recomendada dependerá del nivel de P Bray, del rendimiento esperado, de la relación de precios grano/fertilizante, y del criterio de recomendación del laboratorio y/o asesor. Existen dos criterios de recomendación: el de suficiencia y el de reconstrucción y mantenimiento. El criterio de suficiencia satisface los requerimientos del cultivo, mientras que el de reconstrucción y mantenimiento también incluye aportes adicionales para mejorar el nivel de P disponible en el suelo (Uhart & Etcheverría, 2002). En general se considera que valores por debajo de 5 mg kg⁻¹ son muy bajos, entre 5 – 10 mg kg⁻¹ son bajos, entre 10–20 mg.kg⁻¹ medios y superiores a 20–25 mg.kg⁻¹ pueden considerarse adecuados (Quintero, 2003) (Tabla 5.3).

Entre las fuentes de P, los fosfatos diamónico y monoamónico tienen la ventaja sobre el superfosfato triple de presentar N-amonio en su composición, lo que mejoraría el efecto arrancador del fertilizante. No obstante, estas diferencias entre fuentes fosfatadas no suelen ser representativas a campo (Ventimiglia *et al.*, 2001).

Tabla 5.3. Recomendación de fertilización fosfatada para trigo según nivel de P Bray del suelo y el rendimiento esperado del cultivo

Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Concentración de P disponible en el suelo (ppm)						
	<5	5 – 7	7 – 9	9 – 11	11 – 13	13 – 16	16 – 20
	Kg de P ha ⁻¹						
2000	20	15	13	11	9	7	0
3000	23	19	17	15	13	11	0
4000	27	22	21	18	17	14	10
5000	31	26	24	22	20	18	14
6000	38	33	31	29	28	26	21

Fuente: Echeverría & García, 1998

Un aspecto a tener en cuenta es que en suelos con bajo nivel de fósforo disponible o con dosis bajas de fertilización en labranza convencional, la aplicación en banda cerca de la semilla resulta la más eficiente, pues en caso contrario el poder de retención o de fijación de P que tienen los suelos, hará que no quede disponible para las plantas (Uhart, 2002, Maddonni., 2004; García, 2007).

También son posibles los análisis de planta de P. Que son utilizados para monitorear el estado nutricional del cultivo durante su crecimiento y así efectuar los cambios en la planificación de la fertilización de los siguientes cultivos. Resultados experimentales en la región pampeana han mostrado que con concentraciones de P en hoja bandera a floración de 0,26–0,30% se obtuvieron rendimientos de trigo de 4.500 a 5.000 kg.ha⁻¹ (García & Berardo, 2006).

Azufre

Es un nutriente móvil en el suelo y la planta lo absorbe como ión sulfato. Es provisto en forma natural por la materia orgánica del suelo. Posee una dinámica de acumulación similar a la del N, pero a diferencia de aquel, el S no es removilizado desde las estructuras vegetativas, y, por lo tanto, todo el S del grano proviene exclusivamente de la absorción durante el período de llenado. Las mayores respuestas a su aplicación se obtienen en ambientes con prolongada historia agrícola, con alta frecuencia de la soja en la rotación, en suelos de textura gruesa, arenosos, con bajos contenidos de materia orgánica, alto grado de erosión, compactaciones subsuperficiales, bajo siembra directa y con elevados rendimientos acumulados (Cordone & Martínez, 2000; Ferraris *et al.* 2002).

Las deficiencias de S se determinan por análisis de S – SO₄ en presiembra, en los primeros 20 cm de profundidad, con umbrales críticos que varían entre 5– 2 mg.kg⁻¹ según autores. En la zona sur de Santa Fe los resultados de la Red de nutrición de los CREA indicaron un posible umbral crítico de 10 mg.kg⁻¹ (García *et al.*, 2006). Otra forma de analizar la respuesta al agregado de azufre que se está analizando es a través de la relación Nan/MO, donde el Nan es el N anaeróbico, ya que la mineralización del el N y el S suelen depender de los mismos factores. Esta relación nos estaría dando una idea de la materia orgánica joven, por lo tanto, cuanto más baja es la relación tendríamos más MO recalcitrante y por lo tanto mayor probabilidad de respuesta al agregado del fertilizante azufrado (lo mismo vale para el agregado de N) (Ferraris, 2021). Como ejemplo un sitio con valor de esa relación de 17,6 nos daría mayor respuesta al agregado de fertilizante que otro donde dicha relación sea de 22,5.

Aunque algunos autores consideran que las respuestas a la fertilización azufrada presentan gran variabilidad, según distintas experiencias, las dosis recomendadas de aplicación oscilan entre 10 y 20 kg. ha⁻¹. Sus aplicaciones pueden realizarse en bandas o al voleo, ya que tiene buena movilidad en el suelo. Es frecuente su aplicación en mezclas con fertilizantes fosfatados a la siembra o en mezclas líquidas o sólidas con N a la siembra o en macollaje temprano (García, 2007).

Potasio

Es un elemento poco móvil en el suelo y llega a las raíces por difusión. Se acumula en el cultivo alcanzando en floración hasta un 85% del total que tendrá a cosecha, con elevadas tasas de absorción durante los 15 a 20 días previos a la floración, pero su índice de cosecha es bajo, 20 a 25%. El K es un nutriente móvil en la planta, por lo que los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas basales. En madurez, las plantas tienden a volcar, debido a que los tallos son débiles y más sensibles a enfermedades. Este efecto es agravado cuando se aplican altas dosis de fertilizantes nitrogenados.

Tal como ocurre con el fósforo, las cantidades de potasio a aplicar varían en función del potasio intercambiable en el suelo y de la estrategia a seguir: reposición (se agrega lo que se exporta) o de reconstrucción y mantenimiento (se eleva la dosis) (Uhart, 2002).

Para este elemento se han determinado umbrales de respuesta a la fertilización ubicados entre 100 y 120 ppm, cuando la capacidad de intercambio catiónico en el suelo es de 10 a 15 meq/100 gramos. La aplicación de cloruro de potasio en trigo en condiciones no limitantes de N, P y S ha mostrado con frecuencia aumentos significativos en la producción de granos en la región pampeana. Dado que los suelos de esta región no presentan falta de potasio, las respuestas se atribuyen principalmente al cloro (García, 2007). El agregado de potasio en suelos con niveles medios o altos de este nutriente y valores medios a bajo de magnesio y calcio pueden deprimir la oferta de estos dos últimos nutrientes, debido a la interacción negativa existente entre ellos.

Cloro

El trigo presenta un requerimiento específico de cloro que supera en mucho a los niveles de un micronutriente, encontrándose en el suelo como cloruro y constituyendo un nutriente similar al N por su movilidad. Entre las principales funciones del Cl se encuentran: participación en la fotosíntesis, actividad enzimática y la regulación de procesos osmóticos (Fixen, 1993). El cloro se absorbe como cloruro (Cl⁻) compitiendo con bromuro, nitrato y sulfato. Interactúa con el nitrógeno (N) (inhibición de nitrificación y competencia con nitratos), el fósforo y el manganeso (Castellarin, 2009).

Los efectos del Cl en el desarrollo de trigo varían con el estado de crecimiento. Con fertilizaciones con cloro se ha observado una formación más temprana de la espiguilla terminal y de la antesis, sin modificar la fecha a madurez fisiológica y, por ende, alargando el periodo de llenado de granos. Los mayores pesos de grano registrados con fertilización clorada se han relacionado, entonces, con una duración más prolongada del periodo de llenado, aunque también se han observado incrementos en la tasa de llenado de los granos (Fixen, 1993).

Las deficiencias de este nutriente se dan con mayor probabilidad en suelos arenosos y con buen drenaje, sin embargo, Castellarín *et al.* (2008), en experimentos realizados en el sur de Santa Fe sobre suelos franco-limoarcillosos, obtuvieron una respuesta promedio al agregado de KCl de 450 kg ha⁻¹, lo que resultó en incrementos de hasta un 17% de los rendimientos comparado con los testigos sin agregado de KCl. Los casos de máxima respuesta se asociaron con aplicaciones de altas dosis de KCl (100 -150 kg.ha⁻¹).

Zinc

El Zinc es un micronutriente esencial para las plantas, constituyente de las paredes y las membranas celulares, participa en la activación de enzimas, en síntesis de carbohidratos y proteínas, y tiene un rol clave en la tolerancia de las plantas al estrés y en el crecimiento repro-

ductivo (Bianchini, 2021). También es fundamental para las personas, ya que interviene en el crecimiento, en el desarrollo del cerebro, en el funcionamiento del sistema inmunológico, en la digestión y otras actividades esenciales del organismo (Mesquida, 2021).

Diversos trabajos realizados por la Asociación Civil Fertilizar desde 2016, demostraron que nuestros suelos presentaban una seria deficiencia de zinc, siendo el micronutriente más deteriorado y que la aplicación de este nutriente lograba un efecto importante en los rendimientos de los cultivos, especialmente en las gramíneas. La respuesta en el maíz fue de aproximadamente 600 kilos por hectárea (Bassi, 2021). Se estableció como nivel crítico por debajo del cual el zinc es deficiente en 1,2 ppm. En la actualidad existen diversos fertilizantes para corregir esa deficiencia, líquidos para el tratamiento de las semillas y otros que se agregan al fertilizante nitrogenado.

Bioestimulantes y fertilizantes biológicos (inoculantes)

Actualmente en la Argentina más del 13% de los fertilizantes usados son fertilizantes especiales que contienen bioestimulantes y más del 50% contienen fertilizantes biológicos (inoculantes). Ambos grupos estimulan el crecimiento. Los bioestimulantes son compuestos químicos, moléculas (no hay un ser vivo en su constitución), cuyo origen puede venir de un proceso biológico o compuestos análogos a los naturales. Se aplican en pequeñas cantidades y requieren que las células vegetales tengan receptores para ellos. Las plantas los identifican como algo propio y desencadenan respuestas, procesos en células, tejidos u otros órganos de las mismas. Como ejemplos de ellos tenemos: hormonas vegetales como giberelinas, auxinas; extractos de algas; extractos orgánicos como ácidos húmicos o fúlvicos; moléculas microbianas activas producidas por bacterias, hongos o levaduras; aminoácidos (proteínas vegetales o animales hidrolizadas) (Díaz Zorita, 2021).

Los fertilizantes biológicos o inoculantes son productos que contienen microorganismos vivos que son aplicados en las semillas o en el surco de siembra, necesitan proliferar, crecer, tener actividad en la zona de la rizosfera y cuyo objetivo directo es contribuir a la fijación biológica de N por ejemplo *Bradyrhizobium* ssp o bien actuar como promotores del crecimiento de la planta, de las raíces, con lo cual mejoran la eficiencia en el uso de los recursos por parte del cultivo, por ejemplo *Pseudomonas* ssp, *Azospirillum* ssp (Díaz Zorita, 2021).

Rotaciones, cultivos de cobertura y compost

Los sistemas productivos en la Argentina vienen registrando cambios hacia una agricultura continua, con un desplazamiento de la frontera agrícola hacia zonas tradicionalmente mixtas o ganaderas (Cruzate & Casas, 2009). Este proceso de agriculturización actual tiene como principal actor, en el país, al cultivo de la soja (Pengue, 2001). Esta oleaginosa ha venido

creciendo a un ritmo cercano al millón de hectáreas anuales en los últimos años y se ha convertido en el cultivo por excelencia representando más del 50% del área sembrada de nuestro país y aportando un volumen mayor del 50% de la producción agrícola de la Argentina (Grobocopatel, 2013). Los efectos de la expansión de la soja en el país, y de su modelo productivo, relacionados con el creciente deterioro ambiental, la fuerte concentración económica y la exclusión social, han sido ampliamente documentados (Ghersa, 2005; Mengo, 2008). La eficiencia productiva de la soja se basa en la sobreexplotación de la fertilidad que ofrece la pampa húmeda, además redundando en problemas como compactación, pérdida de fertilidad y estructura del suelo, exportación de nutrientes sin reposición, encostramiento, impactos sobre la biodiversidad, afectación del acuífero y problemas de inundaciones (Mengo, 2008). Si bien este cultivo es el más rentable y de mayor retorno por capital invertido, a largo plazo este proceso no es la mejor alternativa ya que se contrapone con un desarrollo agropecuario sustentable. La **rotación de cultivos** (Fig. 5.12) es una importante herramienta que contribuye a la conservación del suelo. En la región pampeana es necesario adoptar sistemas de producción con inclusión de gramíneas (trigo, maíz y sorgo) que aseguren una cobertura de residuos permanente para el suelo y un balance positivo de la materia orgánica (Ferro *et al.*, 2009; Todoagro, 2011). Según la FAO (2015), la rotación ideal en la agricultura de conservación es aquella en la cual los cereales son diversificados principalmente con leguminosas, y otras familias botánicas. Este tipo de rotación interrumpe ciclos de plagas y enfermedades (Ventimiglia & Carta, 2005; Forján & Manso, 2010), permite el mejor control de malezas (Corbin *et al.*, 2010), produce diferentes cantidades y tipos de residuos, mejora los balances de nutrientes, varía las épocas de siembra (Voisin *et al.*, 2018). Por lo tanto en la planificación de una rotación de cultivos es necesario alternar cultivos que produzcan gran cantidad de residuos, con alta relación C/N que determina una descomposición lenta de los rastrojos, favoreciendo la formación de MO, acompañados de una correcta fertilización, que aseguren una elevada producción de materia seca, con cultivos que producen pocos residuos, con alta tasa de descomposición, con bajo aporte de carbono, pero con buena fertilidad actual, como las leguminosas (FAO, 2015; Voisin *et al.*, 2018) (Fig. 5.12). Por lo que dijimos, los cereales de invierno como: trigo pan, trigo candeal, avena, cebada, centeno (y también los de verano) cumplen un rol fundamental en la rotación, ya que el aporte de sus residuos promueve el mantenimiento de las propiedades físicas y químicas del suelo permitiendo obtener una productividad estable y sustentable en el tiempo. La alternancia de diferentes cultivos tanto en el tiempo como en el espacio permite, también, diversificar los riesgos productivos, ya que las condiciones ambientales pueden ser desfavorables para un cultivo, pero para otros no (Katsvairo & Cox, 2000; Helmers *et al.*, 2001). Una rotación de cultivos bien planificada también protege los recursos naturales porque favorece la infiltración del agua, previene la erosión y conserva los nutrientes (Todoagro, 2011). Comparada con el monocultivo de soja, la rotación de cultivos (gramíneas con leguminosas) disminuye la pérdida de suelos de 5.000 a 1.100 kilos por hectárea por año, lo que permite conservar nutrientes y la productividad de los suelos (Todoagro, 2011). En cambio, los monocultivos, incluso bajo siembra directa, pueden disminuir la productividad debido a la pérdida de nutrientes y carbono, entre muchos otros

problemas. La materia orgánica, es un componente fundamental en la fertilidad edáfica para la producción de los cultivos. Las diferentes fracciones de la materia orgánica del suelo pueden cambiar dependiendo del uso que se le dé al suelo y son utilizadas como indicadores de sostenibilidad de los agroecosistemas (Chamorro *et al.*, 2019; Lozano *et al.*, 2011). Las rotaciones de cultivos como ya dijimos también influyen en las condiciones físicas de los suelos, principalmente en lo que a estructura se refiere. Los cultivos, con sus distintos sistemas radiculares exploran diferentes estratos del perfil, permitiendo cada uno de ellos la generación de una clase determinada de poros, que según su tamaño tendrán funciones de aireación, ingreso del agua al perfil, almacenamiento o funciones mixtas. Así mientras una raíz de alfalfa generará macroporos que alcanzan una profundidad importante, el trigo desarrolla un sistema radical en cabellera, ocupando esencialmente la superficie del suelo. Estos poros, que se generan al descomponerse las raíces por actividad de los microorganismos presentan alta estabilidad y continuidad espacial, favoreciendo una buena dinámica del aire y del agua llamados biocanales (Forján & Manso, 2010).

El logro de una agricultura sustentable requiere mantener el capital natural y la calidad de los recursos lo que, en el caso del suelo implica (entre otras cosas) que la calidad y cantidad de los nutrientes debe mantenerse constante. Dado que los agroecosistemas son sistemas abiertos porque se extraen productos de cosecha, necesariamente requieren de la incorporación externa de **nutrientes** para compensar dichas salidas. Es decir, en el cálculo del balance de nutrientes del suelo para una actividad agrícola todos los valores debieran tender a 0 para mantener su calidad, si se parte de un suelo saludable (Voisin *et al.*, 2017; Chamorro *et al.*, 2019). Cruzate & Casas en el año 2003 mostraron que, en la Argentina, existe un balance negativo de nutrientes del suelo debido a las bajas tasas de reposición, que determinan índices crecientes de empobrecimiento en nitrógeno, fósforo, azufre, calcio y boro. Los mismos autores en 2009 confirmaron el diagnóstico a pesar de haber aumentado la cantidad de productores que fertilizaron los cultivos y también los cultivos fertilizados. Esto se debe a que, para el caso de los nutrientes poco móviles, en muy pocos casos los lotes se fertilizaron bajo el criterio de reconstrucción y mantenimiento, práctica consistente en aplicar un poco más de la cantidad de nutrientes necesaria para satisfacer los requerimientos del cultivo y evitar balances negativos. Es decir, que, si bien la aplicación de fertilizantes ha aumentado notablemente, los balances de nutrientes de los sistemas productivos en las diferentes regiones del país continúan siendo negativos (García, 2006; Forján & Manso, 2012; Ghida Daza, 2013; Voisin *et al.*, 2018; Chamorro *et al.*, 2019). El principal causante de esto es la utilización de materiales genéticos con mayor potencial productivo que incrementa la extracción de nutrientes y la baja reposición de los mismos, de alrededor de un 37% de acuerdo con Cordone (2012).



Fig. 5.12. Imágenes propias de ensayos de rotaciones

El uso de manejos alternativos como **cultivos de cobertura (CC) y compost** en los barbechos en los actuales sistemas de producción constituyen una herramienta bastante novedosa y eficiente y económica porque permiten sustituir gran parte de los fertilizantes de síntesis química por fertilizantes orgánicos (Fig. 5.15), que muchas veces forman parte del mismo establecimiento, como es el caso de establecimientos mixtos, lográndose iguales rendimientos (Kruger & Quiroga, 2012; Novillo *et al.*, 2019; Voisin & Golik, 2019; Voisin *et al.*, 2019; Golik *et al.*, 2020 a, b).

En los sistemas de agricultura continua de la Región Pampeana prevalecen los cultivos de verano (Caviglia & Andrade, 2010), por lo tanto, la mayor parte de los suelos bajo agricultura se encuentran en barbecho durante el otoño y el invierno.

Como los cultivos estivales (principalmente soja y maíz) se cosechan entre marzo y mayo y la siembra del próximo cultivo se produce entre septiembre y diciembre, el período de barbecho es amplio (Basanta *et al.*, 2008). Por ello el uso de cultivos de cobertura es totalmente factible. Además de aportar nutrientes, estos cultivos de cobertura mejoran la eficiencia del uso de los recursos (nutrientes, radiación y agua) en el sistema suelo-cultivo, lo que se traduce en mayor aporte de C al suelo, con aumento de la MO (Villamil *et al.*, 2006; Basanta *et al.*, 2012). En experimentos de largo plazo conducidos en Córdoba (Basanta & Álvarez, 2015), Santa Fe (Duvál *et al.*, 2015) y Buenos Aires (Martínez *et al.*, 2013), se observó que la inclusión de una gramínea como CC en un sistema de monocultivo de soja mejoró significativamente los aportes de residuos vegetales y por ende los niveles de carbono orgánico del suelo. Los residuos del CC se degradan lentamente y los nutrientes son liberados al suelo quedando disponibles para el cultivo siguiente (Fernández *et al.*, 2012; Scianca *et al.*, 2013). Los CC retienen el nitrógeno mineral, que sin ellos podría perderse por lixiviación, al ser un nutriente sumamente móvil. Restovich & Andriulo (2011) en un estudio de cuatro años observaron una reducción de por lo menos el 50% del N mineral en el suelo luego de un CC en relación al barbecho químico típico de la siembra directa. La cubierta generada por los CC tiene un efecto protector sobre el suelo ya que reduce la ruptura de los agregados por el impacto de la gota de lluvia y evita la oclusión de

los macroporos, además de crear condiciones favorables para la generación de bioporos estables y profundos. A este efecto de la parte aérea se suma el aporte de las raíces que generan una estructura porosa de gran estabilidad (Álvarez & Quiroga, 2013). Los CC también pueden atenuar las pérdidas de suelo por erosión eólica, disminuir la presión de las malezas y el uso de herbicidas, mejorar la captación de agua y reducir el encharcamiento y/o encostramiento, reducir los riesgos de salinización por ascenso capilar desde las napas, reducir la evaporación incrementando la conservación y disponibilidad de agua en el perfil, etc. Dependiendo de su manejo es posible sincronizar mejor la oferta de nutrientes para los cultivos sucesores (Kruger & Quiroga, 2012) (Fig. 5.13).

Otra alternativa es la utilización de **compost** de distintos orígenes (Fig.5.14) Las actividades de la moderna sociedad de consumo, el crecimiento demográfico y el desarrollo industrial, determinan un aumento ilimitado en la generación de residuos. La producción mundial de estiércol procedente de la ganadería está cercana a 12.193 millones de toneladas (Tortosa, 2011). Para los residuos agrícolas, se estima que de los 1,6 billones de toneladas de materia orgánica exógena que se producen al año en la Unión Europea, 415 millones corresponden a residuos agrícolas, siendo el trigo, la cebada y el maíz los que generan mayor cantidad de residuos de este tipo. La industria alimenticia, en Europa, se estima que produce cerca de 222 millones de toneladas anuales de residuos agroindustriales, la mayor parte de naturaleza biodegradable (Tortosa, 2011). A nivel local, se hace necesario el estudio de los distintos sustratos disponibles y sus posibles mezclas con diferentes características y su posterior efecto en el suelo. La Plata produce 300 t/día de residuos orgánicos o sea 150 t potenciales de compost por día, equivalente a 55000 t /año (Ceamse, 2016). Sumado a ello se encuentra en nuestra ciudad la intensa actividad hípica (con una elevada producción de estiércol equino) y diversos establecimientos avícolas. La aplicación del compost puede producir en el suelo un incremento en la materia orgánica una vez establecido el balance mineralización y humificación y a su vez, contribuye a una producción sustentable, considerando la importancia en la reducción y/o sustitución de los fertilizantes inorgánicos. La utilización de compost aumenta la fertilidad de los suelos (Alvaríño, 2003; Gambaudo & Sosa, 2015). Confirmando lo citado, nuestros resultados indicaron que se aumentaron significativamente los niveles de P, N y CO en todos los ensayos en que se utilizó un barbecho con compost (Novillo *et al.*, 2019; Voisin & Golik, 2019; Voisin *et al.*, 2019; Golik *et al.*, 2020 a, b). La utilización de compost debería ser una alternativa a considerar para la mayoría de los establecimientos agropecuarios porque no solo aumenta la fertilidad del suelo, sino que, a la vez, y no menos importante, estamos reciclando residuos orgánicos urbanos y/o de otros establecimientos. El impacto ambiental se vería reducido por la menor contaminación de los residuos urbanos ya que estos en lugar de ser arrojados a sitios específicos (causando contaminación) serían utilizados, en parte, para la producción de alimentos disminuyendo la fabricación de fertilizantes con energías no renovables como el petróleo (Novillo *et al.*, 2019; Voisin & Golik, 2019; Voisin *et al.*, 2019; Golik *et al.*, 2020 a, b). Existe en la actualidad maquinaria para la aplicación de compost para cultivos extensivos (Fig. 5.15). El área de influencia de la Facultad de Ciencias Agrarias y Foresta-

les, de la UNLP es extensa, abarcando varios partidos que no quedan exceptuados de la problemática planteada, principalmente el Partido de Magdalena. Trabajos recientes indican que alrededor del 40% de los suelos de Magdalena son aptos o moderadamente aptos para el cultivo de soja (Etchegoyen, 2011), superficie equivalente a unas 73.000 hectáreas, lo cual da una idea de las posibilidades de crecimiento de este cultivo en el Partido. Investigadores de nuestra cátedra de Cerealicultura, de Oleaginosas y Cultivos Regionales y Edafología llevamos adelante ensayos de secuencias de diferentes cultivos, con distintas dosis de fertilizantes y diferentes tipos de barbechos (Novillo *et al.*, 2019; Voisin & Golik, 2019; Voisin *et al.*, 2019; Golik *et al.*, 2020 a, b). En nuestros trabajos hemos encontrado que aquellas secuencias con mayor participación de gramíneas aportan mayor C orgánico mejorando en el tiempo el balance de C y por ende la MO del suelo. Asimismo, para las condiciones climáticas de la zona durante los barbechos, los manejos alternativos resultaron superiores al manejo tradicional en la conservación de agua útil para el cultivo sucesor (Novillo *et al.*, 2019; Voisin & Golik, 2019; Voisin *et al.*, 2019; Golik *et al.*, 2020 a, b). Al igual que Restovich & Andriulo (2011), podemos concluir que algunas especies utilizadas como cultivos de cobertura invernales permiten aumentar el período de ocupación del suelo mejorando la eficiencia de uso del agua, realizando también un importante aporte de residuos (o biomasa al sistema) (Basanta *et al.*, 2013; Villamil *et al.*, 2006; Peyron, 2019). Y principalmente hemos encontrado que los rendimientos de los cultivos sucesores bajo estos manejos alternativos del barbecho no han disminuido con respecto a un barbecho químico convencional (Mejura, 2019; Golik, 2000 a,b) lo cual resulta de sumo interés por el ahorro económico al no aplicar fertilizantes de síntesis química preservando el medio ambiente, con una producción mucho más sustentable.



Fig. 5.13. Fuente propia. Se observa la implantación de cultivos de cobertura (vicia + avena)



Fig. 5.14. Fuente propia. Se observa la implantación de cultivos de cobertura y compost durante el barbecho entre dos cultivos estivales.



Fig. 5.15. Maquinaria para la aplicación de compost en cultivos extensivos.

Referencias

- Álvarez, C. & Quiroga, A. (2013). Avances en aportes de los cultivos de cobertura en la región agrícola argentina. En C Álvarez, A Quiroga, D Santos, M Quiroga (Eds.), *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (186-195). La Pampa: Ediciones INTA.
- Álvarez, R. & Grigera, S. (2005). Analysis of soil fertility and fertilizer effects on wheat and corn yield in the Rolling Pampa of Argentine. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191, 321 – 329.

- Álvarez, R. & Steinbach, H. (2006). Asociación entre el nitrógeno del suelo y el rendimiento de los cultivos. En Roberto Álvarez (Coord.), *Materia Orgánica: valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos* (79-92). Buenos Aires: UBA.
- Alvariño, Cr. (2003). Residuos orgánicos de origen urbano e industrial que se incorporan al suelo como alternativa económica en la agricultura. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 36, N°1.
- Andrade, F., Cirilo, A., Uhart, S. & Otegui, M. (1996). Nutrición mineral. En *Ecofisiología del cultivo de maíz* (101- 117). Buenos aires. Editorial La Barrosa-Dekalb Press.
- Andrián, M.L., Melchiori, R.J., Caviglia, O.P., Barbagelata, P.A. & Paparotti, O.F. (2001). Evaluación de la nutrición nitrogenada en trigo por medio de un índice de verdor en hojas. En *Actas V Congreso nacional de Trigo, Mesa: Ecofisiología y manejo de cultivos*. Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- Basanta, M., Alvarez, C., Giubergia, J.P., Lovera, E. (2012). Cultivos de cobertura en sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba. En Álvarez, C., Quiroga, A., Santos, D., Bodrero, M. (Eds.), *Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (50-57). La Pampa: Ediciones INTA.
- Basanta, M., Ghiotti, M L., Giubergia, J.P. & Lovera, E. (2010). Fracciones de carbono orgánico en un Haplustol bajo sistemas de agricultura continua en la región central de Córdoba. *XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario*. Disponible en CD.
- Bassi, J. (2021). Zinc, el micronutriente clave para los cultivos argentinos. Recuperado de <https://www.infocampo.com.ar/zinc-el-micronutriente-clave-para-los-cultivos-argentinos/>
- Bergh, R., Loewy, T. & Echeverría, H. (2004). Aportes del índice de verdor al manejo del nitrógeno en trigo pan. *VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio de Cereales de Siembra Otoño-Invernal*. Bahía Blanca, Argentina.
- Bianchini, A. (2021). Recuperado de Zinc, el micronutriente clave para los cultivos argentinos. <https://www.infocampo.com.ar/zinc-el-micronutriente-clave-para-los-cultivos-argentinos/>
- Calviño, P. & Sadras, V. (2002). On – farm assesment of constraints to wheat yield in south – eastern Pampas. *Field Crops Research*, 74, 1–11.
- Casal, J., Sánchez, R. & Deregibus, V. (1986). Effects of plant density on tillering: The involvement of the red/far-red and the proportion of radiation intercepted per plant. *Exp. Environmental Botany*, 26, 365–371.
- Castellarín, J.M., Pedrol, H.M., Gerster, G. & Ferraguti, F. (2008). Respuesta en rendimiento a la fertilización con cloruro de potasio y su relación con propiedades químicas del suelo en cultivos de trigo del sur de Santa Fe. Campaña 2007-08. *VII Congreso Nacional de Trigo. Sesión Manejo y Fertilización*, pág. 28.
- Castellarín, J.M. (2009). Influencia de las prácticas de manejo sobre la generación del rendimiento en el cultivo de trigo. *Para mejorar la producción* 40, 23 -38. INTA EEA Oliveros. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-influencia-practicas-manejo-sobre-la-generacion-de.pdf>
- Caviglia, O.P. & Andrade, F.H. (2010). Sustainable Intensification of Agriculture in the Argentinean Pampas. Capture and Use Efficiency of Environmental Resources. *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology* 3 (Special Issue 1), 1-8.

- Ceamse (2016). Residuos sólidos urbanos generados en la ciudad de La Plata. Recuperado de <http://www.ceamse.gov.ar>
- Chamorro, A.M., Bezus, R., Golik, S., Pellegrini, A., Novillo, B. & Voisin, A. (2019). Rotaciones agrícolas en buenos aires (argentina): evaluación de la sustentabilidad ecológica. *Primer Congreso Argentino de Agroecología*. 1a. ed. adaptada. Mendoza, Argentina: Universidad Nacional de Cuyo. Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado. 1423 pp. Eje temático: Indicadores de sustentabilidad, 918-922. Recuperado de <https://bdigital.uncu.edu.ar/14315>.
- Corbin, A.T., Thelen, K.D., Robertson, G.P. & Leep, R.H. (2010). Influence of cropping Systems on soil aggregate and weed seedbank dynamics during the organic transition period. *Agronomy Journal* 102, 1632-1640.
- Cordone, G. (2012). La Argentina sólo repone el 37% de los nutrientes del suelo. Recuperado de www.pregonagropecuario.com
- Cordone, G. & Martínez, F. (2000). El azufre en el sistema productivo agrícola del centro – sur de Santa Fe. En *Informaciones agronómicas del Cono Sur* N° 5, (13–14). INPOFOS.
- Cruzate, G.A. & Casas, R. (2003). Balance de nutrientes. Número Especial Sostenibilidad. *Revista Fertilizar*, 8, 7-13.
- Cruzate, G.A. & Casas, R. (2009). Extracción de nutrientes en la Agricultura Argentina. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. N° 44, 21-26. INPOFOS.
- de la Vega, A. J. & de la Fuente, E. (2004). Elección de genotipos. En Antonio J Pascale (Ed.), *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* (318 – 349). Buenos Aires: FAUBA.
- Diaz Zorita, M. (2021). Panel técnico II, de nutrición. Congreso A todo Trigo 2021. Recuperado de <http://www.atodotrigo.com.ar/auditorio.php?id=>
- Divito, G.A., Correndo, A.A. & García, F.O. (2017). La nutrición del cultivo de trigo. En G. A. Divito & Fernando Oscar García (Eds.), *Manual del cultivo de trigo* (67-84). Recuperado de <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2017/10/Resumen-Manual-Trigo-IPNI.pdf>. Último acceso: marzo de 2021.
- Doberman, A. & Cassman, K.G. (2002). Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant and Soil*, 247, 153–175.
- Dreccer, M.F. & Ruiz, R.A. (2004). Bases ecofisiológicas de la nutrición en los cultivos de grano. En Antonio J Pascale (Ed), *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* (481-497). Buenos Aires: FAUBA.
- Duval, M., Martínez, J.M., Iglesias, J., Galantini, J.A. & Wall, L. (2015). Secuencia de cultivos y su efecto sobre las fracciones orgánicas del suelo. En De Sá Pereira, E., Minoldo, G., Galantini, J.A., (Eds.), *Impacto de los sistemas actuales de cultivo sobre las propiedades químicas del suelo: efectos sobre los balances de carbono* (51-55). Coronel Suárez, Buenos Aires: Ediciones INTA. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_bordeanve_impacto_de_los_sistemas_actuales_de_cultivo.pdf.
- Echeverría, H.E & García, F.O. (1998). Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. *Boletín Técnico* 149. Buenos Aires, Argentina. EEA INTA Balcarce.
- Echeverría, H., Strada, R. & Studdert, G.A. (2000). Métodos rápidos de análisis de plantas para evaluar la nutrición nitrogenada del cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo*, 18, 105–114.

- Echeverría, H., (2004). Fertilización de cultivos en la región pampeana. ¿Qué sabemos y qué nos falta saber? En *Simposio Fertilidad 2004*. “Fertilidad de suelos para una agricultura sustentable”. Págs. 45–52. Rosario, Argentina. INPOFOS Cono Sur.
- Etchegoyen, J. (2011). *Evaluación de la aptitud de los suelos para el cultivo de soja. Partido de Magdalena, Pcia de Buenos Aires*. Trabajo final de Carrera Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, 71pp. UNLP.
- Fageria, N.K. & Baligar, V.C. (2005). Mejora de la eficiencia del uso de nitrógeno en plantas de cultivo. *Avances en agronomía*, 88, 97-185.
- Falótico, J., Studdert, G.A. & Echeverría, H.E. (1999). Nutrición nitrogenada del trigo bajo siembra directa y labranza convencional en condiciones de agricultura continua. *Ciencia del Suelo*, 17, 9–20.
- FAO (2015). La importancia de los cultivos de cobertura en la Agricultura de Conservación. Recuperado de <http://www.fao.org/ag/ca/es/2a.html>
- Fernández, R., Quiroga, A., Noellemeyer, E. (2012). Cultivo de cobertura como antecesor del cultivo de maíz en la Región semiárida pampeana. En C. Álvarez, A. Quiroga, D. Santos, M. Bodrero, (Eds.), *Contribuciones de los cultivos de coberturas a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (117-127). La Pampa: Ediciones INTA.
- Ferraris, G. 2021. Panel técnico II, de nutrición. Congreso A todo Trigo 2021. Recuperado de <http://www.atodotrigo.com.ar/auditorio.php?id=>
- Ferraris, G., Gutiérrez Boem, F. & Echeverría, H.E. (2002). Respuesta a la fertilización en el cultivo de soja de primera. *IDIA XXI, II* (3): 52–58.
- Fischer, R.A. (1985). Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science*, 105, 447–461.
- Ferro, D.A., Pellegrini, A., Chamorro, A., Bezus, R., Golik, S. (2018). Balance de carbono del suelo en una secuencia de cultivos trigo/soja 2^{da} y colza/soja 2^{da}. *XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: Legado social de edición limitada*. Comisión 4: Manejo y conservación de suelos y agua. Riego y drenaje (C4P93), 1205 – 1211. San Miguel de Tucumán.
- Fixen, P. (1993). Crop responses to chloride. *Advances in Agronomy*, 50, 107-150.
- Forján, H. & Manso, L. (2002). *Los cereales de invierno en la secuencia de cultivos. Su aporte a la sustentabilidad del sistema de producción*. Pcia. Buenos Aires. Argentina. INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow. Tres Arroyos. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_rotaciones_y_secuencias_de_cultivos_en_la_region_mixta_cerealera_del_centro_sur_bonaerense.pdf
- Forján, H. & Manso, L. (2010). Los cereales de invierno en la secuencia de cultivos. Su aporte a la sustentabilidad del sistema de producción. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Chacra Experimental Integrada Barrow, Convenio INTA – MAA Convenio INTA – Ministerio de Asuntos Agrarios - Pcia. de Buenos Aires. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_rotaciones_y_secuencias_de_cultivos_en_la_region_mixta_cerealera_del_centro_sur_bonaerense.pdf

- Forján, H. & Manso, L. (2016). Los cereales de invierno en la rotación de cultivos. *Recomendaciones de la Chacra Experimental Integrada Barrow para potenciar el funcionamiento de los agroecosistemas mediante un sistema de producción sustentable*. Pcia. Buenos Aires. Argentina. INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow. Tres Arroyos. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_rotaciones_y_secuencias_de_cultivos_en_la_region_mixta_cerealera_del_centro_sur_bonaerense.pdf
- Fraschina J., Bainotti C. & Salines J. (2003). El cultivo de trigo y la siembra directa en la región central norte. *Trigo, Actualización 2003*, 59–61.
- Galarza, C., Cazorla, C. & Bonacci, F. (2010). Influencia de los cultivos de cobertura en algunas propiedades físicas del suelo en sistemas agrícolas en siembra directa. Actas del XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. En CD.
- Gambaudo, S., Sosa, N. (2015). Residuos pecuarios: problema u oportunidad. INTA EEA Manfredi. Recuperado de <http://inta.gob.ar/documentos/residuos-pecuarios-problema-u-oportunidad/>
- García, F.O. (2007). Requerimientos nutricionales del cultivo: respuestas a la fertilización. En E. Satorre (Coord.), *Producción de trigo (37-42)*. Buenos Aires: AACREA.
- García, F. & Berardo, A. (2006). Trigo. En H.E. Echeverría & F.O. García (Eds.), *Fertilidad de suelo y de cultivos (233– 253)*. Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA.
- Ghersa, C.M. (2005). El cultivo de soja como motor de cambio en el agro pampeano. *Actas del Congreso Mundo Soja*, 15-22. Buenos Aires.
- Ghida Daza, C. (2013). Valoración económica del balance de nutrientes en la Provincia de Córdoba. *Información para Extensión 141*, Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez, INTA. 9pp. Recuperado de <http://inta.gob.ar/documentos/valoracion-economica-del-balance-de-nutrientes-en-la-provincia-de-cordoba/>
- Golik, S., Chamorro, A., Bezus, R., Pellegrini, A., Novillo, B. & Voisin, A. (2020). Uso de compost de cama de pollo y cultivos de cobertura previo a soja y maíz. En G.A. Divito (Ed). *Revista Nuestro Suelo*, (4), 14. Revista de divulgación de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Recuperado de http://www.suelos.org.ar/sitio/wp-content/uploads/2020/nuestro_suelo/Nuestro_Suelo4_AACS-Oct20.pdf
- Golik, S., Chamorro, A.M., Bezus R., Pellegrini, A., Novillo, B. & Voisin, A. (2019). Ecological sustainability assessment of crop rotations in Buenos Aires (Argentina). *Current Investigations in Agriculture and Current Research*, 7(4).
- Golik S., Voisin A., Chamorro A., Bezus R., Pellegrini A. & Novillo B. (2020). Efecto de la rotación de cultivos y distintos barbechos sobre la productividad del trigo. *Boletín Estación Experimental Los Hornos*. Actividades de docencia, investigación y extensión 2018-2020. (Facultad de Cs. Agrs. y Ftles, UNLP), 68-70. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/101203>
- Grobocopatel, G. (2013). Telam: informes especiales. Recuperado de <http://www.telam.com.ar/informes-especiales/1-soja-y-poder-economico/2-el-negocio>

- Helmets, G.A., Yamoah, Ch F. & Varvel, G.E. (2001). Separating the impacts of crop diversification and rotation on risk. *Agronomy Journal*, 93 (6), 1337-1340.
- Katsvairo, T.W. & Cox, W.J. (2000). Economics of Cropping Systems Featuring Different Rotations, Tillage and Management. *Agronomy Journal*, 92, 485–493.
- Kruger, H. & Quiroga, A. (2012). La “interfase suelo-atmósfera” y su valor estratégico en regiones semiáridas. En: C. De Álvarez, A. Quiroga, D. Santos, M. Bodrero (Eds.), *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (5-6). Anguil, La Pampa. INTA EEA.
- Landriscini, M.R., Galantini, J.A. & Rosell, R.A. (2001). Aplicación de la metodología DRIS al cultivo de trigo en la región semiárida pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 12, 6–11. INPOFOS.
- Lorenzatti, S. (2005). Siembra directa: trigo. Su impacto en la materia orgánica. Recuperado de <http://www.eeaoc.org.ar/noticias/noticia.asp?seccion=noticias&id=230>
- Lozano, P.Z., Rivero, C., Bravo, C. & Hernández, R.M. (2011). Fracciones de la materia orgánica del suelo bajo sistemas de siembra directa y cultivos de cobertura. *Revista Facultad de Agronomía*, 28, 35-56.
- Maddonni, G., Ruiz, R.A., Vilaríño, P. & García de Salomone, I. (2004). Fertilización en los cultivos para grano. En A.J. Pascale (Ed.), *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* (501–557). Buenos Aires: Facultad de Agronomía U.B.A.
- Martínez, J.P., Barbieri, P.A., Sainz Rosas, H.R. & Echeverría, H.E. (2013). Inclusion of Cover Crops in Cropping Sequences with Soybean Predominance in the Southeast of the Humid Argentine Pampa. *The Open Agriculture Journal*, 7, (Suppl 1-M2): 3-10.
- Meisinger, J.J. (1984). Evaluating plant available nitrogen in soil crop systems. En R.D. Hauck et al. (Eds.), *Nitrogen in crop production* (391–416). Madison, WI EEUU. American Society of Agronomía.
- Mejura, P. (2019). *Efecto de diferentes barbechos sobre la producción del cultivo sucesor. Trabajo final de carrera Ingeniería Agronómica*. Tesis de grado. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/browse?authority=http%3A%2F%2Fvoc.sedici.unlp.edu.ar%2Fnode%2F68655&type=author>
- Mengo R. (2008). República Argentina: Impacto social, ambiental y productivo de la expansión sojera. Recuperado de <http://www.ecoportel.net/content/view/full/76397>
- Mesquida, F. (2021). Zinc, el micronutriente clave para los cultivos argentinos. Recuperado de <https://www.infocampo.com.ar/zinc-el-micronutriente-clave-para-los-cultivos-argentinos/>
- Novillo, B., Golik, S.I. & Lanfranco, J. (2019). Aportes de diferentes secuencias de cultivos y manejos a la preservación/mejoramiento de los suelos agrícolas del borde sur de la pampa ondulada. *Revista Investigación Joven*, vol 6 (especial), 24. La Plata: Resúmenes-Ebec UNLP 2018. Publicado 23 mayo 2019. Recuperado de <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/index>.
- Novillo, B.V., Voisin, A., Pellegrini, A.E., Chamorro, A.M., Bezus, R., Machetti, N. & Golik, S.I. (2018). Diferentes estrategias de barbecho en cultivos extensivos: efecto sobre propiedades químicas del suelo. *XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. San Miguel de Tucumán.

- Pellegrini, A.E., Skulimowski, S.R., Voisin, A.I., Novillo, B.V., Chamorro, A.M., Bezus, R. & Golik, S.I. (2020) La producción de compost y su relación con un ambiente sustentable. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo "Suelos: Desafíos para una producción y desarrollo sustentables". Corrientes, Prov. de Corrientes. Contaminación del suelo y calidad del ambiente, 1515-1519. Organizador: asociación Ciencia del Suelo. Recuperado de <https://drive.google.com/file/d/1rqzLJOx7uWzGq0eGlvGZ8foW3d43xtr2/view?usp=sharing>
- Pengue, W. (2001). Impactos de la expansión de la soja en Argentina. Globalización, desarrollo agropecuario e ingeniería genética: un modelo para armar. *Biodiversidad* 29, 7-14. Recuperado de <http://www.axel.org.ar/articulos/nutricion/soja/pengue.pdf>
- Peyron, G. (2019). *Efecto de diferentes estrategias de barbecho sobre la disponibilidad de nutrientes y de agua para el cultivo sucesor en distintas rotaciones*. Trabajo final de carrera Ingeniería Agronómica. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/browse?authority=http%3A%2F%2Fvoc.sedici.unlp.edu.ar%2Fnode%2F66553&type=author>. Último acceso: mayo de 2021.
- Quintero, C.E. (2003). Capacidad de fijación de P en el suelo y su efecto sobre la dosis a aplicar. En *Simposio El fósforo en la agricultura argentina (73-76)*. Rosario Argentina. INPOFOS Cono Sur.
- Randall, G.W., Vetsch, J.A. & Huffman, J.R. (2003). Pérdidas de nitrato en el drenaje subsuperficial de una rotación maíz-soja según se ve afectado por el tiempo de aplicación de nitrógeno y el uso de nitrapirina. *Journal of Environmental Quality*, 32, 1764 - 1772.
- Raun, W., Solie, J., Johnson, B., Stone, W., Lukina, E., Thomason, W & Schepers, J. (2001). In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. *Agronomy Journal*, 93, 131–138.
- Restovich, S.B., Andriulo, A.E. & Améndola, C. (2011). Introducción de cultivos de cobertura en la rotación soja-maíz: efecto sobre algunas propiedades del suelo. *Ciencia del suelo*, 29, 61-73.
- Salvagiotti, F., Vernizzi, A., Bodrero, M., & Bacigaluppo, S. (2012). Cambios en el corto plazo en distintas fracciones de la materia orgánica en respuesta a la inclusión de cultivos de cobertura en secuencias basadas en soja. En C. Álvarez, R. Quiroga (Eds.), *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (88-91). Buenos Aires: FAUBA.
- Salvagiotti, F. (2004). Estrategias en el manejo de nutrientes en el sur de Santa Fe, 13–18. En *Simposio de Fertilidad de suelos para una agricultura sustentable*. Rosario, Argentina.
- Salvagiotti, F., Castellarín, J.M. & Pedrol, H.M. (2005). On farm validation of grain yield and nitrogen dynamics in soil – wheat systems using CERES Wheat. En *Abstracts 7th International Wheat Conference*. Mar del Plata, Argentina.
- Salvagiotti, F., Castellarín, J. M., Pedrol, H.M. & Rosso, O. (2000). La mineralización neta de nitrógeno durante el ciclo del cultivo de trigo y su uso en el balance de nitrógeno. En *Actas Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata, Argentina.
- Satorre, E.H., Ruiz, R.A., Miralles, D.J., Calderini, D.F. & Maddoni, G.A. (2001). Bases de decisión para la fertilización nitrogenada en las zonas Norte de Buenos Aires, Sur de Santa Fe y Centro de AACREA. *Cuaderno de actualización técnica de AACREA N° 63, Trigo*, 30-38.

- Satorre, E., Menéndez, F. & Tinghitella, G. (2005). El modelo Triguero: Recomendaciones de fertilización nitrogenada en trigo. Simposio de *Fertilidad 2005: Nutrición, Producción y Ambiente* (3-11). Rosario, Argentina.
- Scianca, C., Varela, M.F., Barraco, M., Álvarez, C. & Quiroga, A. (2013). En C. Álvarez *et al.* (Eds), *Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción* (105-116). La Pampa: INTA EEA Anguil.
- Slafer, G.A. (2003). Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Annals of Applied Biology*, 142, 117–128.
- Strada, R.A., Echeverría, H.E. & Studdert, G.A. (2000). Diagnóstico de la respuesta a la fertilización nitrogenada por medio de la concentración de nitratos en seudotallos de trigo. *Ciencia del Suelo*, 18, 64–68.
- Stone, P.J & Savin, R. 1999. Grain quality and its physiological determinants, En E. Satorre & G.A. Slafer (Eds.), *Wheat: ecology and physiology of yield determination* (85–120). Estados Unidos: Food Products pr inc (NY).
- Summer, M.E., (2001). Diagnóstico de los requerimientos de fertilización de cultivos extensivos. Archivo agronómico N° 5 INPOFOS. En: *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N° 9.
- Todoagro (2011). *Los suelos producen cinco veces más con rotación de cultivos*. Recuperado de <http://www.todoagro.com.ar/todoagro2/nota.asp?id=16128>
- Tortosa, G. (2011). *Materia orgánica en agricultura y los residuos orgánicos*. Recuperado de: <file:///E:/Proyecto%20Doctorado/Materia%20org%C3%A1nica%20en%20agricultura%20y%20los%20residuos%20org%C3%A1nicos%20-%20Compostando%20Ciencia.html>
- Uhart, S.A. (2002) nutrición mineral y diagnóstico de la fertilización en maíz. En E. Satorre (Coord.), *Cuaderno de actualización técnica* N°65 (26-52). Buenos Aires: AACREA.
- Uhart, S.A & Andrade F.H. (1996). Curva de dilución de N y fertilización nitrogenada en maíz. XXI Reunión Argentina de Fisiología Vegetal (448-449). Mendoza, Argentina.
- Uhart, S.A. & Echeverría, H. (2002). Diagnóstico de la fertilización. En F.H. Andrade & V. Sadrás (Eds.), *En Bases para el manejo de maíz, girasol y soja* (239-272). Balcarce: INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias.
- Ventimiglia, L.A. & Carta, H.G. (2005). *Pensando en la sustentabilidad del sistema productivo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Unidad de Extensión y Experimentación Adaptativa 9 de Julio.
- Vigliezzi, A., Studdert, G.A. & Echeverría, H.E. (1996). Nitratos en seudotallos de trigo como indicador de la disponibilidad de nitrógeno. *Ciencia del Suelo*, 14, 57–62.
- Villamil, M.B., Bollero, G.A., Darmody, R.G., Simmons, F.W. & Bullock, D.G. (2006). No-Till corn/soybean systems including winter cover crops: Effects on soil properties. *Soil Science*, 70, 1936-1944.
- Voisin, A., Novillo, B., Chamorro, A., Bezus, R., Pellegrini, A. & Golik, S. (2018). Análisis de diferentes secuencias de cultivos: aportes al sistema productivo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)*, 44 (2), 105 - 112.
- Voisin, A., Chamorro, A., Bezus, R., Pellegrini, A., Novillo, B. & Golik, S. (2020). Enmiendas orgánicas y cultivos de cobertura en soja (*Glicine max l.*) y maíz (*Zea mays l.*). Impacto en

los componentes del rendimiento. *Boletín Estación Experimental Los Hornos*. Actividades de docencia, investigación y extensión 2018-2020, 2-76. (Facultad de Cs. Agrs. y Ftles, UNLP). Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/101203>

Voisin, A.I. & Golik, S.I. (2019). Aportes a la sustentabilidad de los sistemas productivos extensivos. Utilización de cultivos de cobertura y compost en diferentes secuencias de cultivos. *Revista Investigación Joven*, 6 (especial): 32-33, Resúmenes-Ebec UNLP 2018. Publicado 23 mayo 2019. Recuperado de <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/index>.

Waldren, R.P. & Florerday G.A. (1979). *Agronomy Journal*, 71, 391-397.

Zadoks, J.K., Chang, T.T. & Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421.

CAPÍTULO 6

Enfermedades de trigo

María Rosa Simón y María Constanza Fleitas

Impacto de las enfermedades en el cultivo

Diversas enfermedades impactan en el rendimiento y la calidad del cultivo de trigo. Dichas enfermedades son responsables de 10 a 28% de pérdidas en los rendimientos del mismo. A nivel mundial, de los 31 patógenos mencionados en trigo, las mayores pérdidas de rendimiento son producidas por la roya de la hoja o anaranjada, la fusariosis de la espiga, la septoriosis, la roya estriada o amarilla, la mancha borrosa, la mancha amarilla y el oidio (Savary *et al.*, 2019). Tanto en Argentina como en otras partes del mundo, la roya amarilla ha tenido importancia creciente en los últimos años. Las royas, han sufrido modificaciones en las poblaciones de los patógenos causales y han adquirido diferente importancia según la roya de que se trate. En el caso de la roya amarilla, las razas han sufrido variaciones y de ser una enfermedad que se encontraba presente en zonas frescas, ha pasado a tener una dispersión amplia con daños importantes también en zonas de mayor temperatura. En el caso de la roya del tallo o negra, la mejora de la resistencia de los cultivares había atenuado notoriamente su efecto, pero nuevas razas han aparecido recientemente, aunque la resistencia de los cultivares mantiene la enfermedad dentro de niveles aceptables (Campos, 2017). La mancha amarilla sigue siendo una enfermedad de importancia, en tanto la septoriosis tiene importancia en algunas regiones como el Sur de la Provincia de Buenos Aires. La Fusariosis continúa siendo una importante enfermedad en los años en que las condiciones ambientales la predisponen (Malbrán *et al.*, 2014; Torres *et al.*, 2019). Han aparecido también enfermedades denominadas emergentes, tales como el tizón de la hoja o el bruzone, que potencialmente pueden convertirse en enfermedades de importancia en Argentina (Perelló, 2014).

Varios factores han modificado el panorama e importancia de las enfermedades del trigo. Entre ellos, el crecimiento de la superficie bajo siembra directa sin rotaciones, los mayores niveles de fertilización utilizados, la difusión de variedades susceptibles, la variabilidad en las razas de los patógenos y el uso de semillas infectadas sin fiscalización ni aplicación de agroquímicos.

La magnitud de las reducciones en el rendimiento que causan depende del estadio fenológico en el que se produce la enfermedad, el estado general del cultivo y de la intensidad de ataque. Esta intensidad varía con el nivel de susceptibilidad de los cultivares, virulencia de las razas de los patógenos, condiciones ambientales, nivel de fertilidad, presencia de insectos, malezas y con la interacción con otras enfermedades asociadas, entre otros factores.

Las enfermedades del trigo pueden afectar el rendimiento a través de la modificación de las variables que lo generan. Así, el rendimiento puede expresarse como la biomasa del cultivo multiplicada por el índice de cosecha. A su vez esta biomasa se expresa como:

Biomasa total = Radiación incidente acumulada × Eficiencia de intercepción de la radiación acumulada (%) × Eficiencia de uso de la radiación, a lo largo del ciclo del cultivo.

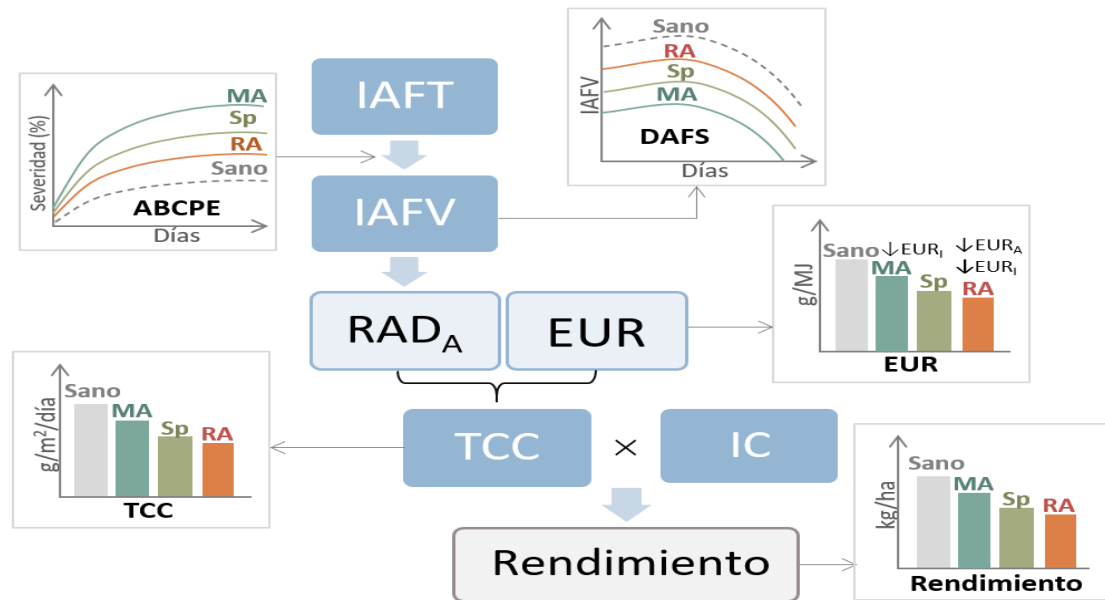


Fig. 6.1. Diagrama general del efecto de tres enfermedades foliares principales del trigo, la mancha amarilla (MA), septoriosis (Sp) y la roya anaranjada (RA) sobre los componentes ecofisiológicos del rendimiento en trigo. ABCPE, área bajo la curva de progresión de la enfermedad; DAFV, duración del índice de área foliar verde sana; EUR, eficiencia en el uso de la radiación; EUR_A, eficiencia de uso de radiación absorbida; EUR_i, eficiencia en el uso de radiación interceptada; IC, índice de cosecha; IAFV, índice de área foliar total; IAFV, índice de área foliar total verde o sano; TCC, tasa de crecimiento del cultivo.

Todas las variables que generan este rendimiento pueden ser afectadas por las enfermedades. Por ejemplo, aquellas enfermedades que inciden en el inicio del ciclo del cultivo tales como el tizón de la plántula, son reductores de stand, luego las enfermedades foliares (royas, manchas, oídios) afectan la eficiencia de intercepción y la eficiencia de uso de la radiación. A su vez, las enfermedades de espiga (carbones, fusariosis, bruzone) inciden sobre el índice de cosecha (Fig.6.1). Se ha observado en diversos ensayos que los patógenos necrotróficos tales como el agente causal de la mancha amarilla producen reducciones significativas en la intercepción y absorción de la radiación, en tanto que los biotróficos como el patógeno de la roya de la hoja reducen más la eficiencia de uso de la radiación y la tasa de crecimiento del cultivo que los necrotróficos, implicando que el sistema fotosintético del tejido verde remanente es más afectado por los biotróficos (Schierenbeck *et al.*, 2016a). Este efecto negativo de los patógenos biotróficos se asocia con el hábito nutricional, ya que estos hongos generan mayores modificaciones en la fisiología del hospedante, reduciendo la concentración de nitrógeno (N) de las hojas e incrementando los asimilados consumidos por la respiración. Incrementos en la concentración de inóculo redujeron la generación de biomasa, principalmente por disminuciones en la duración del área foliar verde y reducción de la absorción de la radiación con mayores reducciones con inoculaciones con el patógeno causal de la mancha amarilla (necro-

trófico) que con el agente causal de la roya de la hoja (Schierenbeck *et al.*, 2019). Un hongo hemibiotrófico como el organismo causal de la septoriosis también produce reducciones en la duración del área foliar verde (Castro & Simón, 2016).

Las enfermedades afectan también la calidad del cultivo. Así, por ejemplo, la fusariosis de la espiga frecuentemente reduce el peso de los granos, produce granos chuzos o arrugados, causando disminución en rendimiento en harinas, mayor incorporación de cáscaras en las mismas y micotoxinas (McMullen *et al.*, 2012). Los patógenos foliares también pueden afectar la calidad del grano, dependiendo de su hábito nutricional, generalmente los biotróficos afectan más la acumulación de N y su partición al grano que la acumulación de materia seca, reduciendo la cantidad de proteína. Los necrotrofos en cambio, afectan más la acumulación de carbohidratos (Dimmock & Gooding, 2002, Schierenbeck *et al.*, 2019) y en algunos casos pueden tender a incrementar la concentración de proteínas según el balance entre carbohidratos y proteínas en el grano, en tanto los fungicidas tienden a revertir estas tendencias (Fleitas *et al.*, 2018 a, b). Cuando la infección con enfermedades foliares se produce antes de floración, estas reducen la absorción de N pero generalmente no afectan el N removilizado, en cambio cuando ocurren después de floración esta relación varía con los factores ambientales, la intensidad de la enfermedad, el genotipo y la absorción de N postantesis (Bastiaans, 1993; Barbottin *et al.*, 2005). Las enfermedades foliares pueden afectar además las propiedades reológicas de las harinas (Castro *et al.*, 2018, Fleitas *et al.*, 2018a, b) aunque la dirección y magnitud de esos efectos está condicionada por diversos factores como el hábito nutricional del patógeno, su efecto sobre la concentración de carbohidratos y proteínas y el efecto sobre la composición de estas proteínas.

Generalidades del manejo integrado de enfermedades

El manejo integrado de enfermedades tiene por objeto reducir las enfermedades a un nivel que no ocasione daños económicos para el cultivo teniendo en cuenta la sustentabilidad ecológica. Las medidas de manejo que pueden utilizarse son diversas y se describirán en cada una de las enfermedades. De manera general consisten en resistencia genética, tipo de labranza y rotaciones, manejo de plantas voluntarias y hospedantes, control químico y biológico.

Variedades resistentes

El empleo de variedades resistentes es la alternativa para el control de los fitopatógenos que presenta una menor relación costo/beneficio. Sin embargo, frente a varias enfermedades, se ha tenido escaso éxito en su incorporación. En algunas de ellas, se ha incorporado resistencia monogénica o condicionada por pocos genes, tal ha sido el caso en general de las royas. Esta resistencia al estar condicionada por un solo gen se quiebra fácilmente, especialmente cuando el cultivar es sembrado en una extensa superficie, razón por la cual el patógeno genera mutaciones para poder abastecerse (Simón & Cordo, 1998). También puede haber una alta variabilidad de las razas o

aislados del patógeno que hagan que la resistencia sea efectiva a alguna de ellas, pero no a las restantes. Por tal razón, la tendencia del mejoramiento es hacia la obtención de resistencia poligénica, que aunque no es completa presenta mayor durabilidad o a la “piramidación” de genes mayores, que al ser varios resultan más difíciles de quebrar. Considerando las ventajas que la diversidad genética puede proporcionar, la mezcla de cultivares o el uso de variedades multilíneas puede resultar un recurso atractivo, aunque especialmente en países donde se liberan muchos cultivares año tras año y que el volumen de producción es alto, las multilíneas no han sido muy utilizadas, ya que implican una mezcla mecánica de la semilla y la posibilidad de ser reemplazadas por variedades más rendidoras al cabo del proceso de obtención.

Labranza, rotaciones, fecha de siembra, manejo de plantas voluntarias y hospedantes secundarios

En el sistema convencional de labranza de suelos, los residuos del cultivo se pueden descomponer destruyendo la mayor parte del inóculo. En la siembra directa, los rastrojos son dejados en superficie y son fuente de inóculo de patógenos foliares necrotróficos (Simón *et al.*, 2011). A pesar de las ventajas de este último sistema, debería considerarse incorporar los residuos cada cierto número años cuando la incidencia de una determinada enfermedad llegue a niveles muy altos. Los rastrojos del cultivo, el suelo y los hospedantes secundarios y/o alternativos, dependiendo de cada enfermedad, pueden contener una importante cantidad de inóculo capaz de generar epidemias. El objetivo es reducir la cantidad de inóculo a tal punto que el cultivo pueda ser producido económicamente. En muchos casos, el monocultivo aumenta el nivel de inóculo de ciertos patógenos, por lo que las rotaciones constituyen una medida de manejo efectiva. La rotación de los cultivos es una medida de control importante para los patógenos necrotróficos, ya que son dependientes de los restos culturales para sobrevivir durante la fase saprofitica. Por lo tanto, aquellos cultivos que sean hospedantes, no deben retornar a la misma área cultivada mientras existan restos culturales. Por la rotación ocurre la mineralización de los restos culturales y la eliminación de los patógenos por inanición y competencia.

Las rotaciones generalmente resultan efectivas en el caso de las manchas foliares, en la podredumbre radicular causada por *Bipolaris* spp., en el pietín y también en el rayado bacteriano. Sin embargo, para que esta efectividad no se pierda es necesario considerar si el patógeno no se encuentra en la semilla, la presencia del mismo en plantas voluntarias y otros hospedantes y si el patógeno posee estructuras de resistencia. En lotes donde se intenta la erradicación de los patógenos a través de la rotación, la presencia de plantas voluntarias puede garantizar la supervivencia de los mismos. Como ejemplos, *Fusarium* spp. es dependiente de los restos culturales de los huéspedes (cereales de invierno, maíz, sorgo) para sobrevivir. Pero además, las ascosporas que son importantes para la infección se forman también en gran cantidad de plantas gramíneas nativas e invasoras. Estas fuentes de inóculo deben ser destruidas por la rotación de cultivo y por la eliminación de las mismas para que la rotación sea efectiva.

Por otra parte, es necesario conocer la viabilidad del inóculo en el suelo sin el hospedante y si la reducción del inóculo es suficiente para que un programa de rotación tenga éxito. *Fusarium* spp. por ejemplo, que vive en el suelo y posee estructuras de resistencia, puede crecer en una gran cantidad de cultivos y sobrevivir en el suelo por un período indefinido, por lo que la rotación de cultivos para este patógeno resulta inefectiva. En el caso de otras enfermedades, como las royas, que poseen esporas livianas y se trasladan a grandes distancias, la rotación pierde efectividad al provenir el inóculo de otros campos o regiones. De hecho, las esporas pueden trasladarse a países limítrofes o inclusive atravesar océanos, ya que se ha documentado la propagación de esporas entre continentes (Muhammad *et al.*, 2015). Por otro lado, las semillas infectadas también desempeñan un papel fundamental en la epidemiología de las manchas foliares en general y de enfermedades de espiga. A partir de las semillas el patógeno pasa a los órganos radiculares y aéreos, de manera que cuando el patógeno se encuentra en la semilla, reduce significativamente el efecto erradicante de la rotación.

Otra forma de control cultural es el manejo de la fecha de siembra. Por ejemplo, en el caso del golpe blanco producido por *Fusarium* spp., una siembra más temprana en regiones donde es probable la aparición de la enfermedad, ubica el período de floración cuando las condiciones ambientales son de menor temperatura y humedad, evitando predisponer al ataque del patógeno. Sin embargo, hay factores ambientales más importantes que conducen a fechas de siembra más adecuadas u óptimas para maximizar los rendimientos, de manera que el manejo de las fechas de siembra para reducir los efectos de los patógenos no es una práctica habitual.

Manejo de la fertilización

La fertilización, especialmente la nitrogenada, también puede incidir incrementando o reduciendo la severidad de las enfermedades. Así, por ejemplo, los patógenos biotróficos como las royas, se benefician del incremento de metabolitos en las células de la planta y con altas dosis de N se incrementa la severidad (Hoffland *et al.*, 2000; Fleitas, 2018a). La mayor susceptibilidad se debe a cambios bioquímicos y anatómicos producidos por el N sumado al incremento en compuestos orgánicos que constituyen el sustrato de este tipo de patógenos (Dordas, 2008). En contraposición, los patógenos necrotróficos como la mancha amarilla presentan una respuesta más variable a la disponibilidad de N (Hoffland *et al.*, 2000; Fleitas, 2018a) probablemente debido a que este tipo de patógenos desintegran las células, lo que les permite utilizar un rango más amplio de fuentes de N (Solomon *et al.*, 2003). Varias investigaciones (Carretero *et al.*, 2010, Simón *et al.*, 2011; Fleitas 2017) demostraron que la severidad de la mancha amarilla decrece cuando hay mayor disponibilidad de N en el suelo, ya que las plantas se vigorizan y son capaces de ejercer una mejor respuesta de defensa. En el caso de los hemibiotróficos como la septoriosis, la respuesta es variable. Se han indicado incrementos o reducciones en la enfermedad con la alta disponibilidad de N con respuesta diferencial entre los genotipos (Fleitas *et al.*, 2017; Simón, 2002, 2003). Estas controversias pueden atribuirse a diferencias en la cantidad de N disponible, diferentes fuentes de N o que exista una concentración óptima de N para el desarrollo del patógeno como señaló Ishikawa *et al.* (2012) (Fig.6.2).

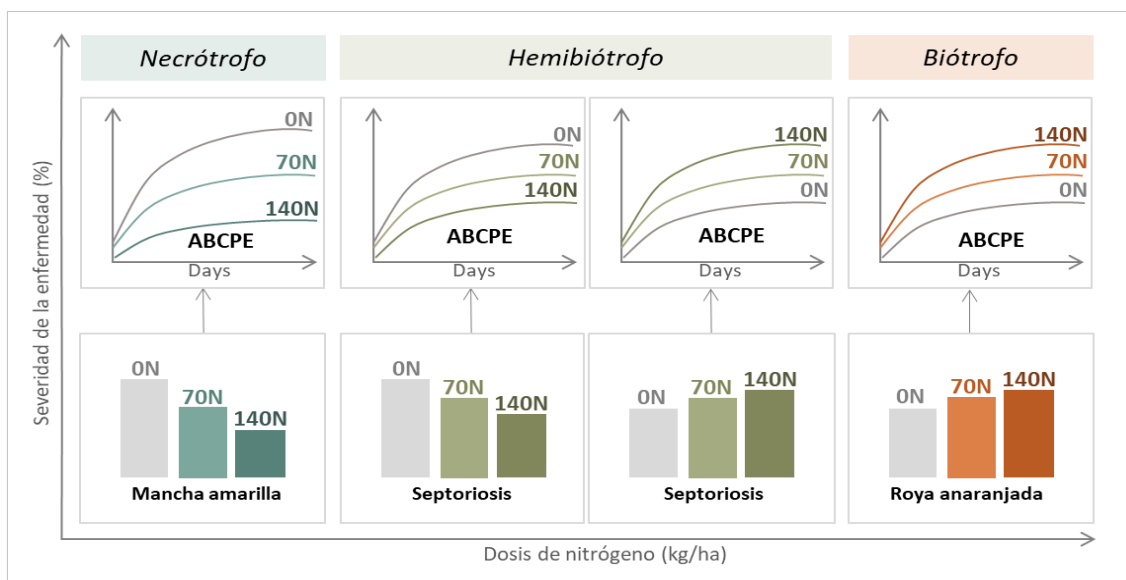


Fig. 6.2. Diagrama general del efecto de la fertilización nitrogenada sobre las tres principales enfermedades foliares del trigo en los experimentos inoculados con los patógenos. También se indica el hábito nutricional de cada agente causante de la enfermedad (AUDPC, área bajo la curva de progreso de la enfermedad; N, kg de nitrógeno/ha). Los datos indican la respuesta más común para patógenos biótrofos y necrótrofos y las diferentes respuestas posibles para los hemibiótrofos.

El potasio (K) también incide en la disminución de las enfermedades del trigo, ya que está involucrado en la fotosíntesis, en la activación de enzimas, en la síntesis de proteínas. Activa sustancias antifúngicas, fortalece la cutícula generando una barrera y mejora el crecimiento. Asimismo, se ha mencionado que el agregado de CIK ha disminuido algunas manchas foliares como septoriosis y mancha borrosa (Mann *et al.*, 2004; Sharma *et al.*, 2005). Los resultados presentan controversias en el caso del control de otras enfermedades como la roya anaranjada y en este caso, Melgar *et al.* (2001) atribuyeron el efecto de reducción de la severidad al Cl y no al K. También microelementos como el boro, manganeso y zinc redujeron la severidad de la mancha amarilla cuando se aplicaron en encañazón (Simoglou & Dordas, 2006). El zinc ha demostrado también efecto reductor de algunas podredumbres de raíz (Graham & Webb, 1991). Estos autores también expusieron la importancia del manganeso en la defensa de las plantas, por su función en la defensa al lignificar tejidos y participar en la formación de compuestos fenólicos, resultando de fundamental importancia para disminuir la intensidad del pietín. Se ha observado además que esta enfermedad reduce su incidencia con el suplemento de manganeso, cobre y hierro (Reis *et al.*, 1982). Los fosfitos también tienen propiedades fungistáticas y son inductores de la resistencia, si bien las plantas no pueden utilizarlos como fuentes de fósforo como lo hacen con los fosfatos.

Control químico y biológico

El control químico tiene como objetivo fundamental que el cultivo llegue al período crítico y al llenado de granos con la mayor área foliar sana, de manera de obtener un alto número de granos.m⁻² y un mayor peso de los mismos. La semilla sana o tratada con terapicos de semilla es un factor fundamental en el control de las enfermedades. Una gran cantidad de patógenos pueden ser trans-

portados por la semilla, sobreviven en ella períodos largos y son introducidos en nuevos campos o países. Entre las principales enfermedades causadas por patógenos que se encuentran en la semilla se mencionan el carbón volador, el carbón cubierto o caries, el tizón de la plántula y pudrición de raíces, granos escudete negro, la mancha amarilla, la mancha del nudo y de la gluma, la mancha borrosa y la espiga negra o rayado bacteriano. En la septoriosis, si bien el patógeno se ha detectado en la semilla (Consolo *et al.*, 2009), su transmisión a la plántula no está bien determinada. Varios patógenos pasan de la semilla a los órganos aéreos. Cuanto más elevada es la incidencia en la semilla más eficiente será la transmisión, por lo que la semilla debe presentar los niveles de infección más bajos posibles, esto sólo ocurrirá si la intensidad de la enfermedad en los órganos aéreos es baja en el cultivo previo. Los patógenos en lotes de semilla con altos niveles de infección difícilmente puedan ser erradicados. No se dispone de claras correlaciones entre la intensidad de las manchas foliares y la incidencia en semillas. En general, debe considerarse que cuando las enfermedades alcanzan hojas superiores o las inflorescencias, los lotes no deben destinarse a producción de semillas.

Cuando se aplican terapicos de semilla se pretende erradicar hongos patógenos biotróficos que se encuentren en el interior de la semilla como *Ustilago* sp. y externos como *Tilletia* spp. y evitar el crecimiento de los necrotrofos que se encuentran en el interior para evitar que ataquen el coleoptile y raíces; disminuir la fuente de inóculo primaria para retrasar las epidemias en la parte aérea y para reducir el número de aplicaciones de fungicidas. Adicionalmente, los curasemillas ayudan a controlar hongos biotróficos como *Puccinia* sp. y *Erysiphe* sp. que no se encuentran en la semilla pero que afectan la parte aérea en etapas tempranas del cultivo y complementan el manejo de la pudrición radicular producida por *Gaeumannomyces graminis* y de *Rhizoctonia* spp. (Carmona & Sautua, 2014).

En las aplicaciones aéreas es necesario considerar el momento de la aplicación y el producto a aplicarse de acuerdo a la sensibilidad de los patógenos a los mismos. Los grupos fungicidas más utilizados son los triazoles, estrobilurinas y carboxamidas. Los triazoles son inhibidores de la desmetilación o inhibidores de la síntesis del ergosterol que compone las membranas celulares de los hongos, su principal función es curativa (luego de la infección y antes de la aparición de los síntomas), pero no son muy efectivos en inhibir la germinación de esporas (Hewit, 1998; Reis & Carmona, 2013). Generalmente se utilizan en combinación con estrobilurinas que son derivados sintéticos del hongo basidiomycete *Strobilurus tenacellus* (Pers.) e inhiben la respiración mitocondrial por bloqueo de la transferencia de electrones en el complejo citocromo-bc1 (complejo III). Tienen un amplio espectro antifúngico, inhiben la germinación de esporas por lo que son preventivas y han causado sustanciales incrementos en rendimientos ya que tienen propiedades de inhibición del etileno, causando un retraso de la senescencia de las hojas (Bayles, 1999), aunque pueden generar resistencia con facilidad (Reis & Carmona, 2013). Con la mezcla de triazoles y estrobilurinas se incrementó el espectro y el período de protección. Otro grupo son las carboxamidas que son inhibidores de la respiración mitocondrial por bloqueo de la transferencia de electrones del complejo II que inhibe la enzima succinato deshidrogenasa. También son preventivas evitando la germinación de las esporas de los hongos y son persistentes. La incorporación de carboxamidas a mezclas de triazoles y estrobiluri-

nas ha causado un mejor control de mancha amarilla y roya de la hoja que los triazoles en ensayos llevados a cabo recientemente en Argentina (Fleitas *et al.*, 2018a, b).

Para las aplicaciones foliares es necesario realizar monitoreos que deben realizarse desde que comienzan a aparecer los primeros síntomas: semanalmente para manchas y dos veces en la semana para roya tomando 50 macollos por lote. Se determina incidencia, que es el porcentaje de hojas u órganos enfermos sobre el total y que es de rápida evaluación. Se considera hoja enferma cuando tiene una pústula de roya o una lesión de 2 mm de manchas. Se evalúa también la severidad, que es el porcentaje de tejido enfermo en todas las hojas y se hace el promedio. Es más difícil de estimar y se pueden utilizar programas y escalas para comparar los distintos grados de infección y estimarla correctamente. La incidencia ha demostrado tener una buena correlación con la severidad cuando los valores son bajos a intermedios (Sugia, 2009).

El umbral de daño económico (UDE) significa la máxima cantidad de una enfermedad que es tolerable económicamente y el umbral de acción es la cantidad máxima de una enfermedad donde debería aplicarse un fungicida y se encuentra algo por debajo del umbral de daño económico.

El UDE es determinado utilizando como base de cálculo la fórmula de Munford & Norton (1984) modificada para enfermedades:

$$UDE = \frac{Cc}{Pp \times Cd \times Ec}$$

donde:

- UDE= umbral de daño económico o intensidad de la enfermedad
- Cc = costo del control;
- Pp = precio de la tonelada de trigo;
- Cd = coeficiente de daño (que significa cuantos kilos de trigo se pierden por porcentaje de severidad o incidencia de la enfermedad y se lo multiplica por el rendimiento potencial del cultivo). Hay coeficientes de daño determinados para varias enfermedades.
- Ec = eficiencia del control del fungicida usado

Otra forma de control que está siendo utilizada en diversos países es el control biológico a través de hongos o bacterias que actúan como antagonistas de los patógenos. Su utilización se realiza dentro del marco de la agricultura sustentable ya que, si bien el control que realiza no puede compararse con el que realizan los productos químicos, preserva el medio ambiente e incrementa la población en el medio de los antagonistas naturales.

En base a la zona de acción puede utilizarse control biológico de la superficie del follaje (filosfera) o de la superficie de raíces y suelo (rizosfera). Debido a la variación de las condiciones ambientales, el control biológico en la filosfera puede no ser muy exitoso. Pero también en la rizosfera la introducción de antagonistas está influenciada por factores abióticos y bióticos que la complican.

Kohli & Reis (1994) describieron las prácticas más efectivas según la enfermedad de que se trate. Así indicaron que en el caso de las royas la resistencia genética y el control químico resultan de mayor efectividad. En el caso de los carbones y oídio, lo son la resistencia genética y tratamientos químicos de semilla. Para el caso de la fusariosis de la espiga, también es más efectiva la resistencia genética y con menor efectividad el control químico en anthesis. Para el caso de las manchas, las

rotaciones con cultivos no hospedantes y tratamientos de semilla, seguidos por la resistencia genética y el control foliar químico resultan más efectivos. En el caso del pietín, las rotaciones y en el caso de la podredumbre radicular producida por *Bipolaris sorokiniana* las rotaciones y los tratamientos de semilla. En el caso del rayado bacteriano no existen tratamientos de semilla eficaces, por lo que la resistencia genética sumado a la rotación de cultivos y al control de hospedantes alternativos (como malezas o especies gramíneas nativas) son las únicas herramientas disponibles.

En este capítulo se describirán las principales enfermedades del trigo, evaluando su importancia para el cultivo y los métodos específicos que resultan más efectivos para su manejo integrado. Se agruparán como enfermedades fúngicas, considerando aquellas enfermedades de raíz y plántula, enfermedades de hoja y tallo y enfermedades de espiga. Luego se describirán las enfermedades bacterianas y las virosis.

Enfermedades fúngicas de plántulas y raíces

Tizón de la plántula y podredumbre radical

Organismo causal: es causado por un complejo de hongos conformado por *Fusarium* spp., *Bipolaris* spp., *Pythium* spp. y *Rhizoctonia* spp. Otros como *Gaeumannomyces* spp., si bien también produce daños en las raíces y muerte de plántulas, suele ser más evidente en estadios posteriores y se tratará como enfermedades del tallo.



Fig. 6.3. (a) Plántulas de trigo que muestran podredumbre que puede ser causado antes o después de la emergencia por una infección temprana con hongos que causan la pudrición de la raíz común, la pudrición del pie y la pudrición de la corona ocasionadas por numerosas especies de hongos (*Fusarium* spp., *Bipolaris* spp., *Pythium* spp. y *Rhizoctonia* spp.). (b) Plantas de trigo adultas también afectas por podredumbre radical. Crédito de la foto: CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Importancia: esta enfermedad se ha encontrado en varios países produciendo en algunos casos pérdidas de rendimiento de importancia. En Australia se indicaron reducciones de rendimiento entre 0 y 89% (Klein *et al.*, 1991), en tanto que en regiones de la costa noreste del Pacífico en América del Norte se informaron reducciones de hasta 35% (Smiley *et al.*, 2005). En Argentina, son pocos los estudios que han reportado pérdidas de rendimiento significativas. *Rhizoctonia solani* ha manifestado importancia creciente en el mundo luego del incremento de la siembra directa (Smiley *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 2003; Paulitz *et al.*, 2009).

Síntomas, signos y daños: dependiendo de la intensidad de ataque y organismo causal, pueden originar reducciones en la germinación, podredumbres de la semilla y raíces y disminuciones en el vigor de la plántula, llegando a matarla (Fig. 6.3a). Si las plantas sobreviven, el macollaje se puede ver disminuido (Fig. 6.3b). También puede haber podredumbre del cuello y los síntomas se manifiestan hasta planta adulta; las plantas son de menor altura y poco vigor; el daño suele presentarse en manchones, las plantas se quiebran y es fácil extraerlas; las raíces se tornan de color marrón con zonas húmedas, luego se mueren y desprenden, los tejidos del cuello se pudren. Afecta los entrenudos de la zona de la corona, los basales del tallo y la vaina de la hoja basal (Lori & Sisterna, 2014). Aparece asociado con inviernos fríos y secos y veranos con baja humedad (Cook, 1981). *Pythium* spp. también produce podredumbre de semillas cuando la infección ocurre antes de la emergencia de las plántulas y estrangulamiento del cuello de la plántula cuando es posterior a la emergencia (Wolcan, 2014) lo que reduce el porcentaje de plántulas establecidas. También ocasiona podredumbre de raíces y disminuye la absorción de nutrientes lo que provoca una menor altura de la planta y reducción de macollos lo que finalmente reduce el rendimiento (Pérez Fernández & Corro Molas, 2001). Asimismo, varias especies de *Rhizoctonia* producen podredumbres de las raíces y disminuyen el vigor de las plántulas, similar a *Fusarium* spp. En general este complejo de hongos reduce el rendimiento y la calidad del trigo principalmente por la reducción del macollaje (Duczek Jones-Flory, 1993; Wolcan, 2014).

Epidemiología: *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (teleomorfo *Cochliobolus sativus* (Ito & Kuribayashi) Drechs. ex Dastur y *Fusarium* spp. son transmitidos por semilla. También se encuentran en el suelo y en semillas de cereales y especies silvestres. *Fusarium* spp. inverna en peritecios (sexual) en residuos infectados y como clamidosporas que son estructuras de resistencia. *Bipolaris sorokiniana* se encuentra como micelio en rastrojos y como conidios en el suelo. Los conidios son dispersados por el viento y las gotas de agua (Wiese, 1987). *Pythium* spp. habita en el suelo, se comporta como parásito cuando las condiciones son favorables para el microorganismo y desfavorables para el cultivo (Van der Plaats-Niterinck, 1981). Las oosporas pueden permanecer años en el suelo y germinar en condiciones favorables, se desplazan mediante flagelos a través del agua y nadan hacia las raíces o semillas (Kageyama & Nelson, 2003). *Rhizoctonia* spp. se encuentra como micelio y como esclerocios en el suelo y rastrojo (Wolcan, 2014), también en malezas y plantas voluntarias de trigo, cebada y centeno. Se puede dispersar por rastrojo, maquinaria, semillas, animales (Pérez Fernández & Corro Molás, 2001).

Condiciones predisponentes: los inviernos secos y fríos y suelos con bajo contenido de humedad en verano predisponen el estrés. También son factores predisponentes las deficiencias en nutrición y daños por insectos (Burgess, 2001). En el caso de *Pythium* spp. es favorecido por un

drenaje pobre, con retención de agua, suelos arcillosos y fríos, con rastrojo (Van der Plaats-Niterinck, 1981; Pérez Fernández & Corro Molas, 2001). Puede infectar plantas voluntarias y de otros cultivos como soja o cebada ya que son polípagos (Cook & Veseth, 1991). *Rhizoctonia* spp. se ve favorecido por bajas temperaturas, sequías (Smiley *et al.*, 1996) y bajo nivel de nutrientes.

Manejo de la enfermedad: es una enfermedad de difícil control. Las medidas de control aconsejadas consisten en la combinación de manejo genético y cultural (manejo de malezas y plantas voluntarias, barbecho químico y mecánico, rotación de cultivos, manejo de residuos y de la fertilización nitrogenada), tratamiento químico de semillas y control biológico. La rotación con cultivos no hospedantes ha demostrado efectividad (Burgess *et al.*, 2001), aunque los resultados referidos al efecto de diferentes sistemas de labranza han sido contrastantes (Conner *et al.*, 1987). También el control biológico es una alternativa, las bacterias como *Pseudomonas* spp. han sido descritas como antagonistas (Castro Tapia, 2020). También cepas de *Trichoderma* spp., *Bacillus* spp. y *Stenotrophomonas* spp. han demostrado ser efectivas (Dal Bello *et al.*, 2008).

Enfermedades fúngicas de hoja y tallo

Roya amarilla o estriada

Organismo causal: es *Puccinia striiformis* Westend. f. sp. *tritici* Erikss.

Importancia: La roya amarilla es una de las enfermedades más dañinas del trigo en muchas áreas del mundo y en la actualidad es la más importante de las royas (Chen *et al.*, 2014). En Argentina, también se ha convertido en la enfermedad más importante. Era una enfermedad de regiones frescas, pero luego del año 2000 aparecieron nuevas razas en distintas partes del mundo que permitieron su difusión hacia zonas de mayor temperatura (Milus *et al.*, 2008; Mboup *et al.*, 2009; Hovmøller *et al.*, 2010; Carmona *et al.*, 2020). En Argentina, comenzó a aparecer en 2015 en diferentes regiones de la Provincia de Buenos Aires en campos de productores y en años siguientes también en Santa Fé, Entre Ríos, La Pampa y luego también en Tucumán y Santiago del Estero, produciéndose en 2017 una epifitía importante. Entre las nuevas razas, en 2016 se confirmó la presencia de la raza Warrior (Campos, 2017) que es prevalente en Europa y que quebró la resistencia de gran parte de los cultivares europeos. En Argentina era típica del sur de la región triguera, pero en la actualidad está difundida en gran parte de la región debido a este cambio de razas.

Síntomas, signos y daños: produce pústulas uredosóricas de color amarillento ordenadas en bandas o estrías entre las nervaduras a partir de encañazón (Fig. 6.4d), conteniendo urediniosporas que le dan el nombre común a esta roya. En los primeros estadios las pústulas no forman estrías, sino que se presentan sin orden en la lámina de las hojas (Fig.6.4a y b). Pueden presentarse también en la cara interna de las glumas, glumelas y en las vainas. Las pústulas teleutosóricas constituidas por teleutosporas oscuras tienen una tendencia a ocupar la cara superior de las hojas también en forma de estrías y permanecen recubiertas por los tejidos epidérmicos durante mucho tiempo, frecuentemente se presenta en manchones (Chen *et al.*, 2014). El patógeno (que es biotrófico) crece y se reproduce en base a la energía producida por la planta, produce clorosis y necrosis que afectarán la fotosíntesis y la intercepción de la radiación, produce senescencia y deficiente llenado

de grano y reduce el crecimiento radicular (Doodson, 1964 a,b; Prescott *et al.*, 1986). En ataques severos las hojas se necrosan y desprenden, reduce el macollaje, el número de granos por espiga y el llenado de granos y consecuentemente el rendimiento. La enfermedad produce pérdidas de rendimiento y calidad de grano como consecuencia de un número reducido de granos por espiga, granos arrugados y bajo peso específico.

Epidemiología: sobrevive como micelio y uredosporas en más de 18 géneros de gramíneas. La fase asexual puede infectar diversas especies de trigo. También algunas cebadas y centenos, aunque sin producir infecciones importantes. Además, son hospedantes diversos pastos como *Agropyrum* spp., *Hordeum* spp. *Phalaris* spp., *Bromus* spp. *Elymus* spp., *Leymus* spp. entre otros, en tanto que la forma sexual cuenta como hospedantes alternativos a *Berberis* spp. y *Mahonia* spp. (Chen *et al.*, 2014) que no se encuentran en el hemisferio sur. Las esporas pueden dispersarse por el viento o a través de ropa y otros. El patógeno tiene esporas livianas que pueden trasladarse miles de kilómetros, tiene alta variabilidad y tasas de mutación y si bien la forma sexual no está en Argentina, existe en otros países.



Fig. 6.4. (a, b) Pústulas de roya estriada o amarilla sobre hojas de un cultivar susceptible en cámaras de crecimiento. (c) Observación bajo lupa de pústulas sobre hojas. (d) Urediniosporas de color amarillento ordenadas en bandas o estrías en hojas de plantas adultas.

(Fotos a, b y c tomadas en cámaras de crecimiento de la Universidad de Saskatchewan, Canadá, 2021; foto d tomada en la Estación Experimental J. Hirschhorn, UNLP, 2015).

Condiciones predisponentes: si bien se considera que tiene un mejor desarrollo con bajas temperaturas, las nuevas razas se adaptan también a temperaturas altas (Hovmoller *et al.*, 2010). Necesita condiciones de humedad y lloviznas con un mínimo de entre 3 y 6 h de mojado de hojas. Las temperaturas para la germinación de urediniosporas son 0 (mínima) 9- 13 °C (óptima) y 23 °C (máxima) (Schröder & Hassebrauk, 1964; Roelfs *et al.*, 1992) y de 7-15 °C para la infección (Kolmer *et al.*, 2009). Un aumento en la longitud del día o intensidad de la luz reduce el tipo de infección (Wellings *et al.*, 1988). Una alta disponibilidad de nitrógeno también predispone la severidad de las royas en general, al ser patógenos biotróficos que necesitan de tejido vivo para sobrevivir y por el microclima que genera en el canopeo.

Roya anaranjada o de la hoja

Organismo causal: es *Puccinia triticina* Erikss.

Importancia: se encuentra distribuida en todas las regiones del mundo y era la enfermedad de mayor importancia en Argentina hasta la aparición de las nuevas razas de *P. striiformis*. Puede producir pérdidas de 50% o superiores (Huerta-Espino *et al.*, 2011) que dependen predominantemente de la resistencia de los cultivares. En Argentina, se han registrado pérdidas superiores a 30% en cultivares susceptibles y puede afectar en toda la zona triguera. Sin embargo, debido a temperaturas más altas, la mayor frecuencia es en las zonas I y III con frecuencias altas, en tanto que la II y IV presenta frecuencias moderada a altas y en la V de leve a moderada (Campos, 2014).

Síntomas, signos y daños: comienzan con clorosis y luego se producen pústulas rojizo-anaranjadas subepidérmicas que son los uredosoros (Fig. 6.5) y que pueden presentar halos cloróticos o necróticos que indica el tipo de infección, las que presentan necrosis corresponden a moderada resistencia a resistencia. Las uredosporas de aproximadamente 2 mm se distribuyen irregularmente en el haz de la hoja (Fig.6.5 y 6.7), puede alcanzar las vainas y espiguillas. Al final del ciclo del cultivo aparecen teliosoros castaño oscuros a negros, dispuestos al azar en el envés de las hojas y en las vainas. Los uredosoros se diferencian de los de la roya amarilla por su color más intenso y porque en este caso no se presentan en bandas, sino al azar. Es también causada por un patógeno biotrófico al igual que las otras royas que adquiere nutrientes para su crecimiento y formación de esporas de células vivas, por lo que el patógeno debe mantener su viabilidad. Reduce la fotosíntesis, disminuye la clorofila y produce un incremento en la tasa de respiración por ruptura de la epidermis y consume una importante cantidad de carbohidratos (Roelfs *et al.*, 1992). Cuando afecta en el período crítico produce reducciones en el número de granos.m⁻² y menores en el peso de los granos, en ambos casos reduciendo el rendimiento (Fleitas, 2015, 2018), aunque ataques tardíos pueden afectar predominantemente el peso de los granos.

Epidemiología: puede aparecer tempranamente, aunque las infecciones en las hojas superiores serán en octubre y noviembre. La transmisión es por el viento que arrastran las uredos-

poras a grandes distancias, inclusive entre continentes; por este traslado se explica que Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay comparten las mismas razas (Muhammad *et al.*, 2015) y también por semejanza entre los cultivares. La reinfección anual se produce a través del micelio y uredosporas que se encuentran en los trigos voluntarios por su carácter de parásito obligado. Cuando el inóculo proviene del mismo lote las hojas inferiores aparecen muy afectadas, en cambio cuando el inóculo es transportado desde otros lotes, la mayoría de las pústulas se observarán en las hojas superiores. Aunque es más importante en trigo pan y fideos, la fase asexual también puede afectar otras especies de trigo, triticale, *Aegilops* spp. y *Agropyron* spp., en tanto que la fase sexual se desarrolla en *Thalictrum* spp. e *Isopyrum* spp. que no se encuentran en el hemisferio Sur (Roelfs *et al.*, 1992). La población del patógeno tiene una alta variabilidad, causada por mutaciones, migración y otros mecanismos y existen numerosas razas. Recientemente han aparecido en Argentina nuevas razas que han producido el quiebre de la resistencia en varios cultivares (Campos, 2020).



Fig. 6.5. Pústulas de roya de la hoja o anaranjada sobre hojas de un cultivar de trigo susceptible a campo. (Fotos tomadas en la Estación Experimental J. Hirschhorn, UNLP, 2014).

Condiciones predisponentes: para que se produzca la infección se necesitan días luminosos con temperaturas de 15 a 22 °C y 4 h. de mojado mínimo (Prescott *et al.*, 1986).

Roya del tallo o negra

Organismo causal: *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*.

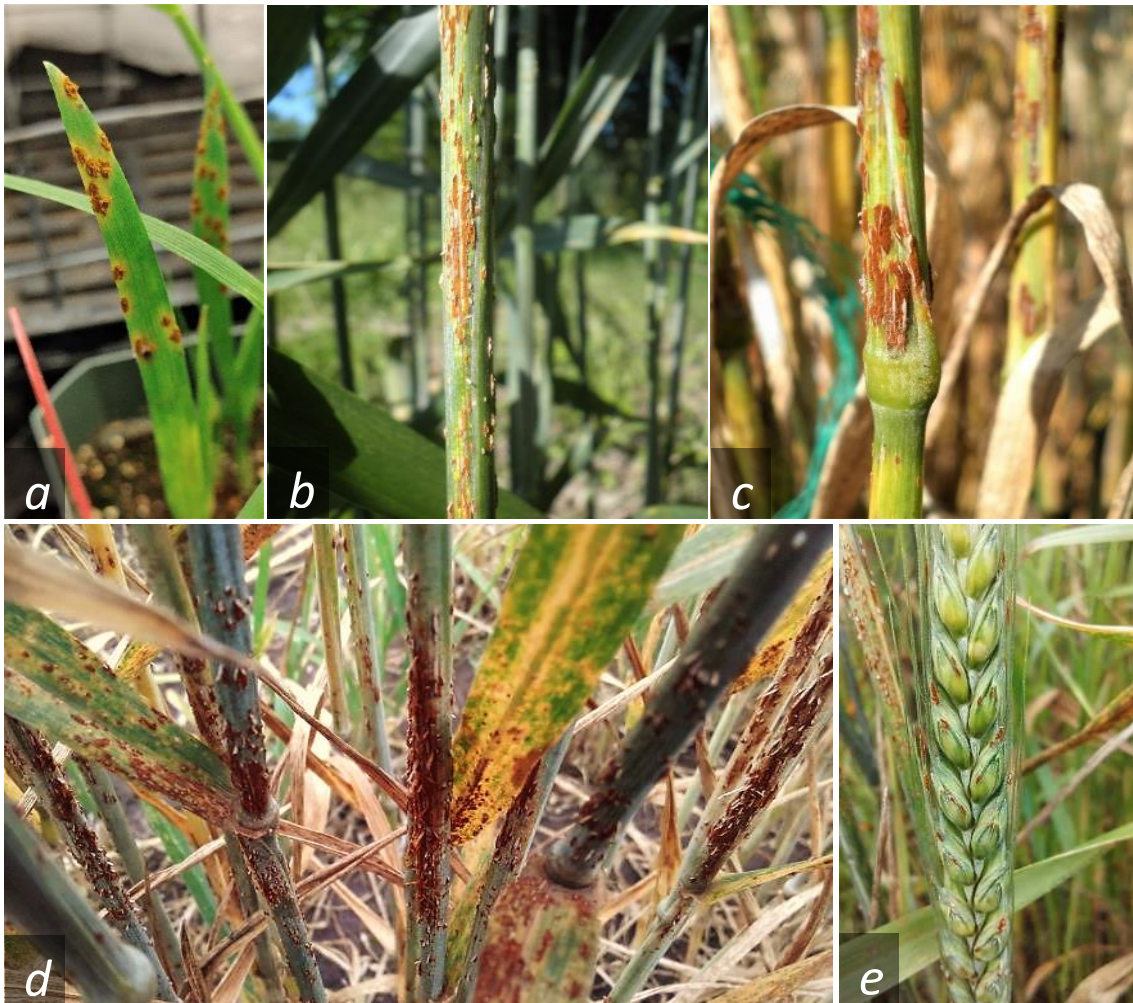


Fig. 6.6. Pústulas de roya del tallo o negra (a) sobre hojas en etapa de macollaje, cuando la planta todavía no posee un tallo verdadero; (b, c y d) sobre tallos en etapa de antesis y periodo de llenado donde se observa la ruptura de la epidermis; (e) en espigas.

(Foto a tomada en cámaras de crecimiento de la Universidad de Saskatchewan, Canadá, 2021; fotos b, c, d y e tomadas en la Estación Experimental J. Hirschhorn, UNLP, 2015).

Importancia: ha sido una de las enfermedades más destructivas del trigo a través del tiempo en muchas regiones del mundo, incluida Argentina, hasta la década del 50. Sin embargo, el mejoramiento genético ha permitido contrarrestarla por la incorporación del gen de resistencia *Sr31*. Pero en los últimos años la aparición de nuevas razas, tal el caso de la *Ug 99*, originada en Uganda en 1999 ha comenzado a generar problemas nuevamente y se ha extendido a Medio Oriente, sureste de Asia y América del Norte. Esta raza es muy virulenta y la mayor parte de los cultivares de trigo son susceptibles (Pretorius *et al.*, 2010). En Argentina volvió a tener importancia en la campaña 2014/2015, por la presencia de otras razas que resultaron virulentas, aunque no se detectó la *Ug 99* y posteriormente presentó infecciones inferiores. Las zonas de mayor frecuencia son la I, IIN y III, predominando a partir de espigazón (Campos, 2014).

Síntomas, signos y daños: aparece comúnmente en tallos y vainas, en casos de ataques severos también afecta hojas y espigas. Puede afectar hojas en estadios tempranos (plántula o macollaje), cuando todavía no se ha formado el “tallo verdadero” (Fig. 6.6a) o tardíamente (Fig. 6.6 b, c, d, y 6.7). Las pústulas son más alargadas (3 mm de ancho por 10 mm de longitud) que

las de *P. triticina*. Al romper la epidermis (Fig. 5.6d) afloran masas pulverulentas de uredosporas color castaño rojizo (Fig. 6.6b y c). En el haz y envés de las hojas, tallos y espigas se observan las pústulas negras o teleutosoros con teleutosporas que se desarrollan al final del ciclo del cultivo, cuando el ataque es intenso las pústulas se aglutinan (CIMMYT, 2009). A diferencia de las otras royas, estos teleutosoros aparecen descubiertos tempranamente, por rotura de la epidermis. Laceran los tejidos del tallo, los que pueden tornarse quebradizos, produciendo el volcado de las plantas.

Epidemiología: por las uredosporas transportadas por el viento a grandes distancias o mediante la ropa.

Condiciones predisponentes: como temperaturas mínimas, óptimas y máximas para que germinen las esporas se citan 15; 24 y 30°C y para la esporulación de 5; 30 y 40°C, respectivamente y se requiere un mojado de hoja de 6 a 10 h (Roelfs et al, 1992).

Manejo de las royas: se consideran las tres royas en forma conjunta por la similitud de las medidas de manejo, al tratarse de patógenos biotróficos con esporas fácilmente dispersadas por el viento y que no se encuentran en la semilla. La forma de control que tiene una mejor relación costo/beneficio es la resistencia genética.

En nuestro germoplasma hay pocos genes de resistencia efectivos a todas las razas de **roya amarilla o estriada**. Al haber sido una enfermedad que se concentraba solo en regiones frescas, el mejoramiento que se hizo fue escaso, aunque al seleccionar por roya de la hoja, también se hizo alguna selección indirecta por roya amarilla. Hay genes de resistencia específicos a la raza en estado de plántula que se quiebran fácilmente y también de resistencia durable no específica en estado adulto, denominada “slow rusting”. En ambos casos hay algunos genes que se encuentran ligados a los de resistencia a roya (McIntosh, 1992, Campos, 2014). En Argentina, aproximadamente el 70% de los cultivares son susceptibles a esta enfermedad. Existen dos grupos de razas presentes, un grupo menos virulento, con una raza mayoritaria y que afecta a la mayor parte de los cultivares y otro grupo de razas tipo “Warrior” más virulento, que afecta una menor cantidad de cultivares. Aparece más tempranamente que antes, por lo que los monitoreos de las royas comienzan desde los inicios del cultivo.

Para el caso de la **roya anaranjada o de la hoja**, varios cultivares poseen resistencia genética a diferentes razas del patógeno, con el inconveniente de que esta también se puede quebrar dada la alta variabilidad del patógeno y los cambios en las poblaciones por mutaciones y migración. Hay genes de resistencia específica que se expresan en plántula, algunos con efectos complementarios y otros en planta adulta, que es necesario piramidizar para que sean efectivos y también hay genes de resistencia no específica que se expresan en planta adulta, que si bien es durable no es completa. En muchos casos se conocen los genes presentes en cada cultivar que sirve para planificar si es probable que necesiten un manejo químico posterior. Recientemente han aparecido nuevas razas y se produjo el quiebre de la resistencia en la variedad Sursem Nogal y aquellos cultivares que la poseen entre sus progenitores.



Fig. 6.7. Pústulas de roya del tallo o negra y roya estriada o amarilla sobre hojas en etapa de llenado de grano en campos irrigados al noroeste de México.
(Foto tomada en la Estación Experimental Dr. Norman Borlaug, CIMMYT, México, 2018).

Para el caso de la **roya negra o del tallo**, hay genes de resistencia en plántula y el *Sr2* que es de planta adulta y durable y que está ligado al *Yr30* de resistencia a roya amarilla. Se había logrado por mejoramiento un buen nivel de resistencia genética basado en el gen *Sr31*, proveniente de la translocación 1BL-1RS, que es la incorporación de un fragmento del gen 1R de centeno en el 1B de trigo y que está ligado a los genes *Lr26* y *Yr9* de roya de la hoja y estriada, respectivamente (Campos, 2014). Sin embargo, en la campaña 2014/2015 hubo importantes ataques debido a la aparición de nuevas razas, que luego disminuyeron por la resistencia de algunos cultivares. Continuamente se hacen cruza con materiales resistentes para evitar que el germoplasma se vuelva susceptible.

En el hemisferio sur no hay hospedantes alternativos para las royas donde se desarrolle la fase sexual, pero sí existen hospedantes secundarios en que el patógeno sobrevive en estado asexual. Es una medida de control la eliminación de plantas voluntarias y de estos hospedantes. También se debe evitar la excesiva fertilización nitrogenada y densidades de siembra demasiado altas que generan microclimas más húmedos dentro del canopeo.

Pero tanto la eliminación de hospedantes secundarios como las rotaciones pierden efectividad dado el fácil traslado de las esporas por el viento, ya que son livianas y numerosas (Marsalis & Goldberg, 2016). Por lo que el control con fungicidas es muy utilizado cuando los cultivares son susceptibles. Para roya amarilla, pueden utilizarse fungicidas en semillas en base a triazoles, importantes en infecciones tempranas y que permiten un control hasta los 30-40 días postemergencia (Carmona & Sautua, 2017). Como umbrales, se han establecido valores de 1%

de severidad y 35% de incidencia (Mc Lean, 2010), aunque según Carmona (2020) estos umbrales de severidad se corresponden con incidencias menores (20%) por lo que propone como umbral 10 al 20% de incidencia. Carmona & Sautua (2017) recomiendan evaluar la susceptibilidad de los cultivares, monitorear, considerar si el ambiente es predisponente y si hay roya en regiones cercanas por su facilidad de traslado, detectar la presencia de manchones y decidir la aplicación. Las aplicaciones más adecuadas son mezclas de triazoles (que inhiben la síntesis del ergosterol de las membranas de los patógenos) y estrobilurinas (que inhiben la respiración mitocondrial al nivel del complejo III) y también mezclas con carboxamidas (que la inhiben al nivel del complejo II) en dosis recomendadas y la utilización de adyuvantes.

Los triazoles, ejercen un buen control, pero con menos persistencia que las mezclas con estrobilurinas y no proveen acción preventiva. Por su parte cuando también está presente la roya de la hoja no son tan eficientes, ya que esta última ha perdido sensibilidad a este grupo y los triazoles no pueden actuar eficientemente en lesiones viejas (Carmona, 2020). Asimismo, en cuanto al momento de aplicación de estos fungicidas hay diversos aspectos que deben ser considerados. Carmona (2020) realizó una revisión de diferentes aspectos de aplicación de fungicidas para roya amarilla, indicando que de acuerdo a Chen & Kang (2017), el momento óptimo varía de acuerdo a cuándo ocurre la enfermedad en el cultivo, la susceptibilidad del cultivar, el ambiente, la región considerada y la variable económica. Asimismo, indicó que es necesario considerar que el patógeno es policíclico, las razas presentes, la presión de inóculo, características del hospedante (período crítico, grado de susceptibilidad del cultivar y rendimiento potencial, el tipo de fungicida (dosis, molécula), el ambiente (humedad, lluvia, temperatura, humedad de la hoja) y la presencia de otras enfermedades más el análisis económico. Así mencionó diversos trabajos indicando que debe protegerse la hoja bandera (Viljanen-Rollinson *et al.*, 2002; De Wolf *et al.*, 2012; Poole & Arnaudin, 2014), ya que las hojas basales no son importantes en el rendimiento. Sin embargo, estas sí contribuyen a la multiplicación de inóculo ya que son las que se infectaron previamente y tienen una mayor cantidad de pústulas por lo que en estos casos un control temprano es también eficaz, lo que se comparte con otras royas. Así, Braithwaite *et al.*, (1998) indicó que el momento en que se establece la enfermedad es decisivo para determinar la aplicación de fungicidas. También hay un criterio de realizar aplicaciones sin síntomas (preventivas) en cultivares susceptibles, no así en los que tienen algún grado de resistencia, pero esto puede resultar antieconómico (Viljanen-Rollinson *et al.*, 2010). Se han establecido además umbrales en el rango de 10 a 35% de incidencia (Carmona & Sautua, 2018) para lo que es necesario el monitoreo antes y después de la aplicación. También se han establecido modelos para definir el momento de aplicación que explican el incremento de rendimiento con la aplicación (Brown and Holmes, 1983, Eddy, 2009).

Los fungicidas han sido hasta el momento eficaces en el control de la roya amarilla y han producido incrementos de rendimiento variables entre 15 y 24%, este último con dos aplicaciones (Xi *et al.*, 2015, Carmona, 2019) dependiendo del tipo de fungicida, momento y número de aplicaciones, severidad de la enfermedad, razas del patógeno, variables ambientales y tecnología de aplicación entre otras. Asimismo, el número de aplicaciones para controlar roya amarilla y también otras royas depende de la presión de inóculo, la resistencia de los cultivares, el

momento en que aparece en el cultivo y las condiciones ambientales y dos aplicaciones producen un mayor incremento en el rendimiento, por lo que generalmente se justifican (Carmona & Sautua, 2020).

En el control químico de roya de la hoja hay que considerar como aspectos adicionales, que ha aparecido menor sensibilidad a los triazoles por lo que estos no resultan eficientes. Carmona & Sautua (2019) establecieron valores de incidencia de 2 a 10% como umbral de daño económico entre encañazón e inicio de grano lechoso, que dependieron del costo del fungicida y del rendimiento potencial del cultivo. A menor rendimiento potencial y mayor costo del fungicida los valores se incrementan, considerando una eficiencia de control del 70%. La eficiencia de control también afecta los valores.

A su vez Jecke & Mousegne (2020) establecieron que en el control de roya de la hoja y de roya amarilla las aplicaciones simples no difirieron significativamente de las dobles. Aplicando en EC 33, EC 45 y EC 65, encontraron que entre las simples la más efectiva fue la aplicación de una triple mezcla de triazol, estrobilurina y carboxamida en EC 65 y entre las dobles las más efectivas fueron una doble mezcla de triazol y estrobilurina en EC 33 y una triple mezcla en EC 65. Estos tratamientos fueron más significativos que cuando se aplicó una triple mezcla en EC 33 y una doble mezcla en EC 65.

Mancha amarilla, bronceada o tostada

Entre las principales manchas foliares del trigo podemos mencionar la mancha amarilla, la mancha de la hoja, la mancha de la hoja, nudo y gluma y la mancha borrosa. Luego hay otras manchas que adquieren una importancia menor.

Organismo causal: *Drechslera tritici-repentis* (Died.) Shoem (anamorfo, forma asexual). *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechs (teleomorfo, forma sexual).

Importancia: la mancha amarilla causa reducciones en rendimiento de hasta 53% (Danelli *et al.*, 2011, Wegulo, 2012). La incidencia de la mancha amarilla en Argentina se ha incrementado debido a las prácticas de siembra directa, con rastrojo en superficie (Fig. 6.8a y b), a la escasa resistencia en los cultivares de trigo y a la alta variabilidad del patógeno causal (Alvarez & Steinbach, 2009). También *Pyrenophora teres* f. *maculata* que es un patógeno de cebada, se ha registrado en nuestro país en trigo (Mikhailova *et al.*, 2010; Perelló *et al.*, 2019) y se han determinado marcadores moleculares asociados a ambos patógenos (Uranga *et al.*, 2020). Se han reportado pérdidas de rendimiento de hasta 70% debido a la enfermedad (Kohli *et al.*, 1992).

Síntomas, signo y daños: manchas cloróticas que luego se tornan de color castaño, de forma elíptica o de diamante muy característica con una región circundante o halo clorótico producido por toxinas (Fig. 6.8c y d) (De Wolf, 2008). Adicionalmente, se han encontrado otro tipo de manchas con un centro clorótico rodeadas por un borde más oscuro. Las infecciones secundarias forman los típicos puntos de infección castaño oscuro, rodeados de un halo amarillo. Andrie *et al.* (2007) determinaron ocho razas del patógeno y más recientemente otras dos

que se caracterizan sobre cultivares diferenciales por la presencia de clorosis y/ o necrosis (Ali & Francl, 2002a, b). En cultivares parcialmente resistentes el tamaño de la lesión disminuye y la clorosis/necrosis es menor (Lamari & Bernier, 1989a, b). En condiciones de alta humedad aparecen bandas alargadas con conidióforos de color castaño oscuro con conidios de color claro. Es producida por un patógeno necrotrófico y como tal destruyen los tejidos durante la colonización por las hifas del hongo a través de la secreción de toxinas y enzimas que degradan las paredes celulares, originando una pérdida de área verde y reducción del área foliar, reduciendo la radiación absorbida y la tasa de crecimiento del cultivo (Dimmock & Gooding, 2002, Schierenbeck, 2016a). Reduce la generación de biomasa, el número y peso de los granos (Kremer & Hoffman, 1992). Estos granos pueden presentarse arrugados y oscuros o manchados de rosado y tener inconvenientes en la molienda (Rees & Platz, 1979). Se presenta en toda la zona triguera, desde el inicio del cultivo, especialmente en siembra directa, aunque con temperaturas más elevadas tiene mayor incidencia.

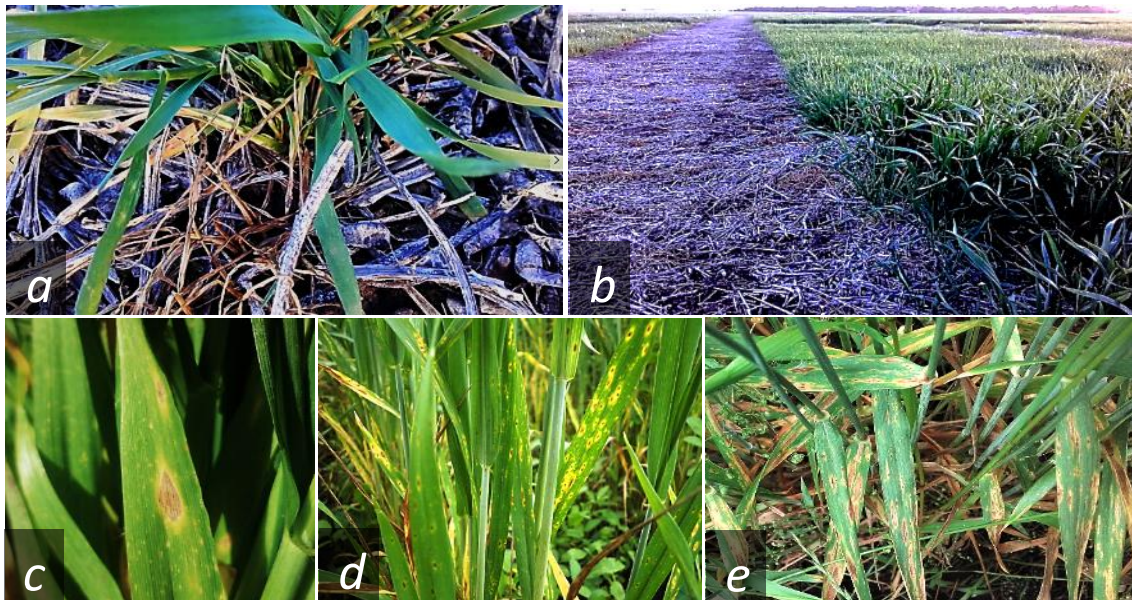


Fig. 6.8. (a y b) Cultivo de trigo sembrado bajo siembra directa donde se observa el rastrajo del cultivo anterior. (c y d) Síntomas de mancha amarilla en hojas basales en estado de encañazón y (e) en hoja bandera en el periodo de llenado de granos. (Fotos a y b tomadas en EEA Pergamino, INTA, 2016; fotos c, d, y e tomadas en la Estación Experimental J. Hirschhorn, UNLP, 2015).

Epidemiología: la infección primaria puede ser originada por la semilla (conidios) a través del coleoptile originando lesiones en hojas jóvenes o bien a partir de los pseudotecios localizados en el rastrajo. Se han determinado tasas de transmisión semilla-plántula de 38-75%. El proceso de infección se produce por la germinación de conidios en la superficie de los órganos vegetales y cuando las lesiones necrosan comienzan a esporular (Mihtra, 1934). La infección secundaria a partir de las primeras lesiones formadas es vertical hasta alcanzar las hojas superiores y puede ocurrir durante todo el desarrollo del cultivo (Fig.6.8d y e). Las plantas voluntarias, otras plantas cultivadas como avena, cebada, centeno, pasto ovillo, agropiro, cebadilla, *Phalaris* spp. y malezas como *Cynodon dactylon*, *Panicum* spp, *Spartina*, *Stipa* spp., *Andropogon* spp, *Agrostis* spp. y otras. son también hospedantes (Wiese, 1987, Krupinsky, 1982), pero

no ha sido comprobada la importancia de esta fuente de supervivencia para garantizar la densidad de inóculo necesaria para el inicio de la epidemia.

Condiciones predisponentes: la dispersión y el desarrollo de la infección se producen con temperaturas entre 10 a 30°C y entre 6 a 48 h de mojado de hojas (Hosford *et al.*, 1987).

Manejo de la enfermedad: entre las medidas de control se encuentran la resistencia genética, nuestros cultivares tienen un comportamiento diferencial a la enfermedad, variando en general entre moderadamente susceptibles y susceptibles. Al ser un patógeno necrotrófico es favorecido por la siembra directa, manteniéndose en el rastrojo, por lo que otras medidas de control son la rotación de cultivos y la eliminación de hospedantes secundarios. Es también importante mantener una buena disponibilidad de N en el cultivo, ya que al ser un patógeno necrotrófico, los niveles de severidad se reducen ya que cuando no hay disponibilidad de N el patógeno coloniza más fácilmente los tejidos débiles. Simón *et al.* (2011) demostraron reducciones en la severidad e incrementos en rendimiento con el aumento en la fertilización nitrogenada aún en condiciones de monocultivo. Asimismo, si bien la siembra directa causa el incremento de la enfermedad, esto puede evitarse mediante la rotación (Krupinsky *et al.*, 2007). Es necesario también utilizar semillas tratadas con curasemillas eficientes, ya que el patógeno se encuentra asociado a la semilla, entre ellos se encuentran los triazoles, fenilpirroles, carboxamidas y benzimidazoles aplicados a las semillas y el control químico foliar previo monitoreo teniendo en cuenta los umbrales de daño económico. El patógeno ha desarrollado resistencia a las estrobilurinas y a algunos triazoles debido a mutaciones. Carmona & Sautua (2019) establecieron umbrales para el control de mancha amarilla quienes plantearon dos escenarios. En un caso, el control se realiza con triazoles y estrobilurinas (que es lo más usado) con bajas eficiencias (alrededor del 30%). El segundo caso es cuando se usan mezclas de estrobilurinas, triazoles y carboxamidas y/o mancozeb, o cuando la estrobilurina está en mezcla con triazoles que aún son eficientes como epoxiconazole o prothioconazole (que tienen eficiencias de alrededor del 60%). Así determinaron que los umbrales van entre 15 y 35% de incidencia, dependiendo de la eficacia del fungicida, del rendimiento potencial del cultivo y del costo del fungicida. Los mayores umbrales correspondieron a los casos con mayor precio del fungicida, mayor eficacia del control y menores rendimientos potenciales. Se ha documentado también antagonistas para el control biológico de la enfermedad (Perelló *et al.*, 2006, 2008a, 2009).

Septoriosis o mancha de la hoja

Organismo causal: *Zymoseptoria tritici* (Desm.) Quaedvlieg & Crous, (forma asexual, anamorfo) *sinónimo* *Septoria tritici* Rob ex Desm. *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt. (forma sexual, teleomorfo).

Importancia: a nivel mundial está considerada entre las enfermedades más importantes de trigo (King *et al.*, 1983, Eyal, 1987). En Argentina se encuentra limitada como endémica en el litoral marítimo (subregión IV) y en algunos años aparece en otras regiones dependiendo de las

condiciones ambientales. Se han reportado pérdidas de rendimiento de hasta 50%, aunque usualmente varían entre 5 y 20% dependiendo del ambiente y el cultivar (Fones & Gurr, 2015).

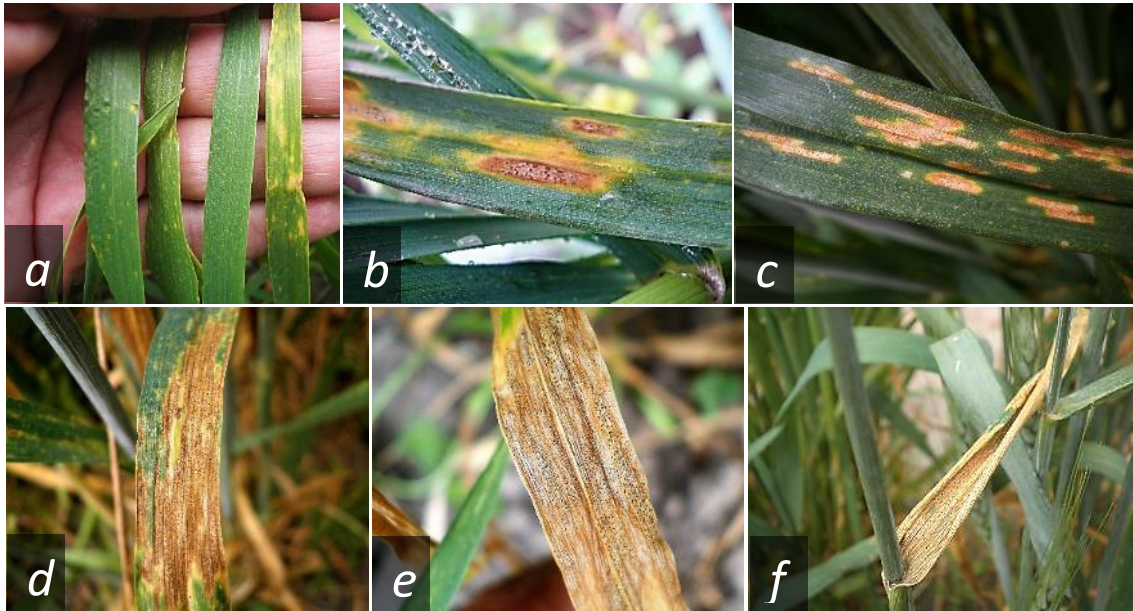


Fig. 6.9. (a) Inicio de los síntomas de septoriosis (zonas cloróticas) en hojas. (b y c) Síntomas más avanzados de la enfermedad donde se observan zonas necróticas con el signo de la enfermedad: pequeños puntos negros denominados picnidios. (d y e) A medida que progresa la enfermedad, las manchas necróticas convergen generando áreas afectadas de más grandes. (f) Hoja bandera totalmente necrosada debido a la enfermedad en antesis.

(Fotos tomadas en la Estación Experimental J. Hirschhorn, UNLP, 2015).

Síntomas, signos, daños: las primeras lesiones aparecen en las hojas inferiores como manchas pequeñas de color amarillo verdoso, de tipo acuoso, luego se necrosan (Fig.6.9a) y sobre ellas se observan las fructificaciones (picnidios) (Fig.6.9b, c, d, e) (Eyal & Brown, 1976). Estos picnidios en condiciones de alta humedad liberan un cirro blanco con esporas. Puede afectar también vainas. Ataca a partir de macollaje.

Epidemiología: presenta fase asexual y sexual. El origen del inóculo primario son principalmente los rastrojos y también otros hospedantes alternativos (Schuh, 1990). Las ascosporas y picnidios se encuentran en este sustrato y maduran en invierno iniciando la infección y completando varios ciclos en la estación de crecimiento. Según Hunter (1999) las ascosporas llevadas por el viento a grandes distancias son las que inician la infección principalmente. Para que se liberen las ascosporas de los pseudotecios solo se necesitan 30 minutos de humedad. Los picnidios (fase asexual) son transportados por las gotas de lluvia a cortas distancias. Ambos (picnidiosporas y/o ascosporas) se depositan en hojas y vainas que darán origen a la infección en 10 a 15 días desde las hojas basales hacia las superiores. Sobre estas lesiones se formarán picnidios y ascosporas que darán comienzo a la infección secundaria). Existen 15 géneros de gramíneas como hospedantes alternativos (*Agrostis*, *Festuca*, *Bromus*, *Lolium*, *Poa*, etc.) plantas guachas y malezas como *Stellaria media*.

Z. tritici es un patógeno hemibiótrofico que tiene una fase inicial biotrófica asintomática de 4 a 14 días y luego cambia a necrotrófico. Durante esta fase crece lentamente y es difícil detectar

cambios en biomasa (Ponomarenko *et al.*, 2011). Pero luego, las células comienzan a morir probablemente generado por el incremento de nutrientes en el apoplasto por la pérdida de la membrana plasmática en el hospedante, esta etapa es la necrotrófica, en que aparecen lesiones en las hojas unos 14 a 28 días después del contacto. Se sospecha de la presencia de una toxina en el cambio de biotrófico a necrotrófico aunque no ha sido probado (Ponomarenko *et al.*, 2011). Esta clasificación como hemibiótrofo está en discusión ya que se comprobó que la fase asintomática no afecta el crecimiento de la planta (Sánchez Vallet, 2015). Aunque Precigout *et al.* (2020) también lo considera como hemibiótrofo porque tiene un período de latencia largo, característico de ese tipo de patógenos.

Condiciones predisponentes: para la germinación y penetración se requieren temperaturas óptimas entre 15 y 25 °C y humedad relativa alta o 48 a 72 h de mojado de las hojas (Scharren & Krupinsky, 1970).

Manejo de la enfermedad: en siembra directa, los tallos de trigo que permanecen en pie deben ser considerados como los más importantes porque resisten la acción de los microorganismos, de esa forma se ve favorecida la dispersión de conidios y ascosporas (Cook *et al.*, 1978). La incorporación inmediata de los residuos puede reducir considerablemente la severidad de la enfermedad. Sin embargo, como la siembra directa es el método predominante en Argentina, es más conveniente que se realicen rotaciones con especies no susceptibles, en tanto no haya una cantidad considerable de hospedantes secundarios. Las plantas voluntarias de trigo, triticale y centeno son hospedantes del patógeno como así también malezas, que deben ser eliminadas para el control de la enfermedad.

La resistencia al patógeno puede ser cuantitativa o cualitativa (Simón & Cordo, 1998, Simón, 2004, Brown *et al.*, 2015) y se han identificado 21 genes mayores, además de diversos QTL. Sin embargo, es un patógeno que tiene una alta diversidad por lo que la incorporación de resistencia resulta dificultosa. Castillo *et al.* (2010) identificaron 81 genotipos diferentes del patógeno en un total de 126 aislamientos de diferentes regiones trigueras argentinas.

La fertilización nitrogenada ha presentado resultados diferentes en el manejo de este patógeno, incrementando o disminuyendo la severidad (Simón *et al.*, 2002, Fleitas *et al.*, 2017) que pueden deberse a diferencias en la fuente de N, a una concentración óptima de N para el patógeno (Ishikawa *et al.*, 2012) o también a que predomine el efecto vigorizador del N en la planta o el exceso de humedad en el canopeo por una mayor biomasa.

Adicionalmente, el patógeno ha sido detectado en la semilla (Consolo *et al.*, 2009) por lo que puede dispersarse la enfermedad a través de ella. Sin embargo, es dudosa su importancia como fuente de inóculo ya que tiene baja capacidad competitiva y puede ser eliminado por microorganismos más competitivos.

En Europa, más del 70% de los fungicidas que se utilizan son para el control de esta enfermedad (Goodwin, 2007). Este uso excesivo ha conducido a generar resistencia o al menos sensibilidad reducida a varios triazoles, estrobilurinas y más recientemente también las carboxamidas han comenzado a presentar menor sensibilidad (Dooley, 2016). La mezcla de algunos triazoles con carboxamidas es lo más recomendado. Asimismo, se ha evaluado la eficacia

de *Trichoderma* spp. sobre la enfermedad (Cordo *et al.*, 2004; Perelló *et al.*, 2004) demostrando su efectividad en estadios tempranos y también en combinación con fungicidas.

Septoriosis de la hoja, gluma y nudo

Organismo causal: *Phaeosphaeria nodorum* (E. Müll.) Hedjar (forma sexual, teleomorfo); *Parastagonospora nodorum* Quaedvlieg, Verkley & Crous (forma asexual, anamorfo).

Importancia: se han registrado epidemias en diversas partes del mundo, en zonas cálidas y húmedas. En Argentina se había mencionado como importante en la década del '40, luego perdió importancia y en las últimas campañas ha vuelto a tener prevalencia debido a la susceptibilidad de los cultivares, la falta de rotaciones en siembra directa y el hecho de que no se utilicen los fungicidas adecuados (Terrile, 2019; Erreguerena *et al.*, 2020), asociada a años húmedos. Apareció en diversas zonas de la Provincia de Buenos Aires, aunque con una intensidad no muy alta, pero puede llegar a producir pérdidas de hasta 60% en trigo (Reis, 1987) y algo menores en cebada, cuando llega a las hojas superiores. Se la considera una enfermedad emergente.

Síntomas, signos, daños: afecta hojas, vainas, tallos, glumas y aristas. Puede afectar desde el inicio del cultivo, acortando el coleoptile y deformando la primera hoja (Agrawal *et al.*, 198). Luego comenzarán a aparecer las lesiones sobre las hojas, que pueden aparecer en todo el ciclo, aunque es más frecuente en estadios avanzados. Se inician con manchas cloróticas en las hojas inferiores, luego acuosas y finalmente castañas. Las lesiones sobre hojas son elípticas, color castaño-rojizo con un centro gris o castaño cuando se vuelven necróticas, rodeado por un margen castaño-rojizo, generalmente en la nervadura central de las hojas más viejas, con un tejido adyacente amarillento, donde luego aparecen los picnidios, de donde emergen las picnidiosporas (Bisset, 1982). (Fig. 6.10). Los picnidios castaño oscuro desarrollan en el área necrótica. Sobre las glumas, las manchas son indefinidas, castaño claro a púrpura y comienzan por el ápice, y muestran numerosos picnidios en lesiones viejas. En las aristas, también aparecen lesiones de color marrón. Los nudos y el raquis se tornan de color oscuro, presentándose estrangulados y los nudos se quiebran con facilidad. También los picnidios se forman en los tejidos de los nudos y los tallos a la madurez y en el raquis de la espiga (Reis, 1987). La semilla infectada suele no tener síntomas claros, excepto el pericarpio arrugado. Afecta el rendimiento y la calidad del grano cuando se encuentra en las glumas. Cuando están muy dañadas presentan manchado y picnidios. Hacia el final del ciclo del cultivo se forman los órganos sexuales que son los pseudotecios con ascos que contienen ascosporas.

Epidemiología: el patógeno sobrevive en los rastrojos como pseudotecios dispersados por el viento y/o picnidios que se dispersan por las gotas de lluvia. Generalmente con alta humedad, las ascosporas inician la infección, pero también las picnidiosporas pueden ser fuente de inóculo primario. El patógeno sobrevive en la semilla que puede iniciar la infección a través de ascosporas. Además, el organismo se encuentra en numerosas gramíneas (Krupinsky, 1994). Se han identificado varias toxinas que interactúan con los genes del hospedante (Friesen *et al.*

2007), por lo que actualmente el mejoramiento para resistencia puede ser simplificado a través de ausencia de genes que codifiquen para receptores de toxinas en el genoma de trigo (Friesen *et al.*, 2007). la enfermedad se dispersa a través de las picnidiosporas que se encuentran en las hojas a través de las gotas de lluvia desde las hojas inferiores a las superiores y espiga y los rastrojos quedan infectados. Tiene ciclos de recombinación sexual, lo que genera una gran variación patogénica.

Condiciones predisponentes: las temperaturas óptimas para la germinación son de 20 a 25°C, con humedad relativa de 90% durante dos días y 15 h de mojado. En esas condiciones las hifas penetran en condiciones óptimas la pared celular y crecen intercelularmente en la epidermis (Karjalainen Lounatmaa, 1986).

Manejo de la enfermedad: la resistencia genética es en varias partes del mundo una forma efectiva de control. En Argentina hasta el momento no hay información fehaciente del comportamiento de los cultivares. En sistemas de siembra directa es indispensable la rotación con cultivos no hospedantes, aunque las ascosporas pueden llegar de otros cultivos. Una menor densidad de plantas evita el incremento de la humedad en el canopeo. Otra de las medidas es el tratamiento de la semilla con fungicidas triazoles, estrobilurinas y carboxamidas y la aplicación de productos sistémicos foliares. El criterio de aplicación varía según fenología, condiciones ambientales y del lote y la eliminación de hospedantes alternativos y trigos voluntarios. Actualmente, el mejoramiento para resistencia puede ser simplificado con el descubrimiento de genes que codifiquen para receptores de toxinas en el genoma de trigo. Si a las líneas parentales les falta alguno de los genes receptores, tienen buen valor en mejoramiento (Friesen *et al.*, 2007).



Fig. 6.10. Inicio de los síntomas de septoriosis (zonas cloróticas) en hojas y luego picnidios. Afecta también las glumas y aristas.

Crédito de las fotos: CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Mancha borrosa

Organismo causal: es *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem. (forma asexual, anamorfo) *Cochliobolus sativus* (Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur (forma sexual, teleomorfo).

Importancia: La enfermedad se produce generalmente en ambientes templado/cálidos y húmedos. Sin embargo, en la década del '90 inició su expansión a zonas templadas (Diman *et al.*, 1994), con importancia creciente en Argentina en zonas donde se cultiva cebada. Se han registrado pérdidas de rendimiento de hasta 43% (Sharma *et al.*, 2006) y en Argentina ha aumentado su importancia en la zona norte (Couretot, 2009).



Fig. 6.11. (a) Hoja de trigo con síntomas de mancha borrosa (*Cochliobolus sativus*). Las lesiones causadas por esta enfermedad se alargan a forma ovalada y generalmente son de color marrón oscuro. A medida que las lesiones maduran, los centros a menudo se vuelven de un color marrón claro a tostado, rodeados por un anillo irregular de color marrón oscuro. Crédito de la foto: Thomas Lumpkin / CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

(b) Espigas de trigo que muestran síntomas de mancha borrosa sobre las glumas. Crédito de las fotos: CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Síntomas, signos, daños: la produce un patógeno hemibiotrófo que produce toxinas, cuyos síntomas, se presenta como lesiones de color castaño muy oscuro que son muy pequeñas en el inicio y luego se alargan denominadas “spot blotch” y en algunos casos con halo clorótico, de forma variable que pueden manifestarse en hojas y vainas (Fig. 6.11 a). Al envejecer, el centro toma un color bronceado y se rodea de un anillo poco definido oscuro (Wiese, 1987).

La enfermedad puede aparecer desde plántula en toda la región triguera, aunque es más frecuente en estados más avanzados del cultivo. En plántula produce lesiones en raíces y coronas. Es transmitido al coleoptile y plúmula y en pocos días puede matar la plántula. Afecta también la espiga (Fig.6.11b) y al grano donde origina el “escudete negro” (ver en sección de enfermedades de espigas y granos), pudiendo provocar reducciones en el porcentaje de germinación y tizón de la plántula. Si la planta sobrevive puede aparecer podredumbre del pie o podredumbre radical.

Epidemiología: son hospedantes el triticale, cebada y otras gramíneas, también plantas voluntarias y malezas gramíneas. Los conidios, que son pesados, son transmitidos por la lluvia y el viento a cortas distancias (Acharya *et al.*, 2011). El estado sexual no reviste mayor importancia. El patógena inverna como conidio o como micelio en el interior de las semillas (Shaner, 1981) y también en rastrojos, hospedantes secundarios, en el suelo y plantas voluntarias (Reis, 1991). Se transmite por semillas, rastrojo infectado y partículas de suelo (Shaner, 1981). Los conidios penetran por los estomas o rupturas de epidermis (Acharya, 2011).

Condiciones predisponentes: temperaturas que oscilan entre 24 y 28 °C, lluvias y mojado de 9 a 24 h (Duveiller, 2004).

Manejo de la enfermedad: utilización de semillas curadas, rotación con cultivos no hospedantes, elección de cultivares de buen comportamiento, control biológico y aplicaciones foliares de fungicidas. Hay variabilidad en virulencia (Gamba & Estramil, 2012) y hay especialización fisiológica entre los aislados de trigo y cebada (Christensen, 1926).

Oidio

Organismo causal: es el hongo *Blumeria graminis* (DC) E.O. Speer f. sp. *tritici* Em. Marchal (syn. *Erysiphe graminis* DC f. sp. *tritici* Marchal).

Importancia: se encuentra en todos los continentes. En Europa causa daños importantes en la producción (Braun, 1995). En Brasil se han registrado pérdidas de rendimiento de 10 a 62% (Reis, 1997), afecta especialmente en el sur o en cultivos bajo riego en las zonas central oeste y sudeste. En Argentina está ampliamente distribuida, pero en lugares con muy alta disponibilidad de N o en inicios de primavera con deficiencias hídricas, especialmente en estadios tempranos, generalmente sin progresar a estadios avanzados. En ciertos cultivares puede alcanzar severidades de 20% en espigazón (Formento, 2009). En otros países del Cono Sur, el oídio ocasiona daños económicos importantes, por lo que hay más antecedentes sobre estudios relacionados con el manejo de la enfermedad.

Síntomas, signo, daños: en el envés de vainas y láminas de hojas jóvenes se observa el signo que es una masa pulverulenta blanca o blanca grisácea, fácilmente removible y que son las estructuras asexuales del hongo (Fig. 6.12). Las hojas muy afectadas se tornan cloróticas y necóticas y mueren. Afecta también los tallos y las inflorescencias. En las glumas, pueden observarse los cleistotecios en infecciones graves (Braun, 1995). Reduce el área fotosintética,

generando un menor número de espigas.m⁻², menor número de granos.espiga⁻¹ y menor peso de granos (Jenkyn & Bainbridge, 1978).

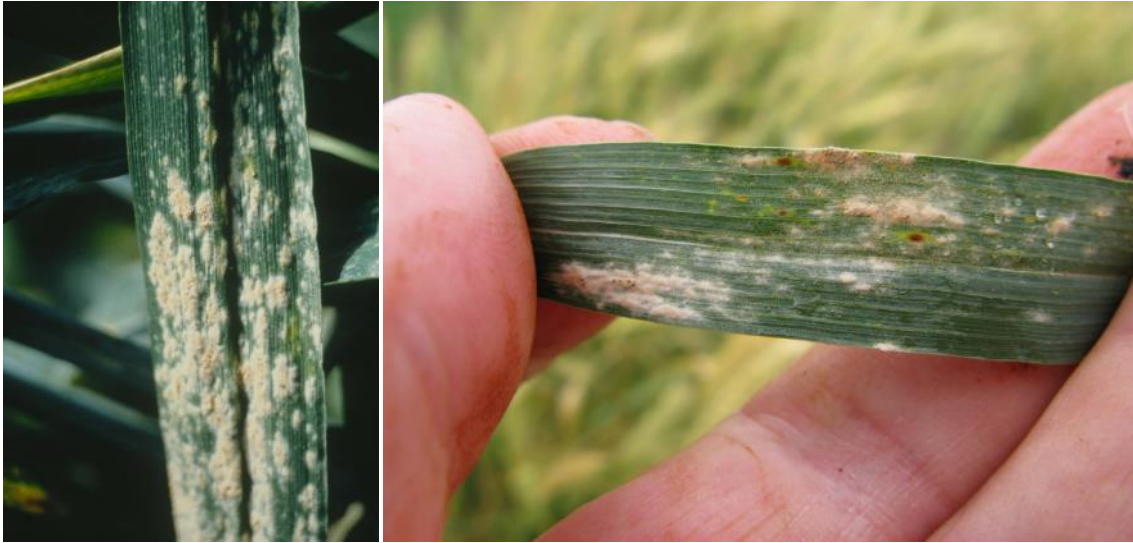


Fig. 6.12. Hoja de trigo con oídio (*Blumeria graminis*). El crecimiento inicial del hongo es de color blanco a gris pálido, mientras que el micelio más antiguo se vuelve gris amarillento. El micelio se puede remover fácilmente con los dedos.

Crédito de la foto: Thomas Lumpkin / CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Epidemiología: este hongo es un patógeno obligado (biotrófico) con fase asexual y sexual. Puede sobrevivir como micelio, conidios y chasmotecios en el rastrojo. La transmisión es por el viento que transporta los conidios a varios kilómetros. Las plantas voluntarias de trigo o malezas gramíneas son huéspedes, donde el patógeno permanece durante el verano y otoño. Como resultado de la reproducción sexual se producen los chasmotecios, que son fructificaciones esféricas, cerradas que contienen los ascos con las ascosporas. Una de las funciones de estas estructuras, discutida por muchos autores (Braun, 1995), es perpetuar la vida del hongo sobre tejido muerto (rastrojo) y reiniciar el ciclo con las ascosporas, que actuarían como inóculo primario. La otra función es la recombinación genética, como consecuencia de la cual se incrementa la diversidad de las poblaciones dando origen a nuevas razas fisiológicas del patógeno (Jarvis *et al.*, 2002). Sin embargo, en América del Sur no se ha determinado la importancia epidemiológica de los chasmotecios, ya que la maduración de las ascosporas sería posterior a la cosecha del trigo, por lo que los conidios en plantas voluntarias, otros hospedantes y rastrojo es la fuente primaria de inóculo.

Condiciones predisponentes: la dispersión de los conidios se produce con humedad relativa baja, temperatura alta y vientos (Hammet & Manners, 1971). La germinación óptima es con temperaturas de 15 a 22 °C y humedad relativa de 84 a 100% (Yarwood, 1950), poca amplitud entre temperatura diurna y nocturna y escasa radiación. Altas densidades y alta disponibilidad de fertilización nitrogenada incrementan su incidencia (Carrasco & Baez, 2006).

Manejo de la enfermedad: deben utilizarse varias prácticas combinadas como cultivares resistentes, época de siembra adecuada, evitar excesos de fertilización, aplicación de fungicidas (Cunfer, 2002). La resistencia genética es el método más eficiente y se dispone de cultiva-

res con mayor resistencia a las razas prevalentes, pero el patógeno puede quebrarla a través de mutaciones y por la recombinación de la reproducción sexual (Jarvis *et al.*, 2002). Se pueden controlar en forma relativamente fácil por su micelio externo con fungicidas foliares sistémicos o terapéuticos de semilla (Reis *et al.*, 2008).

Tizón de la hoja

Organismo causal: es producido por un complejo de especies de *Alternaria*.

Importancia: hay numerosas especies de este género patogénicas o saprófitas afectando trigo (Zillinsky, 1984). Entre ellas se encuentra *Alternaria triticina* que ha causado disminuciones de rendimiento variables que han llegado hasta el 100% (Dieckmann & Putter, 1995). Producen micotoxinas (Andersen, 2001). Actualmente se describen en trigo los grupos *A. infectoria*, *A. alternata*, *A. tenuissima*, *A. arborescens* (Simmons, 2007; Perelló *et al.*, 2012 a, b; Perelló *et al.*, 2014). En Argentina se la considera una enfermedad emergente con riesgo potencial de convertirse en importante. Se ha encontrado a *A. alternata* como predominante, aunque es necesaria una mejor caracterización de especies. Perelló *et al.* (2005, 2008b) identificaron distintas especies del complejo infectoria que comprende varias especies, entre ellas *A. triticina* que ha causado en Argentina pérdidas de hasta 60% y de la que se ha identificado la forma sexual en rastrojo de trigo, *Lewia infectoria* (Perelló & Sisterna, 2006) y también *A. infectoria* y *A. triticimaculans* del mismo complejo (Perelló, 2010 a, b). También se ha detectado *A. arborescens* (Perelló, 2012a, b).

Síntomas, signos, daños: la enfermedad progresa desde las hojas basales y si bien aparece tempranamente se hace evidente en estadios avanzadas. Se manifiesta como lesiones de color marrón-grisáceo, en algunos casos con halos más claros, necróticas, produciendo tizones. En ataques severos llega a presentar quemados y los conidios pueden aparecer en la superficie en presencia de humedad (Fig. 6.13). También puede afectar tallos, vainas, glumas y aristas y los granos pueden no formarse (Singh, 1990, Mathur & Cunfer, 1993). Los granos reducen su peso y se decoloran o manchan, disminuye el poder germinativo y presentan contaminaciones con micotoxinas (Scott, 2001).

Epidemiología: es necrotrófico, la fuente de inóculo son los rastrojos y las semillas infectadas (Reis & Casa, 2007) que transmite la enfermedad a la plántula (Perelló, 2009). Se la encuentra asociada al escudete negro (Perelló *et al.*, 2009). Se demostró que la incidencia está condicionada por la fecha de siembra, la densidad de población y la variedad (Adame Beltrán & Díaz Franco, 1997). Las semillas infectadas son fuente de inóculo, alojándose el micelio en el embrión, tegumentos seminales o endosperma. Al sembrarse la semilla, el patógeno crece en los coleoptiles y plúmula que emerge manchada. El viento y la lluvia diseminan el inóculo (Casa *et al.*, 2005). En el rastrojo se encuentra con frecuencia la fase sexual en pseudotecios que es una estructura de resistencia, cuyas ascosporas se desplazan a grandes distancias y además permite la recombinación sexual generando nuevas variantes.

Condiciones predisponentes: la enfermedad se predispone con temperaturas entre 20 y 25 °C, alta humedad relativa y riego (Perelló *et al.*, 2014).

Manejo de la enfermedad: utilización de semillas sanas o curadas con fungicidas (Reis & Casa, 2007). También las rotaciones con cultivos no hospedantes y existen fuentes de resistencia (Singh, 1992). También se han reportado agentes de control biológico como *Trichoderma* spp., *Bacillus subtilis* y *Aspergillus humicola* (Kumar Vijay & Shabana, 2002).



Fig. 6.13. Hoja de trigo con tizón de la hoja (*Alternaria* spp.)

Crédito de la foto: CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Bruzone o quemado

Organismo causal: *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc. *Magnaporthe grisea* [T.T. Hebert] Yaegashi & Udagawa (forma sexual, teleomorfo).

Importancia: es una enfermedad conocida también como "wheat blast". Se ha registrado en Brasil, Paraguay y Bolivia produciendo epifitias de importancia (Igarashi, 1986, Anjos, 1996) y también en EE.UU., habiendo ocasionado pérdidas de rendimiento de hasta 100% (Kohli *et al.*, 2011). En Argentina se la encontró en Chaco (Cabrera & Gutierrez, 2007), si bien no está en la zona núcleo triguera es una enfermedad de potencial importancia. Este patógeno afecta el arroz, pero las poblaciones que afectan uno y otro cereal son distintas.

Síntomas, signos, daños: produce manchas elípticas en hojas con centro grisáceo rodeadas de un halo amarillento, también afecta tallos (Fig.6.14). El hongo produce decoloración de las espigas, granos arrugados con síntomas similares a la Fusariosis, afecta el raquis, interfiere en la translocación de savia y dificulta la formación de granos, origina granos pequeños, mal formados, de bajo peso hectolítrico, en infecciones graves puede no haber producción de granos. Genera disminuciones en el rendimiento y en la calidad (Nome, 1975). La mayoría de estos granos se elimina en la cosecha o procesado por lo que la incidencia en semillas no es alta

(Goulart & Paiva, 2000). El comienzo de floración y formación del grano es el período de más susceptibilidad y cuanto más temprana es la infección mayor es el daño (Kohli *et al.*, 2011).

Epidemiología: entre los hospedantes se encuentran el arroz, cebada, maíz, cebada, mijo, triticale, ryegrass, centeno y varias malezas como *Bromus* spp, *Paspalum* spp., *Setaria* spp., *Penisetum* spp., *Panicum* spp, *Brachiaria* spp. y otros (Gutiérrez, 2000), aunque no se conoce la importancia como fuente inóculo de estos hospedantes (Ou, 1985). El patógeno se transmite por semilla y puede sobrevivir hasta alrededor de 22 meses en las mismas, en condiciones de laboratorio (Reis, 1995). El hongo vive también en rastrojos y en plantas voluntarias (Reis *et al.*, 1995). Se propaga a través del viento y la lluvia, también se puede transmitir por maquinaria y ropa.

Condiciones favorables: la enfermedad se predispone con temperaturas de 21 a 27°C, humedad alta y lluvias (Goulart, 2005).

Manejo de la enfermedad: no existen cultivares resistentes (Mehta *et al.*, 2001) y hay una alta variabilidad en el patógeno (Urashima *et al.*, 2004). Se consideran efectivos el manejo de la fecha de siembra y el tratamiento químico de la semilla (Goulart & Paiva, 1991) en tanto realicen un control total, ya que el patógeno produce generaciones en pocos días (Ou, 1985).



Fig. 6.14. Hoja de trigo con bruzone (*Pyricularia grisea*).

Crédito de la foto: CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Pietín

Organismo causal: *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* J. Walker, (forma sexual, teleomorfo), *Phialophora radicola* Cain (forma asexual, anamorfo).

Importancia: se la denomina "take all", que significa "toma todo" por las epifitias graves causadas en Australia. Produce pérdidas económicas de importancia con estimaciones de 1 hasta el 50% (Huber & McCay-Buir, 1993) en numerosos países, en todos los continentes.

Síntomas, signos y daños: La infección puede producirse en todos los estadios, si bien los síntomas son más evidentes desde la espigazón. Las infecciones radicales se producen desde

el inicio del cultivo y progresan hacia la zona de la corona, las tardías suelen quedar limitadas a las raíces (Fig. 6.15a). En ataques tempranos pueden no apreciarse síntomas, aunque en algunos casos pueden originar la muerte de plántulas. Al afectar las raíces hay una menor absorción de agua y nutrientes, que puede asemejarse a falta de N en el inicio. El ataque puede ocurrir luego de la germinación, pero en función de su lento desarrollo aparecen los síntomas más adelante. En el cultivo, la enfermedad se presenta por manchones de plantas enfermas, de poco desarrollo, cloróticas y que maduran prematuramente (Wolcan, 2014). Como características generales puede observarse que las plantas afectadas poseen menor cantidad de macollos, menor altura y espiguillas totalmente vanas. Los entrenudos basales presentan color pardo oscuro, brillante, con manchas de color marrón oscuro con costras de micelio aterciopelado que es el signo. En muchos casos cuando hay alta humedad, se presenta en manchones y cuando se arrancan las plantas, estas se extraen fácilmente por la destrucción de las raíces que se separan de la corteza radical (Mathre, 2000). Los síntomas más evidentes se manifiestan desde espigazón en adelante. La obstrucción de los vasos produce la formación de espigas blancas y estériles (Fig. 6.15b), con la consecuente pérdida de rendimiento, pudiendo confundirse la enfermedad con *Fusarium* spp., además las espigas con alta humedad se cubren de un polvillo oscuro proveniente de saprófitos o patógenos secundarios. Algunos macollos no producen espigas, las flores abortan o hay llenado deficiente produciendo granos chuzos. En condiciones de alta humedad aparecen los peritecios (sexuales) como puntos negros en la base de los tallos, que son el signo de la enfermedad (Fernández Valiela, 1978).



Fig. 6.15. (a) Síntomas de pietín (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) en el trigo. El hongo provoca la pudrición de las raíces y los tallos inferiores. Los tejidos del tallo basal y la vaina de la hoja, así como las raíces, pueden tornarse de un color negro brillante. (b) Cuando la severidad es grave, se observan plantas atrofiadas con tallos y espigas blanquecinas.

Crédito de la foto: CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Epidemiología: el patógeno sobrevive en el rastrojo del cultivo anterior, en malezas o pasturas susceptibles, lo que constituye la fuente primaria de inóculo, la fuente secundaria es el micelio proveniente del contacto entre las raíces de trigo de plantas infectadas y sanas (Bailey & Gilligan, 1999) lo que origina manchones, también a través del rastrojo o suelo infectado, puede ser llevado por agua, viento, animales o maquinaria. El patógeno sobrevive en los teji-

dos radicales infectados y en gramíneas cultivadas nativas o invasoras como *Bromus spp.*, *Agropyron spp.* y *Agrostis spp.*, *Cynodon spp.*, *Festuca spp.*, *Lolium spp.*, *Dactylis spp.*, *Poa spp.*, *Hordeum spp.*, *Echinochloa spp.* y otros (Pérez Fernández, 2004). En condiciones favorables también las ascosporas, que se diseminan luego de períodos húmedos por salpicaduras de lluvia y viento, pueden ser fuentes de transmisión.

Condiciones predisponentes: precipitaciones abundantes y temperaturas del suelo de 15 a 25°C. Suelos alcalinos y mal drenados, baja disponibilidad de fósforo y manganeso también la predisponen (Carmona, 2001). La disponibilidad de nitratos incrementa la severidad, en tanto que el N en forma amoniacal la disminuye (Huber & McCay-Buir, 1993). Las aplicaciones de calcio o fertilizantes en forma de nitrato aumentan generalmente el pietín. La enfermedad se manifiesta con máxima intensidad sobre monocultivo de trigo, siembra directa y/o barbechos cortos con gran ineficiencia en la descomposición de restos vegetales (Pérez Fernández & Corró Molás, 2007).

Manejo de la enfermedad: no se conoce un control químico que sea eficiente y económico. Algunos terápicos de semilla han demostrado ser eficientes en los primeros estadios solamente (Monterroso, 2008b), por lo cual el control es predominantemente cultural (Pérez Fernández & Corro Molas, 2007). Por otra parte, en Argentina no hay cultivares resistentes (Monterroso, 2008a). Se recomienda rotación de cultivos con especies no hospedantes (Pérez Fernández & Corro Molas, 2007) como otras dicotiledóneas e incluso cereales tales como la avena, que además tiene avenacina y que tienen exudados que oxidan el manganeso e impiden su disponibilidad (Huber & McCay Buir, 1993). La cebada o el maíz son adecuados para cortar el ciclo del patógeno y se puede reducir su importancia considerablemente en uno o dos años sin otros hospedantes. Es importante la incorporación de N amoniacal que permite acidificar el suelo (Huber & McCay Buir, 1993). Se han detectado algunos agentes de control biológico tales como *Trichoderma ssp.*, *Pseudomonas spp.*, y alguna cepa de *Bacillus spp.* (Cook, 2002). En relación al monocultivo se ha observado que el inóculo del patógeno aumenta en los primeros años y luego declina, aunque las causas no son bien conocidas. Weller (2007) demostraron que este “take-all-decline” se debió al incremento de *Pseudomonas fluorescens* como antagonista.

Enfermedades de espigas y granos

Golpe blanco o fusariosis de la espiga

Organismo causal: *Fusarium graminearum* Schwabe (forma asexual, anamorfo), *Giberella zeae* (Schwein.) Petch (forma sexual, teleomorfo). Es el más importante en Argentina, si bien se han detectado otras especies (Galich, 1997).

Importancia: si bien no es importante todos los años sino cuando se producen las condiciones predisponentes en floración, en esas circunstancias causa importantes disminuciones en el rendimiento que son variables según el grado de infección, desde 10% y que han llegado hasta

el 70% (Galich, 1997). Además, es especialmente importante por producir micotoxinas, en este caso tricotecenos, entre ellos el deoxinivalenol (DON) que es el más importante y el nivalenol, pero también otros como las toxinas T-2 y HT-2 que producen efectos en animales y humanos interfiriendo en la síntesis de proteínas. Producen estrés, impiden que se expresen genes proinflamatorios, dañan las funciones gastrointestinales, provocan problemas sanguíneos, alteran el sistema inmunológico, inhiben la síntesis de ADN y ARN, interfieren con la hormona de crecimiento, y causan la muerte celular. En animales pueden producir diarrea, vómito, hemorragias, problemas respiratorios e incluso la muerte. Una revisión de diversos aspectos de esta enfermedad en Argentina y en el mundo ha sido realizada por Malbrán & Lori (2014).

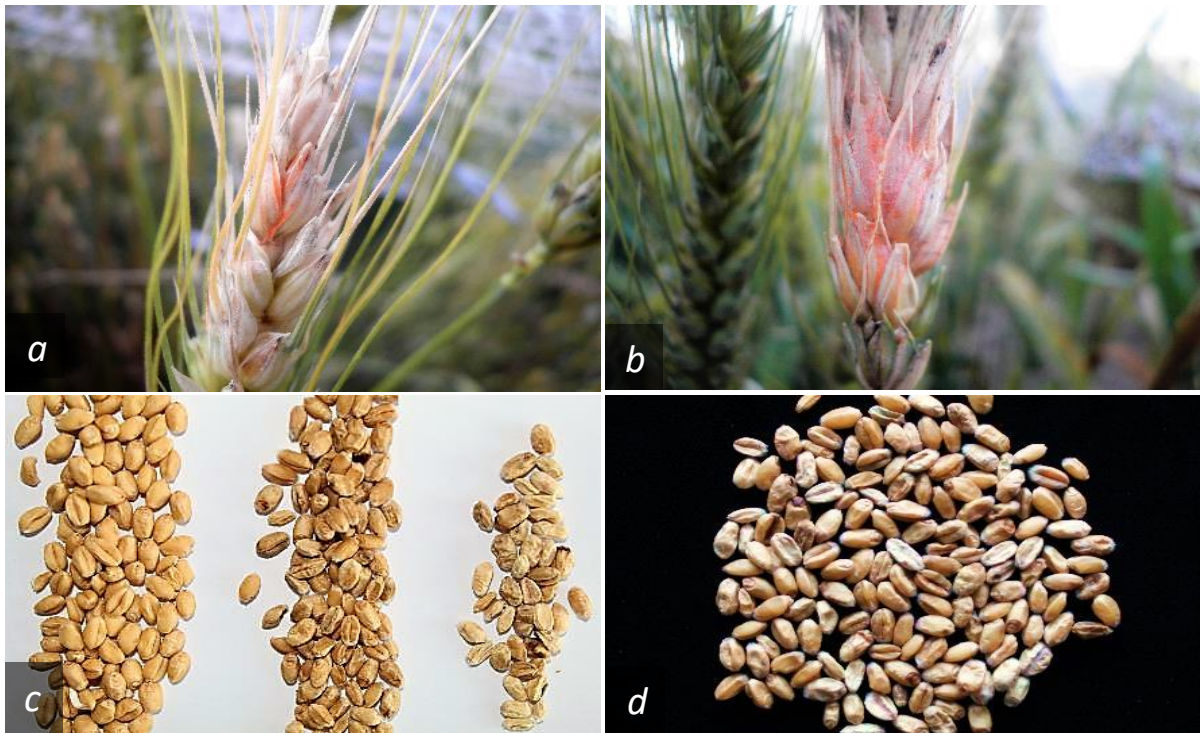


Fig. 6.16. (a y b) Micelio rosado en la base de las espiguillas, raquis y entre las glumas y glumelas de espigas de trigo. (c) Granos normales (izquierda), medianamente afectados (centro) y severamente afectados (derecha) por la enfermedad. (d) Muestra de granos de trigo con granos afectados (color blanquecino). (Fotos a y b tomadas en la Estación Experimental J. Hirschhorn, UNLP, 2015).

Síntomas, signos y daños: las espiguillas atacadas pierden el color verde normal volviéndose blanquecinas y contrastando con las espiguillas sanas. Comienza por la parte central de la espiga que son las primeras en formarse y en llegar a antesis. En ataques tempranos puede ocasionar el aborto de las flores. Aparecen manchas acuosas de color marrón en la parte inferior de las glumas o raquis (Bushnell, 2003), que luego se decoloran y los síntomas continúan en ambas direcciones de la espiga. Luego, la porción de la espiga sobre la espiguilla afectada puede secarse. Esto puede deberse a la menor disponibilidad de nutrientes y agua por la obstrucción vascular del raquis que produce el patógeno. Si las condiciones ambientales continúan favorables, se puede ver el micelio rosado en la base de las espiguillas, raquis y entre las glumas y glumelas (Fig. 6.16a y b) (Parry *et al.*, 1995). En condiciones predisponentes prolongadas pueden desarrollarse peritecios oscuros en las espiguillas (Parry *et al.*, 1995). Los granos

en desarrollo presentan manchas marrón-oscuro confluentes y los granos muy afectados quedan cubiertos por micelio blanco o rosa, disminuyendo el peso hectolítrico y proteína, por lo que afectan la calidad panadera (Fig. 6.16c y d) (Goswami & Kistler, 2004). En una espiga se pueden encontrar granos que han sido afectados en distintos momentos de su desarrollo y puede haber granos afectados que no tengan síntomas, los granos afectados pierden viabilidad o bien originan plántulas sin vigor que pueden terminar muriendo. En la comercialización, los granos se castigan dentro de granos dañados como granos calcinados.

Epidemiología: en tanto que en el hemisferio Norte la enfermedad proviene de los rastros, en el hemisferio Sur hay otra fuente de inóculo de importancia que son las malezas que dada las condiciones climáticas benignas en invierno puede sobrevivir en dichas especies (Peyreya, 2004). Entre los hospedantes donde se desarrollan los peritecios de la forma sexual *Gibberella zea*, se encuentran *Andropogon bicornis*, *Avena strigosa*, *Brachiaria* spp., *Bromus catarcticus*, *Cynodon dactylon*, *Digitaria* spp., *Cortaderia selloana*, *Lolium multiflorum*, *Festuca arundinacea*, *Chenopodium* spp., *Paspalum* spp, *Penisetum clandestinum*, *Panicum* spp., *Sorghum halepense* y otros (Reis, 1990). Este hongo puede atacar en forma muy temprana (o tratarse de semilla infectada) produciendo tizón de la plántula y podredumbre en la zona de la corona, pero esto no se asocia a la posterior presencia en espigazón. La infección de la espiga ocurre durante la antesis por inóculo proveniente de diversos orígenes. En la primavera se liberan las ascosporas de los peritecios maduros que se dispersan por viento, lluvia o insectos hacia los hospedantes (Parry *et al.*, 1995) iniciando el proceso infectivo. Las esporas penetran por las anteras (Schroeder & Christensen, 1963), de manera que las temperaturas relativamente altas, lloviznas y humedad en el período de mayor susceptibilidad que es desde comienzo a fines de floración, predisponen la infección (Goswami & Kister, 1996).

Condiciones predisponentes: tanto para la infección primaria como para la secundaria, las condiciones predisponentes son precipitaciones frecuentes, alta humedad relativa (más de 80%) y temperaturas de entre 22 y 30 °C durante la floración (Zoldan, 2008).

Manejo de la enfermedad: si bien no hay variedades resistentes, hay comportamientos diferenciales entre los diferentes cultivares. La resistencia es cuantitativa y está controlada por múltiples genes que es necesario piramidar para obtener niveles aceptables de resistencia en cultivares comerciales. Si bien numerosos QTL han sido determinados, la incorporación en cultivares comerciales se dificulta. Se debe considerar además la variabilidad de los aislados del patógeno en los programas de mejoramiento para obtener resistencia a la enfermedad (Malbrán, 2012, 2019), ya que la misma no evidencia estructuración geográfica. Cuando se evalúa la resistencia se han determinado diferentes componentes que son: 1- resistencia a la infección inicial; 2- resistencia a la dispersión del patógeno en la espiga; 3- resistencia a la infección del grano; 4- tolerancia a la infección; 5- resistencia a la acumulación de DON (Mesterházy, 2002), siendo las dos primeras las más importantes. Lo más conveniente en los programas de mejoramiento es realizar evaluaciones y selección a campo y una espiguilla infectada se corresponde aproximadamente con una severidad de 7% (Stack & Mc Mullen, 1995). Se puede inocular por aspersion en cuyo caso se evalúa la resistencia tipo I o en forma puntual, inoculando algunas espiguillas que permite evaluar la severidad y la dispersión (resistencia tipo

II) (Bai, 2001). También se puede evaluar el daño en los granos luego de la cosecha, los que usualmente se observan chuzos, o la disminución de peso de mil granos y DON (evaluando en este caso la resistencia tipo IV y V) o de peso hectolítrico o de rendimiento.

En lo referente a los sistemas de labranza y las rotaciones como medida de manejo, cuando se incorporan los residuos en el suelo, no se forman peritecios debido a la falta de luz y el inóculo en el aire se reduce, en cambio cuando están en superficie sobreviven largo tiempo y se disminuye el inóculo del rastrojo cuando se rota con cultivos no hospedantes. En un sistema en siembra directa con rotación trigo-soja, el complejo de *Fusarium* spp. puede colonizar los residuos de ambas especies de manera de constituirse en una fuente de inóculo. Igualmente, las ascosporas provienen también de otras especies y están presentes en el aire y se trasladan a grandes distancias, de manera que habrá inóculo en floración independientemente de si se realiza rotación (Reis, 1988).

Si bien la fecha de siembra probablemente no será modificada por la posible presencia de fusariosis (ya que hay otros factores de importancia que la determinan), la diversificación de la misma y las fechas tempranas contribuyen a menor incidencia de la enfermedad por no ser coincidente la floración con condiciones ambientales predisponentes (Reis & Carmona, 2013).

Torres *et al.* (2019) realizaron una revisión de las estrategias para manejar la enfermedad, indicando que ninguna de ellas es completamente efectiva y que se necesita un manejo integrado con varias medidas de control para reducir la enfermedad y la contaminación con DON.

La efectividad de los fungicidas depende de otras prácticas agronómicas como la rotación, labranza, fertilización nitrogenada, tratamientos de semilla y resistencia de los cultivares (Beyer, 2006). Se han utilizado triazoles, carbendazim, mancozeb, benomyl, propiconazole y triadimenol, aunque ninguno controla la enfermedad completamente (Dweba *et al.*, 2017; Spolti *et al.*, 2013). La aplicación de algunos triazoles (Paul *et al.*, 2008) y la mezcla de triazoles y estrobilurinas para evitar resistencia han dado los mejores resultados, (Gilber & Haber, 2013).

Para el control del tizón de la plántula hay fungicidas biológicos y químicos y el *F. graminearum* que se encuentra en semilla y suelo puede crecer en forma sistémica en la planta (Moretti, 2014) pero el inóculo de la fusariosis afectando la espiga puede provenir en otros momentos, por lo que el control en semilla pierde eficacia (Fernandez *et al.*, 2009). Se ha mencionado biocontrol ejercido por algunas especies como *Trichoderma* spp., *Pseudomonas* spp. (El-Hasan, 2018) o *Bacillus velezensis* (Zhao *et al.*, 2014; Palazzini, 2018). También ha sido mencionado *Streptomyces albidoflavus* (Palazzini *et al.*, 2018).

Los modelos de predicción para estimar la necesidad de aplicación de fungicidas se basan en temperatura, humedad y lluvias. En Argentina Moschini & Fortugno (1996) que luego fue validado y modificado, desarrollaron modelos para establecer un índice de predicción basado en estas variables comenzando 8 días antes de la espigazón y finalizando cuando se acumularon 530°Cdía.

El modelo original estableció la siguiente ecuación, que luego sufrió validaciones y modificaciones.

$$IP\% = 20,37 + 8,67 \times NP12 - 0,45 \times GD10 - 26$$

→ IP = índice predicho

- NP12 = número de períodos de dos días con precipitaciones ≥ 0.2 mm, donde el primer día registre más del 81% de humedad relativa y el segundo día registre más del 78%
- GD10-26 = siendo GD (Grados Día) y se calculan como la sumatoria de horas con temperaturas inferiores a 10°C o superiores a 26°C que se restan en el modelo.

Posteriormente incorporaron variables meteorológicas de 45 estaciones para generar modelos de predicción. El sistema “on-line” <http://agrometeorologia.inta.gob.ar/modeloenfermedad>) permite ingresar a una determinada estación meteorológica y con la fecha de espigazón establecer el riesgo de fusariosis o índice de *Fusarium*. Se debe considerar también el costo de aplicación y la rentabilidad y las aplicaciones deben realizarse en anthesis afectando a anteras con extrusión y presas (adentro de las flores).

Debe señalarse que también hay modelos de predicción para otras enfermedades como las royas y septoriosis y para escudete negro en trigo fideos.

Carbón volador del trigo

Organismo causal: *Ustilago tritici*. (*U. nuda*) *Ustilago tritici* (Pers.).

Importancia: se encuentra distribuido en todo el mundo, con pérdidas cercanas al 1% de espigas (aunque en algunos casos graves se observaron pérdidas del 27%) y ha habido re-emergencias recientes en Argentina, Australia, Reino Unido y Francia, si bien es una enfermedad de relativa importancia. Carmona & Sautua (2020) mencionaron que entre las posibles causas de su reaparición se encuentra la posible presencia de mayor susceptibilidad en los cultivares, de los que no se dispone de datos, condiciones húmedas y frescas que prolonguen la floración, siembras de semillas infectadas, condiciones durante la germinación que disminuyan la absorción de los fungicidas, menores dosis usadas y desuniformidad en la distribución del curasemilla. No existen datos precisos sobre la susceptibilidad de los genotipos sembrados en Argentina.

Síntomas, signos, daños: es producida por un patógeno biotrófico. En el cultivo los síntomas se presentan en forma uniforme y son claramente visibles al producirse la espigazón. Las espigas enfermas tienen las espiguillas reemplazadas por la masa de esporas oscura y pulverulenta (Fig.6.17), que en un inicio se cubre con una membrana que luego se rompe fácilmente y libera las esporas. Las esporas caen sobre los estigmas en el momento de floración, emitiendo un promicelio y el hongo se aloja en el ovario. Los granos infectados son de aspecto normal y cuando germinan, se reactiva el crecimiento del parásito que se encuentra en el embrión y se desarrolla en la planta en forma sistémica. Cuando la espiga emerge, las espiguillas están transformadas en una masa carbonosa que son las teliosporas.

Epidemiología: la infección se produce una sola vez en el cultivo. La infección primaria es por medio de semilla enferma que tiene aspecto normal y es imposible detectar el patógeno visualmente, para ello debe realizarse un análisis específico. Al ser sembradas, el hongo se

desarrolla juntamente con la planta, se ramifica en el tallo, alcanza los macollos y más tarde los tejidos florales. Las espiguillas son reemplazadas por una masa pulverulenta, constituida por las esporas del hongo que se dispersan con el viento. Por lo general las espiguillas afectadas emergen algo anticipadamente y cuando liberan las esporas coincide con la floración del resto del cultivo. Las esporas caen sobre las flores, penetran por el estigma, germinan y penetran en el ovario infectándolo. Ocurrido esto, los granos de las espigas sanas se forman normalmente, pero infectados. Se reinicia el ciclo cuando se siembra estas semillas infectadas. Se transmite por el viento (Wilcoxson & Saari, 1996).



Fig.6.17. Trigo infectado con carbón volador. Toda la inflorescencia, excepto el raquis, es reemplazada por masas de teliosporas negras.

Crédito de la foto: Thomas Lumpkin / CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Condiciones predisponentes: necesita para una adecuada germinación de las teliosporas alta humedad relativa (95%) y temperaturas de 16 a 22°C durante la floración. Las características de los cultivares y las condiciones ambientales influyen en la apertura de las espiguillas incidiendo en la entrada de las esporas por los estigmas. Las siembras más profundas, con bajas temperaturas, en suelos compactos, en condiciones de sequía o excesos hídricos pueden limitar la incidencia de la enfermedad (Wilcoxson & Saari, 1996).

Manejo de la enfermedad: debe utilizarse semilla sana o curada y variedades con cierta resistencia, aunque las numerosas razas del patógeno hacen que sea más difícil la incorporación de resistencia y su mantenimiento. Los tratamientos preventivos de las semillas con fungicidas sistémicos son efectivos ya que el patógeno está en el interior de la semilla (Astiz Gasso, 2014) Se utilizan principalmente productos formulados en base a triazoles, imidazoles, benzimidazoles y carbamatos. Se aconseja el monitoreo de lotes de multiplicación y si la semilla proviene de lotes con 0,5 a 2% de semillas infectadas realizar controles químicos.

Caries, carbón común o carbón hediondo del trigo

Organismo causal: es producido por *Tilletia laevis* Kühn (= *T. foetida*) y *Tilletia tritici* (Bjerk) Wint. (= *T. caries*) y en el Carbón enano, “dwarf bunt” causado por *Tilletia controversa* Kühn (= *T. contraversa*).

Importancia: la enfermedad se encuentra difundida mundialmente, y en nuestro país se distribuye en todas las subregiones trigueras.

Síntomas, signos y daños: es producida por un patógeno biotrófico. Las plantas enfermas tienen generalmente menor altura y pueden presentar mayor producción de macollos. Sin embargo, la enfermedad es más evidente a partir de espigazón, en que las glumas tienden a separarse algo para alojar las esporas que reemplazan a los granos, en floración no aparecen anteras, las espigas suelen ser más erectas, por el menor peso de estas esporas en relación a los granos y suelen tener un color verde azulado. Pero los síntomas se hacen evidentes cuando el cultivo madura con espigas más oscuras y aún más en el momento de la cosecha, en que los granos se rompen liberando la masa de esporas con olor a pescado por la presencia de trimetilamina (Astiz Gassó, 2014). Los granos de las espigas afectadas son chuzos, livianos o directamente están ausentes. El contenido de los mismos es reemplazado por una masa pulverulenta oscura, las esporas (Fig 6.18). A diferencia del carbón volador, la capa externa de la semilla permanece intacta, pero es destruida fácilmente durante la cosecha del cultivo. De esta manera se contaminan los granos sanos a partir de los enfermos, desprendiendo un olor característico a pescado en descomposición. Produce pérdidas de rendimiento y disminución de la calidad comercial del grano, la presencia de esporas en el cepillo de la semilla es fuertemente castigado en la comercialización (como granos con carbón y como granos punta negra por carbón), disminuyendo la calidad del producto destinado a la industria, debido a la contaminación de la harina y olor en la harina.

Epidemiología: el patógeno se transmite por medio de semilla infestada con esporas en la superficie del grano, especialmente en el cepillo, o a través del suelo, ya que posee la habilidad de sobrevivir en el mismo. La infección se produce cuando las semillas germinan en el suelo. El patógeno crece dentro de la planta alcanzando las zonas reproductivas, infectando las espiguillas, alojándose en el ovario y reemplazando a este por las esporas. Cuando los granos infectados se rompen en la cosecha se libera la masa de esporas y de esta manera reinicia el ciclo de la enfermedad. Puede afectar a la cebada y también son hospedantes varias especies de pastos.

Condiciones predisponentes: depende de la especie que esté causando síntomas. Algunas investigaciones utilizando entre 5 y 25°C determinaron que la germinación de las teliosporas de *T. caries* fue mayor a 15°C, en tanto para *T. laevis* fue entre 10 y 15°C (Wójtowicz, 2016).

Manejo de la enfermedad: debe utilizarse semilla sana o tratada con terapicos de semilla y variedades de buen comportamiento, los cultivares que se utilizan en Argentina tienen diferentes niveles de susceptibilidad. El tratamiento preventivo de la semilla es rápido y sencillo debido a la ubicación del patógeno en el exterior de la semilla, se utilizan fungicidas de contacto, el

problema radica cuando esta aplicación no se realiza correctamente o cuando se utilizan cultivos susceptibles. También se han realizado ensayos *in vitro* demostrando el poder biocontrolador de *Trichoderma* spp. y la compatibilidad de utilizar semillas tratadas con fungicidas y un biocontrolador (Astiz Gasso, 2014).



Fig.6.18. Espigas y granos afectados por carbón hediondo.

Crédito de la foto: CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Escudete negro de la semilla

Organismo causal: *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem (forma asexual, anamorfo, *Cochliobolus sativus* (Ito & Kuribayashi) Drechs. ex Dastur y *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler y otros géneros.

Importancia: ha causado epidemias en muchas regiones del mundo (Rana & Gupta, 1982; Li, 2020). En Argentina se ha incrementado con la utilización de siembra directa y de fertilización nitrogenada.

Síntomas, signos y daños: se conoce con el nombre de manchado de la semilla o grano de trigo o “escudete negro” (*black point*) que puede extenderse al surco o al cepillo de los granos (kernel smudge) (Pasinetti, 1931). El ápice, donde se ubica el embrión, se torna de un color castaño oscuro al desarrollarse un micelio (Fig. 6.19a) e incluso toda la semilla puede man-

charse o arrugarse. La enfermedad inhibe la germinación al dañar el germen y reduce el vigor de las plántulas (Toklu, 2008). Si bien las espigas parecen normales puede haber lesiones oscuras en el interior de las glumas (Marthur & Cunfer, 1993). Aunque las opiniones son contradictorias, Li (2020) demostró que los síntomas de oscurecimiento del grano pueden producirse *in vitro* suplementando con una sustancia denominada catecol y H₂O₂. Esto prueba que la sustancia que produce el “*black point*” se produce por procesos enzimáticos y no por el hongo en sí. Produce reducciones en la calidad, no solo por la coloración o arrugado del grano, sino que en ataques importantes penetra en el endosperma y produce pecas negras en las harinas y aún más en las sémolas obtenidas de trigo fideo que es más susceptible (Greaney & Wallace, 1943) y al tener mayor granulometría es más evidente (Fig. 6.19b). Las pecas pueden ser eliminadas en la molienda, pero produce pérdidas de rendimiento (Bird, 1975). Este defecto en otros países disminuye el precio, no así en Argentina, en que no está incluido en el estándar de comercialización. Si bien el manchado puede deberse a distintas causas, varios hongos han sido mencionados como causantes de la enfermedad (Sisterna, 2014), aunque en algunos casos puede no estar asociado a patógenos. Numerosos trabajos en tejidos vegetales sugieren que muchas de las reacciones de coloración pueden ser debidas a la oxidación de compuestos fenólicos y a las peroxidasas que catalizan la formación de productos fenólicos oscuros que se localizan en el escudete o el embrión (Williamson, 1997).



Fig. 6.19 (a) Grano de trigo que muestra síntomas de escudete negro. El pericarpio del grano de trigo se vuelve de color marrón oscuro a negro en la madurez, con la decoloración generalmente restringida al extremo del grano donde se ubica el embrión.

Crédito de la foto: Thomas Lumpkin / CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

(b) Efecto en la calidad de harinas o sémolas ocasionado por la enfermedad: la flecha amarilla señala las pecas negras que se observan en pastas frescas elaboradas con harinas o sémolas provenientes de granos afectados. (Foto tomada en Molino Campodónico, La Plata, 2017).

Condiciones predisponentes: las lluvias (Moschini *et al.*, 2006) y el período de mojado (Southwell, 1980) y la irrigación (Conner & Kuzyk, 1988) en el desarrollo del grano se han encontrado asociados a la enfermedad. Si bien las condiciones de elevada humedad, precipitaciones y temperatura están asociadas con manchados, no se ha probado si inciden en el crecimiento de los hongos o son causales directas del escudete negro que se produce una o

dos semanas antes de la cosecha (Sisterna, 2014). Afecta a los granos cuando alcanzan el estado pastoso.

Epidemiología: es una enfermedad monocíclica. Si en el proceso de infección predomina *Alternaria* spp., sólo el pericarpio es afectado, si es mayor la presencia de *Bipolaris* spp. se ve afectada la germinación. Algunas *Alternarias* spp. producen micotoxinas y también puede haber otras especies involucradas que producen fumonisinas como *Fusarium proliferatum* (Desjardins, 2007). La transmisión es por semilla, rastrojo, suelo y hospedantes secundarios. Si bien hay algunas controversias al respecto Machacek & Greaney (1938) mencionaron que la infección ocurre en antesis y llenado de grano.

Manejo de la enfermedad: si bien la resistencia es una manera efectiva de control, no hay variedades completamente resistentes (Conner & Davidson, 1988), aunque algunos cultivares presentan mejor comportamiento. Es recomendable no atrasar la cosecha y ante la existencia de semilla infectada curar la semilla con fungicidas, aunque en varios casos no ha demostrado resultados promisorios (Sisterna, 2014). La rotación de cultivos disminuye los niveles de inóculo y juega una función importante. Se han identificado varios antagonistas biológicos, aislados de hojas (Fokkema, 1975; Hodges *et al.*, 1994) y suelo (Turham, 1993).

Enfermedades bacterianas

Espiga negra del trigo y estriado bacteriano de la hoja

Organismo causal: es *Xanthomonas translucens* pv. *undulosa* Vauterin, Hoste

Importancia: se la conoce como espiga negra cuando afecta espigas o rayado bacteriano, estría bacteriana o mancha bacteriana cuando afecta hojas. Es una bacteriosis que se presenta esporádicamente, pero en las últimas décadas ha incrementado su incidencia e importancia en algunas regiones trigueras del mundo. Tal es el caso de la región triguera de Estados Unidos, donde es considerada la segunda enfermedad más impostante de trigo y cebada, después de la fusariosis de la espiga. También ataca centeno, avena, cebada, entre otras gramíneas.

El aumento de incidencia de esta enfermedad se debe a diferentes factores:

- 1) Un mayor número de investigaciones sobre bacterias se están llevando a cabo, haciendo su identificación y reconocimiento más probables.
- 2) Incremento en el intercambio de germoplasma entre países que ha posibilitado su diseminación a largas distancias (el patógeno es notoriamente transmitido por semilla).
- 3) El trigo se ha expandido hacia zonas cálidas y húmedas, y por lo tanto, más propensas a desarrollar la enfermedad.
- 4) Los tratamientos de semilla a base de mercurio han dejado de utilizarse (eran altamente eficaces, pero también tóxicos).
- 5) La ocurrencia de clima inusual en determinadas regiones.

Las pérdidas se calculan en menos del 10%, aunque hay registros de pérdidas del 21 al 40% según el nivel de contaminación de la semilla, el grado de susceptibilidad del cultivar considerado (Mehta & Bassoi, 1993) y las condiciones ambientales predisponentes.

Síntomas, signos y daños: puede afectar toda la parte aérea, con mayor frecuencia en hojas y glumas (Fig. 6.20). En hojas se presentan manchas de aspecto acuoso y translúcido (Duveiller *et al.*, 1997) y en condiciones de elevada humedad aparecen exudados de coloración amarilla que afloran de las lesiones que corren paralelas a la nervadura de la hoja y corresponden al signo de la enfermedad que son miles de células bacterianas (Maraitte *et al.*, 2007). Dichos exudados, se vuelven escamosos y al secarse dan una apariencia de “glaseado” a la hoja. Las lesiones cloróticas en forma de estrías longitudinales luego se vuelven necróticas que llegan a converger y generan áreas de tejido muerto mayores. En tallos, glumas y aristas y a veces en los pedúnculos produce manchas listadas de color castaño oscuro.

En las glumas puede confundirse con melanosis que se relaciona con el gen *Sr2* de resistencia a roya del tallo que se manifiestan de un solo lado de la espiga (Duveiller *et al.*, 1997) pero la espiga negra causada por *X. translucens* ocasiona manchas oscuras intercaladas en las aristas. Los síntomas se hacen más evidentes en espigazón y puede disminuir el número y peso de los granos (Mehta & Bassoi, 1993) ocasionando granos arrugados que disminuyen el peso hectolítrito con su consecuente impacto en la industria molinera.

Condiciones predisponentes: La temperatura óptima es de 26-28°C y alta humedad o rocío (Duveiller *et al.*, 1997; Schaad, 2001). No existen razas de este patógeno, aunque sí diferencias en la agresividad entre aislamientos (Milus & Chalkley, 1994) y patovares. Existen 10 patovares de la especie de los cuales cinco afectan especies gramíneas nativas en tanto que los otros cinco restantes comprenden los patovares que afectan los cereales cultivados.

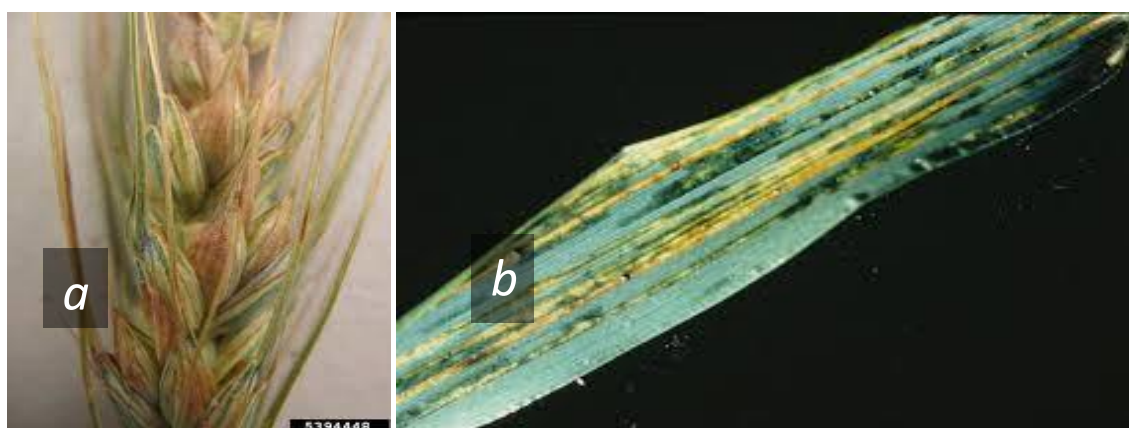


Fig.6.20. (a) Síntomas de espiga negra y (b) estriado bacteriano en hoja causado por *Xanthomonas translucens*. Crédito de la foto: CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Epidemiología: la bacteria se transmite principalmente por semilla (Metha *et al.*, 1992), puede vivir en el rastrojo en superficie, pero no enterrado, dependiendo de las temperaturas, con más de 34°C no sobrevive (Metha, 1992). Se encuentra en cebada, triticale, centeno y varias malezas (Duveiller, 1997). Se dispersa por medio de salpicaduras de lluvia, del contacto con otras plantas y de los insectos. Penetran en las plantas de trigo a través de los estomas y

heridas y aparece en la floración. Se dispersa por gotas de lluvia, rocío o riego a cortas distancias, aunque las tormentas y viento las trasladan a mayores distancias (Duveiller *et al.*, 1997).

Manejo de la enfermedad: a pesar de los numerosos informes de enfermedades bacterianas en el trigo en todo el mundo, el estudio de enfermedades bacterianas ha sido limitado, y la información sobre cómo manejarlas rara vez está disponible. Manejar las enfermedades bacterianas es complejo y, a menudo, requiere un enfoque integrado que combine medidas de manejo y resistencia genética dado que no existen métodos de control químicos efectivos. Es necesario utilizar semilla sana (Metha, 1992) y utilizar variedades con cierta resistencia genética que es de cuantitativa (Maraite, 2007). En Argentina, hay cultivares que tienen mejor comportamiento (Kandel *et al.*, 2010), aunque una parte importante de los cultivares son susceptibles, no habiéndose distinguido diferencias entre razas. La rotación con cultivos no hospedantes en sistemas de siembra directa donde el inóculo se encuentra en el rastrojo en superficie resulta de importancia.

Tizón bacteriano

Organismo causal: *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* van Hall.

Importancia: es una enfermedad esporádica, que en algunas pocas ocasiones produjo pérdidas importantes (Duveiller *et al.*, 1997). En Argentina en algunas campañas (2001/2002) se detectó con alta frecuencia y daños considerables, dadas las condiciones ambientales predisponentes como lluvias, heladas y vientos, pero no se han detectado pérdidas de rendimiento de importancia.

Síntomas, signos y daños: aparece en la espigazón del cultivo con temperaturas frescas de entre 15-25°C (Wiese, 1987) con lloviznas frecuentes, vientos y heladas. La dispersión se produce por gotas de lluvia, vientos y temperaturas frescas. Produce manchas acuosas en lahojas superiores, que coalescen y le dan un aspecto seco con colores claros (Duveiller *et al.*, 1997) (Fig.6.21). También en condiciones de tiempo húmedo, se observan exudados, se produce deshilachados y raras veces afecta glumas y espigas. Produce toxinas (Bender, 1999).

Epidemiología: tiene un rango de hospedantes muy amplio, desde pastos hasta árboles (Hirano & Upper, 2000). Además, se la encuentra con frecuencia como epifita sobre las hojas y flores de numerosas especies vegetales anuales y perennes, sin causar síntomas. Estas poblaciones epifitas constituyen el inóculo primario (Duveiller *et al.*, 1997). También se la encuentra asociada a las semillas y a los rastrojos. El desarrollo de la enfermedad está determinado por las condiciones ambientales, especialmente períodos de lluvia, alta humedad relativa temperaturas frescas, penetra por las hojas, a través de los estomas o heridas (Duveiller *et al.*, 1997). Se transmite por semilla, lluvias, tormentas con viento y plantas vecinas.

Manejo de la enfermedad: semillas que no provengan de lotes infectados (Duveiller *et al.*, 1997). Es aconsejable el uso de variedades con alguna resistencia. Formento (2001) reportó que se ha observado algún comportamiento diferencial entre los cultivares de trigo.



Fig.6.21. Síntomas de tizón bacteriano causado por *Pseudomonas syringae*.

Crédito de la foto: CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Enfermedades virósicas

Barley yellow dwarf virus (BYDV)

Importancia: en Argentina, se han registrado diversas virosis en trigo, entre ellas el *barley yellow dwarf virus* (BYDV) y el *wheat streak mosaic virus* (WSMV). Hasta 2005 se habían detectado los dos mencionados y además *cereal yellow dwarf virus* (CYDV-RPV), *wheat streak mosaic virus* (WSMV), *Barley stripe mosaic virus* (BSMV), Mal de Río Cuarto virus (MRCV), y *Wheat soil borne mosaic virus* (WSBMV) (Truol, 2009). Posteriormente se registraron otros tales como un virus perteneciente a los Rhabdoviridae-Cytorhabdovirus y otro denominado High plains virus (HPV) (Truol, 2009) que en general producen amarillamientos, necrosis, enanismos, menor producción de macollos, reducción del sistema radicular, hojas retorcidas y otros (Truol, 2014).

Importancia: tiene una distribución amplia y frecuencia de aparición. Se ha registrado en todos los continentes con disminuciones en el rendimiento de hasta 63%. En Latinoamérica se detectó en México, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Paraguay, Perú y Uruguay (Truol, 2014). Fue detectado por primera vez en Argentina en el área central de Córdoba (Truol, 2004) con pérdidas de más del 60%.

Síntomas, signos y daños: el virus afecta el citoplasma y núcleo de las células del floema que frecuentemente se necrosa, inhibe la translocación y hace que el crecimiento de la planta sea más lento, produce la pérdida de clorofila lo que origina clorosis y enanismo, ya que los entrenudos no se alargan, pudiendo no aparecer las espigas y puede incluso inhibir la formación de la raíz. Las hojas se decoloran desde el ápice a la base y pueden aparecer coloraciones púrpuras (Burnett, 1984) (Fig.6.22).

Epidemiología: se transmite por áfidos específicos, no se transmite por semilla. Hay varios serotipos, el BYDV-MAV es transmitido por *Sitobion avenae*; el BYDV-PAV es transmitido por *S. avenae* y *Rhopalosiphum padi*, y el BYDV-RPV es transmitido por *R. padi* y es denominado Cereal yellow dwarf virus-RPV (CYDV-RPV) que ha sido ubicado en otro género: Polerovirus, transmitido por *R. padi*. En Argentina, se ha determinado que *R. padi* transmite todas las variantes, en tanto que *Metopolophium dirhodum* y *Schizapis graminum* la variante PAV y también *Sipha maydis*, la variante PAV (SINAVIMO, 2021). Además del trigo son hospedantes cebada, arroz, avena, triticale, maíz y gran parte de las pasturas (Truol, 2014). En Argentina se la ha detectado en diversas malezas, entre ellas *Eleusine indica*, *Eragostris virsecens*, *Digitaria sanguinalis*, *Bromus unioloides*, *Paspalum* spp., *Sorghum halepense*, *Stipa brachychaeta* y otras.

Hay variación temporal y geográfica de esta virosis y el inóculo proviene más de fuentes alejadas que de reservorios locales (SINAVIMO, 2021).

Condiciones predisponentes: lo predisponen las temperaturas frescas (15-18°C), con días largos y alta radiación (Truol, 2014).



Fig.6.22. Síntomas barley yellow dwarf virus, las hojas se decoloran desde el ápice a la base. Crédito de la foto: CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Manejo de la enfermedad: si bien una de las prácticas aconsejada es el manejo de la época de siembra (Wangai *et al.*, 2000), ya que los picos poblacionales de los vectores se dan con temperaturas de 11 a 15°C y con alta humedad relativa, otros factores de mayor importancia condicionan la época de siembra en las distintas zonas trigueras, por lo que este manejo no se implementa. También mediante la eliminación de plantas voluntarias, donde pueden encontrarse los vectores y el virus y la utilización de cultivares resistentes que es una medida preferencial en el manejo de la enfermedad (Chrpová, Veškrna, Palicová & Kundu, 2020).

Wheat streak mosaic virus

Importancia: el *wheat streak mosaic virus* (WSMV) es un virus ampliamente difundido que afecta trigo, avena, cebada y maíz (SINAVIMO, 2021). En Argentina, en el sur de la Provincia de Buenos Aires se produjo en 2007 un ataque en que en muchos lotes las pérdidas fueron totales (Truol, 2014).

Síntomas, signos y daños: produce estrías cloróticas, necrosis, muerte de macollos, reduce el número de granos y produce achuzamiento en los granos, afecta el sistema radicular y la eficiencia en el uso del agua (Welandia, 2010).



Fig.6.23. Síntomas *Wheat streak mosaic virus* en hojas donde se observan estrías cloróticas, necrosis. Crédito de la foto: CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Epidemiología: es transmitido por el ácaro *Aceria tosichela* y por semilla en baja proporción. El vector sobrevive en trigos voluntarios y pasa a otros cultivos como maíz en el que el porcentaje de transmisión por semilla es mucho mayor. Puede ser transportado por el viento, en la ropa, por implementos agrícolas, a través de pulgones. El vector sobrevive como huevos, ninfas o adultos en malezas y pasturas que pueden ser transmisoras como *Echinochloa crusgalli*, *Digitaria sanguinalis*, *Panicum* sp., *Brachiaria* sp., *Sorghum halepense* y otras (Hunger, 2004, Truol, 2009).

Condiciones predisponentes: lo predisponen temperaturas de alrededor de 25°C (Truol, 2014).

Manejo de la enfermedad: la utilización de cultivares resistentes es una opción. En un set de cultivares de Argentina y Brasil se han detectado diferentes niveles de resistencia (Alemandri et al, 2019). Una medida de manejo es la eliminación de plantas voluntarias de

los cereales hospedantes y de malezas (Sagadin & Truol, 2008), se recomienda la siembra temprana y el monitoreo del vector (Tuol & Sagadin, 2008) y no utilizar semilla proveniente de lotes con infección.

High Plains Virus

Importancia: es también transmitido por *Aceria tosichela* y generalmente se encuentra en infecciones conjuntamente con el WSMV. Esta distribuido en EEUU, Chile, Israel y Brasil (Jensen, 1996). Es importante en maíz dulce pero también en maíz para grano, en el que se han registrado disminuciones en rendimiento de hasta 75%. En Argentina se detectó a partir de 2006 en varias campañas (Truol & Sagadin, 2008) y se considera que tiene un alto potencial de diseminación.

Síntomas, signos, daños: produce enrollamiento, clorosis y/ o necrosis de hojas y puede causar enanismo (Mahmood, 1998). Cuando se encuentra en infecciones mixtas con WSMV, los síntomas son más importantes con mosaicos, estriados y puede morir la planta si afecta tempranamente (Truol & Sagadin, 2008) (Fig.6.24).

Epidemiología: se lo encuentra en maíz que es reservorio del vector y del virus, en sorgo y en algunas especies de *Setaria* (Truol, 2009).

Condiciones predisponentes: el vector no es activo a temperaturas altas y en verano necesita hospedantes verdes, las ninfas y adultos. Se dispersa igual que el WSMV.

Manejo de la enfermedad: similar al WSMV, ambas además del daño en la producción tienen importancia en la exportación de semillas, ya que aunque bajo hay un porcentaje de transmisión por esta vía.



Fig.6.24. Síntomas high plains virus en plantas de maíz donde produce enrollamiento y clorosis.

Crédito de la foto: CIMMYT (Copyright: esta imagen del CIMMYT está autorizada bajo una licencia Creative Commons Attribution Non-Commercial Share Alike).

Referencias

- Acharya, K., Dutta, A. & Pradhan, P. (2011). *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem: The most destructive wheat fungal pathogen in the warmer areas". *Australian Journal of Crop Science*, 5, 1064-1071.
- Adame Beltrán, E. & Díaz Franco, A. (1997). Tizón de la hoja (*Alternaria triticina*) y rendimiento de trigo asociados a variedad, densidad y fecha de siembra. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 1, 31-36.
- Agrwal, K., Singh, T., Singh, D. & Mathur, S. B. (1986). Studies on glume blotch disease of wheat II. Transference of seed-borne inoculums of *Septoria nodorum* from seed to seedling. *Phytomorphology*, 36, 291-297.
- Alemandri, V., Bainotti, C.T. & Lau, D. (2019). Reaction of South American wheat genotypes to wheat streak mosaic virus. *Journal of Plant Pathology*, 101, 107–113.
- Ali, S. & Francl, L.J. (2002a). A new race of *Pyrenophora tritici-repentis* from Brazil. *Plant Disease*, 86, 9.
- Ali, S. & Francl, L.J. (2002b). Race structure of *Pyrenophora tritici-repentis* isolates obtained from wheat in South America. *Plant Protection Science*, 38, 302-304
- Al-Sadi Abdullah, M. (2021). *Bipolaris sorokiniana*-induced black point, common root rot, and spot blotch diseases of wheat: A review. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, 118.
- Alvarez, R. & Steinbach, H.S. (2009). A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil Tillage Research*, 104,1–5.
- Andersen, B., Krøger, E. & Roberts, R.G. (2001). Chemical and morphological segregation of *Alternaria alternata*, *A. gaisen* and *A. longipes*. *Mycological Research*, 105, 291-299.
- Andrie, R.M., Pandelova, I. & Ciuffetti, L.M. (2007). A combination of phenotypic and genotypic characterization *Pyrenophora tritici-repentis* race identification. *Phytopathology*, 97, 694-701.
- Anjos, J.R.N., Da Silva, D.B., Charchar, M.J.D. & Rodrigues, G.C. (1996). Ocorrência de brusone (*Pyricularia grisea*) em trigo e centeio na região dos cerrados do Brasil Central. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 31, 79-82.
- Astiz Gassó, M.M. (2014). Carbón volador del trigo. En C. Cordo & M. Sisterna (Eds.), *Enfermedades del trigo* (91-102). La Plata: Edulp.
- Bai, G. H., Plattne, R., Desjardins, A., Kolb, F. & Jones, S. S. (2001). Resistance to fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. *Plant Breeding*, 120, 1-6.
- Bailey, D.J. & Gilligan, C.A. (1999). Dynamics of primary and secondary infection in take-all epidemics. *Phytopathology*, 89, 84-91.
- Barbottin, A., Lecompte, C., Bouchard, C. & Jeuffroy, M.H. (2005). Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: genotypic and environmental effects. *Crop Science*, 45, 1141-1150.

- Bastiaans, L. (1993). Effects of leaf blast on growth and production of a rice crop. 1. Determining the mechanism of yield reduction. *Netherland Journal of Plant Pathology*, 99, 323-334.
- Bender, C.L., Alarcón-Chaidez, F. & Gross, D.C. (1999). *Pseudomonas syringae* phytotoxins: mode of action, regulation, and biosynthesis by peptide and polyketide synthetases. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 63, 266–292.
- Beyer, M., Klix, M.B., Klink, H. & Verreet, J.A. (2006). Quantifying the effects of previous crop, tillage, cultivar and triazole fungicides on the deoxynivalenol content of wheat grain – A review. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 113, 241-246.
- Bhaskara Reddy, M.V., Arul, J., Angers, P. & Couture, L. (1999). Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 1208-1216.
- Bird, E.T. (1975). A look at Australian durum wheats quality criteria and their assessment in the laboratory. *Proceedings of the 25th Annual Conference Research Australia* (13-16). New-
port, NSW: Chemistry Institute Cereal Chemistry Division.
- Bolley, H.L. (1913). Wheat: Soil troubles and seed deterioration. Causes of soil sickness in wheat land. Possible methods of control and cropping methods with wheat. North Dakota Agr. Exp. Station Bulletin N° 107.
- Boosalis, M.G. (1952). The epidemiology of *Xanthomonas translucens* (J.J. and R.) Dowson on cereals and grasses. *Phytopathology*, 42, 387-395.
- Braithwaite, M., Cromey, M., Saville, D. & Cookson, T. (1998). Effects of fungicide rates and timing on control of stripe rust in wheat. *Proceedings of the 51st New Zealand Plant Protection Conference (Hamilton)*, 66–70.
- Braun, U. (1995). The Powdery Mildew (Erysiphales) of Europe. *Nordic Journal of Botany*, 16, 144-144.
- Brown, J.K., Chartrain, L., Lasserre-Zuber, P. & Saintenac, C. (2015). Genetics of resistance to *Zymoseptoria tritici* and applications to wheat breeding. *Fungal Genetics and Biology*, 79, 33-41.
- Brown, J.S. & Holmes, R.J. (1983). Guidelines for use of foliar sprays to control stripe rust of wheat in Australia. *Plant Disease*, 67, 485-487.
- Bryson, R.J., Paveley, N.D., Clark, W.S., Sylvester-Bradley, R. & Scott, R.K. (1997) Use of in-field measurements of green leaf area and incident radiation to estimate the effects of yellow rust epidemics on the yield of winter wheat. En M.K. van Ittersum & S.C. van de Geijn (Eds.), *Developments in Crop Science* (77-86). Elsevier.
- Burgess, L.W., Backhouse, D., Summerell, B.A. & Swan, L.J. (2001). Crown rot of wheat. En B.A. Summerell, J.F. Leslie, D.Backhouse, W.L.Bryden & L.W. Burgess (Eds.). *Fusarium* (271-294). St. Paul, Minnesota: APS Press.
- Burnett, A.P. (1984). Situation reports. En P.A. Burnett (Ed.), *Barley yellow dwarf virus. Proceedings of a Workshop* (171-203). México D.F.: CIMMYT.
- Cabrera, M.G. & Gutiérrez, S.A. (2007). Primer registro de *Pyricularia grisea* en cultivos de trigo del NE de Argentina. En M. Astiz Gassó. & M. Molina (Eds.), *Libro de resúmenes de las Jor-*

- nadas de Actualización en Enfermedades de Trigo. Instituto Fitotécnico de Santa Catalina. Lavallol, Buenos Aires, Argentina.*
- Campos, P.E. (2014). Royas del trigo. En C.Cordo & M. Sisterna (Eds.) *Enfermedades del trigo* (223-244). La Plata: Edulp.
- Campos P.E. (2017). Identificación de razas exóticas de roya amarilla en región triguera argentina. Recuperado de https://inta.gov.ar/sites/default/files/roya_amarilla_en_trigo.pdf
- Campos, P.E. (2017). Royas de Trigo en Argentina, resurgimiento de una vieja problemática. En Asociación Argentina de fitopatólogos (AAF) (Ed.), *IV Congreso Argentino de Fitopatología. Mendoza, Argentina.* (37-43). Mendoza: AAF.
- Campos, P.E. (2019). Estado de situación de las royas de trigo en Argentina. Campaña 2019. Recuperado de <https://inta.gov.ar/documentos/estado-de-situacion-de-las-royas-de-trigo-en-argentina-campana-2019>
- Campos, P.E., Moschini, R. & Martinez, M. (2015).Roya del tallo del trigo en la región pampeana argentina. Análisis de la campaña 2014. Recuperado de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/roya-tallo-trigo-region-t32421.htm>
- Carmona, M.A. (2001). Guía Práctica de Enfermedades del Trigo. *Anexo del libro Manual para el manejo integrado de enfermedades del trigo* (1-14).
- Carmona, M., Sautua, F. & Reis, E.M. (2014). Control de enfermedades fúngicas del trigo mediante fungicidas. En C.Cordo, & M. Sisterna (Eds.). *Enfermedades del trigo: avances científicos en la Argentina* (349-370). La Plata, Bs. As: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Carmona, M. & Sautua, F. (2017). Roya amarilla del trigo. Nuevas razas en el mundo, monitoreo y uso de fungicidas. Recuperado de <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2017/09/CARMONA-SAUTUA-roya-amarilla-2017-FAUBA.pdf>.
- Carmona, M. & Sautua, F. (2018). Epidemias de roya amarilla del trigo. nuevas razas en el mundo, monitoreo y decisión de uso de fungicidas. *Revista Agronomía y Ambiente Facultad de Agronomía, UBA*, 38, 37–58.
- Carmona, M. & Sautua, F. (2020). Confirman la reaparición del “Carbón Volador”: una vieja enfermedad que afecta al trigo y a la cebada. Recuperado de <https://www.infocampo.com.ar/confirman-la-reaparicion-del-carbon-volador-una-vieja-enfermedad-que-afecta-al-trigo-y-a-la-cebada>.
- Carmona, M., Sautua, F., Pérez-Hernández, O. & Reis, E.M. (2020). Role of fungicide applications on the integrated management of wheat stripe rust. *Frontiers in Plant Science*, 11, 733.
- Carrasco, N. & Báez, A. (2006). Trigo. Manual de campo. INTA-RIAP. Recuperado de http://rian.inta.gov.ar/agronomia/Manual_Trigo.pdf.
- Carretero, R., Serrago, R.A., Bancal, M.O., Perelló, A.E. & Miralles, D.J. (2010) Absorbed radiation and radiation use efficiency as affected by foliar diseases in relation to their vertical position into the canopy in wheat. *Field Crops Research*, 116, 184-195.
- Casa, R.T., Reis, E.M. & Moreira, E.M. (2005). Transmissão de fungos emsementes de cereais de inverno e milho: implicações epidemiológicas. En L. Zambolin (Ed.), *Sementes: qualidade fitossanitária* (55-71). Viçosa: UFV/DFP.

- Castillo, N., Cordo, C. & Simón, M.R. (2010). Molecular variability among isolates of *Mycosphaerella graminicola*, the causal agent of septoria tritici blotch, in Argentina. *Phytoparasitica Journal*, 38, 379-389.
- Castro Tapia, M.P., Madariaga Burrows, R.P., Ruiz Sepúlveda, B., Vargas Concha, M., Vera Palma, C. & Moya-Elizondo, E.A. (2000). Antagonistic activity of Chilean strains of *Pseudomonas protegens* against fungi causing crown and root rot of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 25, 951.
- Castro, A.C. & Simón, M.R. (2016). The effect of tolerance to Septoria tritici blotch in grain yield, yield components and quality among Argentinean wheat cultivars. *Crop Protection*, 90, 66-76.
- Castro, A.C., Fleitas, M.C., Schierenbeck, M., Gerard, G.S. & Simón, M.R. (2018). Evaluation of different fungicides and nitrogen rates on grain yield and bread-making quality in wheat affected by Septoria tritici blotch and yellow spot. *Journal of Cereal Science*, 83, 49-57.
- Chen, W., Wellings, C., Chen, X., Kang, Z. & Liu, T. (2014). Wheat stripe (yellow) rust caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*. *Molecular Plant Pathology*, 15, 433-446.
- Chen, W.Q., Xu, S.C., Liu, T.G., Jin, S.L., Kang, Z.S. & Ma, Z.H. (2012). Strategies and technologies of integrated management on wheat stripe rust in China. En Chen, W.Q. et al. (Eds.). *Disease risk and food security. Proceedings of the 13th International Cereal Rust and Powdery Mildew Conference* (203) Beijing: China Agricultural Science and Technology Press.
- Chen, X. M. & Kang, Z. (2017). Integrated control of stripe rust. En Chen, X. & Kang, Z. (Eds.), *Stripe Rust* (559–599). Dordrecht: Springer.
- Chen, X.M. (2005). Epidemiology and control of stripe rust [*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*] on wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 27, 314-337.
- Christensen, J.J. (1926). Physiologic specialization and parasitism of *Helminthosporium sativum*. Technical Bulletin, 37, 99. University of Minnesota, Agricultural Experiment Station
- Chrpová, J., Veškna, O., Palicová, J. & Kundu J. K. (2020). The Evaluation of Wheat Cultivar Resistance and Yield Loss Thresholds in Response to Barley Yellow Dwarf Virus-PAV Infection *Agriculture* 2020, 10, 20; doi:10.3390/agriculture10010020 www.mdpi.com/journal/agriculture.
- CIMMYT. 2009. Enfermedades causadas por hongos. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Recuperado de http://www.cimmyt.org/spanish/docs/field_guides/enfplagastri/Hongos.pdf. CIPF. 2006. NIMF no8.
- Conner, R. L., Lindwall, C. W. & Atkinson, T. G. (1987). Influence of minimum tillage on severity of common root rot in wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 9, 56-58.
- Conner, R.L. & Davidson, J.G.N. (1988). Resistance in wheat to black point caused by *Alternaria alternata* and *Cochliobolus sativus*. *Canadian Journal of Plant Science*, 68, 351-359.
- Conner, R.L. & Kuzyk A.D. (1988). Black point incidence in soft white spring wheat in southern Alberta and Saskatchewan between 1982 and 1987. *Canadian Plant Disease Survey*, 68, 27-31.
- Conner, R.L., Kozub, G.C. & Kuzyk, A.D. (1990). Influence of pollen on black point incidence in soft white spring wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 12, 38-42.

- Consolo, V.F., Albani, C.M., Berón, C.M. *et al.* (2009). A conventional PCR technique to detect *Septoria tritici* in wheat seeds. *Australasian Plant Pathology*, 38, 222-227.
- Cook, R.J. (1981). The influence of rotation crops on take-all decline phenomenon. *Phytopathology*, 71, 189-192.
- Cook, R.J., Boosalis, M.G. & Doupnik, B. (1978). Influence of crop residue on plant disease. En Oschwald, W.R. (Ed.), *Crop residue management systems* (147-163). Madison, EE.UU.: ASA, CSSA, SSSA.
- Cook, R.J. & Veseth, R.J. (1991). *Wheat health management*. St. Paul, Minnesota: APS Press.
- Cook, R.J., Weller, D.M., El-Banna, A.Y., Vakoch, D. & Zhang, H. (2002). Yield responses of direct-seeded wheat to rhizobacteria and fungicide seed treatments. *Plant Disease*, 86, 780-784.
- Cordo, Cristina A. (2014). Patologías del trigo. En Cordo C. & Sisterna, M. (Eds.), *Enfermedades del trigo* (21-56). La Plata: Edulp.
- Cordo, C., Mónaco, C., Simón, M. R., Perelló, A., Kripelz, N., Bayo, D. & Segarra, C. (2004). Biocontrol de la mancha de la hoja del trigo con aislamientos de *Trichoderma* spp. En *Actas Congreso Nacional de Trigo, VI Simposio Nacional de Cultivos de Siembra Otoño-Invernal* (205-206). Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional del Sur/Departamento de Agronomía.
- Couretot, L. (2009). Relevamiento de enfermedades y comportamiento sanitario de variedades de trigo. Campaña 08/09. Recuperado de <https://www.engormix.com/agricultura/foros/relevamiento-enfermedades-comportamiento-sanitario-t10378/>
- Cunfer, B.M. (2002). Powdery mildew. En Curtis, B.C., Rajaram, S. & Mac Pherson, H.G. (Eds.), *Bread Wheat. Improvement and Production*. Rome: FAO.
- Dal Bello, G.M., Mónaco, C.I., Sisterna, M.N. & Nico, A. (2008). Relationship between an in-vitro and greenhouse assay for biological control of *Bipolaris sorokiniana*-induced seedling blight of wheat. *Biological Agriculture and Horticulture*, 26, 103-119.
- De Wolf, E. (2008). Tan spot. Plant Pathology, Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Recuperado de <http://www.plantpath.k-state.edu/extension/publications/tan-spot-ep134.pdf>
- Desjardins, A.E., Busman, M., Proctor, R.H. & Stessman, R.J. (2007). Wheat kernel black point and fumonisin contamination by *Fusarium proliferatum*. *Food Additives and Contaminants*, 24, 1131-1137.
- Dieckmann, M. & Putter, C.A.J. (1995). Alternaria leaf blight of wheat. En Small grain temperate cereals. FAO/PGRI. Technical Guidelines for the safe movement of Germplasm, 14.
- Diman, S.D., Chaudhary, M.K., Panwar, V.S. & Verma, K.S. (1994). Proceedings of the symposium on sustainability of the rice-wheat system in India (233). India.
- Dimmock, J.P.R.E. & Gooding, M.J. (2002). The influence of foliar diseases, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: a review. *Journal of Agricultural Sciences*, 138, 349-366.

- Doodson, J. K., Manners, J. G. & Myers, A. (1964a). Some effects of yellow rust on the yield and physiology of wheat. En *Paper Presented at the Third International Yellow Rust Conference* (Cambridge).
- Doodson, J.K., Manners, J.G. & Myers, A. (1964b). Some effects of yellow rust (*Puccinia striiformis*) on the growth and yield of a spring wheat. *Annals of Botany*, 28, 459-472.
- Dooley, H., Shaw, M.W., Mehenni-Ciz, J., Spink, J. & Kildea, S. (2016). Detection of *Zymoseptoria tritici* SDHI-insensitive field isolates carrying the SdhC-H152R and SdhD-R47W substitutions. *Pest Management Science Journal*, 72, 2203–2207.
- Dordas, C. (2008). Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*, 28, 33-46.
- Dubin, H.J. & Bim, P.H.P. (1994). Studies of soilborne diseases and foliar blights of wheat at the national wheat research experiment station, Bhairahawa, Nepal. México D.F.: CIMMYT.
- Duczek, L.J. & Jones-Flory, L.L. (1993). Relationships between common root rot, tillering, and yield loss in spring wheat and barley. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 15, 153-158.
- Danelli, D.A.L., Melo Reis, E. & Garcés Fiallos, F.R. (2011). Etiología e intensidad de manchas foliares em cultivares de trigo em três locais do Rio Grande do Sul, Brasil. *Scientia Agropecuaria*, 2, 149-155.
- Duveiller, E. (2004). Controlling foliar blights of wheat in the rice-wheat systems of Asia. *Plant Disease*, 88, 552-556.
- Duveiller, E., Fucikovsky, L. & Rudolph, K. (1997). The bacterial diseases of wheat: concepts and methods of disease management. México D.F.: CIMMYT.
- Duveiller, E.M. & Sharma, R.C. (2009). Genetic improvement and crop management strategies to minimize yield losses in warm non-traditional wheat growing areas due to spot blotch pathogen *Cochliobolus sativus*. *Journal of Phytopathology*, 157, 521-534.
- Dweba, C.C., Figlan, S., Shimelis, H.A., Motaung, T.E., Sydenham, S., Mwadzingeni, L. & Tsilo, T.J. (2017). Fusarium head blight of wheat: pathogenesis and control strategies. *Crop Protection*, 91, 114-122.
- El-Hasan, A., Schone, J., Hoglinger, B., Walker, F. & Voegelé, R.T. (2018). Assessment of the antifungal activity of selected biocontrol agents and their secondary metabolites against *Fusarium graminearum*. *European Journal of Plant Pathology*, 150, 91-103.
- Erreguerena, I.A., Carpaneto, B.B., Samoiloff, A. & Couretot, L.A. (2019). *Parastagonospora nodorum*: un patógeno re-emergente en trigo y ahora también en cebada. Recuperado de <https://inta.gob.ar/documentos/parastagonospora-nodorum-un-patogeno-re-emergente-en-trigo-y-ahora-tambien-en-cebada>.
- Eyal, Z. & Brown, M.B. (1976). A quantitative method for estimating density of *Septoria tritici* pycnidia on wheat leaves. *Phytopathology*, 66, 11-14.
- Eyal, Z., Scharen, A. L., Prescott, J. M. & Ginkel, M. van (1987). *The Septoria diseases of wheat: concepts and methods of disease management*. México, D.F.: CIMMYT.
- FAO. (2007). Wheat killer spreads from East Africa to Yemen. FAO Newsroom, Rome, Italy. FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/newsroom/en/news/2007/1000537/index.html>.

- Fernández Valiela, M.V. (1978). *Introducción a la Fitopatología. Vol III. Hongos*. Buenos Aires: Colección Científica del INTA.
- Fernandez, M.R., Turkington, T.K. & May, W.E. (2009). Effectiveness of fungicide seed treatments for preventing seed-to-seedling transmission of *Fusarium graminearum* under controlled environment conditions. *Canadian Journal of Plant Science*, 89, 811-821.
- Fleitas, M.C. (2017). *Tolerancia de cultivares de trigo a mancha amarilla y roya de la hoja: su impacto en el rendimiento y calidad panadera bajo fertilización nitrogenada y aplicación de fungicidas sistémicos* (Tesis Doctoral). Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/60145>
- Fleitas, M.C., Schierenbeck, M., Gerard, G.S., Dietz, J.I., Golik, S.I. & Simón, M.R. (2018a). Breadmaking quality and yield response to the green leaf area duration caused by fluxapyroxad under three nitrogen rates in wheat affected with tan spot. *Crop Protection*, 106, 201-209.
- Fleitas, M. C., Schierenbeck, M., Gerard, G. S., Dietz, J. I., Golik, S. I., Campos, P. E. & Simón, M.R. (2018b). How leaf rust disease and its control with fungicides affect dough properties, gluten quality and loaf volume under different N rates in wheat. *Journal of Cereal Science*, 80, 119-127.
- Fokkema, N., Van de Laar, A., Nelis-Blomerg, A. & Schippers, B. (1975). The buffering capacity of the natural mycoflora of rye leaves to infection by *Cochliobolus sativus*, and its susceptibility to benomyl. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 81, 176-186.
- Fones, H. & Gurr, S. (2015). The impact of Septoria tritici blotch disease on wheat: an EU perspective. *Fungal Genetics and Biology*, 79, 3-7.
- Formento, N. (2001). Bacteriosis en trigo Campaña 2001/02. Recuperado de <https://www.ambito.com/campo/bacteriosis-trigo-campana-200102-n3144750>
- Formento, A.N., Schutt, L., Scandiani, M.M & Carmona, M.A. (2013). Efecto de fitoestimulantes con fosfitos y mezcla de fungicidas sobre aspectos morfológicos del trigo (*Triticum aestivum*), mancha amarilla (*Pyrenophora tritici-repentis*) y componentes de rendimiento del cultivo. Recuperado de <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/efecto-fitoestimulantes-con-fosfitos-t30127.htm>
- Friesen, T.L., Meinhardt, S.W. & Faris J.D. (2007). The *Stagonospora nodorum* - wheat pathosystem involves multiple proteinaceous host-selective toxins and corresponding host sensitivity genes that interact in an inverse gene-for-gene manner. *Plant Journal*, 51, 681-692.
- Galich, M. T. V. de (1997). Fusarium head blight in Argentina. En H.J. Dubin, L. Gilchrist, J. Reeves & McNab, A. (Eds.) *Fusarium Head Scab: global status and future prospects. Proceedings of a Workshop held at CIMMYT (19-26)*. El Batán, Mexico: CIMMYT
- Gamba, F. & Estramil, E. (2012). Agresividad diferencial en una población uruguaya de *Cochliobolus sativus* en cebada. *Agrociencia*, 16, 108-114.
- Gilbert, J. & Haber, S. (2013). Overview of some recent research developments in Fusarium head blight of wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 35, 149-174.

- Giroux M.E., G. Bourgeois, Y. Dion, S. Rioux, D. Pageau, S. Zoghiami, C. Parent, E. Vachon & A. Vanasse. (2016). Evaluation of forecasting models for fusarium head blight of wheat under growing conditions of Quebec, Canada. *Plant Disease*, 100, 1192-1201.
- Goswami, R. S., Kistler, H. C. (2004). "Heading for disaster: Fusarium graminearum on cereal crops". *Molecular Plant Pathology*, 5, 515-525
- Goodwin, S.B. (2007). Back to basics and beyond: increasing the level of resistance to Septoria tritici blotch in wheat. *Australian Plant Pathology*, 36, 532–538.
- Goulart, A.C.P. & Paiva, F.A. (1990). Transmissão de *Pyricularia oryzae* através de sementes de trigo (*Triticum aestivum*). *Fitopatologia Brasileira*, 15, 359-362.
- Goulart, A.C.P. & Paiva, F.A. (1991). Controle de *Pyricularia oryza* e *Helminthosporium sativum* pelo tratamento de sementes de trigo com fungicidas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 26, 1988.
- Goulart, A.C.P. (2005). Perdas em trigo causadas pela brusone. En Workshop de Epidemiologia de Doenças de Plantas, Quantificação de perdas no manejo de doenças de plantas: anais (123-130). Viçosa: Brasil.
- Graham, R.D. & Webb, M.J. (1991) Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. En Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Schuman, L.M. & Welch, R.M. (Eds.), *Micronutrients in agriculture* (39-370). Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America.
- Greaney, F.J. & Wallace, H.A.H. (1943). Varietal susceptibility to kernel smudge in wheat. *Phytopathology*, 33, 4-5.
- Hammett, K.R.W. & Manners, J.G. (1971). Conidium liberation in *Erysiphe graminis*. I. Visual and statistical analysis of spore trap records. *Transaction of the British Mycological Society*, 56, 387-401.
- Herrman, T.J., Bowden, R.L., Loughin, T. & Bequette, R.K. (1996). Quality response to the control of leaf rust in karl hard red winter wheat. *Cereal Chemistry*, 73, 235-238
- Hewitt, H.G. (1998). *Fungicides in Crop Protection*. Wallingford: CAB International.
- Hirano, S. S., Upper, C. D. (2000). "Bacteria in the leaf ecosystem with emphasis on *Pseudomonas syringae* - a pathogen, ice nucleus, and epiphyte". *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64, 624-653.
- Hodges, C., Campbell, D. & Christians, N. (1994). Potential biocontrol of *Sclerotinia homeocarpa* and *Bipolaris sorokiniana* on the phylloplane of *Poa pratensis* with strains of *Pseudomonas* spp. *Plant Pathology*, 43, 500–506.
- Hoffland, E., Jeger, M. J. & van Beusichem, M. L. (2000). Effect of nitrogen supply rate on disease resistance in tomato depends on the pathogen. *Plant and Soil*, 218, 239-247.
- Hosford, R.M., Jr. Larez, C.R. & Hammond, J.J. (1987). Interaction of wheat period and temperature on *Pyrenophora tritici-repentis* infection and development in wheat of differing resistance. *Phytopathology*, 77, 1021-1027.
- Hovmøller, M.S., Walter, S. & Justesen, A.F. (2010). Escalating threat of wheat rusts. *Science*, 329, 369.
- <http://entoweb.okstate.edu/ddd/diseases/wsmv-hpv.pdf>

- Huber D.M. & Haneklaus S. (2007). Managing nutrition to control plant disease. *Federal Agricultural Research Centre*, 57, 313–322. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/228652549_Managing_nutrition_to_control_plant_disease.
- Huber, D.M. & McCay-Buis, T.S. (1993). A multiple component analysis of the take-all disease of cereals. *Plant Disease*, 77, 437-447.
- Huerta-Espino, J., Singh, R.P., Germán, S., McCallum, B.D., Park, R.F., Chen, W.Q., Bhardwaj, S.C. & Goyeau, H. (2011). Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Euphytica*, 179, 143-160.
- Hunger, B. (2004). Wheat streak mosaic virus prevalent in Western Oklahoma and the Panhandle. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Wheat-Streak-Mosaic-Virus-Prevalent-in-Western-and-Hunger/33b7346cbfd04bc41bd5673a2679ba92dcedcad3>.
- Hunter, T., Coker, R.R. & Royle, D.J. (1999). The teleomorph stage, *Mycosphaerella graminicola*, in epidemics of *Septoria tritici* blotch on winter wheat in the UK. *Plant Pathology*, 48, 51–57.
- Igarashi, S., Utiamada, C.M., Kasuma, A.H. & López, R.S. (1986). *Pyricularia* sp. em trigo. Ocurriencia de *Pyricularia* sp no Estado do Paraná. *Fitopatología Brasileira*, 11, 351–352.
- Ishikawa, S., Hare, M. C. & Kettlewell, P. S. (2012). Effects of strobilurin fungicide programmes and fertilizer nitrogen rates on winter wheat: severity of *Septoria tritici*, leaf senescence and yield. *J Agri Sci.*, 150, 411-426.
- Jarvis, W. R., Gubler, W. D. & Grove, G.G. (2002). Epidemiology of powdery mildews in agricultural pathosystems. En Bélanger, R.R., Bushnell, W. R., Dik, A J. & Carver, T.L.W. (Eds.), *The powdery mildews. A comprehensive treatise* (169-199). St. Paul, Minnesota: APS Pres.
- Jecke, F.A. & Mousegne, F.J. (2018). Estrategias de protección para el control de roya del tallo en trigo. *Revista de tecnología agropecuaria*, 10, 19-21. Recuperado de INTA_CRBsAsNorte_EEAPergamino_Jecke_Fernando_Estrategias_de_proteccion_para_el_control_de_roya_del_tallo_en_trigo.
- Jecke, F.A., Mousegne, F.J., Gaynor, S., Cabral, V. & Echamendi, C. (2020). Alternativas de control químico para la mancha amarilla del trigo. Recuperado de <https://inta.gob.ar/documentos/alternativas-de-control-quimico-para-la-mancha-amarilla-del-trigo>.
- Jenkyn, J.F. & Bainbridge, A. (1978). Biology and pathology of cereal powdery mildews. En Spencer, D.M. (Ed.), *The powdery mildews* (283-321). New York, EE.UU.: Academic Press.
- Jensen, S. G., Lane, L. C., Seifers, D. L. (1996). “A new disease of corn and wheat in the High Plains”. *Plant Disease*, 80, 1387-1390.
- Karjalainen, R., Lounatmaa, K. (1986). “Ultrastructure of penetration and colonization of wheat leaves by *Septoria nodorum*”. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 29, 263-270.
- Jørgensen, N. L., Hovmøller, M. S., Hansen, J. G., Lassen, P. & Clark, B. (2014). IPM strategies and their dilemmas including an introduction to www.eurowheat.org. *Journal of Integrative Agriculture*, 13, 265–281.
- Kageyama, K. & Nelson, E.B. (2003). Differential inactivation of seed exudate stimulation of *Pythium ultimum* sporangium germination by *Enterobacter cloacae* influences biological control efficacy on different plant species. *Applied and Environmental Microbiology*, 69, 1114-1120.

- Kandel, Y.R., Osborne, L.E., Glover, K.D., Tande, C. (2010). Response of hard red spring wheat germplasm to the bacterial leaf streak pathogen (*Xanthomonas campestris* pv. *translucens*). *Phytopathology*, 100, S59.
- Kang, Z., Zhao, J., Han, D., Zhang, H., Wang, X., Wang, C., Han, Q., Guo, J., Huang, L. (2010). Status of wheat rust research and control in China. En *BGRI 2010, Technical Workshop, Russia, St Petersburg, 30–31 May 2010* (50-69). Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Ralf-Voegele/publication/346110124_Nutrient_uptake_in_rust_fungi_How_sweet_is_parasitic_life/links/00b7d51b0c1241311d000000/Nutrient-uptake-in-rust-fungi-How-sweet-is-parasitic-life.pdf#page=54.
- King, J.E., Cook, R.J. & Melville, S.C. (1983). A review of Septoria diseases of wheat and barley. *Annals of Applied Biology*, 103, 345-373.
- Klein, T.A., Burgess, L.W. & Ellison, F.W. (1991). The incidence and spatial patterns of wheat plants infected by *Fusarium graminearum* group 1 and the effect of crown rot on yield. *Australian Journal of Agricultural Research*, 42, 399-407.
- Kohli, M. M., Reis, E. M. (1994). "Estrategias en el control de enfermedades de trigo". En Aapresid (ed.) *Actas de Conferencias del 3er Congreso Nacional de Siembra Directa. Estrategias para una producción sustentable* (174-192). Villa Giardino, Cordoba, Argentina.
- Kohli, M.M., Metha, Y.R., Guzmán, E., Viedma, L. & Cubilla, L.E. (2011). Pyricularia blast - A threat to wheat cultivation. *Czechoslovakia Journal Plant Breeding*, 47, S130-S134.
- Kolmer, J., Chen, X. & Jin, Y. (2009). Diseases which challenge global wheat production - The wheat rusts. En B.F.Carver (Ed.), *Wheat Science and Trade* (89-124). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Krupinsky, J.M. (1982). Observations on the host range of isolates of *Pyrenophora trichostoma*. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 4, 42-46.
- Krupinsky, J.M. (1994). Agressiveness of *Stagonospora nodorum* isolates from alternative hosts after passage through wheat. En *4th International Workshop on Septoria of Cereals* (Special Edition) (119-123). Radzikow, Poland: Hod. Rosl. Aklim. Nasien.
- Krupinsky, J.M. (1997). Agressiveness of *Stagonospora nodorum* isolates from perennial grasses on wheat. *Plant Disease*, 81, 1032-1036.
- Krupinsky, J.M., D.L. Tanaka, S.D. Merrill, M.A. Liebig, M.T. Lares & J.D. Harson. (2007). Crop sequence effects on leaf spot diseases of no-till spring wheat. *Agronomy Journal*, 99, 912–920.
- Kumar Vijay, R. & Shabana, P. (2002). Integrated disease management of leaf blight of wheat. *Annals of Plant Protection Sciences*, 10, 302- 307.
- Lamari, L. & Bernier, C.C. (1989a). Evaluation of wheat lines and cultivars to tan spot (*Pyrenophora tritici-repentis*) based on type lesions. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 11, 49-56.
- Lamari, L. & Bernier, C.C. (1989b). Virulence of isolates of *Pyrenophora tritici-repentis* on 11 wheat cultivars and cytology of the differential host reactions. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 11, 284-290.

- Li, Q., Xu, K., Wang, S., Li, M., Jiang, Y., Liang, X., Niu, J. & Wang, C. (2020). Enzymatic browning in wheat kernels produces symptom of black point caused by *Bipolaris sorokiniana*. *Frontiers in Microbiology*, *11*, 526266.
- Li, Q.Y., Niu, H.B., Xu, K. G., Xu, Q.Q., Wang, S.Y. & Liang, X.L. (2020). GWAS for resistance against black point caused by *Bipolaris sorokiniana* in wheat. *Journal of Cereal Science*, *91*, 105859.
- Lori, G.A. & Sisterna, M.N. (2014) Patologías causadas por *Fusarium* spp. y *Bipolaris sorokiniana*. En C.Cordo. & M. Sisterna (Eds.), *Enfermedades de trigo* (123-128). La Plata: Edulp.
- Machacek, J. E.& Greaney F. J. (1938). The 'black point' or kernel smudge' disease of cereals. *Canadian Journal of Research*, *16*, 84–113.
- Mahmood, T., Hein, G.L. & Jensen, S.G. (1998). Mixed infection of hard red winter wheat with high plains virus and wheat streak mosaic virus from wheat curl mites in Nebraska. *Plant Disease*, *82*, 311-315.
- Malbrán, I., Mourellos, C.A., Girotti, J.R., Balatti, P.A. & Lori, G.A. (2014). Toxigenic capacity and trichothecene production by *Fusarium graminearum* isolates from Argentina and their relationship with aggressiveness and fungal expansion in the wheat spike. *Phytopathology*, *104*, 357-364.
- Mann, R.L., Kettlewell, P.S. & Jenkinson, P. (2004). Effect of foliar-applied potassium chloride on septoria leaf blotch of winter wheat. *Plant Pathology*, *53*, 653-659.
- Maraite, H., Bragard, C. & Duveiller, E. (2007). The status of resistance to bacterial diseases of Wheat. En H.T Buck, J.E. Nisi, N. Salomón (Eds.). *Wheat production in stressed environments* (37-49). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Marsalis, M.A. & Goldberg, N.P. (2016). Leaf, stem, and stripe rust diseases of wheat. *College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences, New Mexico State University*. Recuperado de https://aces.nmsu.edu/pubs/_a/A415.pdf
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press.
- Mathre, D.E. (2000). Take-all disease on wheat, barley, and oats. Plant Health Progress. Recuperado de <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHP-2000-0623-01-DG>.
- Mathur, S. B. & Cunfer, M. (1993). Alternaria leaf blight. En *Seed-borne Diseases and Seed health testing of wheat* (9-11). Hellerup, Denmark: Danish Government Institute of Seed Pathology for Developing Countries. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/286098087_Detection_of_seed_borne_pathogens_in_wheat_Recent_trends
- Mboup, M., Leconte, M., Gautier, A., Wan, A.M., Chen, W., de Vallavieille-Pope, C. & Enjalbert J. (2009). Evidence of genetic recombination in wheat yellow rust populations of a Chinese overwintering area. *Fungal Genetics and Biology*, *46*, 299-307.
- McDonald, B.A. & Linde, C. (2002). Pathogen population genetics, evolutionary potential, and durable resistance. *Annual Review of Phytopathology*, *40*, 349-37.
- McIntosh, R.A. (1992). Close genetic linkage of genes conferring adult plant resistance to leaf rust and stripe rust in wheat. *Plant Pathology*, *41*, 523-527.

- McLean, M., Henry, F. & Hollaway, G. (2010). Stripe rust management in wheat. En *BCG 2010 Season Research Results* (140–142). Recuperado de <https://www.farmtrials.com.au/trial/14049>
- McMullen, M., Bergstrom, G., De Wolf, E., Dill-Macky, R., Hershman, D., Shaner, G., *et al.* (2012). A unified effort to fight an enemy of wheat and barley: Fusarium head blight. *Plant Disease*, 96, 1712–1728.
- Mehta, Y. R., Riede, C. R., Campos, L. A. C. & Kohli, M. M. (1992). “Integrated management of major wheat diseases in Brazil: an example of the Southern Cone region of Latin America”. *Crop Protection*, 11, 517-524.
- Mehta, Y.R. & Bassoi, M.C. (1993). Guazatine Plus as a seed treatment bactericide to eradicate *Xanthomonas campestris* pv. *undulosa* from wheat seeds. *Science and Technology*, 21, 9-24.
- Mehta, Y.R., Arias, C.A.A. & Toledo, J.F.F. (2001). Inheritance of resistance to *Magnaporthe grisea* in wheat. *Summa Phytopathologica*, 2, 300-304.
- Melgar, R., Magen, H., Torres Dugan, M. & Lavandera, J. (2001b). Respuesta a la aplicación de cloro en trigo en la región pampeana. En *Actas V Congreso Nacional de trigo. Carlos Paz, Córdoba*.
- Mesterhazy, A. (2002). “Role of deoxynivalenol in aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* and in resistance to Fusarium head blight”. *European Journal of Plant Pathology*, 108, 675-684.
- Mihtra, M.A. (1934). Leaf spot disease of wheat caused by *Helminthosporium tritici-repentis* Died. *Indian Journal of Agricultural Science*, 4, 692-700.
- Mikhailova, L.A., Ternyuk, I.G. & Mironenko, N.V. (2010). *Pyrenophora teres*, an agent causing wheat leaf spot. *Microbiology*, 79, 561–565.
- Milus, E. & Chalkley, D.B. (1994). Virulence of *Xanthomonas campestris* pv. *translucens* on selected wheat cultivars. *Plant Disease*, 78, 612-615.
- Milus, E.A., Kristensen, K. & Hovmøller, M.S. (2008). Increased aggressiveness of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* at least partially explains recent stripe rust epidemics. *Phytopathology*, 98, 107.
- Milus, E.A., Kristensen, K. & Hovmøller, M.S. (2009). Evidence for increased aggressiveness in a recent widespread strain of *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* causing stripe rust of wheat. *Phytopathology*, 99, 89-94.
- Monterroso, L., Juan, V.F., Urbina, J. & Petersen, M.I. (2008a). Eficiencia de fungicidas terapéuticos para semillas para el control de pietín del trigo. En *VII Congreso Nacional de Trigo. CD del V Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-invernal y I Encuentro del MERCOSUR. Sección Protección de Cultivos* (s. p.). Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Monterroso, L., Urbina, J., Petersen, M. I. (2008b). Pietín del trigo, estudio de incidencia y severidad en variedades de trigo. En *Libro de Resúmenes del 1er Congreso Argentino de Fitopatología (160)*. Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Moretti, A., Panzarini, G., Somma, S., Campagna, C., Ravaglia, S., Logrieco, A.F. & Solfrizzo, M. (2014). Systemic growth of *F. graminearum* in wheat plants and related accumulation of deoxynivalenol. *Toxins*, 6, 1308-1324.

- Moschini, R.C. & Fortugno, C. (1996). Predicting wheat head blight incidence using models based on meteorological factors in Pergamino, Argentina. *European Journal of Plant Pathology* 102: 211-218.
- Moschini, R.C., Sisterna, M.N. & Carmona, M.A. (2006). Modelling of wheat black point incidence based on meteorological variables in the southern Argentinean Pampas region. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57, 1151–1156.
- Moschini, R.C., Martínez, M.I. & Sepulcri, M.G. (2013). Modeling and forecasting systems for Fusarium head blight and deoxynivalenol content in wheat in Argentina. En T.M.Alconada Magliano & S.N. Chulze (Eds.), *Fusarium head blight in Latin America* (205-227). Dordrecht, The Netherlands: Springer Netherlands.
- Mourellos, C.A., Malbrán, I., Balatti, P.A., Ghiringhelli, P.D. & Lori, G.A. (2014). Gramineous and non-gramineous weed species as alternative hosts of *Fusarium graminearum*, causal agent of Fusarium head blight of wheat, in Argentina. *Crop Protection*, 65, 100-104.
- Moya, P. (2017). *Antagonismo y efecto biocontrolador de Trichoderma spp. sobre Drechslera teres, agente causal de la “mancha en red” de la cebada (Hordeum vulgare L. var. vulgare)* (Tesis Doctoral). Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/60044>
- Muhammad, S., Khan, A.I., Rehman, A.U., et al. (2015). Screening for leaf rust resistance and association of leaf rust with epidemiological factors in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52, 691-700.
- Munford, J.D. & Norton G.A. (1984). Economics of decision making in pest management. *Annual Review of Entomology*, 29, 157-174.
- Niu, Y.C., Li, Z.Q. & Shang, H.S. (1991). *Puccinia striiformis* West. f. sp. *leymi* and f. sp. *elymi*, two new formae speciales. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis*, 19, 58-62.
- Nome, S.F. (1975). Quemado del arroz. En Sarasola, A.A. & Roca de Sarasola, M.A. (Eds.) *Fitopatología; curso moderno 2* (106-113). Buenos Aires: Hemisferio Sur.
- O'Brien, L., Brown, J.S., Young, R.M. et al. (1980). Occurrence and distribution of wheat stripe rust in Victoria and susceptibility of commercial wheat cultivars. *Australasian Plant Pathology* 9, 14.
- Ostry, V. (2008). Alternaria mycotoxins: an overview of chemical characterization, producers, toxicity, analysis and occurrence in foodstuffs. *World Mycotoxin Journal*, 1, 175-188.
- Ou, S.H. (1985). Rice Diseases. En *Commonwealth Mycological Institute* (109-201). Kew, England: CAB International.
- Palazzini, J., Roncallo, P., Cantoro, R., Chiotta, M., Yerkovich, N., Palacios, S., Echenique, V., Torres, A., Ramirez, M., Karlovsky, P. & Chulze, S. (2018) Biocontrol of *Fusarium graminearum sensu stricto*, reduction of deoxynivalenol accumulation and phytohormone induction by two selected antagonists. *Toxins*, 10, 88.
- Palazzini, J.M. Llabot, J.M., Cantoro, R., Chiotta, M.L., Allemandi, D.A., Torres, A.M. & Chulze, S.N. (2020). Spray-drying process as a suitable tool for the formulation of *Bacillus velezensis* RC218, a proved biocontrol agent to reduce Fusarium Head Blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. *Biocontrol Science and Technology*, 30, 329-338.

- Pande, S., Mukuru, S.Z., Odhiambo, R.O. & Karunakar, R.I. (1994). Seedborne infection of *Eleusine coracana* by *Bipolaris nodulosa* and *Pyricularia grisea* in Uganda and Kenya. *Plant Disease*, 78, 60-63.
- Parry, D. W., Jenkinson, P. & McLeod, L. (1995). Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals - a review. *Plant Pathology*, 44, 207-238.
- Pasinetti, L. (1931). Anatomical and physiological research on black point of San Martin Argentine wheat. *Rivista di Patologia Vegetale*, 21, 115-156.
- Paul, P.A., Lipps, P.E., Hershman, D.E., McMullen, M.P., Draper, M.A. & Madden, L.V. (2008). Efficacy of triazole-based fungicides for Fusarium head blight and deoxynivalenol control in wheat: a multivariate meta-analysis. *Phytopathology*, 98, 999-1011.
- Paulitz, T. C., Okubara, P. A. & Schroeder, K. L. (2009). Integrated control of soilborne pathogens of wheat. *Recent Developments in Management of Plant Diseases (Plant Pathology in the 21st Century)*, 1, 229-245.
- Perelló, A.E. (2007). Enfermedades nuevas y emergentes en trigo. Manejo de bajo impacto ambiental con microorganismos antagonistas. Jornada de Actualización en enfermedades de trigo. Instituto Fitotécnico de Santa Catalina, Lavallol.
- Perelló, A.E. (2010). New and emerging fungal pathogens associated with leaf blight symptoms on wheat (*Triticum aestivum*) in Argentina. En A.Arya & A. Perelló (Eds.), *Management of fungal plant pathogens* (231-244). United Kingdom: CAB International.
- Perelló, A.E. (2014). Enfermedades nuevas y emergentes. Patologías asociadas al complejo *Alternaria*. En Cordo C. & Sisterna, M. (Eds.), *Enfermedades del trigo* (187-199). La Plata: Edulp.
- Perelló, A.E., Mónaco, C., Simón, M.R., Sisterna, M. & Bello, G.D. (2003). Biocontrol efficacy of *Trichoderma* isolates for tan spot of wheat in Argentina. *Crop Protection*, 22, 1089-1106.
- Perelló, A.E., Mónaco, C., Moreno, M.V., Simón, M.R. & Cordo, C.A. (2004). Biocontrol de la mancha amarilla y mancha de la hoja del trigo con *Trichoderma* spp. bajo condiciones de campo. En *Actas del Congreso Nacional de trigo, VI Simposio Nacional de Cultivos de Siembra Otoño-Invernal* (55-256). Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional del Sur, Departamento de Agronomía.
- Perelló, A., Moreno, V., Sisterna, M. & Castro, A. (2005). Occurrence and characterization on wheat of the *Alternaria infectoria* complex associated with black point and leaf blight symptoms in Argentina. En *SAGPyA and INTA. 7th Internacional Wheat Conference* (149). Mar del Plata, Argentina.
- Perelló, A., Mónaco, C., Moreno, M.V., Simón, M.R. & Cordo, C. (2006). *Trichoderma* spp. isolates as potential biological agents for foliar wheat diseases under field conditions in Argentina. *Biocontrol Science and Technology*, 16, 803-813.
- Perelló, A. & Sisterna, M. (2006). Leaf blight of wheat caused by *Alternaria triticina* in Argentina. *Plant Pathology*, 55, 303-303.
- Perelló, A., Moreno, M.V., Mónaco, C. & Simón, M.R. (2008a). Effect of *Trichoderma* spp. isolates for biological control of tan spot of wheat caused by *Pyrenophora tritici-repentis* under field conditions in Argentina. *BioControl*, 53, 895-904.

- Perelló, A., Moreno, V. & Sisterna, M. (2008b). *Alternaria infectoria* species-group associated with black point of wheat in Argentina. *Plant Pathology*, 57, 379.
- Perelló, A., Ballestra, N., Larrán, S., Simón, M.R. (2009). Transmisión y efecto de *Alternaria* grupo infectoria en semillas de trigo. En *Libro de Resúmenes de las XIII Jornadas fitosanitarias Argentinas* (E 077). Santiago del Estero, Argentina.
- Perelló, A., Labuda, R. & Sulyok, M. (2012a). Pathogenicity and toxins of *Alternaria speciesgroups* on wheat in Argentina. En *5th International Meeting of Mycotoxicology*. Milan, Italy.
- Perelló, A., Stenglein, S., Moreno, V. & Labuda, R. (2012b). *Alternaria* species-groups: identification, patogenicidad y toxinas involucradas. En *Cereales de Invierno: Investigación Científico-Técnica* (187-196). Tandil, Buenos Aires, Argentina: INBABIOLAB Azul.
- Perelló, A.E., Couretot, L., Curti, A., Uranga, J.P. & Consolo, V.F. (2019) First report of spot lesion of wheat caused by *Pyrenophora teres* f. sp. *maculata* observed in Argentina. *Crop Protection*, 122, 19-22.
- Pérez Fernández, J. & Corró Molas, A. (2001). Siembra directa y enfermedades en cereales. En Ormeño, O. & Quiroga, A. Cobertura (Eds.). *Aspectos del manejo en relación con la conservación de los suelos y el agua. Boletín de Divulgación Técnica N° 72* (19-30). La Pampa: INTA E.E. Anguil.
- Pérez Fernández, J. (2004). Enfermedades radicales del trigo: pietín de los cereales. En *Libro de actas de A todo trigo* (211-214). Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Peterson, R.F., Campbell, F.A. & Hannah, A.E. (1948). A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canadian Journal of Research*, 26, 496-500.
- Ponomarenko, A., Goodwin, S.B. & Kema, G.H.J. (2011). Septoria tritici blotch (STB) of wheat. *Plant Health Instructor* Recuperado de <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/fungalsco/pdlessons/Pages/Septoria.aspx>
- Poole, N.F. & Arnaudin, M.E. (2014). The role of fungicides for effective disease management in cereal crops. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 36, 1–11.
- Precigout, P.A., Claessen, D., Makowski, D. & Robert, C. (2020). Does the latent period of leaf fungal pathogens reflect their trophic type? A meta-analysis of biotrophs, hemibiotrophs, and necrotrophs. *Phytopathology*, 110, 145-161.
- Prescott, J.M., Burnett, P.A., Saari, E.E., Ransom, J., Bowman, J., De Milliano, W., Singh, R.P. & Bekele, G. (1986). *Wheat diseases and pests: a guide for field identification*. México, D.F.: CIMMYT.
- Pretorius, Z. A., Bender, C. M., Visser, B. & Terefe, T. (2010). First reports of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* race virulent to the *Sr24* and *Sr31* wheat stem rust resistance genes in South Africa. *Plant Disease*, 94, 784. Recuperado de <http://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PDIS-94-6-0784C>.
- Rana, J.P. & Gupta, P.K.S. (1982). Occurrence of black point disease or wheat in West Bengal. *Indian Phytopathology*, 35, 700-702.
- Reis, E.M. (1987). Doencas do Trigo. IV-Septoriosis. Passo Fundo, Brasil: CIBA-GEIGY.
- Reis, E. M. (1990). Integrated disease management –the changing concepts of controlling head blight and spot blotch. En: D.A.Saunders (Ed.) *Proceeding of the International*

- Conference Wheat for the Nontraditional Warm Areas* (165-177). Mexico D.F.: CIMMYT.
- Reis, E., M., Cook, R.J. & Mc Neal, B.L. (1982). Effect of mineral nutrition on take-all of wheat. *Phytopathology*, 72, 221-229.
- Reis, E.M., Blum, M.C., Forcelini, C.A. (1995) Sobrevivência de *Pyricularia oryzae*, associada as sementes de trigo. *Summa Phytopathologica*, 21, 43-44.
- Reis, E. M. & Casa, R.T. (1998). *Patologia de sementes de cereais de inverno*. Passo Fundo.
- Reis, M.E., Moreira, E.N., Casa, R.T., Blum, M.M.C. (2008). Eficiência persistencia de fungicidas no controle do oídio do trigo via tratamento de sementes. *Summa Phhytopahtologica*, 34, 371-374.
- Reis E.M. & Carmona M.A. (2013). Integrated disease management of fusarium head blight. En Alconada Magliano, T.M. & Chulze, S.N. (Eds.), *Fusarium head blight in Latin America* (159-173). Dordrecht, The Netherlands: Springer Netherlands.
- Reis, E.M. & Carmona, M.A. (2013). Classification of fungicides. En Wheeler, M.N. & Johnston, B.R. (Eds.), *Fungicides: Classification, Role in Disease Management and Toxicity Effects* (91-104). New York, NY: Nova Science Publishers.
- Roelfs, A.P., Singh, R.P. & Saari E.E. (1992). *Rust Diseases of wheat: concepts and methods of disease management*. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Sagadin, M. & Truol, G. (2008). Medidas de manejo para WSMV: fechas de siembra, transmisión por semilla. Workshop en virosis de cereales transmitidas por el ácaro *Aceria tosichella*-Wheat streak mosaic virus, en los países de Cono Sur: situación, detección y manejo (13-14). Capital Federal, Buenos Aires, Argentina.
- Sánchez-Vallet, A., McDonald, M.C., Solomon, P.S. & McDonald, B.A. (2015). Is *Zymoseptoria tritici* a hemibiotroph? *Fungal Genetics and Biology*, 79, 29-32.
- Savary, S., Willocquet, L., Pethybridge, S.J., Esker, P., Willocquet, L., Pethybridge, S.J., McRoberts, N. & Nelson, A. (2019). The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution*, 3, 430-439.
- Schaad, N.W., Jones, J.B. & Chun, W. (2001). *Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria*. St Paul, Minnesota, EE. UU.: APS Press.
- Schierenbeck, M., Fleitas, M.C., Cortese, F., Golik, S.I. & Simón, M.R. (2019). Nitrogen accumulation in grains, remobilization, and post-anthesis uptake under tan spot and leaf rust infections on wheat. *Field Crops Research*, 235, 27-37.
- Schierenbeck, M., Fleitas, M.C., Miralles, D.J. & Simón, MR. (2016a). Does radiation interception or radiation use efficiency limit the growth of wheat inoculated with tan spot or leaf rust? *Field Crops Research*, 199, 65-76.
- Schierenbeck, M., Fleitas, M.C., Miralles, D. & Simón, M.R. (2016b). Radiation use efficiency and crop growth on wheat under *Pyrenophora tritici-repentis* and *Puccinia triticina* infection. *Field Crops Research*, 69, 165-176.
- Schroeder, H. W., Christensen, J. J. (1963). Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*". *Phytopathology*, 53, 831-838.

- Schröder, J. & Hassebrauk, K. (1964). Untersuchungen über die Keimung der Uredosporen des Gelbrostes (*Puccinia striiformis* West). *Zentralb Bakteriell Parasitenk Infektionskrank Hyg*, 118, 622- 657.
- Schuh W. (1990). Influence of tillage systems on disease intensity and spatial pattern of Septoria leaf blotch. *Phytopathology*, 80, 1337–1340.
- Schutt A.N., Velázquez, L. & de Souza J.C. (2009). Epidemiología de las enfermedades en el cultivo de trigo. *Proyecto Regional Agrícola (11 Nov 2009)*. Boletín Fitopatológico INTA. Cultivo de Trigo 1, 4.
- Scott, P. M. (2001). Analysis of agricultural commodities and foods for Alternaria mycotoxins. *Journal of AOAC International*, 84, 1809-1817.
- Shane, W.W., Baumer, J.S. & Teng, P.S. (1987). Crop losses caused by Xanthomonas streak on spring wheat and barley. *Plant Disease*, 71, 927-930.
- Shaner, G. (1981). Effect of environment on fungal leaf blights of small grains. *Annual Review of Phytopathology*, 1, 273-296.
- Sharma, P., Duveiller, E. & Sharma, R.C. (2006). Effect of mineral nutrients on spot blotch severity in wheat, and associated increases in grain yield. *Field Crops Research*, 95, 426-430.
- Sharma, S., Duveiller, E., Basnet, R., Karki, C.B. & Sharma, R.C. (2005). Effect of potash fertilization on Helminthosporium leaf blight severity in wheat, and associated increases in grain yield and kernel weight. *Field Crops Research*, 93,142-150.
- Simmons, E.G. (2007). *Alternaria: An Identification Manual*. Washington D.C.: American Society of Microbiology.
- Simoglou K.B. & Dordas, C. (2006). Effect of foliar applied boron, manganese and zinc on tan spot in winter durum wheat. *Crop Protection*, 25, 657-663.
- Simón, M.R. & Cordo, C.A. (1998). Diallel analysis of four resistance components to *Septoria tritici* in six crosses of wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Breeding*, 117, 123-126.
- Simón, M.R., Worland, A.J. & Struik, P.C. (2004). Influence of plant height and heading date on the expression of the resistance to *Septoria tritici* blotch in near isogenic lines of wheat. *Crop Science*, 44, 2078–2085.
- Simón, M.R., Ayala, F.M., Cordo, C.A., Röder, M.S. & Börner, A. (2004). Molecular mapping of quantitative trait loci determining resistance to septoria tritici blotch caused by *Mycosphaerella graminicola* in wheat. *Euphytica*, 138, 41-48.
- Simón, M.R., Perelló, A.E., Cordo, C.A., Larran, S., van der Putten, P.E.L. & Struik, P.C. (2005). Association between *Septoria tritici* blotch, plant height, and heading date in wheat. *Agronomy Journal*, 97, 1072–1081.
- Simón, M.R., Ayala, F., Terrile, I. Golik, S. Perelló. A., Cordo, C.A. & Chidichimo, H. (2011). Integrated foliar disease management to prevent yield loss in Argentinian wheat production. *Agronomy Journal*, 103, 1441-1451.
- Singh, A. K., Singh, R.N. & Sinha, R.P. (1992). Alternaria leaf blight resistance in relation to plant habit in wheat. *Journal of Applied Biology*, 2, 1-2.
- Singh, P.R., Hodson, P.D., Jin, Y., Huerta, E.J., Kinyua, G.M., Wanyera, R., Njau, P. & Ward, W.R. (2006). Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat

- production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources 1 (054).
- Singh, R.S. (1990). *Plant Diseases*. New Delhi, India: Oxford IBH Publishing Co Pvt Ltd.
- SINAVIMO, 2021. Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas (sinavimo.gob.ar)
- Sisterna, M. (2014). Manchado de la semilla/grano de trigo. En Cordo C. & Sisterna, M. (Eds.), *Enfermedades del trigo* (77-91). La Plata: Edulp.
- Smiley, R.W., Collins, H.P. & Rasmussen, P.E. (1996). Diseases of wheat in long-term agronomic experiments at Pendleton, Oregon. *Plant Disease*, 80, 813-820.
- Smiley, R.W., Gourlie, J.A., Easley, S.A., Patterson, L. M. & Whittaker, R.G. (2005). Crop damage estimates for crown rot of wheat and barley in the Pacific Northwest. *Plant Disease*, 89, 595–604.
- Smith, J.D., Kidwell, K.K., Evans, M.A., Cook, R.J. & Smiley, R.W. (2003). Evaluation of spring cereal grains and wild *Triticum* germplasm for resistance to *Rhizoctonia solani* AG-8. *Crop Science*, 43,701-709.
- Solomon, P.S., Tan, K.C. & Oliver, R.P. (2003). The nutrient supply of pathogenic fungi; fertile field for study. *Molecular Plant Pathology*, 4, 203-210.
- Southwell, R.J., Brown, J.F. & Wong, P.T.W. (1980). Effect of inoculum density, stage of plant growth and dew period on the incidence of black point caused by *Alternaria alternata* in durum wheat. *Annals of Applied Biology*, 96, 29-35.
- Spolti, P., Del Ponte, E.M., Dong, Y., Cummings, J.A. & Bergstrom, G.C. (2013). Triazole sensitivity in a contemporary population of *Fusarium graminearum* from New York wheat and competitiveness of a tebuconazole-resistant isolate. *Plant Disease*, 98, 607-613.
- Stack, R. W., McMullen, M. P. (1995). A visual scale to estimate severity of *Fusarium* head blight. Ext. Circ. PP-1095. North Dakota State Univ. extension service, Fargo, EE. UU. <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/smgrains/pp1095w.htm>.
- Sugia, V. (2009). *Daños y pérdidas causadas por la roya del trigo determinación de umbrales de daño económico y de acción*. Tesis MSc. en Protección Vegetal, UNLP, Argentina.
- Terrile, I.I., Couretot, L. & Samoiloff, A. (2019). Panorama y comportamiento sanitario de variedades de trigo en la zona norte de la provincia de Bs. As. campaña 2018. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_pergamino_panorama_y_comportamiento_sanitario_de_variedades_de_trigo_en_la_zona_norte_de_la_provincia_de_bs._as._campana_2018.pdf
- Toklu, F., Akgül, D. F., Biçici, M. & Karaköy, T. (2008). The relationship between black point and fungi species and effects of black point on seed germination properties in bread wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32, 267-27.
- Torres, A.M., Palacios, S.A., Yerkovich, N., Palazzini, J.M., Battilani, P. J., Leslie, F., Logrieco, A.F. & Chulze S.N. (2019). *Fusarium* head blight and mycotoxins in wheat: prevention and control strategies across the food chain. *World Mycotoxin Journal*, 12, 333-355.
- Truol, G. (2009). *Enfermedades Virales Asociadas al Cultivo de Trigo en Argentina: Reconocimiento, Importancia, Formas de Transmisión y Manejo*. INTA. 77 pp.

- Truol, G.A.M. (2014). Enfermedades virales. En Cordo C. & Sisterna, M. (Eds.), *Enfermedades del trigo* (301-320). La Plata: Edulp.
- Truol, G. & Sagadin, M. (2008). "Prospeccion de las enfermedades virales del cultivo de trigo en la provincia de Cordoba". *Informe N.º 7. Enfermedades virales asociadas al cultivo de trigo en Argentina*, 7.
- Turham, G. (1993). Mycoparasitism of *Alternaria alternata* by additional eight fungi indicating the existence of further unknown candidates for biological control. *Journal of Phytopathology*, 138, 283-291.
- Uranga, J.P., Schierenbeck, M., Perelló, A.E., Lohwasser, U., Börner, A. & Simón M.R. (2020). Localization of QTL for resistance to *Pyrenophora teres f. maculata*, a new wheat pathogen *Euphytica*, 216, 56-69.
- Urashima, A.S., Lavorent, N.A., Goulart, C.P. & Mehta, Y.R. (2004). Resistance spectra of wheat cultivars and virulence diversity of *Magnaporthe grisea* isolates in Brazil. *Fitopatologia Brasileira*, 29, 511–518.
- Van der Plaats-Niterinck, A.J. (1981). *Monograph of the genus Pythium. Studies in Mycology* No. 21. Baarn, The Netherlands: Centraalbureau Voor Schimmelcultures.
- Viljanen-Rollinson, S. L. H., Parkes, R. A., Armour, T. & Cromey, M. G. (2002). Fungicide control of stripe rust in wheat: protection or eradication. *New Zealand Plant Protection*, 55, 336–340.
- Viljanen-Rollinson, S.L.H., Marroni, M.V. & Butler, R.C. (2010). Benefits from plant resistance in reducing reliance on fungicides in cereal disease management. *New Zealand Plant Protection*, 63, 145–150.
- Wangai, A., Plumb, R.T. & Van Emden, H.F. (2000). Effects of sowing date and insecticides on cereal aphid populations and barley yellow dwarf virus on barley in Kenya. *Journal of Phytopathology*, 148, 33-37.
- Weber, G.F. (1922). Septoria diseases of cereals. II. Septoria diseases of wheat. *Phytopathology*, 12, 537-585.
- Wegulo, S.N, Klein, R.N. & Harveson, R.M. (2012). Tan spot of wheat. Recuperado de <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g429.pdf>
- Welandia, M., Rejesus, R.M., Jones, D.C., Price, J.A., Workneh, F. & Rush, C.M. (2010). Economic impact of wheat streak mosaic virus in the Texas high plains. *Crop Protection*, 29, 699-703.
- Weller, D.M., Landa, B.B., Mavrodi, O.V., Schroeder, K.L., De La Fuente, L., Bankhead, S.B., Allende-Molar, R., Bonsall, R.F., Mavrodi, D.V. & Thomashow, L.S. (2007). Role of 2,4-diacetylphloroglucinol-producing fluorescent *Pseudomonas* spp. in the defense of plant roots. *Plant Biology*, 9, 4-20.
- Wellings, C.R., McIntosh, R.A. & Hussain, M. (1988). A new source of resistance to *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in spring wheats (*Triticum aestivum*). *Plant Breeding*, 100, 88-96.
- Wiese, M.V. (1987). *Compendium of wheat diseases*. St Paul, MN: American Phytopathological Society.
- Wilcoxson, R. D., Saari, E. (1996). *Bunt and smut disease of wheat. Concepts and methods of disease management*. México, D.F.: CIMMYT.

- Williamson, P.M. (1997). Black point of wheat: in vitro production of symptoms, enzymes involved and association with *Alternaria alternate*. *Australian Journal of Agricultural Research*, 48, 13–19.
- Wolcan, S.M. (2014). Patologías causadas por *Fusarium* spp. y *Bipolaris sorokiniana*. En Cordo C. & Sisterna, M. (Eds.), *Enfermedades del trigo* (123-128). La Plata: Edulp.
- Wójtowicz, A., Kubiak, K., Gwiazdowski, R. & Pasternak, M. (2016). Development of models for simulation the influence of temperature on teliospores germination of *Tilletia caries* (DC.) Tul. & C. Tul. and *Tilletia laevis* J.G. Kühn. *Progress in Plant Protection*, 56, 125-128.
- Xi, K., Kumar, K., Holtz, M. D., Turkington, T. K. & Chapman, B. (2015). Understanding the development and management of stripe rust in central Alberta. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 37, 21–39.
- Yarwood C.E. (1950). Water content of fungus spores. *American Journal of Botany*, 37, 636-639.
- Zhao, Y., Selvaraj, J.N., Xing, F., Zhou, L., Wang, Y., Song, H., Tan, X., Sun, L., Sangare, L., Folly, Y.M.E. & Liu, Y. (2014). Antagonistic action of *Bacillus subtilis* Strain SG6 on *Fusarium graminearum*. *PLoS ONE*, 9, e92486.
- Zillinsky, F.J. (1984). *Common diseases of small grain cereals: a guide to identification*. México D.F.: CIMMYT.
- Zoldan, S.M. (2008). *Regiões de risco, caracterização da antese em cereais de inverno e sistema de alerta para giberela, em trigo* (Tesis de Doctorado). Recuperado de <http://tede.upf.br/jspui/handle/tede/404>

CAPÍTULO 7

Trigo: Manejo de plagas

Juan Pablo Uranga, Axel Iván Voisin

Introducción

Cuando hablamos de plaga agrícola nos referimos a una población de animales fitófagos, es decir que se alimentan de plantas, la cual produce una merma en el rendimiento del cultivo, reduce su valor comercial o incrementa los costos de producción. Básicamente es un criterio económico. En los cultivos invernales la probabilidad de que un insecto se convierta en plaga es menor, ya que poseen una dinámica diferente a las de los cultivos de estivales. Por lo tanto, ocasionalmente se utilizan insecticidas (Ribeiro *et al.*, 2014).

Al trigo lo afectan diversos fitófagos, la intensidad del ataque va a depender del estadio de la plaga, su densidad poblacional y el estado de desarrollo del cultivo. Las plagas que provocan daños económicos importantes, se describirán en orden de aparición (Fig. 7.1).

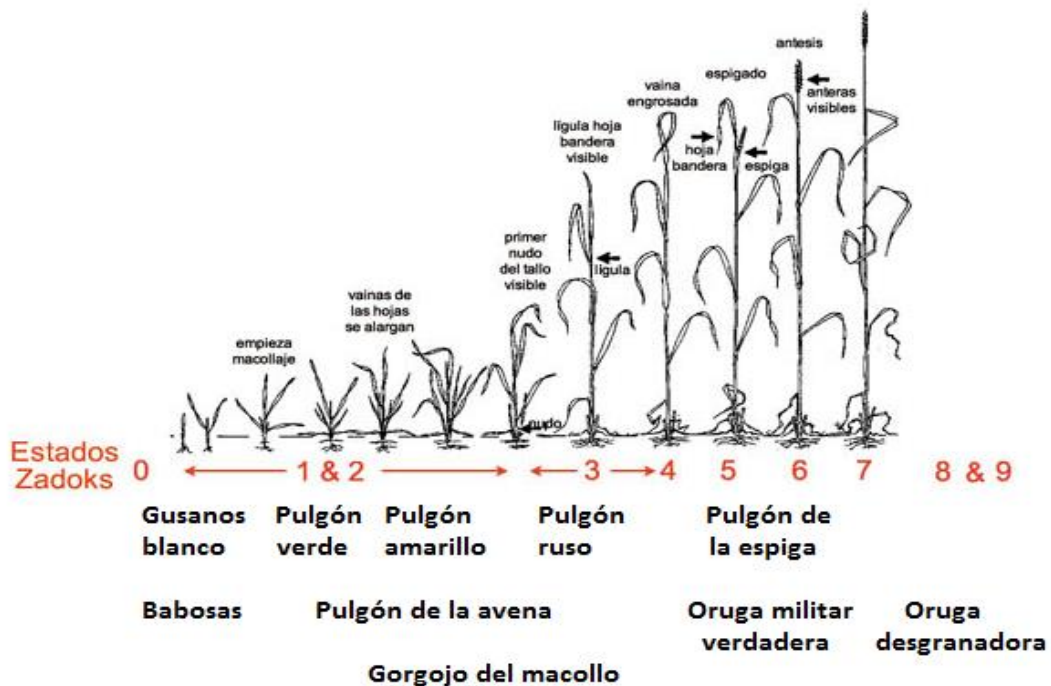


Fig. 7.1. Principales plagas insectiles en diferentes estadios fenológicos del trigo. Adaptado de Rawson & Gomez Macpherson, 2001.

Gusanos blancos (*Diloboderus abderus*)

Son un conjunto de larvas de la familia Scarabaeidae donde se destaca *Diloboderus abderus* Sturm, “bicho torito”, considerado una de las plagas de mayor importancia en trigo (Vázquez, 2005). Las larvas poseen cabeza de color rojizo con grandes mandíbulas, cuerpo blanco en forma de “C”, con el último tramo del abdomen oscuro ya que acumula tierra en esa parte (Fig. 7.2a).

Diloboderus abderus posee una generación al año, escalonando la aparición de adultos, entre fines de noviembre y principio de diciembre. Los machos del “bichos torito” no pueden volar (Fig. 7.2b), y las hembras luego de fecundadas, hacen vuelos cortos, y en cuevas pequeñas depositan los huevos, los cuales en una semana darán origen a las larvas. El último estadio larval (poseen 3 estadios) coincide con la segunda mitad de marzo y es el más consumidor. En octubre pasa a pre-pupa, la larva disminuye su actividad, evacua su tracto intestinal y pierde la forma de “C”. Los estados de pre-pupa, pupa y adulto no ocasionan daños (Vincini & Alvarez Castillo, 2009).



Fig. 7.2. *Diloboderus abderus*, a) larva (Fuente *Wheat Doctor*, CIMMYT); b) macho adulto “bicho torito”
Fuente: Álvarez, 2008.

En cuanto a los daños que causa esta larva, en pre-emergencia se alimentan de las semillas, luego consumen hojas y raíces, matando plántulas, y en macollaje debido a las bajas temperaturas bajan la actividad. En espigazón al subir la temperatura vuelven a alimentarse para acumular reservas para empupar (Fava & Imwinkelried, 2004).

Babosas (*Deroceras reticulatum*, *Deroceras laeve* y *Milax gagates*)

Aumentaron su importancia con la siembra directa. Las especies son *Deroceras reticulatum* “babosa gris”, *D. laeve* “babosa gris chica” y *Milax gagates* “babosa carenada” (Fig. 7.3). Son hermafroditas y depositan de 10 a 15 huevos protegidos en grietas o abajo del rastrojo. Pueden medir hasta 6 cm. La “babosa gris” segrega mucus blanco lechoso, y la “babosa gris chica un mucus translucido”. La “babosa carenada” se caracteriza por poseer una quilla (Fig. 7.3c) (Clemente *et al.*, 2010).

Producen daños al consumir semillas, y se alimentan de las primeras hojas del cultivo. Los daños en las hojas lo producen en el radio en sentido longitudinal, las cuales quedan deshilachadas. Producen disminución de plantas o déficit en su desarrollo.



Fig. 7.3. Individuos adultos de a) *Deroceras reticulatum* (Fuente: Joseph Berger). b) *Deroceras laeve* (Fuente: Charles Olsen) y c) *Milax gagates* (Fuente: Charles Olsen).

Gorgojo del macollo (*Listronotus bonaeiriensis*)

Los adultos tienen 3 mm de largo, son grises, viven en el suelo y son difíciles de encontrar (Fig. 7.4). Al principio del invierno ponen de 2 a 5 huevos de color amarillento, de forma subepidérmica en hilera, en el coleóptilo o dentro de las vainas de las hojas próximas al suelo. Posee cuatro estadios larvales que desarrollan dentro de los macollos. En primavera - verano, alcanzan el estado de pupa y luego emerge el adulto.

Producen disminuciones de rendimiento de hasta 30%. Las larvas tipo minadoras se ubican en la corona y destruyen las yemas de los macollos o raíces. Las plántulas afectadas se secan y más adelante se produce la pérdida de macollos, vuelco y reducción del número de raíces. Los adultos producen pequeñas perforaciones en las hojas, que no afectan el crecimiento de las plantas. Se recomienda buscar los huevos durante las etapas de emergencia – macollaje, observando la transparencia en las vainas de las hojas, cerca de la base de los macollos. No hay estimaciones de umbrales de daño (Gamundi *et al.*, 1997).



Fig. 7.4. Insecto de *L. bonariensis* adulto.
Fuente: Pest and Diseases Image Library, Bugwood.org

Pulgones de los cereales

Los “pulgones” o áfidos (Insecta: Hemiptera, Homoptera: Aphididae) son una de las principales plagas en trigo en todo el mundo, causando daños durante todo el ciclo del cultivo, reduciendo así su rendimiento (Imwinkelried *et al.*, 2004). Son pequeños, con cuerpo blando, piriformes, con un largo de 1,5 a 3 mm, con aparato bucal picador - suctor, y apéndices (sifones y cauda) en la parte posterior del abdomen. Existen formas ápteras y aladas, y algunos son sexuales y otras partenogénicas. Los alados llegan al cultivo, dejan descendencia áptera que se reproduce por partenogénesis y forman muy rápido grandes colonias (Barbagallo *et al.*, 1998). Atacan al cultivo desde la emergencia hasta cosecha, ocasionando daños directos e indirectos a las plantas produciendo pérdidas en el rendimiento. Directamente lo afectan mediante la succión de carbohidratos y aminoácidos o inyectando saliva tóxica, provocando una clorosis y necrosis del tejido de la hoja, y por transmisión de virus y secreción de melazas de manera indirecta. La melaza en las hojas atrae hongos saprófitos que lo usan como sustrato. Las plantas se cubren “fumagina”, un hongo de color negruzco, disminuyendo la eficiencia en el uso de la radiación y la asimilación de dióxido de carbono. De esta manera reducen la capacidad fotosintética, las reservas de carbohidratos y limitan el crecimiento de raíces. En plántula ocasionan los mayores daños y también durante el llenado de granos afectando el peso de los mismos (Sadras *et al.*, 1999).

Especies principales de pulgones

Pulgón verde de los cereales (*Schizaphis graminum*)

Es una plaga tradicional ampliamente distribuida en la zona triguera (Nuessly y Russell, 2005). Su cuerpo es ovalado de 1,7 a 2 mm de longitud, de color verde con una franja verde más oscura en el dorso (Fig. 7.5). Las antenas son oscuras y su largo no supera la mitad del cuerpo. Las patas no difieren del color del cuerpo mientras que la cauda y los sifones son más pálidos que el color del cuerpo, y están bien desarrollados con ápices negros distintivos. El adulto alado presenta la cabeza y el tórax color amarillento y el abdomen verde claro a oscuro. Se localiza en el envés de las hojas y en los tallos hasta encañazón (Imwinkelried *et al.*, 2004).

Produce daños directos por su alimentación y por inyectar saliva tóxica, lo cual produce clorosis y posterior necrosis. Pueden causar la muerte de las plántulas si colonizan tempranamente el cultivo.



Fig. 7.5. “Pulgón verde de los cereales” *Schizaphis graminum*.
Fuente: Kent Loeffler.

Pulgón amarillo de los cereales (*Metopolophum dirhodum*)

Su cuerpo es de coloración verde pálido a amarillento con una franja longitudinal más oscura en el dorso, con ojos rojizos y un largo de 2 a 3 mm. Las antenas largas que superan la base de los sifones y presentan los ápices más oscuros. Las patas y los sifones cilíndricos y ligeramente oscuros en los extremos no difieren del color del cuerpo. Se ubican en el envés de las hojas intermedias de la planta, luego van subiendo a las hojas superiores, pudiendo llegar a la espiga (Quintana & Soto, 1980).

Aparecen desde macollaje a encañazón, succionan fotoasimilados y transmiten el virus del “enanismo amarillo de la cebada” (BYDV) (Truol, 2007). En ataques intensos y prolongados se han registrado pérdidas del rendimiento de hasta un 25% (Aragón, 1997).

Pulgón ruso del trigo (*Diuraphis noxia*)

Este pulgón que afecta principalmente en primavera secas es de color verde pálido a grisáceo con cuerpo alargado de 2,3 mm de longitud, con antenas muy cortas del mismo color (Fig. 7.6). Poseen sifones pequeños no visibles a simple vista y presentan un tubérculo supra-caudal. Aparecen desde fin de macollaje hasta madurez fisiológica (Ortego & Delfino, 1994) ubicándose en la parte superior de las plantas. Provocan un enrollamiento longitudinal de las hojas debido a la extracción de asimilados y la saliva tóxica produce un estriado color púrpura o blanco, dependiendo si las temperaturas son bajas o templadas, respectivamente. A su vez provocan espigas vanas o deformadas e incluso pueden evitar su emergencia (Salto & Imwinkelried, 1993).



Fig. 7.6. *Pulgón ruso del trigo (Diuraphis noxia)*.
Fuente: Frank Peairs.

Pulgón de la avena (*Rhopalosiphum padi*)

El pulgón de la avena posee una coloración verde oliva a pardo y en la base de los sifones y la cauda tienen manchas rojizas, su longitud es de 1,4 a 2 mm y presenta una banda verde oscura a lo largo del dorso (Fig. 7.7). Las antenas se oscurecen a partir de la mitad y son del mismo largo que el cuerpo, mientras que las patas son de coloración parda con los tarsos oscuros. Los sifones son más claros que el cuerpo y se afinan hacia el ápice. Aparece desde el estado de plántula hasta espigazón ubicándose en la base del tallo y en las hojas basales e intermedias e incluso puede encontrarse sobre la espiga. Provoca encrespamiento de hojas jóvenes, clorosis y retardo de crecimiento debido a la extracción de fotosimilados (Vincini *et al.*, 1982).



Fig. 7.7. *Pulgón de la avena, Rhopalosiphum padi.*
Fuente: Kansas Department of Agriculture.

Pulgón de la espiga (*Sitobion avenae*)

Este pulgón presenta una forma clara amarilla verdosa y una forma oscura rojiza casi negra. Su cuerpo es ovalado, de 2 a 3 mm con antenas marrones oscuras, con un largo que sobrepasa la base de los sifones (Fig. 7.8) y sus patas son pardas en el extremo proximal, y negras en la región distal al igual que los tarsos (Vincini *et al.*, 1983). Afectan el rendimiento ya que se alimentan de la base de las espiguillas inhibiendo la formación de granos o fallas en su llenado (Imwinkelried & Frana, 1982).



Fig. 7.8. “*Pulgón de la espiga*” *Sitobion avenae.*
Fuente: Kansas Department of Agriculture.

Especies secundarias de pulgones

Pulgón del maíz (*Rhopalosiphum maidis*)

Este pulgón que se ubica dentro de las hojas a punto de desplegar en cualquier estadio fenológico del trigo posee un cuerpo verde azulado, ovalado de 1,5 a 2,7 mm con apéndices articulados oscuros (Imwinkelried *et al.*, 2004). El daño directo que produce es por succión e inyección de saliva tóxica, e indirecto como transmisor de BYDV (Imwinkelried & Frana, 1982).

Pulgón negro de los cereales (*Sipha maidis*)

El pulgón negro es de color pardo casi negro brillante y cubierto por pelos. Su tamaño es de entre 1 a 2 mm de longitud y con antenas cortas, sifones tronco-cónicos y cauda semicircular. Se encuentran en la inserción de las hojas basales con el tallo (Delfino, 2002). El daño es directo por succión e indirecto como transmisor de virus como el BYDV y el virus del “mosaico del pepino o de las cucurbitáceas” (CMV). Produce clorosis en las hojas y si el ataque es muy intenso puede ocasionar la muerte de la planta.

Pulgón de la raíz de los cereales (*Rhopalosiphum rufiabdominalis*) y Pulgón subterráneo (*Geoica lucífuga*)

Rhopalosiphum rufiabdominalis posee cuerpo ovalado, verde, amarillo o castaño con la base de los sifones roja, antenas cortas y sifones con notorio borde apical (Gamundi *et al.*, 1978). Inyecta saliva tóxica y es transmisor de BYDV. *Geoica lucífuga* tiene un cuerpo globular de 1,2 a 3 mm de longitud, de coloración amarillenta con una cubierta de cera blanca (Ves Losada & Leguizamón, 2004). Ambos forman colonias debajo del suelo, ubicándose en las raíces de los primeros centímetros de profundidad, y se ven favorecidos por la falta de remoción del suelo. Atacan por manchones produciendo plantas con menor desarrollo.

Orugas

Oruga militar verdadera (*Pseudaletia adultera*) y Oruga desgranadora (*Faronta albilinea*)

El complejo de “isocas” (Insecta: Lepidoptera) que afecta hojas y espigas son la “oruga militar verdadera”, *Pseudaletia adultera* (Schaus), y la “oruga desgranadora”, *Faronta albilinea* (Hübner) (Leiva, 2013). *P. adultera* puede medir hasta 40 mm, posee en su cabeza un patrón que semeja a “paneles de abeja” y la coloración de su dorso va desde marrón a negro con dos franjas castaño oscuro. Entre ambas franjas se ubica otra de color blanco angosta y discontinua. El último segmento abdominal es redondeado. *F. albilinea* puede medir entre 30 y 35 mm de longitud, tiene la cabeza lisa y más ancha que el cuerpo. El color del dorso depende de lo que coma, si se alimenta de granos en estado lechoso es amarillo pajizo, y si come granos maduros es rosado. A diferencia de *P. adultera*, el último segmento abdominal es aguzado (Leiva, 2013).

Además de ser defoliadora, durante el llenado de granos, *F. albilinea* puede alimentarse de los granos en estado lechoso y posteriormente en pastoso. En cambio, *P. adultera* si bien puede encontrarse en las espigas, no se alimenta de los granos, sigue comiendo las hojas (Leiva, 2013).

Estrategias de manejo

Partiendo de la base que las buenas prácticas agrícolas (BPA) deben considerarse en el manejo de todos los cultivos, a continuación, se van a enumerar recomendaciones para manejo integrado de plagas (MIP) en el cultivo de trigo.

- Para tomar decisiones considerar los niveles y umbrales de daño económico (NDE y UDE).
- Realizar un adecuado monitoreo de plagas y de sus enemigos naturales.
- Priorizar como estrategias el control cultural, biológico y genético.
- Utilizar como última alternativa el control químico, y en caso de aplicarse utilizar plaguicidas específicos, con la menor toxicidad y minimizando el impacto ambiental.
- Utilizar solo los productos registrados en el SENASA.
- Realizar una correcta aplicación del plaguicida teniendo en cuenta la dosis recomendada y las condiciones ambientales, para evitar la aparición de resistencia de la plaga.
- Leer atentamente el marbete, donde nos muestra la toxicidad, dosis, medida de protección y tiempo de carencia.
- Considerar cómo se alimenta y mueve la plaga. Para insectos pocos móviles o escondidos en la planta que se alimentan de xilema o floema, es recomendable usar plaguicidas con alta presión de vapor o sistémicos. Para plagas de mayor movilidad o de alto consumo foliar, utilizar insecticidas de contacto y con cierta residualidad sobre las hojas.
- Asociar las aplicaciones, por ejemplo, para las plagas que atacan en los primeros estadios como el bicho torito y el pulgón verde, se recomienda utilizar curasemillas sistémicos con residualidad (Teflutrina, Imidacloprid, Clotianidin, Tiametoxan, Tiametoxam + Teflutrina). Para las babosas, se recomienda la aplicación de molusquicidas formulados a base de Metaldehído.
- Para los pulgones durante las etapas vegetativas o reproductivas se recomienda insecticidas foliares, que pueden ser sistémicos (Tiametoxam + Lambdacialotrina, Dimetoto, Sulfoxaflor, Oxidemeton metil) o de contacto (Clorpirifos etil, Fenitotrión).
- Para la isoca militar verdadera o desgranadora, utilizar insecticidas de contacto como los Piretroides (Alfacipermetrina, Betacipermetrina, Cipermetrina, Ciflutrina, Deltametrina), Fosforados (Clorpirifos, Metamidofos) y Carbámicos (Metomil).

Muestreos y umbrales

Diloboderus abderus

El muestreo se realiza 10 a 15 días antes de la siembra. Debido a que los gusanos blancos se encuentran por manchones se deben hacer 10 pozos por lote de 50 ha, de 25 x 50 cm de lado y 30 cm de profundidad. De cada muestra contar el número de *D. abderus*, luego sumar el total de *D. abderus* de las 10 muestras, multiplicarlo por 8 para expresar el número de larvas por unidad de superficie (cada muestra representa un octavo del metro cuadrado) y dividir por 10. El umbral de daño es de **6 a 8 larvas / m²**.

Pulgonés

Para el muestreo se aconseja revisar 100 plantas al azar desde la emergencia del cultivo, teniendo en cuenta las irregularidades del lote. En cada planta contar el número de pulgonés y de enemigos naturales. Los umbrales de daño que existen son orientativos basados en la bibliografía internacional (Tabla 1).

Tabla 1. Pulgonés, estado fenológico en el cual se presentan y umbrales de daño orientativos en el cultivo de trigo (Adaptada de Dughetti, 2012).

Pulgón	Estado fenológico	Umbral de daño orientativo
“Pulgón verde de los cereales”	Emergencia - Encañazón	Individuos por planta: • 1 - 5 (15 días después de la emergencia) • 15 (en etapas posteriores)
“Pulgón amarillo de los cereales”	Macollaje - Encañazón	Individuos por planta: • 10 en macollaje • 15 - 20 en encañazón • 40 - 50 en hoja bandera - espigazón
“Pulgón de la espiga”	Encañazón – Espigazón	Individuos por espiga: • 5 en encañazón • 20 - 30 en grano acuoso
“Pulgón ruso del trigo”	Durante todo el desarrollo del cultivo	Porcentaje de plantas atacadas: • 10% emergencia - 21 días • 20% en macollaje • 5 - 10% en encañazón
“Pulgón de la avena”	Plántula - Espigazón	Se consideran los umbrales de daño del “Pulgón amarillo”

“Oruga militar verdadera” *Pseudaletia adultera* y “Oruga desgranadora” *Faronta albilinea*

Una vez por semana hacer 10 estaciones de muestreo de 1 m² y registrar en cada una el número de larvas mayores a 15 mm, el número de espigas dañadas, su grado de daño y el estado de desarrollo del cultivo. Para la “oruga militar verdadera” el umbral de daño es de 5 y 15 isocas/m² para grano acuoso-lechoso y pastoso blando, respectivamente. Además, una defoliación de 15 - 20 % de la hoja bandera. Para la “oruga desgranadora” el umbral de daño orientativo es de 2 isocas/m² (Leiva, 2013).

Referencias

- Alvarez A. (2008). *Diloboderus abderus* (male). Recuperado de: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diloboderus_abderus_\(male\).JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diloboderus_abderus_(male).JPG). Último acceso: febrero de 2021.
- Aragon, J.C. (1997). *Plagas del trigo y su control*. En: *Trigo. Actualización técnica 1996/1997*. INTA, E.E.A. Marcos Juárez. 41-45.
- Barbagallo, S., Craverdi, P., Pascualini, E. & Patti, I. (1998). *Pulgones de los principales cultivos frutales*. Bayer, Mundi-prensa. España. 121.
- Clemente, N.L., Faberi, A.J., Salvio, C. & Lopez, A.N. (2010). *Biology and individual growth of Milax gagates* (Draparnaud, 1801) (Pulmonata: *Stylommatophora*). *Invertebrate Reproduction & Development* 54, 163-168.
- Delfino, M.A. (2002). *Dos especies de pulgones de interés fitosanitario nuevas para la áfido-fauna argentina* (Hemiptera: Aphididae). Procedente de las 11° Jornadas Fitosanitarias Argentinas. 26-28 de junio. Rio Cuarto, Córdoba. 123.
- Dughetti, A. (2012). *Pulgones. Clave para identificar las formas ápteras que atacan a los cereales*. Red de información Agropecuaria Nacional, INTA. 44.
- Fava, F. & Imwinkelried, J. (2004). *Evaluación de insecticidas curasemillas en el control del gusano blanco Diloboderus abderus* (Coleoptera: *Melolothidae*) en trigo. Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas.
- Gamundi, J.C., Frana, J., Imwinkelried, J.M., Lopez, J. & Torres, C. (1978). *Presencia del pulgón de la raíz de los cereales, Rhopalosiphum rufiabdominalis* Sasaki en las provincias de Santa Fe y Córdoba. INTA, E.E.A. Rafaela. Información para Extensión No7. Agronomía. 2.
- Gamundi, J. C., Molinari, A. & Lorenzatti, S. (1997). *Evaluación del daño del "gorgojo del mazo del trigo" Listronotus bonariensis* (Kuschel), según disponibilidad hídrica y nivel de fertilidad. Para mejorar la producción. INTA EEA Oliveros *Trigo*, 9, 19-22.
- Imwinkelried, J.M. & Frana, J. (1982). *Plagas animales y su control*. En: Consideraciones sobre el cultivo del trigo en la subregión ecológica I. Publicación. Miscelanea No 9. INTA, E.E.A. Rafaela y M.A.G de la Provincia de Santa Fe. 37-44.
- Imwinkelried, J. M., Fava, F. D. & Trumper, E. V. (2004). *Pulgones que atacan al cultivo de trigo*. *Boletín*, 7.
- Joseph Berger, Bugwood.org. gray garden slug (*Deroceras reticulatum*) (O.F. Müller, 1774). Recuperado de: <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5386118#>
- Kansas Department of Agriculture, Bugwood.org. bird cherry-oat aphid (*Rhopalosiphum padi*) (Linnaeus, 1758). Recuperado de: <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5512069#>
- Kansas Department of Agriculture. English grain aphid (*Sitobion avenae*) (Fabricius, 1775). Recuperado de: <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5512066>.
- Leiva, P. D. (2013). *Las isocas del trigo. Su identificación, monitoreo y control*. Ediciones INTA (Pergamino).

- Loeffler, K. (2011). USDA-ARS image# D2458-1 "Greenbug aphid (*Schizaphis graminum*) feeding on an oat leaf infected with yellow dwarf disease." Recuperado de: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schizaphis_graminum_oat_usda_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schizaphis_graminum_oat_usda_(cropped).jpg)
- Nuessly, G.S. & Russell, T.N. (2005). Greenbug, *Schizaphis graminum* (Rondani) (Insecta: Hemiptera: Aphididae). University of Florida.
- Olsen, C. USDA APHIS PPQ, USDA APHIS PPQ, Bugwood.org. (2005). marsh slug (*Deroceras laeve*) (Müller). Recuperado de: <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5166062#>
- Olsen, C. USDA APHIS PPQ, USDA APHIS PPQ, Bugwood.org. greenhouse slug (*Milax gagates*) (Draparnaud). Recuperado de: <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5383535#>
- Ortego, J. & Delfino, M.A. (1994). *Presencia de Diuraphis noxia* (Mordvilko) (Homoptera: *Aphididae*) en la Argentina. Rev. Fac. Agr. La Plata. 70: 51-55.
- Peairs, F. Colorado State University, Bugwood.org. Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*) (Kurdjumov, 1913). Recuperado de: <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5364103#>
- Pest and Diseases Image Library, Bugwood.org. Argentine stem weevil (*Listronotus bonariensis*) (Kuschel, 1955). Recuperado de: <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5319011#>
- Quintana, F.J. & Soto, F. (1980). *Contribución al conocimiento del "Pulgón amarillo de los cereales" Metopolophium dirhodum y del "pulgón de la espiga" Sitobion avenae*. Dpto. de Agronomía. Ecología y Técnica Cultural y Producción Vegetal de la EERA Balcarce. Chacra Experimental de Barrow. Informe de actividades 1979-1980. EERA INTA Balcarce. 6.
- Rawson, H.M. & Gomez Macpherson, H. (2001). *Trigo regado, manejo del cultivo*. FAO Roma (Italia).106.
- Ribeiro, A., Silva, H., & Abbate, S. (2014). *Manejo de plagas en trigo y cebada*. Biblioteca Plural.
- Sadras, V.O., Ferere, S.A. & Ratcliffe, R.H. (1999). *Weath growth, yield and quality as affected by insect herbivores*. In: Satorre, E.H; Slafer, G.A. eds. *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. Food Products Press, The Haworth Press Inc, NY. 183-211.
- Salto, E.C. & Imwinkelried, J.M. (1993). *Los pulgones están en retirada*. Campo y Tecnología. 10:42-45.
- Truol, G. (2007). *Panorama de las enfermedades virales en el cultivo de trigo durante la última campaña*. Jornada Trigo Córdoba 2007. 29 de marzo. Agroverdad. 28-31.
- Vazquez, J. (2005). *Importancia del monitoreo de gusanos blancos (Diloboderus abderus) previo a la siembra*. En: Trigo. Manual técnico. Bayer Crop Science. Munro, Buenos Aires.18-19.
- Ves Losada, J.C. & Leguizamon, E. (2004). *Identificación de un nuevo pulgón en trigo y raigrás anual*. En: Trigo. Actualización. Boletín de Divulgación Técnica No 83. INTA, EEA. Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas". 38-40.
- Vincini, A.M., Lopez, A.N. & Sisti, D. (1982). *Presencia del "pulgón de la avena" Rophalosiphum padi en el sudeste bonaerense*. IPE, Prod. Veg. INTA Balcarce. 4.

- Vincini, A.M., Lopez, A.N., Colavita, S. & Ibarrola, B.A. (1983). *Hallazgo y descripción de las formas sexuadas del "Pulgón de la espiga", Sitobion avenae* (Fabr., 1775), (Homoptera: *Aphididae*). IDIA. (409-412):48-52.
- Vincini, A.M. & Alvarez Castillo, H.A. (2009). *Plagas de los cultivos de girasol, maíz y soja*. En: F. H. Andrade y V. Sadras Eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ediciones INTA. 310.
- Wheat Doctor. CIMMYT. *Plagas del suelo*. Recuperado de: <http://wheatdoctor.org/es/plagas-del-suelo>.

CAPÍTULO 8

Trigo: manejo de malezas

Axel Iván Voisin, Juan Pablo Uranga

Introducción

Las malezas son una de las adversidades bióticas más importantes en los sistemas agrícolas y representan un desafío para el sistema productivo. Desde un punto de vista antropocéntrico las malezas son especies vegetales que interfieren en las actividades del hombre, pudiendo afectar el rendimiento, la calidad y con esto el resultado económico de los cultivos. Este efecto directo sobre el rendimiento se debe principalmente a la competencia por recursos (luz, agua, nutrientes) cuando estos se encuentran provistos de forma insuficiente. La alelopatía, es decir la producción y liberación de sustancias químicas por parte de la maleza al medio, pueden influir de manera directa en el crecimiento de los cultivos. Además, las malezas ejercen efectos indirectos dificultando las labores, contaminando el producto cosechado y actuando como hospedantes de plagas y enfermedades (Guglielmini *et al.*, 2003).

Resulta necesario tomar una concepción ecológica sobre las malezas. De esta manera debemos considerarlas como especies pioneras en la sucesión secundaria, que inevitablemente siempre estarán presentes. El manejo integrado de malezas debe abordarse con un enfoque holístico y sistémico, donde se considere a las malezas como componentes de los agroecosistemas y se comprendan las interacciones con las otras poblaciones cultivadas y silvestres (Sanchez Vallduvi & Sarandòn, 2014). Sin embargo, en las últimas décadas esto no ocurrió y predominó la idea de erradicar las malezas, básicamente con el uso de herbicidas, concepto totalmente reduccionista. Para tomar dimensión, en Argentina, más del 85 % del volumen de productos fitosanitarios aplicados corresponden a herbicidas (CASAFE, 2013). Esta enorme presión de selección sobre el sistema, generó casos crecientes de tolerancia y resistencia a herbicidas como resultado de procesos de evolución adaptativa que agudizan la problemática de las malezas (Papa & García, 2020). Por ejemplo, en el cultivo de trigo se documentan biotipos de *Lolium multiflorum*, *Avena fatua*, *Brassica rapa*, *Raphanus sativus* que presentan resistencia a uno o más herbicidas (Leaden, 2017).

Para lograr un manejo de malezas adecuado resulta necesario conocer las especies que predominan en determinado lote, su dispersión y densidad, como así también su ciclo de vida, formas de propagación, habilidad competitiva, dinámica de emergencia, etc. A su vez conocer la ecofisiología de los cultivos, los periodos críticos de competencia con las malezas, la habilidad competitiva de un determinado cultivar y los factores de manejo agronómico, son fundamentales para reducir la competencia al mínimo posible.

Este capítulo pretende abordar estos temas haciendo hincapié en el manejo integrado de malezas, presentando las herramientas y estrategias de manejo habituales y disponibles para lograr un manejo adecuado tratando de garantizar la sustentabilidad del sistema agrícola.

Características de las malezas

Las comunidades de malezas se caracterizan por tener diferentes formas de reproducción y dispersión. Presentan una gran producción de semillas por periodos prolongados, con una rápida dispersión a corta y larga distancia, con diferentes procesos de dormición que pueden durar años en el banco edáfico. Presentan una germinación rápida, uniforme y prolongada. Otras especies se caracterizan por tener estructuras reproductivas asexuales como estolones, rizomas y tubérculos. Las malezas se destacan por presentar un rápido crecimiento aéreo y radical que permite captar tempranamente los recursos. Además, presentan variadas formas de crecimientos (macollos, ramificaciones, rosetas) resultando en una alta diversidad de individuos. Estas características generan en la vegetación espontánea una alta habilidad competitiva que le permite invadir, persistir y llegar a dominar en los agroecosistemas (Altieri, 1999; Acciaresi, 2007).

Por todas estas características resulta de vital importancia el reconocimiento de especies que hay en un determinado lote y conocer su bioecología ya que esto permitirá abordar el manejo de una manera racional.

Principales malezas en el cultivo de trigo

Las comunidades de malezas presentes en un cultivo dependen de la historia agrícola de lote, el manejo agronómico, el grado de infestación de años anteriores y de las condiciones edafoclimáticas (Gigón *et al.*, 2008).

Se presentan a continuación las principales malezas que pueden aparecer en el cultivo de trigo:

- Gramíneas anuales
 - *Lolium multiflorum* (Raigrás anual) (Fig. 8.1.A y 8.1.B)
 - *Bromus unioloides* (Cebadilla criolla) (Fig. 8.2.A y 8.2.B)
 - *Avena fatua* (Fig. 8.3.A)
- Latifoliadas
 - *Brassica rapa* (nabo) (Fig. 8.3.B)
 - *Raphanus sativus* (nabón) (Fig. 8.4.A)
 - *Capsella bursapastoris* (bolsa de pastor) (Fig. 8.4.B)
 - *Convolvulus arvensis* (enredadera perenne) (Fig. 8.5.A)
 - *Fumaria officinalis* (flor de pajarito) (Fig. 8.5.B)
 - *Lamium amplexicaule* (ortiga mansa) (Fig. 8.6.A)
 - *Conyza bonariensis* (rama negra) (Fig. 8.6.B)

- *Polygonum convolvulus* (enredadera anual)
- *Polygonum aviculare* (sanguinaria) (Fig. 8.7.A)
- *Ammi majus* (apio cimarrón) (Fig. 8.7.B)
- *Ammi visnaga* (bisnaga)
- *Centaurea solstitialis* (abrepuño amarillo) (Fig. 8.8.A)
- *Rapistrum rugosum* (mostacilla) (Fig. 8.8.B)
- *Anthemis cotula* (manzanilla falsa)
- *Bowlesia incana* (perejilillo)
- *Cirsium vulgare* (cardo negro) (Fig. 8.9.A)
- *Carduus acanthoides* (cardo chileno) (Fig. 8.9.B)
- *Carduus nutans* (cardo pendiente)
- *Chenopodium album* (quínoa)
- *Chondrilla juncea* (yuyo esqueleto)

Competencia cultivo – maleza

El rendimiento del cultivo de trigo es explicado en mayor medida por el número de granos por unidad de superficie (Abbate, 2017). La radiación solar es un factor determinante del rendimiento potencial que se presenta como un flujo continuo, es decir que estará constantemente disponible y dependerá de la latitud en que nos encontremos. Contrariamente el agua y los nutrientes son recursos que pueden encontrarse de manera deficiente y de esta manera limitan el rendimiento potencial.

La competencia cultivo - maleza se da cuando estos recursos compartidos se encuentran en cantidades insuficientes. Cuando el agua y los nutrientes no son limitantes, la biomasa total generada por el cultivo de trigo depende principalmente de la radiación interceptada a lo largo del ciclo (Miralles *et al.*, 2014). La competencia por luz se da cuando los cultivos y malezas comienzan a sombrarse entre sí (Guglielmini *et al.*, 2003). Esto genera disminuciones en la radiación interceptada por el cultivo y con esto bajas tasas de crecimiento, lo que comprometerá el peso seco de las espigas y el número de granos por unidad de superficie (Abbate, 2017). Es por esto que el área foliar correspondiente al cultivo y la maleza, su arquitectura aérea y alturas relativas son factores a considerar en la competencia por luz (Bedmar *et al.*, 2002).

La competencia por agua está determinada por la disponibilidad hídrica y la distribución de raíces en el perfil de suelo tanto del cultivo como de la maleza. Las malezas pueden consumir el agua en etapas iniciales, generando condiciones de deficiencia pudiendo verse comprometida la generación de área verde del cultivo. La disponibilidad de nutrientes es un factor clave para la competencia. Si bien el problema puede ser solucionado en parte con la fertilización, la nutrición es una variable que está asociada con la dinámica del agua, ya que los nutrientes se absorben en solución y se mueven en el suelo por difusión o flujo masal en agua (Bedmar *et al.*, 2002).

El resultado de la competencia entre el cultivo y las malezas, es afectado por diversos factores propios de cada especie, las condiciones edafoclimáticas de la región que se trate y el manejo agronómico. La magnitud de la competencia dependerá de la especie, biotipo, bioecología, momento de emergencia, densidad y distribución de la maleza (Altieri, 1999). En general, especies con similares características al trigo, como lo son la avena negra y el raigrás, generan una mayor competencia por los recursos (Leaden, 2017). A su vez si las malezas emergen antes que la implantación del trigo, su habilidad competitiva será superior frente al cultivo y si la densidad de malezas es alta se verá afectado el crecimiento.

Características inherentes al cultivo también influirán en la competencia, como la habilidad competitiva, ecofisiología, periodo crítico de competencia, calidad de la semilla (Altieri, 1999). Por ejemplo, el vigor inicial del cultivo, el cual se relaciona con el establecimiento y la tasa de crecimiento de la materia seca aérea (área foliar) en los primeros subperiodos del ciclo del cultivo, es un rasgo determinante de la habilidad competitiva. El incremento en la materia seca aérea y el área foliar, han sido vinculados a una mayor capacidad de supresión de malezas (Cena & Acciaresi, 2018).

Los factores edafoclimáticos, como tipo de suelo, disponibilidad de nutrientes, pH, disponibilidad hídrica y térmica influyen en el grado de competencia. Las condiciones de manejo agronómico son fundamentales para reducir la competencia, por ejemplo, la densidad de siembra del cultivo, el arreglo espacial y la fertilización (Altieri, 1999).

Periodo crítico de competencia

El periodo crítico de competencia entre el cultivo y las malezas hace referencia a la etapa del ciclo del cultivo que debería permanecer libre de malezas para evitar pérdidas significativas de rendimiento. De este concepto surgen dos periodos de control, el periodo crítico de control tardío (PCTA) que representa cuanto tiempo, como máximo, el cultivo puede convivir con las malezas desde su siembra o emergencia sin afectar significativamente su rendimiento. Contrariamente el periodo crítico de control temprano (PCTE) describe el período mínimo que un cultivo debe permanecer libre de malezas para que la emergencia posterior de las mismas no afecte su rendimiento. De esta manera el PCTA indica hasta qué momento se podrá esperar para aplicar herbicidas o realizar labores mecánicas de postemergencia sin sufrir pérdidas significativas de rendimiento, mientras que el PCTE expresa durante cuánto tiempo se deberán prolongar las labores mecánicas que se realicen en el cultivo o qué período de residualidad mínimo debería poseer un herbicida que se aplique en presiembra o preemergencia del cultivo (Bedmar *et al.*, 2002). Algunas aproximaciones en el cultivo de trigo indican que el PCTE se extendería hasta las 3-5 hojas y el PCTA hasta fines de macollaje (Guglielmini *et al.*, 2003).

Los periodos de control pueden variar según la pérdida de rendimiento tolerada, la zona agroecológica en que nos encontremos, los tipos de malezas presentes y las fechas de siembra. Es por esto que este concepto tiene una visión ecológica de las malezas, por lo tanto, debe ser tomado de manera flexible, en la cual se deben tener en cuenta conceptos de ecofisiología del cultivo y su interacción con el ambiente (Guglielmini *et al.*, 2003). Conocer y poner en

práctica estos conceptos permitirá reducir las labores a los momentos más críticos de ser necesario, o planificar la residualidad de un herbicida, redundando en un uso más racional de insumos (Bedmar *et al.*, 2002).

Principales estrategias de manejo de malezas en trigo

En las últimas décadas el cambio que introdujo la siembra directa basó las estrategias de manejo de malezas solamente en el uso de herbicidas. Sin embargo, no debemos de dejar de pensar en otros puntos como los son el manejo cultural y mecánico.

Manejo cultural

El planteo de rotaciones de cultivo resulta fundamental en el manejo de malezas. Alternar diferentes cultivos permite generar diferentes nichos ecológicos. De esta manera no se repiten las mismas condiciones que contribuyen al crecimiento poblacional de determinadas especies para que se conviertan en dominantes, afectando los procesos demográficos y la dinámica de las poblaciones de malezas. Con las rotaciones de cultivos, además existe una mayor flexibilidad para la elección de principios activos de herbicidas para evitar la resistencia (Istilart & Forjan, 2016). La secuencia de cultivos planteada y el cultivo antecesor para la siembra de trigo favorece a determinadas especies por sobre otras. Gigón *et al.*, (2009) en el sudoeste de Buenos Aires encontraron mayor presencia de malezas latifoliadas en trigo cuando los antecesores fueron cultivos de verano (soja, girasol, maíz), pero con trigo como antecesor (monocultivo de trigo) la *Avena fatua* y *Lolium multiflorum* son las especies que presentaron la mayor frecuencia. Además, en estas secuencias basadas en trigo el uso reiterado de herbicidas hormonales, favorece con el paso de los años el incremento de estas poblaciones de gramíneas anuales (Leguizamón & Puricelli, 2014; Acciaresi, 2007).

Los sistemas de labranza también influyen sobre las comunidades de malezas, sin embargo, los resultados pueden ser dispares por diferentes condiciones de clima, suelo, historia agrícola, etc. (Istilart *et al.*, 2016). Algunos estudios en el sur de la provincia de Buenos Aires indican que bajo labranza convencional la riqueza florística y abundancia es mayor que bajo siembra directa (Istilart *et al.*, 2016; Gigon *et al.*, 2012).

El equilibrio competitivo puede verse modificado a favor del cultivo o la maleza y es afectado por el clima y los tiempos relativos de emergencia tanto del cultivo como de las malezas. Fechas de siembra que aseguren buena disponibilidad hídrica, que favorezcan una rápida emergencia del cultivo, sumado a una adecuada densidad y distribución de plantas es fundamental para lograr reducir la competencia. Si esto se logra, la fertilización será otro punto a favor de la competencia para el cultivo (Leguizamón & Puricelli, 2014).

Por último, algunas consideraciones para prevenir el ingreso de malezas al lote también resultan importantes, por ejemplo, el uso de semilla limpia o la limpieza de la cosechadora.

Control mecánico

Las labores mecánicas han perdido importancia con el uso de la siembra directa. Sin embargo, en algunas situaciones siguen usándose. Las labores secundarias en presiembra buscan terminar de preparar la cama de siembra y controlar las malezas presentes. Pueden emplearse rastra de disco, cultivador de campo y vibrocultivador, rastra de dientes y rotativa.

Una vez sembrado el cultivo el control mecánico es poco frecuente, ya que existe una amplia carta de herbicidas para el control de malezas. De igual manera puede realizarse con una rastra rotativa antes de la emergencia del cultivo y cuando la maleza está emergiendo. Una vez que la maleza tiene un par de hojas o más, su sistema radical ya estará a 5 cm de profundidad y no será efectivo el control (Acciaresi, 2007).

Control químico

El control químico es la práctica más utilizada en el cultivo de trigo. Resulta necesario destacar que las malezas tienen la mayor susceptibilidad a los herbicidas cuando estas se encuentran en los estados iniciales de su crecimiento. A su vez las condiciones ambientales antes y después de la aplicación (viento, temperatura, lluvias) resultan fundamentales para lograr la mayor efectividad de aplicación. Por último, es de vital importancia leer atentamente los marbetes de los productos y seguir todas las recomendaciones que en él se presentan.

Según el momento de aplicación se los puede clasificar en herbicidas de presiembra o barbecho, preemergencia, post emergencia temprana y post emergencia tardía. A continuación, se presentan los principales herbicidas utilizados en estos cuatro momentos.

Manejo durante presiembra o barbecho

Durante el barbecho los herbicidas más utilizados son el glifosato, el grupo de herbicidas hormonales y sulfonilureas, conocidas estas últimas como inhibidores del ALS (inhiben la acción de la enzima acetolactato sintetasa, afectando la síntesis de proteínas y aminoácidos). El glifosato es un herbicida sistémico y no selectivo, es decir de control total. Para el control de malezas latifoliadas suelen utilizarse herbicidas hormonales, el más común y usado en los barbechos es el 2,4-D y debe ser aplicado hasta 20 días antes de la siembra, para evitar efectos de fitotoxicidad y restricciones en el crecimiento. También dentro del grupo de hormonales encontramos el MCPA, dicamba, picloram y el Starane. Otro grupo de herbicidas son las sulfonilureas, entre estas encontramos al metsulfurón, prosulfurón, idosulfurón, triasulfurón. El más utilizado durante el barbecho para el control de latifoliadas es el metsulfurón. En general se utilizan mezclas de glifosato y hormonales, por ejemplo, glifosato con 2,4-D, con el objetivo de ampliar el espectro de acción. También las mezclas con sulfonilureas son utilizadas, por ejemplo, prosulfurón más triasulfurón y dicamba (Peak Pack), clorsulfurón más metsulfurón (Finesse) o prosulfurón con triasulfurón para ampliar el espectro de acción sobre malezas latifoliadas. También es posible aplicar mezclas de lodosulfurón + mesosulfurón

(Hussar Plus) que además de controlar latifoliadas tiene efecto sobre gramíneas como avena negra y raygrass (Montoya, 2010).

Una práctica que puede usarse cuando se presentan malezas de difícil control, es el doble golpe, y nos permite reducir el banco de semillas, controlar malezas en estados avanzados reduciendo el rebrote y retrasar la generación de resistencia. Este método consiste en usar un herbicida sistémico como glifosato, o un hormonal o un graminicida como primer golpe, esperar 7 a 10 días y realizar una segunda aplicación, como segundo golpe, con un desecante total, por ejemplo, paraquat o glufosinato de amonio (García Frugoni *et al.*, 2017).

Ante casos de malezas crucíferas resistentes (nabo, nabón) se comenzaron a utilizar los herbicidas flurocloridona, diflufenican, flumioxazin, durante el barbecho, con el objetivo de controlar estas malezas y proveer residualidad. Estos productos se utilizan en mezclas con glifosato y hormonales. A su vez, flumioxazim está siendo utilizado en mezclas con glifosato para el control de raigrás anual resistente (Juan, 2021).

Manejo en preemergencia

Actualmente el mercado cuenta con un herbicida llamado Yamato (principio activo: piroxasulfone) que se utiliza para control de *Lolium multiflorum* resistente a glifosato. En siembra directa se aplica luego de la siembra y antes de la emergencia del cultivo de trigo. Si la siembra se realiza de manera convencional debe aplicarse 15-20 días antes de la siembra del trigo (Summit Agro, 2018).

Manejo en post emergencia temprana del cultivo

Desde el estado de tres hojas hasta fines de macollaje se realizan los controles clásicos de gramíneas. Para esto se utilizan graminicidas selectivos para trigo pertenecientes a los grupos dim-den-fop (terminados en dim, den y fop). Algunos principios activos de estos graminicidas selectivos para trigo, que se conocen como inhibidores de ACCasa (inhibidores de la acetil conzima-A carboxilasa), son diclofop metil, tralkoxydim, clodinafop propargil, fenoxaprop metil, pinoxaden. Existe un graminicida conocido como Axial, que consiste en una mezcla de pinoxadem más cloquintocet metil.

Desde el estado de tres hojas hasta fines de macollaje, para el control de latifoliadas pueden utilizarse herbicidas del grupo de las sulfonilureas, como metsulfurón. También existen mezclas comerciales de sulfonilureas con hormonales conocidas como Peak Pack (Prosulfuron, triasulfuron, dicamba) o Misil Pack que ya no existe como producto comercial, pero si la mezcla (metsulfurón mas dicamba). Además, existen mezclas de sulfonilureas como Finesse (clorsulfurón más metsulfurón). Otro herbicida para el control de latifoliadas en esta etapa es el bromoximil (herbicida de contacto) con menos uso en este estadio y que puede usarse también en encañazón. Existen en post-emergencia temprana mezclas de bromoxinil+fluorocloridona/diflufenican y de diflufenican+2-4D/metsulfuron.

En el mercado existen mezclas de herbicidas para el control de gramíneas y latifoliadas conjuntamente. Entre ellos podemos encontrar Hussar Plus (Idosulfuron + mesosulfurón; Mefenpyr+metsulfurón), Merit pack (Pyroxulam + Cloquintocet-mexyl + Metsulfurón).

A través del mejoramiento genético se logró conseguir variedades de trigo Clearfield (CL), entre ellas están Buck 55 CL, Baguette 560 CL y Klein Titanio CL. Estas variedades presentan genes que le otorgan tolerancia a herbicidas del grupo de las imidazolinonas (Leaden, 2017). Concretamente presentan tolerancia al principio activo imazamox, producto que se encuentra con el nombre comercial de Trigosol. La aplicación puede realizarse desde el estado de emergencia hasta fines de macollaje y se utiliza para el control de gramíneas y latifoliadas.

El control clásico de malezas latifoliadas se realiza con herbicidas del grupo hormonales, entre ellos el 2,4-D, MCPA, dicamba, picloram, fluroxipir (Starane), clopiralid (Lontrel). El momento de aplicación debe hacerse entre los estados de doble lomo (DL) y espiguilla terminal (ET) ya que es el momento de menor sensibilidad a este grupo de herbicidas por parte del cultivo. Aplicaciones antes de este estado sensibilizan a las plantas al estrés hídrico y a heladas. Aplicaciones posteriores a ET afectan el número de flores fértiles, producen retorcimiento de aristas y espigas (Acciaresi, 2007; Leaden, 2017). Existe una asociación entre el número de hojas de un cultivar y el momento de ocurrencia de los estados de DL y ET (Tabla 8.1). Esto resulta de fundamental importancia para poder realizar aplicaciones sin afectar negativamente al cultivo. Sin embargo, esto no debe ser tomado como una regla estricta, ya que estos eventos pueden verse modificados según la fecha de siembra. Por ejemplo, en una siembra muy tardía (mediados de agosto) un cultivar de ciclo largo puede alcanzar el estado de DL junto con el comienzo de macollaje (cuarta hoja), pero si este cultivar es sembrado en una fecha temprana (mediados de junio) este estado puede darse con la séptima hoja.

Tabla 8.1: Asociación entre el número de hojas de un cultivar y el momento de ocurrencia de los estados doble lomo (DL) y espiguilla terminal (ET)

Ciclo	DL	ET
Corto	3-4	5-6
Intermedio	4-5	7-8
Largo	6-7	9-8

Fuente: Leguizamón & Puricelli, 2014

Por último, se encuentra en las últimas instancias para salir al mercado, el primer trigo transgénico, llamado HB4. Esta variedad presenta tolerancia a la sequía y resistencia a glufosinato de amonio. Con este herbicida se podría realizar un control conjunto de gramíneas y latifoliadas.

Manejo en post emergencia tardía del cultivo

El Lontrel y Starane son herbicidas que pueden ser usados durante la encañazón del cultivo (Z 31) hasta el estado de hoja bandera (Z 39) para control de latifoliadas. En estos estados las operaciones con estos herbicidas son de rescate, se trabaja con malezas grandes y el rendimiento del cultivo podría estar comprometido a esta altura del ciclo.

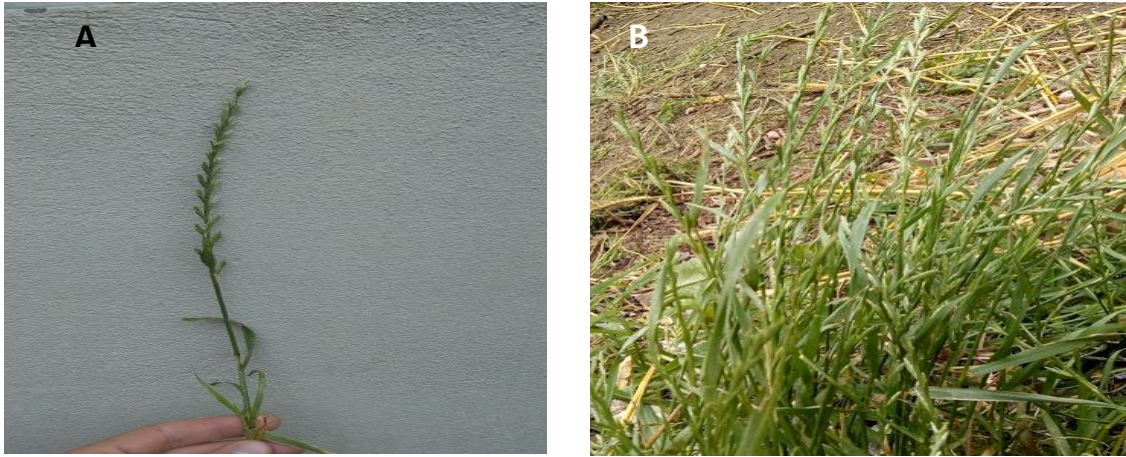


Fig. 8.1. A. B. *Lolium multiflorum*, raigrás anual. Fuente: propia

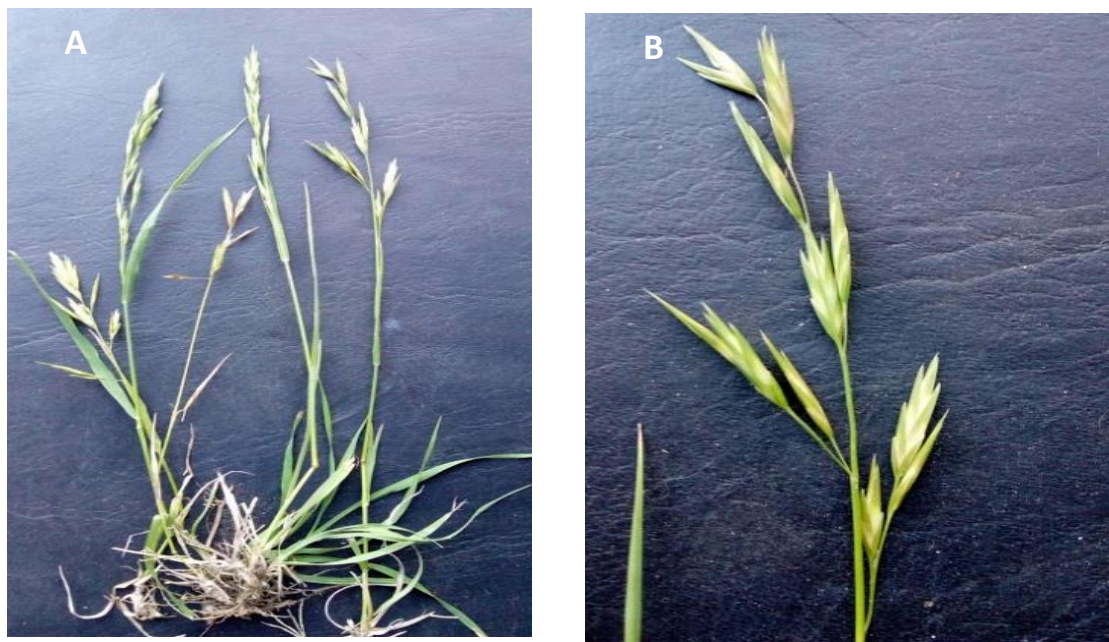


Fig. 8.2. A. B. *Bromus uniloides*, cebadilla criolla. Fuente propia



Fig. 8.3. A. *Avena fatua*. B. *Brassica rapa*. Fuente: Rice (2009) y Dewey (2011) respectivamente

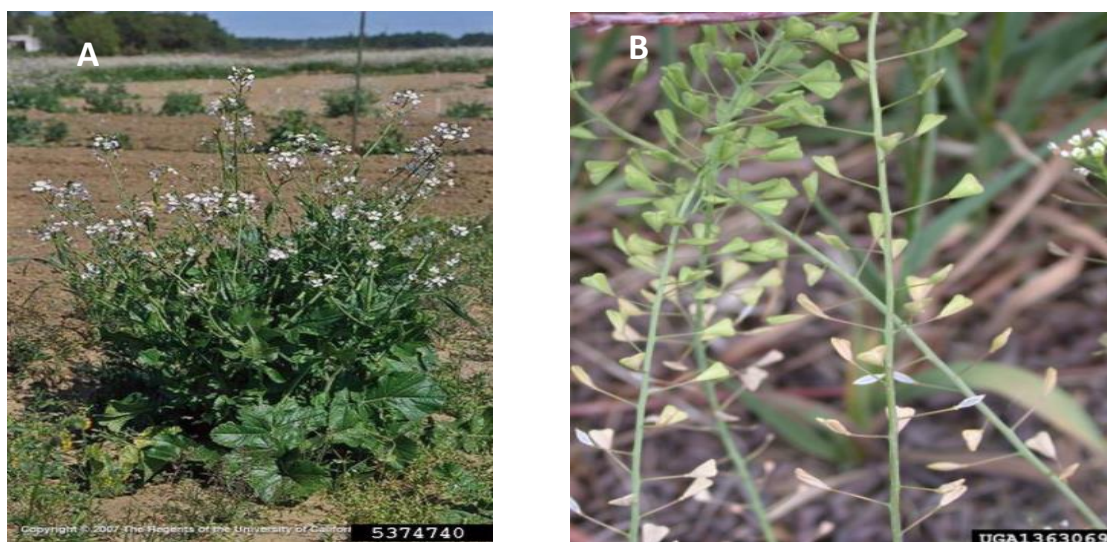


Fig. 8.4. A. *Raphanus sativus*. B. *Capsella bursa-pastoris*. Fuente: DiTomaso (2008) y Harte (2010), respectivamente.

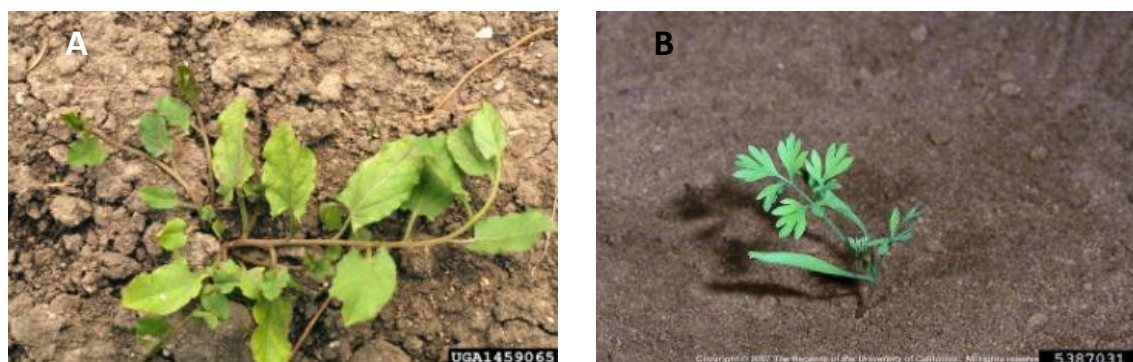


Fig. 8.5. A. *Convolvulus arvensis*. B. *Fumaria officinalis*. Fuente: Dewey (2011) y DiTomaso (2010), respectivamente

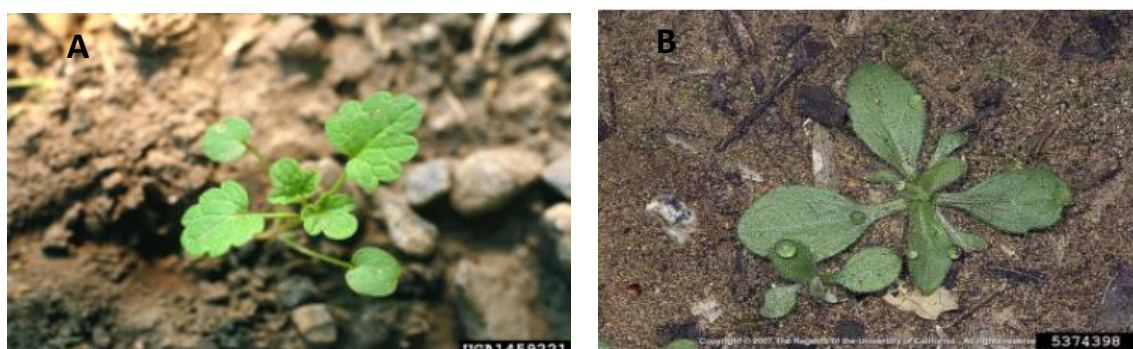


Fig. 8.6. A. *Lamium amplexicaule*. B. *Conyza bonariensis*. Fuente: Dewey (2010) y DiTomaso (2008), respectivamente

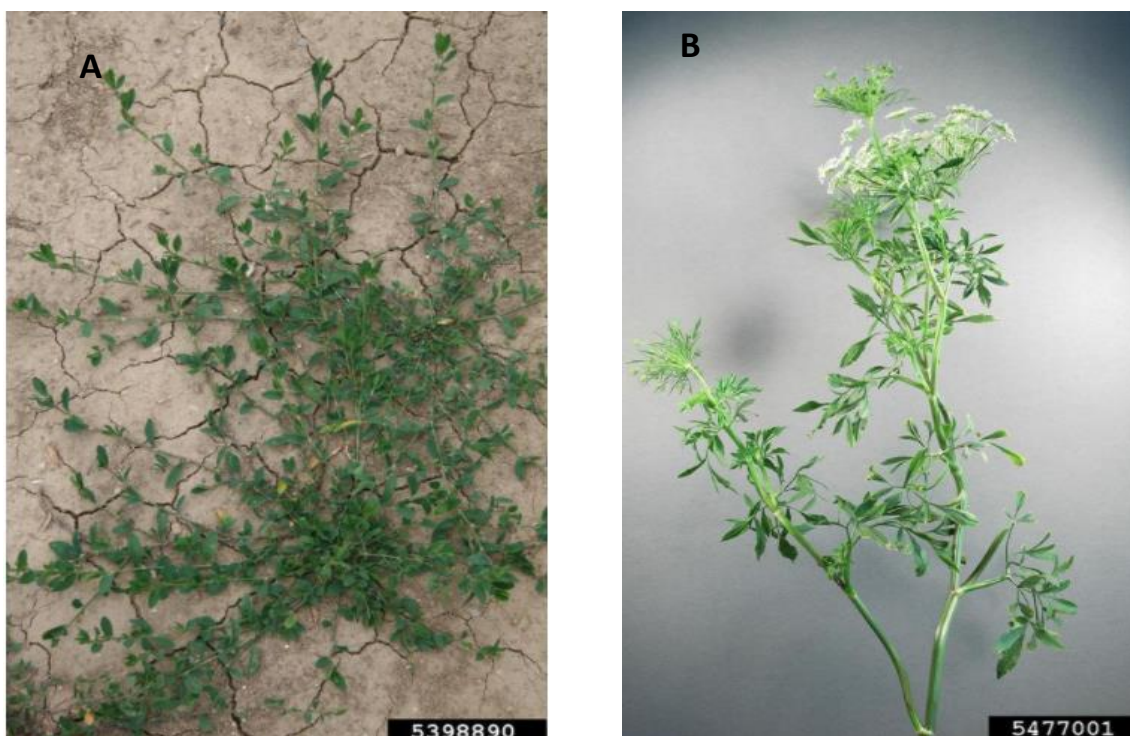


Fig. 8.7. A. *Polygonum aviculare*. B. *Ammi majus*. Fuente: Vidéki (2009) y Scher (2011), respectivamente

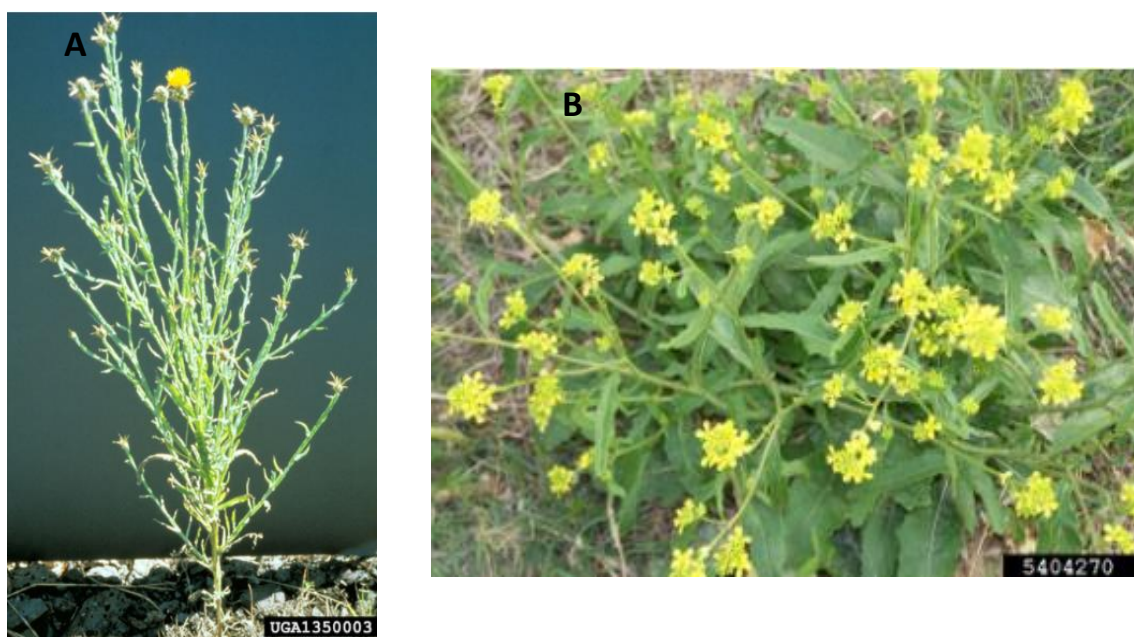


Fig. 8.8. A. *Centaurea solstitialis*. B. *Rapistrum rugosum*. Fuente: Roche (2010) y Rawlins (2009), respectivamente

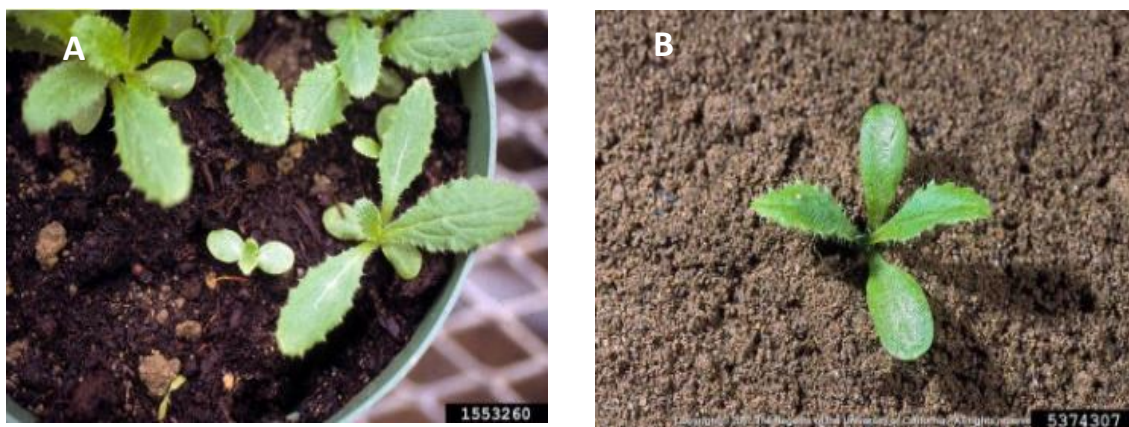


Fig. 8.9. A. *Cirsium vulgare*. B. *Cardus acanthoides*. Fuente: Laboratorio de malezas del estado de Ohio (2008) y DiTomaso (2008), respectivamente.

Referencias

- Abbate, P. (2017). Bases ecofisiológicas del manejo del cultivo de trigo en la región pampeana. En: G. A. Divito & F. O. García (comp). *Manual del cultivo de trigo* (33-52). Acaassuso: International Plant Nutrition Institute.
- Acciaresi, H. (2007). *Guía Didáctica: Manejo de malezas en trigo*. UNLP.
- Bedmar F., Eyherabide, J. & Satorre, E.H. (2002). Bases para el manejo de malezas. En: F.H. Andrade & V.O. Sadras (comp). *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja* (273-311). Balcarce: INTA – Universidad de Mar del Plata.
- CASAFE. (2013). *Cámara Argentina de sanidad agropecuaria y fertilizantes*. Recuperado de <https://www.casafe.org/publicaciones/datos-del-mercado-argentino-de-fitosanitarios/>
- Cena, M.E. & Acciaresi, H. (2018). Vigor inicial de variedades de trigo y su relación con la capacidad supresiva de malezas. *Revista Tecnología Agropecuaria*, 10, 48 – 50.
- Dewey, S. (2010). *Henbit, Lamium amplexicaule*. Utah State University, Bugwood.org. Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1459221>
- Dewey, S. (2011). *Birdsrpe mustard, Brassica rapa*. Utah State University, Bugwood.org Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1459360>
- Dewey, S. (2011). *Field bindweed, Convolvulus arvensis*. Utah State University, Bugwood.org Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1459065>
- DiTomaso, J.M. (2008). *Cardo espinoso sin pluma, Carduus acanthoides*. Universidad de California – Davis. Bugwood.org. Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5374307>
- DiTomaso, J.M. (2008). *Drug fumitory, Fumaria officinalis*. University of California - Davis, Bugwood.org. Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5387031>
- DiTomaso, J.M. (2008). *Hairy fleabane, Conyza bonariensis*. University of California - Davis, Bugwood.org. Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5374398>
- DiTomaso, J.M. (2008). *Radish, Raphanus sativus*. University of California - Davis, Bugwood.org. Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5374740>

- García Frugoni, F. Bello, J. Arias, S. & Paolini, M. (2017). Manejo de malezas en el cultivo de trigo. Revista CREA, *Trigo: Su rol en los sistemas agrícolas* (59 – 64).
- Gigón, R. Labarthe, F. Lageyre, E. Vigna, M. López, R. Vergara, M. & Varela, P. (2008). *Comunidades de malezas en cultivos de trigo en el Sur y Sudoeste de la provincia de Buenos Aires*. En actas de VII Congreso Nacional de Trigo, Santa Rosa, La Pampa.
- Gigón, R. López, R. L. & Vigna, M. R. (2009). *Efectos del cultivo antecesor y sistema de labranza sobre las comunidades de malezas en el cultivo de trigo (Triticum aestivum) en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Argentina*. En Actas del XII Congreso de la SEMh, XIX Congreso de ALAM y II Congreso IBCM, 1, 69-72.
- Gigón, R. Vigna, M. R. & López, R.L. (2012). *Efectos del sistema de siembra sobre la comunidad de malezas en cultivos de trigo del sudoeste de la provincia de Buenos Aires*. En Libro de Resúmenes de XIV Jornadas Fitosanitarias Argentinas, San Luis, Argentina.
- Guglielmini, A. C. Batlla, D. & Benech Arnold, R. L. (2003). Bases para el control y manejo de malezas. En: E. H. Satorre, R. L. Benech, G. A. Slafer, E. B. De la Fuente, D. J. Miralles, M. E. Otegui & R. Savin (Eds), *Producción de granos: bases funcionales para su manejo* (581 – 614). Buenos Aires: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Harte, M. E. 2010. *Shepherd's-purse, Capsella bursa-pastoris*. Bugwood.org. Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1363069>
- Istilart, C. & Forjan, H. (2016). Efecto de las rotaciones de cultivos sobre las malezas. En: H. Forjan & L. Manso (Eds), *Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencia* (46-48). Tres Arroyos: Ediciones INTA.
- Istilart, C. Forjan, H. & Manso, L. (2016). Evolución de las comunidades de malezas durante 12 años en distintas rotaciones de cultivos implantados en siembra directa. En: H. Forjan & L. Manso (Eds), *Rotaciones y secuencias de cultivos en la región mixta cerealera del centro sur bonaerense. 30 años de experiencia* (50-53). Tres Arroyos: Ediciones INTA.
- Juan, V. (2021). Control de malezas en cereales de invierno. Exposición en: A todo trigo 2021. Panel III, Protección del cultivo (continuación). Recuperado de <https://www.atodotrigo.com.ar/auditorio.php?id=>
- Laboratorio de malezas del estado de Ohio. (2008). Universidad Estatal de Ohio. Bugwood.org. Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1553260>
- Leaden, M. I. (2017). Identificación y manejo de malezas. En: G. A. Divito & F. O. García (comp), *Manual del cultivo de trigo* (85-92). Acaassuso: International Plant Nutrition Institute.
- Leguizamón E. & Puricelli E. (2014). Manejo de malezas. Nota técnica APRESID. Recuperado de <https://www.aapresid.org.ar/blog/manejo-de-malezas/>
- Miralles, D.J. González, F.G. Abeledo, L.G. Serrago, R.A. Alzueta, I. García, G.A. De San Caledonio, R.P. & Lo Valvo, P. (2014). *Manual de trigo y cebada para el cono sur procesos fisiológicos y bases de manejo*. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora.
- Montoya J. (2010). Estrategias de control de malezas en trigo. En: A. Bono, A. Quiroga, & I. Frasier (Eds), *El cultivo de trigo en la región semiárida y subhúmeda pampeana* (65 – 68). La Pampa: INTA Anguil.

- Papa, J.C.M & García, A.V. (2020). Reflexionando sobre las malezas: ¿En qué estamos fallando que no podemos resolver los problemas y cada vez tenemos más? *Revista Malezas, Asociación Argentina de Ciencia de las Malezas*, 03: 12 -23.
- Rawlins, K.A. (2009). *Rapistrum rugosum*. Universidad de Georgia, Bugwood.org. Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5404270>
- Rice, B. (2009). Wild oat, Avena fatua. sarracenia.com, Bugwood.org. Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5391567>
- Roche, C. (2010). Silbato amarillo, *Centaurea solstitialis*. Bugwood.org. Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=1350003>
- Sanchez Vallduvi, G. & Sarandon, S. (2014). Principios de manejo ecológico de malezas. En: S. Sarandón & C. Flores (Eds), *Agroecología. Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables* (286-313). La Plata: Edulp.
- Scher, J. (2011). *Greater ammi, Ammi majus*. Cut Flower Exports of Africa, USDA APHIS PPQ, Bugwood.org. Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5477001>
- Summit Agro. (2018). Proyecto de marbete Yamato. Recuperado de <https://www.summitagro.com.ar/wp-content/uploads/2020/11/YAMATO.pdf>
- Vidéki, R. (2009). *Prostrate knotweed, Polygonum aviculare*. Doronicum Kft., Bugwood.org. Recuperado de <https://www.forestryimages.org/browse/detail.cfm?imgnum=5398890>

CAPÍTULO 9

Trigo: rendimiento potencial y subregiones de cultivo

*Silvina Inés Golik, Axel Iván Voisin, Ana Carolina Castro
y Silvina Larran*

Rendimiento potencial

Nuestra amplia región triguera si bien en forma global es considerada como una de las mejores del mundo para la producción del trigo. Dentro de ella existen subregiones con diferentes condiciones edafoclimáticas y de manejo que hacen que los rendimientos medios del trigo en Argentina sean muy inferiores a los rendimientos potenciales (Menendez, 2007a; Menendez & Satorre, 2007). **El rendimiento potencial**, determinado por los factores definitorios (radiación, temperatura y material genético) expresa el rendimiento máximo posible para una subregión determinada en ausencia de limitaciones hídricas, de nutrientes, de plagas, enfermedades y malezas. **El rendimiento alcanzable**, limitado por factores no controlables (suelo, agua), expresa, por lo tanto, la proporción del rendimiento potencial que puede lograrse en condiciones normales de disponibilidad hídrica en cada subregión y con un adecuado control de plagas, enfermedades y malezas. Y por último tenemos el **rendimiento logrado**, que expresa la proporción del rendimiento alcanzable que puede obtenerse cuando no se aplica una determinada tecnología, por ejemplo, no aplicación de funguicidas, insecticidas y/o herbicidas. Entre estos niveles de rendimiento existen dos tipos de brechas: entre el rendimiento potencial y el alcanzable se da la **brecha ecológica**, dada por los factores no controlables y entre el rendimiento alcanzable y el logrado, tenemos la **brecha tecnológica**, dada por factores controlables (Fig. 9.1). Durante varios años se han realizado diversos estudios (Menendez, 2007a; Menendez & Satorre, 2007), para cuantificar el rendimiento potencial a través de modelos de simulación como el *Ceres Wheat*, en base a dos relaciones ecofisiológicas ampliamente documentadas como son: el número de granos por unidad de superficie (NG) asociado con el coeficiente fototermal (Q) durante el período de crecimiento de las espigas y el peso de los granos (PG), inversamente relacionado con la temperatura media durante el llenado de los granos (TLLG). Como ya hemos visto el número de granos es el principal componente del rendimiento y para que exprese sus mejores valores debíamos lograr ubicar el período crítico de su definición con el máximo coeficiente fototermal (Q) posible teniendo presente la fecha de última helada, que en muchas subregiones constituye una limitante. Por su parte, el peso de los granos también en-

cuentra sus mejores condiciones para expresar su potencial con siembras tempranas que favorezcan una mayor división celular con temperaturas moderadas, que aseguren una buena duración de la etapa. De esta manera, relacionando ambos componentes del rendimiento NG y PG con dichos factores ambientales (Q y TLLG), obtienen el rendimiento potencial.

A su vez para determinar los rendimientos alcanzables y los rendimientos logrados, utilizaron numerosos ensayos del plan nacional de trigo AACREA (2005), realizados en las diferentes subregiones y con distintos niveles de fertilización y control de enfermedades. En base a todo esto obtuvieron las brechas ecológicas y tecnológicas para cada subregión. Y como se supone, en aquellas subregiones con mejores condiciones ambientales para el desarrollo del trigo, las brechas tecnológicas, que surgen de la no aplicación de una o más tecnologías son las responsables de las mayores caídas del rendimiento con respecto al potencial (por ejemplo la no aplicación de tecnologías en el SE de Bs. As. puede provocar una caída del 42 % del rendimiento con respecto al potencial posible en la zona), mientras que en las subregiones con falta de agua y/o suelos pobres, la caída del rendimiento con respecto al potencial se asocia fundamentalmente con factores ecológicos (por ejemplo región VN). En promedio para toda la región triguera una caída del 26% respecto al potencial es esperable cuando no se aplican fertilizantes, ni funguicidas, ni se controlan malezas.

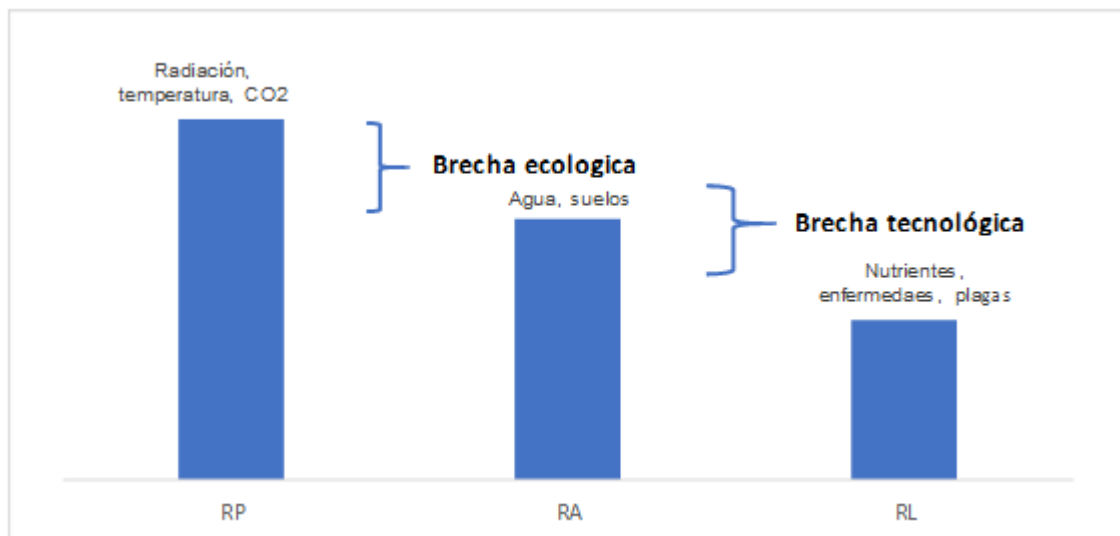


Fig. 9.1. Rendimiento potencial (RP), rendimiento alcanzable (RA) y rendimiento logrado (RL) y sus brechas ecológicas y tecnológicas.

Subregiones ecológicas de trigo

La región triguera argentina se extiende desde los 25° de latitud sur, incluyendo a la zona de Chaco y Formosa, hasta los 40°, con los cultivos de Patagones y Villarino. Y de este a oeste se encuentra comprendida entre los 58° a los 66° de longitud oeste. La zona triguera tradicional está limitada al norte por la isoterma de 13°C de julio, mientras que en el sur lo es por la de 7°C, valor acorde a los requerimientos invernales de este cultivo (Rubí Bianchi & Cravero,

2010). Es una amplia llanura ligeramente ondulada, modificada únicamente por las serranías del sur de la provincia de Buenos Aires, con altura máxima cercana a los 1200 m.

El suelo está formado por una capa de loess de origen eólico, constituido por elementos finos, compacto y con una importante retención hídrica en la porción noreste y más suelto y permeable hacia el oeste. El subsuelo es arcilloso y a profundidad variable, suele presentar tosca, de manera aislada o formando capas impermeables que obligan a las aguas a escurrir hacia lugares bajos formando lagunas y cañadones.

El tipo de vegetación natural dominante, resultado de las características climáticas y edáficas, es de tipo estepario o pseudo-estepario de gramíneas, con doble reposo: en invierno por las bajas temperaturas y heladas, y en verano por balances hídricos negativos. Sin embargo, la elevada variabilidad que caracteriza al clima argentino hace posible la ocurrencia ocasional de inviernos benignos que no interrumpen el crecimiento vegetal, o de veranos anormalmente provistos de abundantes precipitaciones que mantienen el verdor estival de la pradera.

El régimen térmico resultante de la acción conjunta de varios factores entre los que se destaca la oceanidad, influencia común a todo el hemisferio sur que, atenua la variación anual de la temperatura, genera veranos frescos e inviernos suaves, le confiere a la región la característica de ser una de las superficies con mayor potencial productivo de granos y carnes del mundo. El invierno, muy poco intenso en comparación con iguales latitudes del hemisferio norte, está provisto, sin embargo, del enfriamiento suficiente para satisfacer las necesidades de vernalización medianamente intensas de los cereales invernales utilizados regionalmente. Las fechas de ocurrencia de primera y última helada presentan una gran variabilidad climática, es decir, grandes oscilaciones de un año al otro, que, expresadas con valores de desviación típica, es de ± 15 a ± 25 días para las primeras y ± 20 a ± 30 días para las últimas. Dentro de la pradera pampeana, el periodo medio libre de heladas, durante el cual se puede establecer la estación de cultivo varía desde 180 días (principios de octubre a mediados de abril) en la región sudoccidental, hasta 340 días (mediados de agosto a mediados de junio) en la nororiental. Pocas llanuras agrícolas cuentan con una estación de cultivo tan extensa.

Durante el invierno el trigo y demás cereales de grano fino cumplen sus etapas de crecimiento y satisfacen sus exigencias en frío. La temperatura del aire para el mes de mayor enfriamiento, julio, se ubica en las isolinéas de mínimas medias entre 1°C y 7°C , lo que da la idea de la relativa suavidad de la estación invernal, comparadas con otras regiones del mundo, con variaciones geográficas dependiente de la latitud, la continentalidad y la altitud. Durante este mes se registra la mayor frecuencia media de días con heladas, variando de 3 a 5 para el noreste de la Mesopotamia, aumentando hasta 16 -18 en la parte occidental. Respecto a los fríos extremos, las temperaturas mínimas absolutas probables de ocurrir en uno de cada 20 años, oscilan entre -4°C y -12°C , según zonas.

Otra característica de la estepa pampeana referente, en este caso, a la acción biometeorológica favorable de las bajas temperaturas, queda sintetizada en la distribución geográfica de las "horas de frío" acumuladas durante el periodo 1 de mayo– 30 de septiembre. Este índice puede señalar el nivel de vernalización posible para cultivos cerealeros. La variación regional de

enfriamiento condiciona la distribución de los cultivares de cereales y especialmente de trigo, cuyos cultivares de mayor exigencia en vernalización se deben cultivar en la zona sur donde se totalizan entre 1000 a 1200 horas de frío, mientras que en la norte pueden prosperar cultivares de ciclo corto, intermedios, capaces de satisfacer sus reducidas exigencias en frío a temperaturas más elevadas. Esto se corrobora con la cantidad de días con temperaturas mínimas menores a 7°C, que es casi nula en el noreste y de seis meses en el sudoeste.

Cabe aclarar que el mapa oficial de la región triguera argentina comenzó a publicarse a partir del año 1938 en cumplimiento de lo establecido en el Inciso C, Art. 26, de la Ley 12252 (Ley de Granos y Elevadores, 1935). Los mapas fueron elaborados y actualizados inicialmente por el Tribunal de Fiscalización de Semillas y luego por la Comisión Nacional de Semillas (CONASE), y publicados en los Consejos de Siembra hasta 1986. Este último mapa presentaba 7 Subregiones trigueras, en las cuales no estaba definido el límite oeste de las Subregión VN y VS, el límite norte de la Subregión VN y el límite sur de la Subregión VS. Su última actualización se realizó en 1952, desde entonces permaneció sin cambios importantes hasta que al comienzo de la década del 2000 se incorporaron como subregiones el NOA y NEA y se propusieron límites a las Subregiones VN y VS. Estas modificaciones tuvieron varias propuestas por lo cual, actualmente, no se cuenta con un mapa de subregiones trigueras único. Otro problema de los mapas de subregiones disponibles es que los límites de las subregiones no coinciden con los límites de los departamentos y partidos, lo cual dificulta los cálculos de producción y el replanteo del mapa (es decir la demarcación del mapa en el terreno). Dado que la mayoría de los límites políticos ya están delimitados en el terreno, la coincidencia entre las subregiones y los límites políticos sería ventajosa, de ahí que recientemente se ha presentado un nuevo mapa (Abbate, 2022) donde el área cubierta incluye desde el norte del país hasta el sur de Río Negro. Este es un cambio importante respecto de los mapas anteriores que sólo incluían zonas en las que el cultivo ya estaba difundido. Este nuevo mapa incluye zonas no tradicionales para el cultivo de trigo, pero donde su producción es viable, lo que ayudará a difundir el cultivo y orientará tanto al productor como a los profesionales en las subregiones no tradicionales. Los límites de las “nuevas subregiones” (en total 26), se hicieron coincidir con los límites políticos de los departamentos y partidos en todos los casos y se clasificaron en: (1) “Subregiones de producción permanente”, son aquellas en las que todos los años se produce trigo, y (2) “Subregiones de producción ocasional”, en la cuales hubo producción de trigo o podría haberla con estímulo económico y social apropiado (Fig.9.2).

Debido a que este proyecto acaba de ser aprobado por el INASE y por lo tanto no se cuenta con datos de cada subregión, en nuestro libro continuaremos considerando las subregiones tradicionales, incluyendo el NOA y el NEA (Fig.9.3).

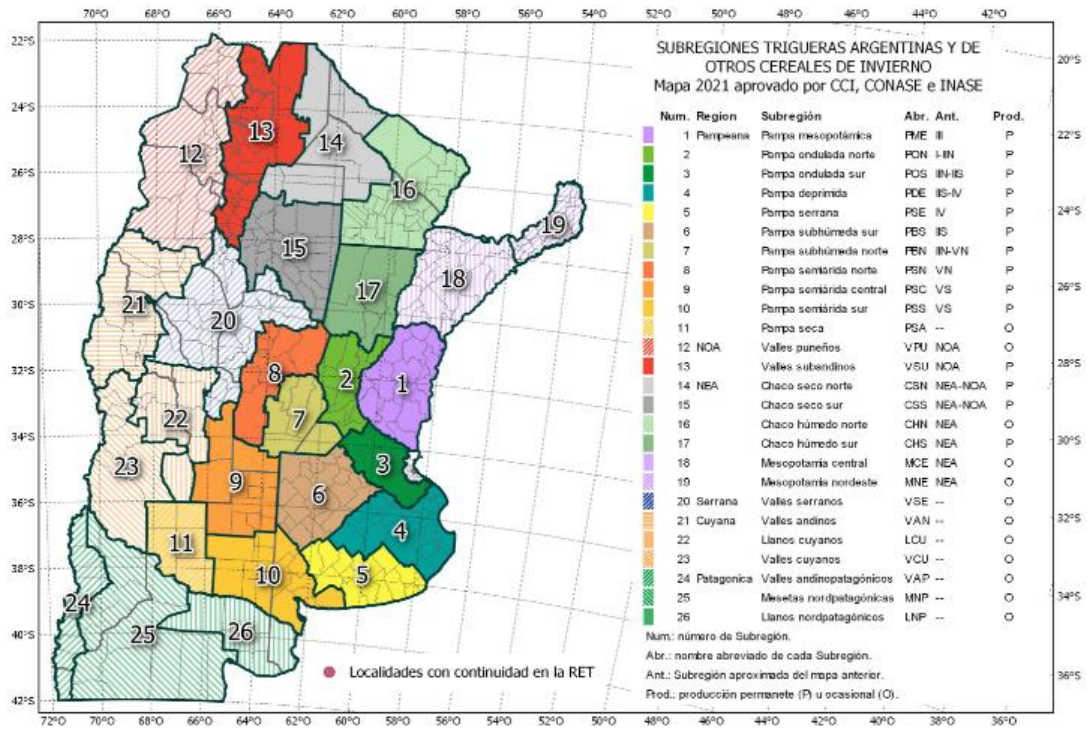


Fig.9.2. Nuevo mapa de subregiones trigueras aprobado por INASE. Fuente Pablo Abbate



Fig.9.3. Subregiones trigueras consideradas en el presente capítulo.

Subregión I

Comprende el centro norte de Santa Fe y el departamento cordobés de San Justo. En el extremo sur de la región se halla la mayor concentración del cultivo, asociada con la alternativa trigo - soja de segunda.

Clima

El clima es considerado húmedo - subhúmedo, con un promedio anual de precipitaciones que varía de 860 mm en el NO a 1000 mm en el SE. La distribución es marcadamente estacional concentrándose en primavera-verano el 70% de las lluvias. Los meses de junio, julio y agosto tienen registros de 25 - 35 mm, lo que, sumado a su irregularidad, determinan frecuentemente, problemas en la preparación del suelo. Los inviernos son cortos y suaves, con temperaturas promedio de 13 - 14°C que acortan el período de macollaje y aceleran el crecimiento y desarrollo, con una fecha media de última helada alrededor del 20/8 \pm 20 días. Siendo una limitante importante, especialmente en el norte, centro de la subregión, las altas temperaturas durante el llenado de los granos, provocando golpes de calor que terminan provocando la caída del peso de los granos y por ende del rendimiento (Turchi *et al.*, 2017).

Suelos

En el norte de Santa Fe, los suelos son pobres, de baja calidad, en virtud de su larga historia agrícola, del monocultivo y de los escasos sistemas conservacionistas. Las principales limitantes son la lenta infiltración, bajo contenido de materia orgánica, erosión en zonas con pendientes y en muchos casos suelen presentar un alto contenido de limo, que sumado a la baja MO provoca compactación y escasa acumulación de agua en el perfil, siendo los suelos de clase II_{VV}, III_W y IV (Vicentin, 2007). Desde el centro hacia el extremo sur de la subregión, las condiciones edafoclimáticas mejoran. En el centro la disponibilidad de agua útil en el perfil del suelo en el 50 % de los casos suele no ser la adecuada para la siembra en otoño. Hacia el sur la calidad de los suelos y el régimen hídrico, como asimismo las temperaturas durante el llenado de los granos mejoran (Turchi *et al.*, 2017). Los suelos de las áreas agrícolas están representados por una asociación de Argiudoles típicos en los sectores bien drenados, con un horizonte A1 de 23 a 37 cm, medianamente provistos de materia orgánica. El B2 que se encuentra a continuación es potente y de espesor variable en 53 a 65 cm. Hay también Argiudoles ácuicos que tienen un A1 de 19-23 cm de espesor, medianamente provistos de materia orgánica y con una mayor expresión del B2. La potencialidad de los suelos se puede ver limitada por condiciones físicas referidas a sus propias características y por el manejo inadecuado, determinando la presencia de planchado, piso de arado, compactación y horizontes densificados que limitan el crecimiento de las raíces. Estos problemas se pueden corregir mediante rotaciones adecuadas y técnicas de labranza vertical. Los suelos donde más se cultiva el trigo en el centro sur son de clase I y II (Vicentin, 2007).

Cultivares y fechas de siembra

En el norte de Santa Fe, para la optimización de los rendimientos en la subregión, se considera el empleo de cultivares de ciclo intermedio a corto, con fechas de siembra en la segunda quincena de junio, que posibiliten la espigazón-floración a fin de septiembre - principios de octubre y la cosecha a mediados de noviembre. Esta estrategia apunta a escapar a las altas temperaturas durante el llenado de granos (golpes de calor) que se producen en el mes de octubre en adelante (Vicentin, 2007; Miralles 2015; Furlani & Ferrero, 2017).

En el norte de Santa Fe, se utilizan mayoritariamente ciclos cortos (70 %) sembrados en junio (Furlani & Ferrero, 2017). Hacia el centro y sur de Santa Fe, donde las condiciones ecológicas para el cultivo mejoran, generalmente se utilizan un 60% de ciclo intermedio- largo y un 40 % de ciclo corto. Generalmente los ciclos más largos se siembran desde mediados de mayo hasta mediados de junio, los intermedios en el mes de junio y los ciclos cortos desde mediados de junio a principios de julio. A veces suele anticiparse la siembra de los ciclos cortos, aunque se corre el riesgo de la ocurrencia de heladas tardías durante el llenado de granos (Buscarol, 2007; Furlani & Ferrero, 2017). La densidad de siembra en ambientes óptimos es de alrededor de 250-290 pl.m⁻² para ciclos intermedios a largos y de 300-330 pl.m⁻² para ciclos cortos.

SUBREGION I

CICLO: PREVALECEEN LOS CICLOS INTERMEDIOS A CORTOS (70 %) AL NORTE Y LOS CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS AL SUR (60%)

FECHA DE SIEMBRA:

10 AL 30 DE MAYO CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS

10 DE JUNIO A PRINCIPIOS DE JULIO CICLOS CORTOS

Adversidades bióticas

En esta subregión se presenta un número importante de adversidades bióticas entre los que se destacan la fusariosis (*Fusarium graminearum*), las manchas foliares como la mancha amarilla (*Drechslera tritici-repentis*) y la septoriosis de la hoja (*Zymoseptoria tritici*), la roya de la hoja o anaranjada (*Puccinia triticina*), roya amarilla (*Puccinia striiformis*), roya del tallo (*Puccinia graminis*) y el carbón volador (*Ustilago tritici*).

Calidad del trigo

En esta subregión las condiciones de humedad y las lluvias de octubre-noviembre se pueden asociar con la presencia de defectos comerciales como los granos lavados. Además, dependiendo de las condiciones ambientales de cada campaña pueden presentarse defectos comerciales tales como granos panza blanca, brotado y en algunas campañas la presencia de *Fusarium* (granos calcinados). En promedio para las campañas 2016-2021 se obtuvo un Peso hectolitrico de 79,63 kg/hl, un Falling Number de 378 s, gluten húmedo 25,63%, Fuerza panadera (W) 245 J × 10⁻⁴ y P/L 0,67. Considerando los grupos de calidad, el 38,5% de los cultivares sembrados co-

respondió al grupo 1 y el 50,5% al grupo 2 y el 10% al grupo 3 (Granotec, 2020). El 55% de las muestras analizadas correspondió al grado comercial 1 (web trigo argentino).

Representatividad

En el contexto nacional esta región representó para las campañas 2016-2019 entre un 9 y un 9,5% tanto de producción nacional como en la superficie sembrada. Sus rendimientos son inferiores a la media del país con valores que rondan los 2.200 y 2500 kg.ha⁻¹ (web Trigo Argentino, 2020). Las perspectivas de crecimiento son bajas y asociadas al cultivo de soja de segunda.

Subregión II norte

Comprende un pequeño sector del NE de la provincia de Buenos Aires, el sur de Santa Fe y los departamentos de Unión y Marcos Juárez de Córdoba.

Clima y suelo

El clima es templado-subhúmedo, con adecuadas temperaturas y humedad en el sector este, resultando más favorables que las condiciones descriptas para la anterior subregión, con menores temperaturas en julio–agosto y más disponibilidad de precipitaciones en septiembre e incluso los balances hídricos durante las últimas dos décadas han sido positivos, generando el ascenso de la napa freática e incluso graves inundaciones afectando al cultivo en varias ocasiones. Sin embargo, el esquema de rotaciones y la época de siembra utilizados usualmente dificultan el mayor aprovechamiento de las condiciones citadas, puesto que en los últimos años se incrementó notablemente el área sembrada con soja en perjuicio de doble cultivo trigo-soja de segunda (Pozzi, 2017). Fecha media de última helada: 15/9 ± 20 días.

En el NE prevalecen los Argiudoles típicos, medianamente compactos, con diferentes expresiones del Bt y aptitud para el cultivo de cereales. En el sur de Santa Fe se encuentran suelos más francos, más profundos y permeables, con asociaciones de Hapludoles y en algunos casos, Argiudoles con muy buenas características para el cultivo del trigo (Pozzi, 2017). Esta región es la que más intensamente ha sufrido el proceso de agriculturización, con un elevado porcentaje de lotes condicionados por largos períodos agrícolas. En la actualidad, la adopción generalizada de la siembra directa, el incremento de la fertilización y la optimización del manejo del cultivo en cuanto a épocas y cultivares, ha posibilitado estabilizar y mejorar los rendimientos de trigo, especialmente en la rotación trigo-soja de segunda.

Al oeste, en los departamentos de Marcos Juárez, Unión y sudeste de Santa Fe, prevalecen suelos más sueltos, franco arenosos y asociaciones de Hapludoles, con menor capacidad de retención hídrica. Este mismo sector resulta coincidente con un clima más continental, con otoños, inviernos y primaveras más secas y frías, con mayores riesgos de heladas tardías que provocan daño irreversible cuando ocurren desde espigazón en adelante (Castellarin, 2009; Corró Molas *et al*, 2016) e incluso en los últimos años con riegos de heladas tempranas que han afectado al cultivo en estado de pasto (Miralles, 2015), contribuyendo a este efecto deleté-

reo la abundancia de rastrojo en superficie debido a la siembra directa (Alberione & Andreucci, 2017). Como ya hemos citado en el Capítulo de siembra y densidad, en Marcos Juárez el observatorio del INTA en el año 2019, ha registrado numerosas heladas entre junio y julio, que afectaron la implantación de las variedades de ciclo largo, intermedio y corto y continuaron registrándose en agosto, afectando la implantación de las siembras más tardías y heladas en septiembre durante el encañado. Estos aspectos se deben tener en cuenta en la elección de los cultivares y la época de siembra, siendo generalmente los cultivares de ciclo corto más sensibles a las heladas tempranas (Miralles, 2015).

Adversidades bióticas

Las enfermedades fúngicas que se presentan en esta subregión si bien son similares a las de la subregión I suelen presentar menor intensidad, mientras que los defectos en calidad comercial resultan menos importantes. Para las royas, se aplican carboxamidas, en la mayoría de los casos en hoja bandera, e incluso suelen hacerse dos aplicaciones uno antes y otra posterior a hoja bandera (Ermacora, 2017).

Normalmente el trigo se siembra sobre soja de primera, realizándose un control durante el barbecho, entre las malezas más importantes se pueden mencionar: rama negra, ortiga mansa, capiquí, entre las latifoliadas y raigrás entre las gramíneas, que comienza a ser resistente y para su control se está usando pinoxaden como postemergente. Para el control de hojas anchas Acciaresi & Principiano (2020), observaron que el mayor uso de hormonales en el N de la Provincia de Buenos Aires (2,4 D, dicamba, picloram, halauxifén, entre otros) y herbicidas ALS (tales como metsulfurón, clorimurón, imazetapir, diclosulam) se produce actualmente durante el barbecho químico, en presiembra y en preemergencia. Para el control de rama negra residual (plantas viejas) en el barbecho se usa la técnica del doble golpe: primero se aplica glifosato, 2, 4 D y picloram. Y a los 10 días se aplica un desecante como paraquat (Pozzi, 2017).

Calidad

En promedio para las campañas 2016 -2021 se obtuvo un Peso hectolitrico de 79,15 kg/hl, un *Falling Number* de 396s, gluten húmedo 25,46%, Fuerza panadera (W) $227 J \times 10^{-4}$ y P/L 0,84. Considerando los grupos de calidad, el 38% de los cultivares sembrados correspondió al grupo 1, el 56% al grupo 2 y el 6% restante al grupo 3 (Granotec, 2020). El 65% de las muestras analizadas correspondió al grado comercial 2 (web Trigo Argentino, 2020).

Representatividad

Esta región históricamente tiene una representatividad aproximada del 18 – 19% de la producción, con similar porcentaje en la superficie sembrada, dado que sus rendimientos son semejantes a la media del país o levemente superiores. En la actualidad dicha tendencia se mantiene estable. Durante las campañas comprendidas entre 2016 – 2019 esta subregión representó un 21% de la superficie y 19% de la producción (web Trigo Argentino, 2020). Los rendimientos según los años, en la región central presentan promedios máximos de 7000 kg/ha y en Córdoba con valores de alrededor de 3400 kg/ha (web Trigo Argentino campaña 2018).

En esta región los cultivares de genética francesa producen mejores resultados en la zona sur, mientras que hacia el norte no se destacan del resto o incluso se comportan peor y esto sería debido a su mayor sensibilidad a las altas temperaturas.

Fecha de siembra

Pueden sembrarse ciclos largos tempranamente desde fines de mayo a principios de junio, sin embargo, dado los esquemas de rotación y secuencia de cultivo de esta región, se generalizan las siembras con cultivares de ciclos cortos durante el mes de julio, siendo las de mejor comportamiento las concretadas del 1 al 20 de dicho mes. En tal situación, la espigazón se ubicaría entre el 10 y el 20 de octubre, realizándose la cosecha en la primera quincena de diciembre.

El porcentaje de ciclos cortos y largos actualmente está equilibrado, sin diferencias de potencialidad y estabilidad entre los mismos (Ermacora, 2017) y también porque existen evidencias de que la soja de segunda sembrada sobre trigos de ciclo corto rinde más que aquella sembrada sobre ciclos largos. Esto se relacionaría al menor consumo de agua que realizan los ciclos cortos, lo que permite a la soja una implantación con mejores condiciones de humedad y a su vez una siembra más temprana (Menendez, 2007b). Generalmente las fechas de siembra tienden a ser más tempranas en el norte que en el sur, aunque esta tendencia no es clara y muchas veces en el sur prefieren sembrar bien temprano, aunque aumente el riesgo por heladas, pero mejoran el ambiente fototermal que explorará el trigo y favorecen el adelanto de la siembra de la soja de segunda (Menendez, 2007b).

SUBREGION II N

CICLO: SE SIEMBRA UN 50 % CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS Y UN 50 % CICLOS CORTOS

FECHA DE SIEMBRA:

AL SUR DE SANTA FE, LOS CICLOS LARGOS SE SIEMBRAN DEL 20 DE MAYO AL 1 DE JUNIO Y LOS CICLOS CORTOS DEL 15 DE JUNIO AL 15 DE JULIO.

Subregión II sur

Es una región típicamente bonaerense con características intermedias, en relación al manejo y a la utilización de cultivares, entre el norte y el sur.

Clima

El clima –a excepción de toda la franja oeste donde existen problemas de disponibilidad hídrica- resulta muy adecuado para los requerimientos de trigo. Se destacan las temperaturas de junio, julio y agosto, muy cercanas al óptimo requerido para el macollaje. La espigazón se produce en la segunda quincena de octubre, con temperaturas de alrededor de 17°C y la cosecha

se concreta a mediados de diciembre. En el sudoeste de la región se pueden presentar problemas con las heladas tardías. Fecha media de última helada de la subregión: $30/9 \pm 20$ días.

En relación a las precipitaciones anuales, son del orden de 900 mm, aunque disminuyen hasta 700 mm hacia el oeste y sudoeste. La distribución, en general, resulta bastante adecuada para el cultivo del trigo. El invierno cuenta con algo más de precipitaciones que en las subregiones anteriores y en los meses de octubre- noviembre se presentan 80-90 mm, coincidentemente con los meses de mayores requerimientos.

Considerando que gran parte de esta subregión presenta una situación climática adecuada, los rendimientos dependen en buena medida de los diferentes tipos de suelos y alternativas de manejo. Se identifican cinco zonas:

- norte, área maicera típica, pampa ondulada con suelos Argiudoles;
- sudeste, pampa deprimida, correspondiente a la depresión del Salado;
- central, de pradera mediana, de buen drenaje, suelos Hapludoles;
- sudoeste, suelos de estructura débil, Haplustoles, arenosos con bajo porcentaje de materia orgánica, colindantes con la región semiárida;
- noroeste, con suelo franco arenoso, asociaciones de Hapludoles-Haplustoles, de mediana capacidad productiva y mediano contenido de materia orgánica.

Cultivares y fechas de siembra

En el sector noreste, se utilizan preferentemente cultivares de ciclo intermedio y siembras en la segunda quincena de junio, la espigazón se ubica a principios de octubre y la cosecha a principios de diciembre. En esta misma zona el antecesor más importante del trigo es el girasol. Considerando toda la subregión se puede decir que los materiales de ciclo intermedio-largos representan un 75%, con una densidad de 250 pl.m^{-2} , siendo los cultivares de genética francesa los de mayor uso: 74 %.

SUBREGION II S

CICLO: 75 % DE CICLOS INTERMEDIOS Y LARGOS.

FECHA DE SIEMBRA: DEL 20 DE MAYO AL 10 DE JUNIO LOS CICLOS LARGOS, LOS CICLOS INTERMEDIOS EN JUNIO Y LOS CICLOS CORTOS DE MEDIADOS DE JUNIO A MEDIADOS DE JULIO

Rotaciones

Con el tiempo la soja fue ganando terreno en la región, en perjuicio del maíz y el girasol. De este modo las secuencias más frecuentes son: soja-trigo/ soja de segunda- maíz o soja-trigo/ soja de segunda. Aquí, la soja se considera mejor antecesor para el trigo que el maíz por varios motivos: debido al menor volumen de rastrojo que disminuye el efecto de las heladas al estado de pasto, disminuye el riesgo de enfermedades y aporta una mayor disponibilidad actual de N. También resulta mejor que el girasol en cuanto al control de malezas y a la distribución del

rastrojo (Ropero, 2007). No obstante incorporar el maíz en la rotación es un gran beneficio a futuro respecto a la conservación del suelo, por el aporte de carbono que el mismo realiza.

Adversidades

Entre las adversidades que afectan en esta subregión pueden mencionarse principalmente a las malezas y enfermedades como las manchas foliares (mancha amarilla, mancha de la hoja), roya anaranjada, roya amarilla y fusariosis.

Calidad

En esta subregión y dependiendo de las condiciones ambientales de cada campaña pueden presentarse defectos comerciales tales como granos panza blanca. En promedio para las campañas 2016 -2021 se obtuvo un Peso hectolitrico de 80,95 kg/hl, un Falling Number de 419s, gluten húmedo 24,19%, Fuerza panadera (W) $229 \text{ J} \times 10^{-4}$ y P/L 0,84. El 50,5% de los cultivares sembrados correspondió al grupo 1 de calidad y el 49,5% al grupo 2 (Granotec, 2020). El 76% de las muestras analizadas correspondió al grado comercial 2 (web Trigo Argentino, 2020).

Representatividad

Durante las campañas comprendidas entre 2016 – 2019 esta subregión representó un 13 % de la superficie y 21% de la producción, dando los mejores rendimientos a nivel nacional con valores de 4000 a 4200 kg.ha⁻¹ de promedio y picos en lotes puntuales de alrededor de 7500 kg/ha (web Trigo Argentino, 2020).

Subregión III

Abarca la provincia de Entre Ríos y el cultivo se concentra en los departamentos de Paraná, Diamante, Victoria, Concepción del Uruguay y Villaguay.

Clima

El clima es templado-cálido y las temperaturas de julio y agosto (12-13°C) resultan excesivas para macollaje. La espigazón se debe ubicar a principios de octubre con 17°C y la cosecha en la primera quincena de diciembre con 22- 23°C. Fecha media de última helada: 20/8 ± 20días.

Una de las características climáticas de esta región es la irregularidad de las precipitaciones. Los inviernos alternan entre secos y lluviosos, lo que, sumado a las características de suelo, determina que frecuentemente se produzcan inconvenientes para que la preparación del suelo se realice en el momento óptimo. Habitualmente se pueden presentar deficiencias de precipitación hasta encañazón y posteriormente, excesos en madurez que determinan defectos de calidad comercial como ser granos lavados. Otro defecto frecuente en la región son los granos panza blanca, asociados a la alta humedad relativa y baja radiación por aumento de la nubosidad durante el llenado de granos. La irregularidad de las lluvias es una

limitante importante, como así también las elevadas temperaturas que aceleran las fases y disminuyen los rendimientos.

Suelo

Los suelos agrícolas más comunes son vertisoles, con alto contenido de arcilla, que se caracterizan por un drenaje interno lento y uno superficial rápido y además dificultan la exploración radical. Esto disminuye la capacidad de aprovechamiento del agua debido a la topografía de las lomadas entrerrianas, con pendientes y desniveles. En una menor proporción también se presentan argiúdoles de mayor aptitud agrícola. Esto genera fluctuaciones en el rendimiento del trigo por lo que se buscan otras alternativas en la región como cebada, colza o arveja (Suino, 2017).

Cultivares y fechas de siembra

Los ciclos más largos se tratan de sembrar entre el 20 - 25 de mayo y el 30 de junio y a partir de ese momento se pasa a los ciclos cortos hasta el 10-15 de julio, ya que a medida que se atrasa la fecha de siembra el rendimiento disminuye puesto que los cultivares se ven expuestos a mayores temperaturas durante todo su ciclo, especialmente durante el periodo crítico (Muller, 2007, Suino, 2017).

SUBREGION III

CICLO: SE SIEMBRAN TODOS LOS CICLOS

FECHA DE SIEMBRA: DEL 20 DE MAYO AL 30 DE JUNIO LOS CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS Y DEL 30 DE JUNIO AL 15 DE JULIO LOS CORTOS

Adversidades bióticas

Entre las limitantes de esta región se deben señalar las bióticas, que resultan muy similares a las mencionadas en la subregión I, tal como es el caso de las enfermedades fungáceas (manchas foliares, roya anaranjada, roya del tallo, roya amarilla, fusariosis y el oídio de los cereales). En esta subregión es aún más problemática la incidencia de las malezas. Se aplican en el barbecho glifosato + productos hormonales + sulfonilureas. Si se plantea una segunda aplicación se suele aplicar una sulfonilurea. En los lotes con gran problema de raigrás resistente a glifosato, lo más habitual es la aplicación en presiembra de glifosato con un graminicida como Cletodim. En post emergencia se lo combate con Merit (pyroxsulam + metsulfuron) o Hussar (iodosulfuron + metsulfuron). Se puede combinar con hormonales para ampliar el espectro de malezas a controlar. En estadios más avanzados y hasta primer nudo se puede, también, aplicar un graminicida más específico (Pinoxaden), que se puede mezclar con sulfonilureas o con hormonales (Suino, 2017).

Calidad

En esta subregión y dependiendo de las condiciones ambientales de cada campaña pueden presentarse defectos comerciales tales como granos panza blanca, lavado, brotado y en algu-

nas campañas Infecciones por *Fusarium* spp. produce granos calcinados. En promedio para las campañas 2016 -2021 se obtuvo un Peso hectolítrico de 80,74kg/hl, un Falling Number de 411,5 s, gluten húmedo 25,38%, Fuerza panadera (W) $210 \text{ J} \times 10^{-4}$ y P/L 0,63. El 26% de los cultivares sembrados correspondió al grupo 1 de calidad, el 44 % al grupo 2 y 30 % restante al grupo 3 (Granotec, 2020). El 65% de las muestras analizadas correspondió al grado comercial 2 (web Trigo Argentino, 2020).

Representatividad

Esta subregión tiene una escasa representatividad a nivel nacional, sin embargo, durante las campañas comprendidas entre 2016-2019, ésta subregión representó entre un 6 y un 9,4% según los años en superficie y producción con rendimientos entre 2500 y 3770 kg.ha⁻¹ (web Trigo Argentino, 2020).

Subregión IV

Se ubica en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, integrada por los partidos costeros que van desde General Pueyrredón hasta Tres Arroyos e incluyendo algunos del centro provincial, con una alta concentración de siembra de trigo, sobre todo en los partidos del sur. Dentro de la región se pueden delimitar tres subzonas: el sector este, que comprende a General Alvarado, Lobería, Balcarce y parte de Necochea que representa un ambiente de alta productividad y mayores rendimientos; un sector serrano central que incluye a Tandil, Azul, Chillar y Olavarría, también con buenos rendimientos aunque con algunas limitantes topográficas y edáficas y un sector oeste, de menor disponibilidad hídrica, con frecuentes restricciones de profundidad por tosca que comprende los partidos de San Cayetano y Tres Arroyos, en los que también se reconoce una franja de suelos costeros franco arenosos. En este sector se dan los menores rendimientos promedios por hectárea coincidentes con la menor disponibilidad hídrica, pero con menores problemas de enfermedades al ser una región con menor humedad.

Clima

El clima resulta casi el óptimo para los requerimientos del cultivo, que se cumplen muy bien en sus diferentes estados de desarrollo desde la siembra a la cosecha. Es un clima templado frío, con inviernos largos y primaveras frescas, con vientos predominantes de S a SO que se acentúan en esa estación. Hay riesgo de heladas tardías, con una fecha media de última helada: 20/10 ± 20 días. Por lo que es frecuente un alto riesgo de ocurrencia de heladas en fechas cercanas a espigazón y floración del cultivo. Riesgo que aumenta desde zonas costeras a las continentales, como en Tandil, Azul y Olavarría y siendo mayor aún en posiciones bajas del terreno. Las temperaturas de 7-8°C para los meses de junio y julio determinan una situación óptima para macollaje. La espigazón se presenta a principios de noviembre con 15 -16°C, que también resulta de un nivel térmico muy adecuado. El período de llenado y madurez del grano

se cumple también con temperaturas muy apropiadas, del orden de 18-19°C y la cosecha se realiza a fines de diciembre principios de enero.

En relación a las precipitaciones, tienen una adecuada distribución y son regulares en su ocurrencia. Los meses invernales tienen 35 a 50 mm y están acompañadas por una buena humedad relativa. La espigazón se cumple con 60- 80mm y la madurez se completa con una buena situación de humedad y luminosidad.

Suelo

En general los suelos presentan como limitantes más generalizadas a un manto de tosca que limita el drenaje y la profundización de raíces; deficiencias de fósforo y también de la materia orgánica que disminuye de noreste hacia el sudoeste de esta región, con la menor capacidad de proveer nutrientes del suelo en ese sentido (Calviño & Divito, 2017).

Cultivares y fechas de siembra

En esta subregión se pueden sembrar ciclos cortos por la rotación con la papa (siempre teniendo presente la fecha tardía promedio de última helada), ciclos intermedios y ciclos largos. En los últimos años el cultivo de cebada ha venido desplazando al trigo por diversas causas entre ellas retenciones por derecho de exportación, la instalación de malterías en nuestro país y las demandas mundiales de malta para la elaboración de cervezas (Calviño & Divito, 2017).

Por otro lado, a esta región también llegó la práctica del doble cultivo trigo- soja de segunda, pero con mucho menor margen en las condiciones ecológicas para la oleaginosa. Debido a ello es que en la zona buscan sembrar el trigo lo antes posible, considerando la fecha promedio de última helada y un período de floración-madurez más reducido, ya que por cada día de adelanto en la fecha de siembra de la soja de segunda se calcula un aumento del rendimiento de 50 kg.ha⁻¹ (Calviño *et al.*, 2003). O bien al trigo se lo reemplaza por cebada debido a que permite la siembra de soja de segunda unos 8 – 10 días antes que sobre trigo, con un aumento de la oleaginosa entre 200 a 300 kg/ha (Di Napoli & González Montaner, 2017). Durante la campaña 2016/17 en muchas zonas cercanas al puerto Quequén, la cebada ocupó más del 70% de la superficie dedicada a cultivos de invierno (Calviño & Divito, 2017).

Hay una adopción importante de cultivares Baguette de altos rendimientos, aunque se observan diferencias marcadas entre las tres subzonas mencionadas anteriormente: en Necochea ocupan el 79%, en la zona serrana central el 44% y en Tres arroyos el 21%. Es decir que su participación disminuye hacia áreas de menor productividad, en las que presentan mayor participación de variedades de mejor aptitud panadera, pertenecientes al grupo 1 de calidad por ejemplo variedades del grupo Buck. Si consideramos los grupos de calidad, los más sembrados en la subregión son los del grupo 2. Los del grupo 1 ocupan solo un 5% en la zona de Necochea, con un máximo de 25 -30% en las zonas serranas, áreas de menor calidad ambiental (Di Napoli & González Montaner, 2017).

En los ambientes de mayor potencial (costeros y suelos profundos continentales) (este) se pueden esperar rendimientos de 6500/7000 kg ha⁻¹, sembrándose normalmente ciclos largos a intermedios durante los primeros días de junio. En general se opta por variedades de grupo de

calidad 2 ó 3 dependiendo de la cercanía a puertos, donde obtener valores de gluten mayores a 26% y proteína mayor a 10.5% tiene una importancia relativa puesto que lo más importante es el rendimiento, o a molinos harineros, donde el requerimiento de calidad es mayor (Calviño & Divito, 2017). En la subzona central, las lomas someras de los lotes continentales y la profundidad del suelo acotan el rendimiento debido a la menor capacidad de retención de agua. Así, el rendimiento resulta más dependiente de las precipitaciones y por lo tanto, más variable. El menor rendimiento medio en esta subzona puede hacer optar al productor por variedades de mayor calidad (grupos 1 ó 2). En las posiciones bajas del relieve el rendimiento alcanzable es alto, debido a que los suelos son profundos y con buena fertilidad, pero el riesgo de heladas tardías es mayor al de otros ambientes. Entonces ahí se debe demorar la fecha de espigazón del cultivo sembrando cultivares de ciclos cortos durante la primera quincena de agosto. Esta práctica termina reduciendo los rendimientos esperados. En general se opta por variedades de grupo 1 de calidad (Calviño & Divito, 2017). Hacia el suroeste de esta región (Tres Arroyos), los rendimientos medios son moderados (2500-4000 kg.ha⁻¹) pero con una seguridad de cosecha muy superior a la de los cultivos de verano, que tienen alta probabilidad de sufrir deficiencias hídricas importantes.

Recientemente Abbate (2021), encontró que la diferencia de rendimiento a favor de los cultivares de ciclo largo observada en la RET INASE del INTA Balcarce se da también en otras estaciones experimentales y que esa diferencia entre cultivares de distinto ciclo se incrementó gradualmente durante los últimos 10 años. Para ello comparó los datos de rendimiento provenientes de la RET-INASE, correspondientes a los tres cultivares de ciclo largo de mayor rendimiento con el rendimiento de los tres cultivares de ciclo corto de mayor rendimiento, durante 10 años, en ocho localidades, y concluyó que en las estaciones experimentales del sur de la provincia de Buenos Aires (Balcarce, Barrow, Miramar, La Dulce y Bordenave) los cultivares de ciclo largo superaron a los cultivares de ciclo corto presentando un rendimiento estadísticamente mayor en una mayor cantidad de años. En las localidades situadas más al norte (estaciones experimentales de Marcos Juárez, Reconquista y Plá), la ventaja de los cultivares de ciclo largo es menor; sin embargo, los cultivares de ciclo corto no presentaron una ventaja neta, siendo lo más frecuente la indiferencia entre ciclos. Comparando la evolución de la diferencia de rendimiento entre ciclos durante los últimos 10 años, se encontró que el INTA Balcarce es la única estación en que esa diferencia se estuvo incrementando consistentemente ya que en el resto de las estaciones parecería que la diferencia de rendimiento ya estaba consolidada desde 2010.

SUBREGION IV

CICLO: MAYOR PORCENTAJE DE CICLOS INTERMEDIOS Y LARGOS

FECHA DE SIEMBRA: LOS CICLOS LARGOS DE FINES DE MAYO A FINES DE JUNIO Y LOS CICLOS CORTOS DEL 15 DE JULIO AL 15 DE AGOSTO

Rotaciones

El mayor porcentaje de trigo se hace bajo siembra directa y teniendo como principal antecesor a la soja en detrimento del maíz, mientras que la superficie con girasol se mantiene. Las bajas temperaturas del invierno hacen que los rastrojos de las gramíneas se descompongan lentamente con el sistema de siembra directa. Por lo que resulta difícil realizar correctas implantaciones de trigo sobre maíz. La acumulación de rastrojo también agrava los daños por helada en el estado de pasto del trigo, especialmente en los cultivares poco resistentes al frío y en la mayoría de los ciclos cortos (Gonzalez Montaner, 2007).

Fertilización

El manejo de estos cultivos de alto potencial involucra la aplicación de dosis elevadas de nitrógeno, generalmente en forma fraccionada entre inicio y fin de macollaje. A fin de lograr una alta eficiencia en el uso del nutriente es necesario implementar modelos dinámicos, que permitan ajustar la dosis de fertilizante durante el ciclo del cultivo. Esto puede llevar, incluso, a decidir una tercera aplicación del nutriente empleando fuentes foliares. La fertilización con fósforo se decide según el nivel de P-Bray y la aplicación de azufre es una práctica usual en estos ambientes.

Adversidades bióticas

Entre las adversidades que afectan al cultivo de trigo se pueden mencionar a la roya amarilla principalmente, la roya anaranjada y la del tallo, las manchas foliares, fusariosis y pietín. Y con el sistema de siembra directa ha aumentado en gran medida la mancha amarilla. El uso de genética con susceptibilidad a enfermedades foliares (royas principalmente) genera que en la mayoría de los lotes sea necesaria la aplicación de fungicidas. Las mezclas de triazol y estrobilurina son las más utilizadas (Di Napoli & González Montaner, 2017).

Calidad

En esta subregión y dependiendo de las condiciones ambientales de cada campaña pueden presentarse defectos comerciales tales como granos panza blanca. En promedio para las campañas 2016-2021 se obtuvo un Peso hectolítrico de 79,83 kg/hl, un Falling Number de 440 s, gluten húmedo 24,46%, Fuerza panadera (W) $217 \text{ J} \times 10^{-4}$ y P/L 0,92. El 30% de los cultivares sembrados correspondió al grupo 1 de calidad, el 55,5% al grupo 2 y el 14,5% al grupo 3 (Granotec, 2020). El 78% de las muestras analizadas correspondió al grado comercial 2 (web Trigo Argentino, 2020).

Productividad y representatividad

Esta subregión ha sido por muchos años la de mayor productividad del país. Sin embargo, durante las campañas comprendidas entre 2016 – 2019 representó entre un 9,7 y un 11 % de la producción con rendimientos entre 2500 y 5000 kg.ha⁻¹, llegándose en contados casos a rendimientos de 6000 y 7000 kg.ha⁻¹ (web Trigo Argentino, 2020), siendo superada por el cultivo de cebada.

Subregión V norte

Comprende la casi totalidad de la provincia de Córdoba, con excepción de los departamentos de General Roca (V sur), Marcos Juárez y Unión (II norte) y San Justo (I). Incluyendo también el norte de San Luis y el sur de Santiago del Estero.

Los departamentos más trigueros son los ubicados al sur: Río Cuarto, Juárez Celman, Saenz Peña y Tercero Arriba. A medida que se desplaza más al norte, se degradan las condiciones ambientales para el cultivo.

Clima

La subregión está situada entre las isohietas de 600 y 900 mm anuales, disminuyendo en sentido sudeste-noroeste. Presenta situaciones de déficit de agua por elevada evapotranspiración, con una sequía invernal bien definida. En los meses de junio, julio y agosto llueven alrededor de 20 mm y en septiembre entre 40 y 50 mm, o sea son cuatro meses donde no llueve prácticamente nada. Casi el 85% de las precipitaciones son primavera estival. Esta característica condiciona en gran medida el éxito del cultivo (Martini, 2007, Angeli & Bonamico, 2017). Frente a esto resulta clave el manejo del agua durante los meses previos a la implantación del cultivo, es decir realizar un barbecho lo suficientemente largo a la salida del verano y el otoño que permita recargar el perfil del suelo y asegurar una buena implantación y macollaje del trigo.

El clima es subhúmedo – semiárido, con una fecha media de última helada el 21 de septiembre \pm 20 días. Las temperaturas de junio, julio y agosto, con 11°C de media, son un poco elevadas para macollaje.

Por la disponibilidad de agua la región del sureste es la de mayor aptitud triguera. Siendo aquí la rotación más frecuente: maíz-soja de primera-trigo/soja de segunda. La región del noroeste tiene mucha menor aptitud para el trigo, ya que además de la menor disponibilidad de agua se le suma las altas temperaturas durante el llenado de granos (Martini, 2007; Angeli & Bonamico, 2017), generando granos chuzos o arrebatados.

Suelo

Predominan los suelos castaños, Haplustoles, de textura franco-arenosa, pobres en materia orgánica y propensos a la erosión, que de todos modos mejoran hacia el sudeste de la subregión, donde existe influencia de las napas freáticas sobre el desarrollo del cultivo (Angeli & Bonamico, 2017).

Cultivares y fecha de siembra

Aproximadamente el 90 % de los cultivares son de ciclo intermedio a largo, que debido a las condiciones ecológicas hacen convenientes las siembras tempranas desde mediados de mayo a la primera quincena de junio, permitiendo hacer un mejor uso del agua acumulada en los barbechos frente a un ciclo corto, que debería sembrarse más tarde por el riesgo de las heladas. La espigazón, en esa situación, ocurre a fines de septiembre y se cosecha a fin de noviembre. Aun así, se utilizan un cierto porcentaje de ciclo cortos debido a que los criaderos han

mejorado mucho su potencial de rendimiento y por su menor consumo de humedad a lo largo de su ciclo (aproximadamente 30 días menos). Las densidades utilizadas para los ciclos más largos oscilan en 220 a 250 pl.m⁻² y para los ciclos cortos, que se siembran entre fines de junio al 10-20 de julio, son de 320 a 350 pl.m⁻² (Martini, 2007; Angeli & Bonamico, 2017; López & Tobal, 2017).

SUBREGION VN

CICLO: 90 % DE CICLOS INTERMEDIOS A LARGOS

FECHA DE SIEMBRA: DEL 10 DE MAYO A FINES DE JUNIO LOS CICLOS INTERMEDIOS- LARGOS Y DE FINES DE JUNIO AL 20 DE JULIO LOS CICLOS CORTOS.

Calidad

En esta subregión pueden ocurrir temperaturas elevadas en el período de llenado de grano que, combinadas con baja humedad relativa, vientos cálidos y secos pueden ocasionar grano arrebatado, grano chuzo y flaco que disminuyen el peso hectolítrico. En promedio para las campañas 2016-2021 se obtuvo un Peso hectolítrico de 81,07 kg/hl, un Falling Number de 388 s, gluten húmedo 27,1%, Fuerza panadera (W) 255 J × 10⁻⁴ y P/L 0,70. El 56% de los cultivares sembrados correspondió al grupo 1 de calidad y el 36% al grupo 2 y el 8% al grupo 3 (Grano-tec, 2020). El 56% de las muestras analizadas correspondió al grado comercial 2 (web Trigo Argentino, 2020).

Representatividad

Durante las campañas comprendidas entre 2016 – 2019 esta subregión representó el 11% de la superficie y entre un 9 y un 15% de la producción con rendimientos variables según las zonas entre 2000 y 3500 kg.ha⁻¹ según campañas (web Trigo Argentino, 2020).

Subregión V sur

Es la subregión más extensa. Ocupa 16 departamentos de La Pampa, uno de Córdoba y 15 de oeste y sur bonaerense.

Si bien el rendimiento potencial del cultivo depende en primer lugar de la radiación y de la temperatura, en esta subregión este rendimiento se encuentra fuertemente limitado por la disponibilidad de agua durante el ciclo de producción. Las lluvias de invierno son, en promedio, deficitarias para que se expresen los rendimientos potenciales de las variedades actualmente disponibles en el mercado. A su vez, es importante considerar la distribución de las lluvias durante el ciclo del cultivo, ya que comúnmente, desde encañazón (fines de septiembre-principio de octubre), las precipitaciones resultan escasas en un alto porcentaje de años (Alvarez & Marraco, 2017).

Manejo del agua

Este factor adquiere mayor relevancia en las regiones semiáridas y subhúmedas, donde el manejo del agua previo a la siembra del cultivo, asociado con una adecuada capacidad de retención por parte de los suelos, resulta clave para compensar los requerimientos de agua que normalmente no son cubiertos por las precipitaciones. El agua disponible para el cultivo está condicionada por las lluvias previas y otros factores de manejo tales como cultivo antecesor, cobertura del suelo (infiltración y conservación), tipo de labranzas, manejo de los rastrojos y manejo de los barbechos (control de malezas), entre otros (Alvarez & Marraco, 2017). A su vez, la disponibilidad de agua interacciona con el largo del ciclo del cultivo a sembrar. Mirasson *et al.* (2007) determinaron que la disponibilidad de agua limitó en mayor medida a cultivares de ciclo corto, con reducciones de hasta un 86% en el número de granos por espiga. En esta zona generalmente se recomienda la siembra de cultivares de ciclo intermedio y ciclo largo que pueden aprovechar el agua acumulada en el barbecho, sin correr el riesgo de heladas durante su periodo crítico.

Manejo de la fertilización

La determinación del contenido de N de (nitrato) en pre-siembra es frecuentemente utilizada para caracterizar sitios deficientes y efectuar las recomendaciones de fertilización. La eficiencia de uso de N en esta zona es baja, menor a 8,5 kg grano. kg N aplicado⁻¹, por lo que en campañas con relaciones de precio del fertilizante altas no se recomienda fertilizar. El fertilizante nitrogenado, como consecuencia de las escasas precipitaciones ocurridas durante el invierno, generalmente se aplica con mayor eficiencia a la siembra que en macollaje (Díaz-Zorita, 2000). Las aplicaciones fraccionadas de N, en general, no conducen a mayores rendimientos de trigo con respecto a la fertilización completa en el momento de la siembra, pero permiten incrementos en los contenidos de proteínas de los granos (Barraco *et al.*, 2008). La deficiencia de P es muy frecuente en la zona, condicionando la productividad del cultivo. En base a numerosos estudios, existe alta probabilidad de respuesta a la fertilización con P cuando sus niveles se ubican entre 15 y 20 mg.kg⁻¹ (García & Reussi Calvo, 2014). El azufre (S), también suele presentar deficiencias, asociado a los suelos de texturas arenosas, con contenidos medios a bajos de materia orgánica (Barraco *et al.*, 2009).

Clima

Se caracteriza por un clima continental, de marcada amplitud estacional y aún diaria. Tiene escasez de lluvias, de distribución estacional e irregular, con menos de 20 mm en los meses de junio, julio y agosto. En septiembre se alcanzan los 40 mm. En octubre y noviembre, meses clave para el cultivo, caen entre 60 y 80 mm.

Los inviernos son largos y rigurosos y pueden ocurrir heladas de hasta -12°C, que pueden afectar al cultivo aún al estado de pasto. La fecha media de última helada es el 20 de octubre ± 20 días, pero con relativa frecuencia se producen heladas en los primeros días de noviembre que pueden afectar significativamente al cultivo. Las temperaturas de junio, julio y agosto de 7 a 9°C son muy adecuadas para macollaje.

Suelo

Los suelos son Haplustoles, franco-arenosos, con baja materia orgánica y propensos a la erosión. En la zona de Coronel Suárez, Saavedra, Tornquist, se diferencia un sector de mayor aptitud (Hapludoles), con buen contenido de materia orgánica y de mayor productividad coincidente, además, con mayores precipitaciones.

Las condiciones generales hacen recomendables la aplicación de técnicas conservacionistas.

Cultivares y fechas de siembra

Se recomienda la siembra temprana, en la primera quincena de junio, previo barbecho estival semicubierto, con cultivares de ciclo largo a intermedio a largo. Dado lo extenso de la subregión, existen aproximadamente 15 días de diferencia en las fases del cultivo, según se considere la zona norte o sur. Así, la espigazón ocurre con 16–17°C en la primera quincena de octubre en el norte y a fin de octubre principios de noviembre en el sur. La madurez se completa con 20°C y se cosecha a principios de diciembre en el norte y fines de diciembre en el sur.

SUBREGION VS

CICLO: CICLOS LARGOS- INTERMEDIOS LARGOS

FECHA DE SIEMBRA: DEL 20 DE MAYO AL 10 DE JUNIO

Adversidades

Entre las enfermedades puede mencionarse a la roya amarilla y entre las malezas a la rama negra y raigrás.

Calidad

En esta subregión puede presentarse el defecto comercial panza blanca, dependiendo de las condiciones ambientales. En promedio para las campañas 2016 -2021 se obtuvo un Peso hectolítrico de 81,48 kg/hl, un Falling Number de 447 s, gluten húmedo de 25,29%, Fuerza panadera (W) $262,6 J \times 10^{-4}$ y P/L 0,92. Dentro de los grupos de calidad, el 18% de los cultivares sembrados correspondió al grupo 1, el 42% al grupo 2 y el 37% al grupo 3 y un 4% fuera de estándar (Granotec, 2020). El 71% de las muestras analizadas correspondió al grado comercial 2 (web Trigo Argentino, 2020).

Representatividad

Durante las campañas comprendidas entre 2016 – 2019 esta subregión representó un 19 % de la superficie y 16% de la producción (web Trigo Argentino, 2020).

Subregión NOA

En la subregión el principal cultivo es la soja, luego viene el trigo. Tanto en el NOA como en el NEA la madurez del trigo ocurre hacia fines de octubre, sembrándose la soja en diciembre, con grupos de madurez VII y VIII.

Clima

Se caracteriza por tener una época que va de mayo a septiembre con escasas lluvias. El 80 % de las precipitaciones ocurren de octubre a abril. Por lo tanto, el trigo dependerá de las lluvias del otoño, especialmente de las que se producen en marzo y abril (Carabaca *et al.*, 2017).

Fecha de siembra

Las fechas de siembra en esta región van desde mediados de abril a mediados de junio, lográndose los mejores rendimientos con las siembras que llegan hasta mediados de mayo. Sin embargo, estas fechas corren el riesgo de sufrir ataques de *Spodoptera* sp. Cuando se usan ciclos muy cortos también se corre el riesgo de sufrir heladas en su etapa crítica (Carabaca *et al.*, 2017). No obstante siembras más tardías además de presentar peores condiciones de humedad, provocan altas temperaturas durante el llenado de grano (alta probabilidad de golpes de calor). Las variedades más utilizadas corresponden a ciclos cortos a intermedios.

Densidad

Varía entre 40 y 80 kg.ha⁻¹, es una densidad baja que se ajusta a las condiciones de agua y nutrientes de la zona.

SUBREGIONES NOA Y NEA

CICLO: CORTO-INTERMEDIOS

FECHA DE SIEMBRA: DE FINES DE MAYO A FINES DE JUNIO

Subregión ecológica NEA

El cultivo en la región tiene escasa relevancia, por lo cual su participación resulta muy variable. La superficie sembrada depende exclusivamente de la recarga otoñal de los perfiles, que es muy variable en el espacio y en el tiempo (Zucal, 2017).

En zonas con mejores precipitaciones en otoño y principios de primavera compete con el girasol, que ofrece resultados agronómicos y económicos más estables.

Suelos

Son suelos de desmonte, con una historia agrícola, que va desde 20- 25 años hasta suelos de habilitación reciente. La textura es variable, entre franca y franco-arenosa, o bien ser más pesados hacia el este.

Manejo del cultivo

Los herbicidas más usados en presiembra son metsulfuron, acompañado de glifosato y algún hormonal. Se aplican curasemillas para el control de orugas cortadoras, y clorpirifós e imidacloprid para el control de pulgones (Zucal, 2017).

Recientemente, un amplio panel del Congreso Aapresid (2020) trató las posibilidades que tiene el trigo en el norte argentino y en zonas de Paraguay, donde la producción en latitudes menores a 30° S se corresponde con ambientes cálidos, que involucran el 100% del área sembrada de Paraguay y el 18% de Argentina. Durante los últimos tres años, en promedio, se sembraron en la zona norte de nuestro país 1,1 millones de hectáreas y 438 mil hectáreas en Paraguay. Estas localidades cálidas tienen lluvias similares a la de localidades trigueras del sur, pero la temperatura resulta muy superior (Aapresid, 2020).

Abbate (2020) analizó las limitaciones climáticas más frecuentes en ambientes cálidos de nuestro país y los rendimientos que se han alcanzado y brindó sugerencias para optimizar el manejo del cultivo, indicando que en la región el trigo no recibe la importancia que merece y que existen posibilidades para avanzar en su cultivo y generar más interés en el mismo. Si bien es esperable que el rendimiento en estas localidades cálidas sea menor que en localidades frescas, los requerimientos de nutrientes son más bajos, pudiéndose considerar esto como una ventaja. El rendimiento de Paraguay es mayor que el del norte de Argentina, y ello se debería al manejo a nivel lote, al manejo sanitario a través de fungicidas, cultivares utilizados y al mejor precio neto del grano (incluido el flete). Abbate (2020) destacó que para mejorar la producción del trigo en la región se debe respetar la fecha de floración óptima, siendo la más temprana que permitan las heladas, analizar el nivel de nutrientes en el suelo, fertilizar según el rendimiento y el nivel de proteína esperado y mejorar el manejo sanitario a través de cultivares adecuados y la aplicación de fungicidas. Cuando el rendimiento y el precio esperado del trigo resultan antieconómicos para la producción de granos, la opción es integrarlo a una rotación más intensificada, como ser una intersiembra con soja, vicia o gramíneas, darle un uso forrajero o bien usarlo como un cultivo de cobertura. En la región generalmente se deben realizar barbechos largos, lo que aumenta el problema de malezas tolerantes o resistentes. La siembra de trigo como cobertura podría aportar carbono a la rotación, cobertura del suelo y un eficiente control de diversas malezas (Zucal, 2017). La zona brinda la posibilidad de procesamiento del trigo en sus molinos y, en la región este, de exportar a Brasil (Abbate, 2020).

Calidad

En promedio para las campañas 2016 -2021 se obtuvo un Peso hectolítrico de 81,21 kg/hl, un Falling Number de 341 s, gluten húmedo de 26,37%, Fuerza panadera (W) $238 \text{ J} \times 10^{-4}$ y P/L 0,81. Dentro de los grupos de calidad, el 32% de los cultivares sembrados correspondió al

grupo 1, el 52% al grupo 2 y el 16% al grupo 3 (Granotec, 2020). El 71% de las muestras analizadas correspondió al grado comercial 2 (web Trigo Argentino, 2020).

De lo visto podemos resumir en la Fig. 9.4, las principales características edafoclimáticas de las distintas subregiones trigueras de Argentina.

subregiones	Fecha media de última hel.	Precipit. Anual (mm)	Suelos
I	20/VIII	860	Argiudoles típicos o ácuicos
II Norte	15/ IX	1000	Argiudoles típicos hapludoles
II Sur	30/ IX	900	Argiudoles Hapludoles
III	20/ VIII	1000	Vertisoles
IV	20/X	700-850	Franco arenosos (tosca)
V Norte	21/ IX	600-900	Haplustoles
V sur	20/X	400-600	Haplustoles

Fig. 9.4. Cuadro resumen de las características edafoclimáticas de las principales subregiones trigueras. Fuente Fernández Long et al., (2011), Sistema de Información de clima y agua, INTA (2014), GeoINTA 2021).

Referencias

- Abbate P.E. (2021). Rendimiento de los cultivares de trigo de ciclo largo vs. Ciclo corto en las principales subregiones trigueras argentinas. INTA Balcarce, Balcarce, Buenos Aires Recuperado de https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/9175/INTA_CRBsAs_EEABalcarce_Abbate_P_Rendimiento_cultivares_trigo_lardo_corto.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Abbate, P.E. (2022). Nuevo mapa de subregiones trigueras argentinas. A Todo Trigo, Mar del Plata, 12 y 13 de mayo de 2022
- Aapresid (2005). Recuperado de: <https://www.aapresid.org.ar/> Aapresid (2020). Recuperado de: <https://www.aapresid.org.ar/> Abbate, P. (2020). Cómo impacta el clima, cálido sobre el trigo. Disertación en CongresoAapresid, agosto 2020. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=f7iksziMwE>
- Acciaresi, H.A. & Principiano, M.A. (2020). Estado de situación del uso de herbicidas en cultivos extensivos agrícolas de la región norte de la provincia de Buenos Aires. Recuperado de

https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_pergamino_uso_de_herbicidas_en_cultivos_extensivos-2020.pdf

- Alberione, E. & Andreucci, A. (2017). Daños por heladas en trigos en estadíos de crecimiento temprano. EEA INTA Marcos Juárez. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_trigo_danoheladas17.pdf
- Alvarez, Cr. & Marraco, M. (2017). Noroeste de Buenos Aires y este de La Pampa. Manejo del cultivo de trigo en distintas regiones. En G.A. Divito, F.O. García (Eds.), *Manual del Cultivo de Trigo* (123-142). Buenos Aires: AACREA.
- Angeli, A. & Bonamico, M.P. (2017). Región CREA Centro. Manejo del cultivo de trigo en distintas regiones. En G.A. Divito, F.O. García (Eds.), *Manual del Cultivo de Trigo* (90-93). Buenos Aires: AACREA.
- Barraco, M, Díaz Zorita M, Brambilla C, Álvarez C. & Scianca, C. (2009). Respuesta del trigo a la fertilización nitrogenada y nitro azufrada en suelos arenosos. *Revista Ciencia del Suelo*, 27(2): 217-224.
- Barraco, M, Díaz-Zorita, M., Álvarez, C. & Scianca, C. (2008). Fraccionamiento de nitrógeno en cultivos de trigo de la región de la pampa arenosa. *VII Congreso Nacional de trigo, V Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño-invernal*, I Encuentro del MERCOSUR. 2 al 4 de julio de 2008, Santa Rosa, La Pampa.
- Buscarol, M. (2007). Región Centro de Santa Fé. Variedades y modelos generales de producción en el movimiento CREA. En E. Satorre (Coord.), *Producción de trigo* (104-108). Buenos Aires: AACREA.
- Calviño, P.A, Sadras, V.O. & Andrade, F.H. (2003). Development, growth and yield of late-sown soybean in the southern Pampas. *European Journal of Agronomy*, 19, 265-275.
- Calviño, P. & Divito, G. (2017). Sudeste de la provincia de Buenos Aires. Manejo del cultivo de trigo en distintas regiones. En G.A. Divito, F.O. García (Eds.), *Manual del Cultivo de Trigo* (123-142). Recuperado de <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1320>
- Carabaca, L., Galvez, S. & Rossi, D. (2017). Región CREA NOA. Modelos de producción zonales. En M. Sobré (Dir.), *Trigo. Su rol en los sistemas de producción agrícola* (96-97). Buenos Aires: AACREA.
- Castellarin, J. M. (2009). Influencia de las prácticas de manejo sobre la generación del rendimiento en el cultivo de trigo. *Para mejorar la producción* 40, 23 -38. INTA EEA Oliveros Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-influencia-practicas-manejo-sobre-la-generacion-de.pdf>
- Corró Molas, A., Pérez Fernández, J., Figueruelo, A., Funaro, D., Cabo, S. & Olguin Paez, R. (2016). Daño por frío en cereales de invierno. *Informe técnico*. EEA Anguil, AER Gral. Pico. Recuperado de <https://ruralnet.com.ar/dano-frio-cereales-invierno>
- Di Napoli, M. & González Montaner, J. (2017). Región CREA Mar y Sierras. Modelos de producción zonales. En M. Sobré (Dir.), *Trigo. Su rol en los sistemas de producción agrícola*, (71-75). Buenos Aires: AACREA.
- Díaz- Zorita, M. (2000). Efecto de dos momentos de aplicación de urea sobre la producción de grano de trigo en Drabble (Bs. As., Argentina). *Ciencia del Suelo*, 18, 125-131.

- Ermacora, M. (2017). Región Norte de Buenos Aires. Modelos de producción zonales. En M. Sobré (Dir.), *Trigo. Su rol en los sistemas de producción agrícola* (82-84). Buenos Aires: AACREA.
- Fernández Long, M.E., Barnatán, I.E, Spescha, L., Hurtado, R. & Murphy, G. (2014) Caracterización de las heladas en la región pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. Recuperado de https://www.agroconsultasonline.com.ar/ticket.html/Fernandez%20Long%20et%20al.pdf?op=d&ticket_id=3550&evento_id=7224#:~:text=En%20la%20zona%20triguera%20IV,principios%20y%20mediados%20de%20setiembre.
- Furlani, C. & Ferrero, G. (2017). Región Norte de Santa Fe. Modelos de producción zonales. En M. Sobré (Dir.), *Trigo. Su rol en los sistemas de producción agrícola* (101-103). Buenos Aires: AACREA.
- García, F.O. & Reussi Calvo, N. (2014). Trigo. En Echeverría H. E. & F.O. García (Eds.), *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*, 401-434. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- GeoINTA (2021). Recuperado de <http://www.geointa.inta.gob.ar/>
- Gonzalez Montaner J.G., Redolatti, M. & Di Napoli, M. (2007). Región Mar y Sierras. Variedades y modelos generales de producción en el movimiento CREA. En E. Satorre (Coord.), *Producción de trigo* (84-87). Buenos Aires: AACREA.
- Granotec (2020). Recuperado de <https://granotec.com.ar/articulos/>
- López, D. & Tobal, A. (2017). Región Córdoba Norte. Modelos de producción zonales. En M. Sobré (Dir.), *Trigo. Su rol en los sistemas de producción agrícola* (94-96). Buenos Aires: AACREA.
- Martini, G. (2007). Región Centro. Variedades y modelos generales de producción en el movimiento CREA. En E. Satorre (Coord.), *Producción de trigo* (87-90). Buenos Aires: AACREA.
- Menendez, F. (2007a). Impacto de los factores ecológicos y tecnológicos en el rendimiento del trigo. En E. Satorre (Coord.), *Producción de trigo* (29-35). Buenos Aires: AACREA.
- Menendez, F. (2007b). Región Sur de Santa Fé. Variedades y modelos generales de producción en el movimiento CREA. En E. Satorre (Coord.), *Producción de trigo* (75-80). Buenos Aires: AACREA.
- Menendez, F.J. & Satorre, E.H. (2007). Evaluating wheat yield potential determination in the Argentine Pampas. *Agricultural Systems*, 1-10.
- Miralles, D. (2015) Disertación en "A Todo Trigo 2015". Federación de Acopiadores. Recuperado de: <http://www.acopiadores.com> > biblioteca > material > congresos.
- Mirasson, H., Faraldo, M.L. & Zingaretti, O. (2007). Rendimiento y eficiencia en el uso del agua de cultivares de trigo de distinto ciclo en el oeste de la Región Pampeana Central. Workshop Internacional: *Ecofisiología Vegetal*, Mar del Plata, Argentina.
- Muller, R. (2007). Región Litoral Sur. Variedades y modelos generales de producción en el movimiento CREA. En E. Satorre (Coord.), *Producción de trigo* (109-112). Buenos Aires: AACREA.
- Pozzi, R. (2017). Región Sur de Santa Fe. Modelos de producción zonales. En M. Sobré (Dir.), *Trigo. Su rol en los sistemas de producción agrícola* (104). Buenos Aires: AACREA.

- Ropero, G. (2007). Región Sudeste. Variedades y modelos generales de producción en el movimiento CREA. En E. Satorre (Coord.), *Producción de trigo* (100-104). Buenos Aires: AACREA.
- Rubí Bianchi & Cravero, (2010). Atlas climático digital de la República Argentina. INTA. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-texto_atlas_climtico_digital_de_la_argentina_110610_2.pdf
- Sistema de Información de clima y agua, INTA (2014). Estadísticas de Heladas Meteorológicas, fechas promedio ultima heladas. Recuperado de http://climayaagua.inta.gob.ar/estad%C3%ADsticas_de_heladas_meteorol%C3%B3gicas
- Suino, E. (2017). Región Litoral Sur. Modelos de producción zonales. En M. Sobré (Dir.), *Trigo. Su rol en los sistemas de producción agrícola* (87-89). Buenos Aires: AACREA.
- Turchi, D.A., Carnevale, I. & Leurino, G. (2017). Región Santa Fe Centro. Modelos de producción zonales. En M. Sobré (Dir.), *Trigo. Su rol en los sistemas de producción agrícola* (89-90). Buenos Aires: AACREA.
- Vicentin, H. (2007). Región Norte de Santa Fe. Variedades y modelos generales de producción en el movimiento CREA. En E. Satorre (Coord.), *Producción de trigo* (108-109). Buenos Aires: AACREA.
- Web.trigoargentino.com.ar (2018). Recuperado de <https://www.trigoargentino.com.ar/>
- Web.trigoargentino.com.ar (2020). Recuperado de <https://www.trigoargentino.com.ar/>
- Zucal, M. (2017). Región Chaco Santiagueño. Modelos de producción zonales. En M. Sobré (Dir.), *Trigo. Su rol en los sistemas de producción agrícola* (98-99). Buenos Aires: AACREA.

CAPÍTULO 10

Trigo pan: calidad

Ana Carolina Castro

El trigo pan (*Triticum aestivum* L.) es un cereal de gran versatilidad ya que la masa que se obtiene con su harina tiene propiedades viscoelásticas únicas que permite la realización de diversos productos panificados y pastas. También el grano puede almacenarse por tiempos prolongados con relativa facilidad. Estos atributos han hecho del trigo un cultivo ampliamente difundido con un mercado de exportación importante y un vasto uso en la industria alimenticia (Peña, 2007).

El concepto **calidad de trigo** involucra varios aspectos y puede ser definido según el eslabón de la cadena productiva que se considere. De esta forma, para un **productor** será de buena calidad aquel cultivar que tenga alto rendimiento en grano y buen comportamiento sanitario. Para un **molinero** será de buena calidad aquel trigo que sea limpio, sano y seco, con elevado rendimiento de harina y bajo contenido de cenizas. Un **panadero** apreciará buena calidad cuando reciba materias primas con características constantes, que le permitan uniformar sus procesos de fabricación, trabajar las masas sin inconvenientes y obtener productos homogéneos. Finalmente, el **consumidor** valora la calidad de un panificado cuando encuentra en él, valor nutricional y cualidades agradables.

Podemos decir que la calidad es un concepto **multidimensional** porque incluye aspectos físicos, tecnológicos, nutricionales y sanitarios. Además, es **variable** porque cambia según el mercado, las especificaciones de las industrias y los gustos y preferencias de los consumidores que se modifican en el tiempo.

¿Cuáles son los factores que influyen en la calidad del trigo pan?

La calidad del trigo pan depende de diversos factores: el ambiente (clima, suelo, presencia de adversidades bióticas), el genotipo (elección del cultivar según aptitud panadera), la interacción genotipo-ambiente y el manejo agronómico que se realice durante el ciclo del cultivo, cosecha y posterior almacenamiento. Es necesario comprender que la calidad del trigo se genera a través de todo el ciclo del cultivo. Inclusive, antes de la siembra, las decisiones agronómicas que se toman, en cuanto a la elección del lote donde será sembrado, a la fecha de siembra, a la realización de un correcto barbecho, al manejo de la fertilización y de las adversidades bióticas resultan factores prioritarios para definir la calidad.

La **elección del lote** donde sembrar el trigo es muy importante, aspectos tales como la historia del lote, su cultivo antecesor, los herbicidas que se han utilizado, la presencia de inóculo en el rastreo son factores que incidirán en el rendimiento del cultivo y en la calidad. Establecer la **fecha de siembra** adecuada para no exponer al trigo a posibles heladas en el período crítico (floración) o a altas temperaturas en el llenado de grano que perjudiquen la calidad es otra decisión de manejo de gran relevancia. En Argentina, las fechas de siembra varían entre principios de mayo y principios de julio para cultivares de ciclo largo y entre la segunda quincena de junio y principios de agosto para cultivares de ciclo más corto (Miralles *et al.*, 2014).

Si bien la calidad del trigo se genera a través del ciclo del cultivo, la etapa llamada **llenado de grano** es fundamental para la generación de la calidad ya que es en este momento en el cual se forman las estructuras de los granos y se acumulan las proteínas y los hidratos de carbono, principalmente almidón. Como se indicó en el capítulo 3 “Trigo: crecimiento y desarrollo: etapa reproductiva y llenado de grano”, el llenado de grano se divide en tres fases: lag o cuaje, llenado efectivo y madurez fisiológica. La **fase lag o cuaje** sucede en los primeros 15-20 días desde anthesis y tiene lugar una división celular activa en la cual se define el número de células endospermáticas y así el peso potencial del grano. Una vez finalizada esta etapa, queda establecido el componente principal del rendimiento (número de granos del cultivo) (Brocklehurst, 1977).

Luego sucede la etapa de **llenado efectivo** en la cual el grano acumula la mayor parte de su **peso** seco, el cual queda determinado por la cantidad de materia seca acumulada en el grano por unidad de tiempo (**tasa de llenado**) y por la duración de la etapa entre fin de fase *lag* y madurez fisiológica (**duración de llenado**). La acumulación de agua en el grano continúa durante esta etapa hasta que el contenido hídrico se hace constante (*plateau hídrico*), y finaliza al alcanzar la madurez fisiológica (Brocklehurst, 1977).

En la **madurez fisiológica** la humedad del grano oscila entre 36% y 41% (Calderini *et al.*, 2000; Álvarez Prado *et al.*, 2013). En este momento el rendimiento del cultivo está determinado. El grano perderá agua hasta la humedad de cosecha (14-16%). La fuente principal de hidratos de carbono lo constituye la fotosíntesis de las hojas durante el llenado de granos y en menor medida la removilización de reservas y fotosíntesis de la espiga.

Acumulación de proteínas en el grano

Como se indicó en el capítulo 3 “Trigo: crecimiento y desarrollo: etapa reproductiva y llenado de grano”, en la fase de división celular, se acumulan principalmente proteínas metabólicas (albúminas y globulinas). Posteriormente, en la etapa de llenado efectivo, ocurre la acumulación más importante de las proteínas de reserva (**gliadinas y gluteninas**). La relación gliadinas/gluteninas tiene importancia en las propiedades viscoelásticas de las masas. Es importante destacar que los distintos tipos de proteínas de reserva se depositan en diferentes momentos durante el llenado efectivo de los granos. En tanto que las gliadinas comienzan a formarse

alrededor de 5 -10 días después de la floración, las gluteninas son detectables alrededor de 20 días después de este evento. Por ese motivo, situaciones de estrés (enfermedades, déficit hídrico, altas temperaturas) que alteren el llenado de granos **puede afectar la composición de las proteínas**, especialmente en la relación gliadinas/gluteninas. La síntesis de gliadinas se afecta en menor medida que la de gluteninas con temperaturas elevadas, lo que determina una mayor relación gliadinas/gluteninas. Las masas serán flojas y pegajosas (Stone & Savin, 1999), difíciles de trabajar en la industria.

Influencia de las condiciones ambientales en la calidad del trigo

El clima es decisivo durante el ciclo del cultivo, pero especialmente en el **período crítico** (20 días antes de floración y 5 a 10 días después) y en el llenado de grano que cumple un rol muy importante en la expresión de la calidad. Las temperaturas superiores a los 25-30 °C y baja humedad relativa durante el llenado de grano producen acortamiento del período, que se traduce en **granos chuzos**, con menor rendimiento molinero y modificación en la composición de las proteínas, con la consiguiente reducción en la calidad. Este defecto suele producirse en la subregión ecológica VN. Otra causa de grano chuzo es la ocurrencia de estrés hídrico que reduce la tasa y la duración del llenado. Si las temperaturas son altas y se combinan con vientos secos y cálidos puede ocurrir el **arrebato** de los granos, defecto que puede observarse en la subregión I. Contrariamente, si las temperaturas son bajas, hay nubosidad y alta humedad relativa durante el llenado de grano, el ciclo se alargará y el grano continuará acumulando hidratos de carbono. Esto produce el **grano panza blanca** que tiene gran contenido de almidón y menos contenido proteico y de gluten lo que ocasiona dificultades en la calidad panadera (Phillips & Nieremberger, 1976). Cuanto más largo el período de llenado, mayor ocurrencia de granos panza blanca y se acentúa cuando la disponibilidad de N (nitrógeno) es baja (Möckel & Cantamutto, 1984). Este defecto comercial puede ocurrir en las subregiones III, IV y VS.

Por otro lado, cuando ocurren lluvias previo a la cosecha, el grano absorbe el agua, se hincha, y al secarse nuevamente no recobra su tamaño original. Esto provoca **grano lavado** con fracturas internas que disminuyen la densidad y el peso hectolítrico (PH), afectando así el rendimiento molinero (Brach, 2012). Asimismo, las precipitaciones, pueden producir **brotado del grano** aumentando la cantidad de enzima alfa amilasa, lo que licua el almidón originando trigos que darán masas pegajosas de difícil manejo en la industria.

Teniendo en cuenta la diversidad de ambientes que existen en las subregiones de cultivo de trigo, es posible predecir los defectos comerciales que podrían encontrarse. Cada campaña agrícola se caracteriza por condiciones meteorológicas diferentes, años con mayores o menores precipitaciones generan condiciones más o menos predisponentes para la presencia de estos defectos. Anualmente se publican informes de cosecha que reúnen datos de los parámetros de calidad comercial e industrial de todas las subregiones ecológicas. Esta información es elaborada por instituciones públicas INTA (Instituto Nacional de

Tecnología Agropecuaria) y privadas (Granotec, Bolsa de Cereales) y puede obtenerse a través de internet.

Elección de cultivares

En Argentina el Comité de los Cereales de Invierno y la Comisión Nacional de Semillas (CONASE) clasifican los cultivares de trigo en tres grupos de calidad según el PH, el porcentaje de cenizas, el rendimiento molinero, el contenido de proteína y gluten, la estabilidad farinográfica y el W alveográfico. El grupo 1 (G 1) son los trigos correctores utilizados para panificación directa e industrial, principalmente para elaborar pan de molde, panes para hamburguesa, panchos y pan dulce. Exigen altos valores de fuerza panadera (W mayor a $330 \text{ J} \times 10^{-4}$) y gluten mayor a 30%. El grupo 2 (G 2) son trigos que soportan más de 8 h de fermentación en procesos de panificación tradicional sobre tablas, dando panes tipo francés, criollo. Se requieren W alveográficos mayores a $280 \text{ J} \times 10^{-4}$ y valores de gluten entre 28 y 30%. Por último, el grupo 3 (G 3) se caracteriza por trigos que son usados para panificación directa y soportan menos de 8 h de fermentación (Cuniberti, 2005; PRONACATRI, 2006). Estos trigos se usan en la elaboración de galletitas, facturas, miñones. Requieren W alveográfico entre $230 \text{ J} \times 10^{-4}$ y $280 \text{ J} \times 10^{-4}$ y un gluten de 27% (Seghezzo & Molfese, 2006).

Los cultivares de G 1 presentan buena aptitud panadera como puede apreciarse en los parámetros reológicos fuerza panadera (W), estabilidad farinográfica (D) y volumen de pan (Fig. 10.1) mientras que cultivares del G 3 presentan valores menores (Castro, 2016). Generalmente, existe una relación inversa entre rendimiento y proteína. Los cultivares de G 1 son excelentes en aptitud panadera, pero comúnmente de menor rendimiento mientras que los cultivares de G 3 son de inferior calidad, pero de buenos rendimientos en grano (Fig. 10.2). El INTA ha realizado ensayos buscando un equilibrio entre rendimiento y calidad al sembrar mezclas de dos variedades de similar ciclo y peso de mil granos (PMG), una de ellas con buena aptitud panadera y menor potencial de rendimiento y la otra con menor aptitud panadera y alto potencial de rendimiento. La inclusión en la mezcla de una variedad con buena aptitud panadera produjo valores de proteína superiores a 11% por lo cual recibió bonificación en la comercialización. No obstante, el análisis de los márgenes brutos mostró que los mayores ingresos se produjeron en las variedades de mayor rendimiento (Torrens Baudrix & Ventimiglia, 2020).

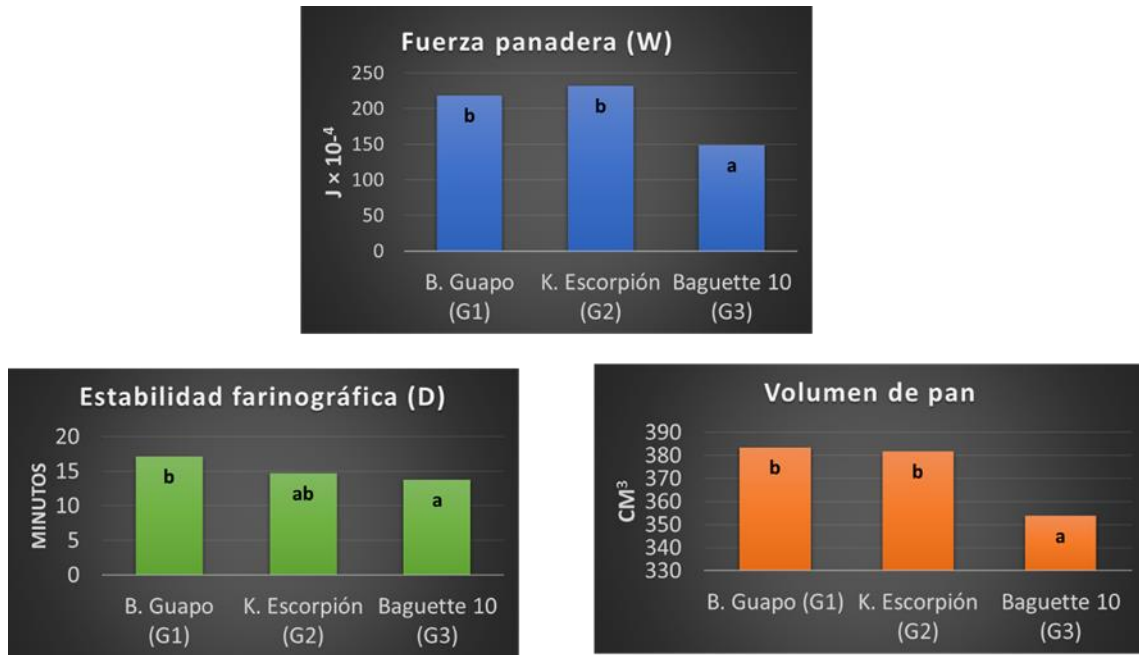


Fig. 10.1. Fuerza panadera (W), estabilidad farinográfica (D) y volumen de pan en tres variedades de trigo pan de grupo de calidad diferente. Las letras diferentes entre cultivares indican diferencias estadísticas significativas según test LSD $p < 0,05$. (Castro, 2016).

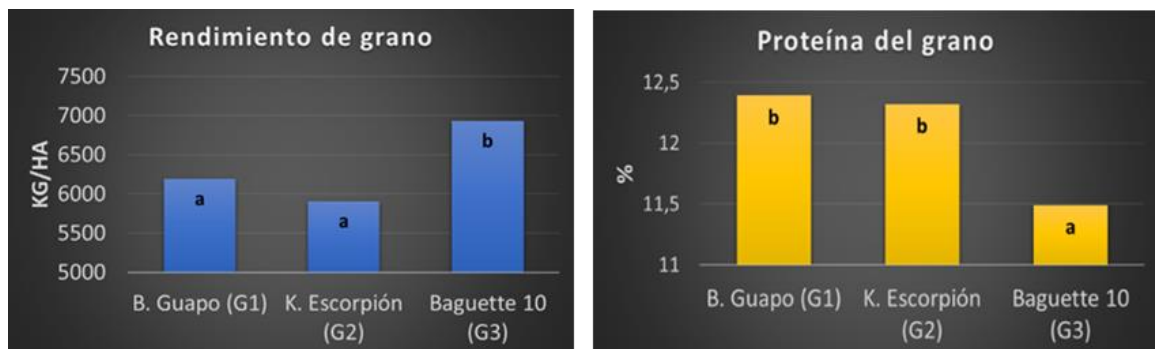


Fig. 10.2. Rendimiento de grano (Kg/ha) y proteína del grano (%) en tres variedades de trigo pan de grupo de calidad diferente. Las letras diferentes entre cultivares indican diferencias estadísticas significativas según test LSD $p < 0,05$. (Castro, 2016).

Entre el 60 y 80% del trigo que se siembra en Argentina es de G 1 y G 2 de buena calidad panadera. La clasificación de los distintos cultivares comerciales inscriptos en Argentina se encuentra disponible en la página web del INASE (www.inase.gov.ar). Debido a la alta interacción genotipo-ambiente para la calidad industrial y a la posibilidad de tener que modificar criterios, esta clasificación no es rígida y se actualiza anualmente. También existe la página <https://cultivaresargentinos.com/trigo/> en la que se lista el grupo de calidad de los cultivares de trigo pan comercializados en Argentina.

Influencia de la fertilización nitrogenada y azufrada en la calidad

La proteína tiene su origen en el N inorgánico del suelo, natural o químico, que se transforma luego en N orgánico en el grano. El trigo requiere 30 kg N.t⁻¹ de grano producido. Se

considera que, en la floración, el trigo ya absorbió el 80% del N y el resto se removilizará hasta la madurez. Se debe realizar un análisis de suelo para evaluar el contenido de materia orgánica presente.

El momento de aplicación del fertilizante es muy importante en la definición de la calidad. El N aplicado únicamente en la siembra, en general no es suficiente para incrementar rendimiento y proteínas a la vez. Esto se observa particularmente en los años de altos rendimientos, si la oferta del N fue escasa. En situaciones como éstas, los porcentajes de proteína en grano suelen ser bajos, debido a la relación inversa que existe entre rendimiento y proteína, comúnmente llamado “efecto de dilución” (Brach, 2012).

Savin & Sorlino (2003) explican que la aplicación de fertilizante nitrogenado en dosis bajas, cuando hay deficiencia del nutriente tiende a aumentar el rendimiento de grano (Fig. 10.3 fase I) siendo eficiente en la formación de flores fértiles y granos. En esta instancia, el porcentaje de proteína de los granos tiende a disminuir ya que se licúa en la mayor cantidad de granos. En la fase II de la Fig. 10.3 se observa que dosis mayores de N incrementan el rendimiento en grano, pero no tan pronunciado como la fase anterior y el porcentaje de proteína puede aumentar. En la fase III de la Fig. 10.3 se aprecia que el agregado de una dosis mayor de N genera una estabilización del rendimiento y la proteína aumenta.

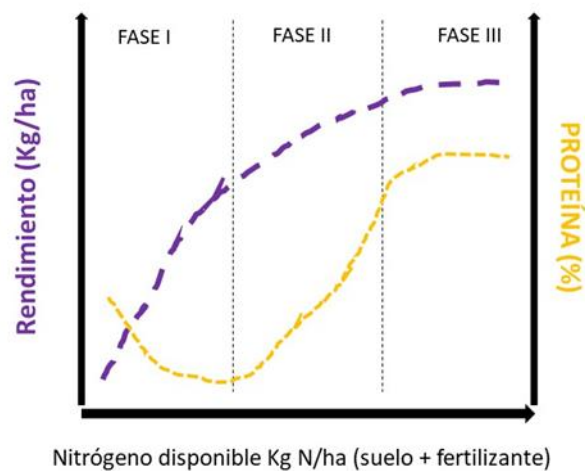


Fig. 10.3. Rendimiento y proteína en grano en función del N disponible en el suelo más el fertilizante. Adaptado de Stone & Savin (1999).

Por eso es muy importante considerar las fertilizaciones en siembra y en macollaje, como un buen momento para mejorar el rendimiento y la calidad. Las aplicaciones de N tardías (fines de macollaje, encañazón, hoja bandera) pueden aumentar la proteína en el grano y las realizadas antes de la ocurrencia de la floración o durante la misma no siempre tienen respuesta a proteína, ya que depende mucho del ambiente (Cuniberti, 1996). Las gliadinas y gluteninas contienen apreciables cantidades de aminoácidos azufrados, por lo tanto, la fertilización con azufre permite mejorar la calidad panadera, especialmente en los planteos productivos con alta fertilización nitrogenada y elevados rendimientos (Alzueta *et al.*, 2017).

Las enfermedades del trigo afectan la calidad

Enfermedades foliares fúngicas

La presencia de enfermedades depende fundamentalmente de las condiciones meteorológicas predominantes durante el ciclo del cultivo. Si bien existe una amplia variedad de patógenos, las enfermedades de origen fúngico son las más importantes y dentro de éstas, las foliares son las que prevalecen. El efecto que pueden generar en la calidad va a depender considerablemente del hábito nutricional que el patógeno posea, aquí podemos encontrar los biótrofos como *Puccinia triticina* Eriks, agente causal de la **roya de la hoja**, organismos que necesitan del hospedante vivo para poder alimentarse, provocando generalmente mayor daño sobre la acumulación y partición del N en el grano que el que provocan sobre la acumulación y partición de la materia seca (Dimmock & Gooding, 2002; Schierenbeck *et al.*, 2019). De este modo, generalmente ocasionan una disminución en el contenido de proteína en el grano. Por otro lado, los necrótrofos como *Pyrenophora tritici-repentis* (Died) Shoem, agente causal de la **mancha amarilla**, son microorganismos que provocan la muerte del hospedante para poder alimentarse, éstos provocan una disminución del área foliar fotosintéticamente activa, reducen la fotosíntesis y la acumulación de carbohidratos principalmente y afectando más el rendimiento que la acumulación de N, provocando generalmente un incremento en el porcentaje de proteína (Dimmock & Gooding, 2002; Schierenbeck *et al.*, 2019). Finalmente, se encuentran los patógenos hemibiótrofos como *Zymoseptoria tritici*, agente causal de la **mancha de la hoja**, que tienen un efecto variable sobre la calidad. Hay pruebas que sugieren que regularmente disminuyen el rendimiento de proteína en grano por unidad de superficie, reduciendo tanto la captación como partición de N al grano (Mc Cabe *et al.*, 2001). Sin embargo, otros investigadores han encontrado una disminución del rendimiento e incrementos en el contenido de proteína debido a un proceso de concentración (Dimmock & Gooding 2002; Castro & Simón, 2017).

Enfermedades de la espiga

La **fusariosis** o golpe blanco es ocasionada por el hongo *Fusarium graminearum*, productor de micotoxinas, metabolitos fúngicos que afectan granos y forrajes, y cuya ingestión, inhalación o absorción cutánea resulta tóxica para animales y personas (Bartosik *et al.*, 2012). Entre tales toxinas se destacan los tricotecenos como el deoxynivalenol (DON, también conocido como vomitoxina), la toxina T-2, el nivalenol (NIV), la toxina HT-2 y el diacetoxyscirpenol (DAS).

La fusariosis afecta la calidad comercial, molinera e industrial. La calidad comercial se perjudica ya que disminuye el PH y el PMG, produce granos con aspecto yesoso, livianos, blanquecinos, con zonas rosadas (micelio del hongo) de bajo PH. En la norma de comercialización estos granos reciben el nombre de granos calcinados. También puede observarse en los granos afectados un aumento de proteína (por efecto de concentración). Con respecto a la influencia de la fusariosis en la calidad molinera e industrial, se produce un aumento de cenizas y

acidez en harina, la coloración de las harinas se torna amarillento-grisáceo. Desde el punto de vista reológico, ocurre una disminución del W alveográfico y de los parámetros del farinograma absorción de agua, desarrollo de la masa y estabilidad por activación de proteasas, peroxidasas y catalasas. Las masas son pegajosas con olor y sabor típico (Bartosik *et al.*, 2012).

La concentración de DON se puede reducir (no eliminar) con limpieza del grano. La micotoxina no se destruye en la molienda, y tampoco en la cocción (Withney, 2018), por eso es necesario controlar su cantidad en trigos panificables. Existe un reglamento internacional (1881/2006) que establece límites tolerables para la toxina DON en diferentes alimentos. Para trigo blando admite un máximo de 1250 µg/kg y para trigo duro 1750 µg/kg. En Argentina, el Código Alimentario Argentino (Artículo 156) fija un límite de 1000 µg/kg de DON para harina, sémola, semolina, hojuelas y copos de trigo. Además, fija tolerancias máximas permitidas de otras micotoxinas en alimentos a base de cereales.

En este sentido, Bartosik *et al.* (2012) sugieren recomendaciones para el manejo de granos afectados que consisten en identificar lotes con *Fusarium* para evitar la mezcla en la logística de la cosecha y almacenamiento. Durante la cosecha regular la máquina (cabezal, sistema trilla y limpieza) para minimizar la trilla de granos enfermos y favorecer en la limpieza el vuelo de granos de menor peso, ya que los granos que tienen *Fusarium* son más livianos que los granos sanos. Intentar realizar la cosecha con mayor humedad (18%). En el acopio se promueve un exhaustivo muestreo de los granos en la recepción, los granos afectados se limpiarán con sistema de ventilación forzada con grano ligeramente húmedo. Ante la evidencia de *Fusarium* se debe cuantificar la concentración. En el almacenamiento la humedad debe ser menor a 14% para evitar el desarrollo de hongos.

Es muy importante aclarar que, si bien existen recomendaciones como las anteriormente dichas, la limpieza de granos con *Fusarium* no es sencilla, porque hay una gran cantidad de granos enfermos o parcialmente enfermos, que tienen prácticamente el mismo PH que los sanos y son bien formados y llenos, pero con una porción de este infectada. En muchos casos la incorporación de esos granos a la mezcla eleva la cantidad de toxinas en la harina con valores de DON fuera de tolerancia por el índice de toxicidad.

Además, hay que tener mucho cuidado con la incorporación de los granos enfermos, (separados en la prelimpieza o limpieza), al afrechillo o subproductos del molino ya que pueden elevar el índice de toxicidad de estos, generando trastornos al utilizarlos en raciones para la alimentación animal. La separación de estos granos es bastante dificultosa en las limpiezas con máquinas convencionales. Hay que incorporar "mesas densimétricas" y regularlas muy bien para lograr algún resultado. Existe una máquina para lograr esa separación, es la Sortex de Bühler que separa por color, pero son pocos los molinos que la poseen incorporadas en sus diagramas. Considerando lo mencionado anteriormente, es importante el monitoreo de enfermedades para predecir umbrales de daño críticos y actuar en consecuencia. Particularmente para el caso de *Fusarium*, existen modelos predictivos como el desarrollado por el Ing. Moschini.

Los **carbones** son enfermedades de la espiga que afectan la calidad. Uno de es el **carbón volador** o desnudo causado por *Ustilago tritici*. Se transmite exclusivamente a través de semillas. Destruye la espiga por completo, el raquis queda pelado y se transforma en una masa

verde oscura que se desintegra con facilidad (Astiz Gassó, 2014). El otro es el **carbón hediondo, caries o carbón cubierto** causado por *Tilletia foetida*, *Tilletia caries* o *Tilletia controversia*. Se transmite por semillas. Durante la cosecha se rasgan los granos infectados y se contaminan los sanos. También queda inóculo en el suelo que afectará a las plántulas. Provoca el defecto punta negra por carbón. El grano reduce su tamaño y se torna más esférico, la cubierta toma una coloración blanquecina y en el interior del grano hay una masa negra y untuosa de esporos. Como la cubierta es frágil, se rompe y contamina al grano de trigo adhiriéndose al cepillo y surco. La molienda de estos granos produce harinas grises con olor a pescado (Seghezzeo & Molfese, 2006; Astiz Gassó, 2014). En la actualidad con los sistemas de "limpieza en seco" la posibilidad de su eliminación está dada por el trabajo de las despuntadoras, ya que estas eliminan parte de la epidermis del grano y fundamentalmente el "cepillo" que es el lugar del grano donde se acumula la mayor cantidad de esporas. No obstante, cuando la infestación es importante es aconsejable descartar los lotes.

Manejo post cosecha y almacenamiento

Por último, un buen cuidado postcosecha también será necesario para mantener la calidad. Con relación a esto, lo más importante es el almacenaje con una humedad inferior a 14% en silos (previa desinfección y limpieza del grano) y el secado artificial que se debe realizar con flujos de aire caliente, pero la temperatura del aire nunca debe exceder los 65 °C y la del grano 50 °C para no desnaturalizar las proteínas formadoras de gluten (Cuniberti, 2014).

Con excesivo calor las proteínas formadoras de gluten pierden su capacidad de aglutinar, dando un gluten cortado, disgregado. Este gluten llevado a la panificación produce un pan que no leuda, no toma volumen, como si se realizara con harina de otros cereales que no tienen gluten. Por este motivo, los compradores de trigo deciden la compra por contenido de gluten y no por proteína, porque la proteína total no se altera con el calor, pero sí su capacidad formadora de gluten (Cuniberti, 2014).

El almacenamiento debe garantizar granos secos, fríos, sanos y limpios. El aumento de la temperatura y la humedad del grano reducen el tiempo de almacenaje seguro, ya que se acelera la respiración y el grano consume sus sustancias de reserva rápidamente. El aumento de temperatura de los granos produce focos de calor húmedos y puede llegar a temperaturas muy elevadas, causando el ardido de los granos con consecuencias en la calidad del gluten semejantes al secado artificial a altas temperaturas (Cuniberti, 2014).

Para concluir es importante comprender que un **buen pan** se obtiene de un **buen trigo** con **cultivares de buena aptitud** panadera y que la calidad se **genera a través del ciclo** del cultivo y especialmente en el **llenado del grano**. El manejo agronómico es de suma importancia en las decisiones relacionadas a la calidad del cultivo como la fertilización nitrogenada en el momento y dosis óptima para lograr un buen contenido de proteína y gluten. Otro punto de gran interés es conocer la calidad de las variedades de los trigos en cada subregión de cultivo para cubrir las diversas demandas de calidades específicas que se adapten a los distintos usos.

El grano de trigo

El grano de trigo es un cariopse que tiene forma ovalada (Fig. 10.4). Está formado por tres partes principales: el pericarpio o salvado que se ubica en la parte periférica del grano, el germen o embrión ubicado en un extremo y el endosperma que es la parte interna. En el extremo opuesto al embrión se encuentra el cepillo que es un conjunto de pelos finos con sílice. El grano de trigo posee un surco (invaginación de la aleurona) longitudinal. El pericarpio, la testa y la capa de aleurona conforman el salvado. El salvado contiene numerosas vitaminas y minerales. La capa de aleurona se localiza entre el salvado y el endospermo. Tiene una función muy importante en la germinación y posee numerosas sustancias nutritivas (Gómez Pallares *et al.*, 2007). El endosperma conforma el 82% del peso del grano. El germen de trigo es rico en vitaminas del grupo B y E, proteínas, grasas y minerales. El endosperma contiene principalmente almidón y proteínas y en menor cantidad celulosas, vitaminas y minerales. Del endosperma se extrae la harina blanca (Gómez Pallares *et al.*, 2007).

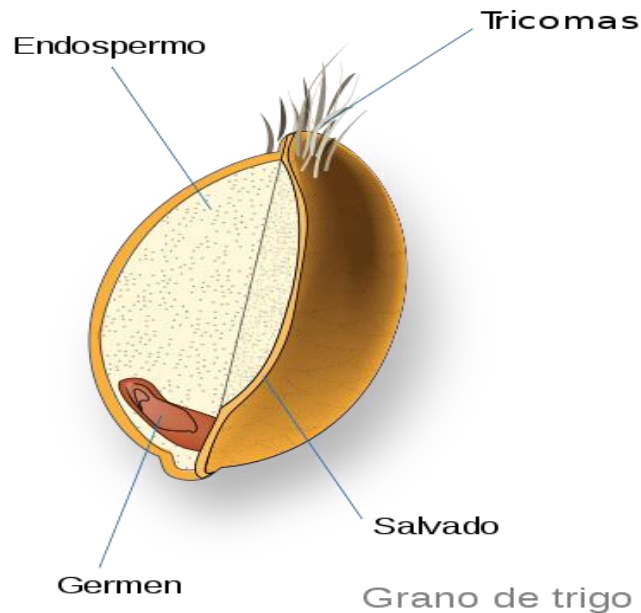


Fig. 10.4.. Estructura del grano de trigo.

Fuente https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wheat-kernel_nutrition-es.svg
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>

La evaluación de la calidad molinera

La industria molinera es exigente en las características de las harinas que deben ser usadas para la obtención de determinados productos, ya que de ellas depende la calidad final y la mayor aceptación por parte del consumidor. No todas las variedades se pueden adaptar a producir los diferentes productos ni a los diferentes procesos. Una variedad puede ser buena para panificación, pero puede no serlo para galletitas, repostería, pan dulce, pan de molde, etc., productos que requieren otras características en las harinas. En su gran mayoría las industrias utilizan mezclas de variedades, esto implica gran diversidad de comportamientos reológicos.

La importancia en el uso de métodos de determinación patrón y la calibración de los equipos

Los métodos que evalúan la calidad del trigo deben garantizar resultados exactos y confiables. Existen métodos llamados patrón, son seguros y permiten la calibración del resto de los equipos existentes. Las determinaciones deben realizarse por duplicado y ofrecer resultados comparables. Para esto es importante seguir las técnicas tal como lo indican las normas. Para garantizar resultados confiables es muy importante que los equipos con los que se realizan las determinaciones de calidad estén calibrados por instituciones aptas para tal fin. El uso diario de los equipos genera roturas y/o modificaciones que deben ser corregidas. También es importante que cada equipo reciba una calibración diaria en el laboratorio.

La molienda experimental

El grano de trigo antes de ser molido debe ser acondicionado. Este paso es fundamental para lograr una separación eficiente del pericarpio y el germen del grano, del endospermo. Consiste en agregar agua al trigo 24 h antes de la molienda, para que éste alcance una humedad final de 15,5% (IRAM 15854-1). Para obtener una muestra de harina representativa y realizar un análisis de calidad, se utilizan molinos experimentales. Su utilización en semilleros, unidades de investigación, y organismos abocados al estudio, creación y mejoramiento genético de variedades de trigo es de vital importancia para la determinación de la potencialidad de los cultivares en cuanto a su comportamiento en la industria (rendimiento en harinas, características reológicas, ensayos de panificación, etc). Replica en pequeña escala los resultados a obtener a posteriori en escala industrial en el molino industrial propiamente dicho.

El molino Bühler MLU 202 (Fig. 10.5.a) está provisto de un diagrama de tres roturas (cilindros estriados) y tres pasajes por cilindros lisos de reducción y compresión, los que se deben ajustar de acuerdo con reglajes preestablecidos y siguiendo la técnica indicada. Con él se pueden obtener resultados que son de gran utilidad para la toma de decisiones en la conducción del molino en escala industrial. La densidad de estrías y la luz entre cilindros varía en cada par, siendo el primero con más luz y menos estrías, y el tercero posee una densidad de estrías mayor que el segundo y una luz entre los cilindros menor. Los cilindros de rotura fracturan el grano produciendo partículas grandes de salvado y endosperma adherido. Estos fragmentos van pasando por tamices de diferente granulometría y los que no pasan son llevados por una corriente de aire a los otros bancos de rotura en los cuales se continúa la reducción de su tamaño. El segundo par de cilindros raspa los fragmentos de grano de trigo con el fin de separar el endosperma del salvado. Los cilindros de reducción reducen las partículas de sémolas a un tamaño de harina fina. Además, eliminan las últimas partículas de salvado y germen que puedan quedar. Los fragmentos que no logran atravesar los segundos tamices de los tres cilindros de rotura son guiados por el sistema neumático a los cilindros de reducción.

Para aquellos molinos que trabajan con harinas a pedido, mediante recetas de sus clientes, con especificaciones estrictas en cuanto a valores alveográficos y estabilidad farinográfica, el molino Bühler resulta de singular importancia. Con éste se pueden realizar los ensayos de las harinas en pequeña escala a nivel experimental en el laboratorio, antes de encarar la preparación de las mezclas definitivas a escala industrial. Otros molinos de laboratorio no requieren proceso de acondicionamiento y muelen en fracciones de granulometría mayor (Fig. 10.5.b.).



Fig. 10.5.a Molino experimental Bühler MLU 202.b. Molino Brabender Quadrumat Junior. Laboratorio de Cerealicultura. FCAyF-UNLP. Foto propia.

La evaluación de la calidad molinera comprende diversos análisis:

1. Humedad
2. Peso hectolítrico
3. Peso de mil granos
4. Cenizas
5. Dureza y forma del germen
6. Almidón dañado
7. Proteína del grano
8. Gluten húmedo y seco
9. *Zeleny test*
10. *Falling Number*

Determinación de la humedad

Determinar la humedad de una muestra de grano o harina de trigo es esencial ya que es un valor útil para la realización de todos los ensayos y además los análisis se refieren o corrigen a un valor de humedad de 14%, que es el porcentaje de humedad en el estándar de comercialización. Por otro lado, el comprador de materia prima no quiere comprar agua en exceso, la presencia de agua favorece el desarrollo de microorganismos (hongos y bacterias), la humedad del trigo se debe ajustar para realizar la molienda adecuadamente (Gambarotta, 2005).

El método patrón para determinar humedad es por gravimetría, es decir por diferencia de peso húmedo-seco. Existen otros métodos rápidos para determinar humedad, pero su uso depende del grado de precisión deseado. Para determinar el contenido de humedad de una muestra de harina o grano molido, se deben colocar 5 g (+/- 1 g) de muestra en un pesafiltro de vidrio con tapa. Se distribuye homogéneamente de modo que queden 0,3 g/cm². El pesafiltro debe tener 5 cm de diámetro y 2 cm de altura (IRAM 15850-1).

Si la muestra es de grano entero, se debe moler con un molinillo para obtener una granulometría adecuada. Los pesos se registran en una balanza analítica. Los valores que se toman son el peso del pesafiltro vacío con su tapa (PV), el peso de la muestra (PM) y el peso de la muestra seca (PS). Una vez colocada la muestra en el pesafiltro y pesada se coloca en la estufa a 130°C durante 1 hora. Transcurrido este tiempo, se retira de la estufa y se coloca en un desecador hasta que logre la temperatura ambiente. El desecador de vidrio debe tener una placa de metal o en su defecto una placa de porcelana gruesa con sílicagel para absorber la humedad. Cuando la muestra bajó su temperatura se pesa (PS). Finalmente se aplica la fórmula: % humedad = $(PM-PS) / (PM-PV) \times 100$.

Peso Hectolítrico

Es el peso de un volumen de 100 l expresado en kg.hl⁻¹. Sirve para graduar la mercadería, estimar el rendimiento molinero, realizar mezclas y aligaciones y cubicaje. Su determinación se

realiza con la balanza Schopper (Fig. 10.6). Esta balanza consta de un recipiente medidor ($\frac{1}{4}$ l), un tubo receptor, un tubo cargador, una cuchilla, un émbolo o extractor de aire, una caja con pesas. El tubo receptor se calza sobre el tubo medidor. La cuchilla se coloca en la parte superior del medidor y arriba de éste el émbolo. Este conjunto debe estar vertical y en una superficie horizontal sin vibraciones para evitar que los granos se alteren en su normal acomodación.

El operador toma el tubo cargador y en forma de cruz, recoge la muestra de trigo (colocada sobre una bandeja) hasta el ras del tubo. Luego la vuelca sobre el tubo receptor a una distancia de 2 cm, velocidad regular y sin exceder 8 segundos. Luego, saca la cuchilla y la vuelve a insertar rápidamente. Extrae el excedente de cereal y registra el peso del trigo (Fig. 10.7). Este valor en g lo busca en una tabla que convierte este valor en $\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$. Por ejemplo, un valor de 204 g (en $\frac{1}{4}$ l) corresponden a un PH de 82,15 $\text{kg}\cdot\text{hl}^{-1}$ (Resolución SAGPyA 1262/04 Anexo 26, Metodologías). El PH puede disminuir por defectos de los granos tales como grano chuzo, quebrado, verde, helado, calcinado, picado, lavado, presencia de materias extrañas.



*Fig. 10.6. Balanza Schopper en la Bolsa de Cereales (CABA).
Foto propia.*



*Fig. 10.7. Determinación del PH con Balanza Schopper.
Fotos gentileza Molino Cooperativa Sicsa, Saladillo, Pcia Bs As.*

Peso de mil granos

El peso de mil granos (PMG) es un fuerte indicador del rendimiento harinero ya que considera el tamaño promedio del grano. A mayor tamaño mayor relación endosperma/salvado y por lo tanto mayor rendimiento potencial harinero. En el PMG influye la heterogeneidad de tamaño, la forma y vitreosidad del grano. Es dependiente del cultivar y el ambiente (Seghezzeo & Molfe-se, 2006). Un valor se considera aceptable entre 30- 32 g y muy aceptable si es mayor a 35 g. Para determinar el PMG se pueden contar los granos manualmente o con un contador electrónico y luego pesar (Fig. 10.8).



*Fig. 10.8. Contador electrónico de granos. Laboratorio de Cerealicultura FCAYF- UNLP.
Foto gentileza: Ing. Agr. Eugenia Esquisabel.*

Cenizas

La determinación de cenizas es muy significativa para la molinería. Conocer la cantidad de cenizas en la harina permite estimar el rendimiento harinero que se tendrá. El trigo tiene entre 1,3 a 2,4% de cenizas distribuidas mayormente en el pericarpio (6%) y luego en el endosperma interno (0,3%). La presencia de cenizas en la harina imparte una coloración oscura indeseable para los productos panificados. Según el Código Alimentario Argentino (CAA) las harinas deberán tener las siguientes características (Tabla 10.1).

Tabla 10.1: Características de las harinas según el CAA

Harina tipo	Humedad (g/100 g)	Cenizas (g/100 g)	Absorción (g/100g)	Volumen pan (cm ³)
	Máximo	Máximo		Mínimo
0000	15,0	0,492	56-62	550
000	15,0	0,650	57-63	520
00	14,5	0,678	58-65	500
0	14,7	0,873	60-67	475
½ 0	14,5	1,350	-	-

Luego están las harinillas cuya humedad es de 14,5 % y sus cenizas son para harinilla de primera de 1,36 a 2,00 y para harinilla de segunda 2,00 a 3,00%. Se admite una tolerancia del 3% sobre los valores establecidos. La determinación de cenizas se realiza por incineración de la materia orgánica en una mufla (Fig. 10.9A y Fig. 10.9B) a 920° C, en cápsulas de porcelana (Fig. 10.9C). Luego se llevan al desecador y se pesa hasta valor constante (IRAM 15851).



Fig. 10.9A. Mufla y desecador. Fig. 10.9B. Mufla a 920°C. Fig. 10.9C. Cápsulas de porcelana con muestra incinerada. Laboratorio de Cerealicultura FCAyF-UNLP.

Fotos propias.

Características físicas del grano

Dureza del grano y forma del germen

Es una característica genética que depende de la compactación del endosperma y las fuerzas de unión entre la proteína y el almidón. Existe una diferencia entre los trigos duros y los trigos blandos. Los trigos duros requieren mayor tiempo de acondicionamiento con respecto a los trigos blandos. Los trigos duros requieren mayor energía en la molienda, presión de los cilindros. La harina será fácilmente separada del afrecho (Seghezzo & Molfese, 2006). La separación del pericarpio del endosperma debe ser satisfactoria para evitar la presencia de partículas de salvado en la harina. Si la separación es deficiente se observarán pecas en las masas. Con respecto a la presencia del germen, éste oscurece las harinas y provoca rancidez debido a la presencia de lípidos que la oxidan. A mayor tamaño y protuberancia del germen, más fácil separarlo del resto del grano. Esto facilita la molienda.

Almidón dañado

Durante la molienda es habitual que se rompan los gránulos de almidón (entre un 5-9%) (Seghezzo & Molfese, 2006). Un poco de almidón dañado es totalmente necesario y puede favorecer la absorción de agua, pero un exceso causa muchos problemas. El exceso de almidón dañado causa mayor absorción de agua durante el amasado, las masas aumentan su extensibilidad y resultan pegajosas, panes chatos, más oscuros (porque hay azúcares que reaccionan con las proteínas). Los factores que influyen en el almidón dañado son intrínsecos tal como la variedad, la dureza del grano, ya que, a mayor dureza, el grano opone mayor resistencia a la molienda. También depende del proceso mecánico al que fue sometido (número de pasadas, velocidad de alimentación, separación y presión de los cilindros).

Determinación del almidón dañado

Existe un equipo llamado SDmatic que mide el nivel de daño en el almidón de la harina a través de medir el porcentaje de iodo absorbido (Chopin Technologies, 2015). El electrodo genera iodo. Al añadir la harina, el iodo se fija en el almidón (gránulos dañados). Se mide una corriente eléctrica que es proporcional a la cantidad de iodo en solución. A menor intensidad eléctrica, mayor contenido de almidón dañado.

Las proteínas del trigo

Las proteínas del grano de trigo se pueden clasificar en dos grupos: las formadoras de gluten y aquellas que no lo forman. Las primeras se denominan proteínas de almacenamiento o reserva y constituyen alrededor del 75-80 % del total. Entre las proteínas no formadoras de gluten, que representan el 20-25 % del contenido total, se encuentran la mayoría de las enzimas (Gómez Pallarés *et al.*, 2007). Con respecto a la calidad panadera, el gluten se correlaciona con la concentración de proteína que determina el valor nutricional.

Las proteínas formadoras de gluten pertenecen a la clase de prolaminas (Shewry *et al.*, 1995) y se encuentran en el endosperma del grano de trigo maduro donde forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón. Estas proteínas son en gran parte insolubles en agua o en soluciones de sales diluidas. Las gluteninas proveen elasticidad y resistencia a la extensión o tenacidad (MacRitchie, 1994, Verbruggen & Delcour 2003), mientras que las gliadinas usualmente confieren viscosidad y extensibilidad a las masas (Ciaffi *et al.*, 1996). La elasticidad y extensibilidad son propiedades importantes en la panificación. La determinación del contenido de proteínas se realiza por método Kjeldahl (Sáez-Plaza *et al.*, 2013). Así mismo, existen otros métodos que bien calibrados proveen resultados equivalentes.

Para el productor y acopiador, la proteína es importante ya que incide en el precio del grano al formar parte del estándar de comercialización, con bonificaciones y descuentos por encima o por debajo de la base de comercialización del 11 %. En cambio, al molinero le interesa el contenido de gluten más que la proteína y eso se debe a que la proteína puede estar desnaturalizada por un almacenaje inadecuado o por secado del grano a altas temperaturas, haciendo que no formen gluten (Cunibert, 2001). De allí que el gluten pasó a ser un parámetro clave en la comercialización interna.

Determinación de proteína: método Kjeldahl

El método Kjeldahl fue introducido por el danés Joahn Kjeldahl en 1883. Sirve para determinar el contenido de nitrógeno (N) en materia orgánica (Sáez-Plaza *et al.*, 2013). Este método mide indirectamente el contenido de proteína de los alimentos a través de la medición del contenido de N y posterior multiplicación por un factor de conversión (Moore *et al.*, 2010). Es el **método considerado patrón** y comprende tres etapas: mineralización de la materia orgánica (granos de trigo), destilación y posterior valoración (Saha *et al.*, 2012). En este método, el contenido de N orgánico contenido en las muestras es digerido con ácido sulfúrico a sulfato de amonio en presencia de un catalizador, el amonio es luego liberado en medio básico y finalmente valorado o titulado (Sáez-Plaza *et al.*, 2013).

Multiplicando el porcentaje hallado de N por un factor de conversión que en trigo es 5,7 se obtiene el porcentaje de proteína. A pesar de ser un método largo, peligroso y laborioso, sigue siendo el método confiable y preciso que se usa para estandarizar otros métodos. El método Kjeldahl tiene diversas variantes, micro y macro, basadas en el tamaño de la muestra y el equipo. El procedimiento original requiere un equipo grande que necesita una habitación especial del laboratorio y requiere grandes cantidades de reactivos. El método **Micro-Kjeldahl** (Fig. 10.10) es más comúnmente usado y requiere menos mezcla de ácido y catalizador (Greenfield & Southgate, 2003). Se basa en el mismo fundamento que el Kjeldahl, pero a escala menor (Horneck & Miller, 1998).

$$\% \text{ Proteína} = [(\text{Vol HCl} \times 0,01 \times 14,007) / 10 \times m] \times 5,7$$

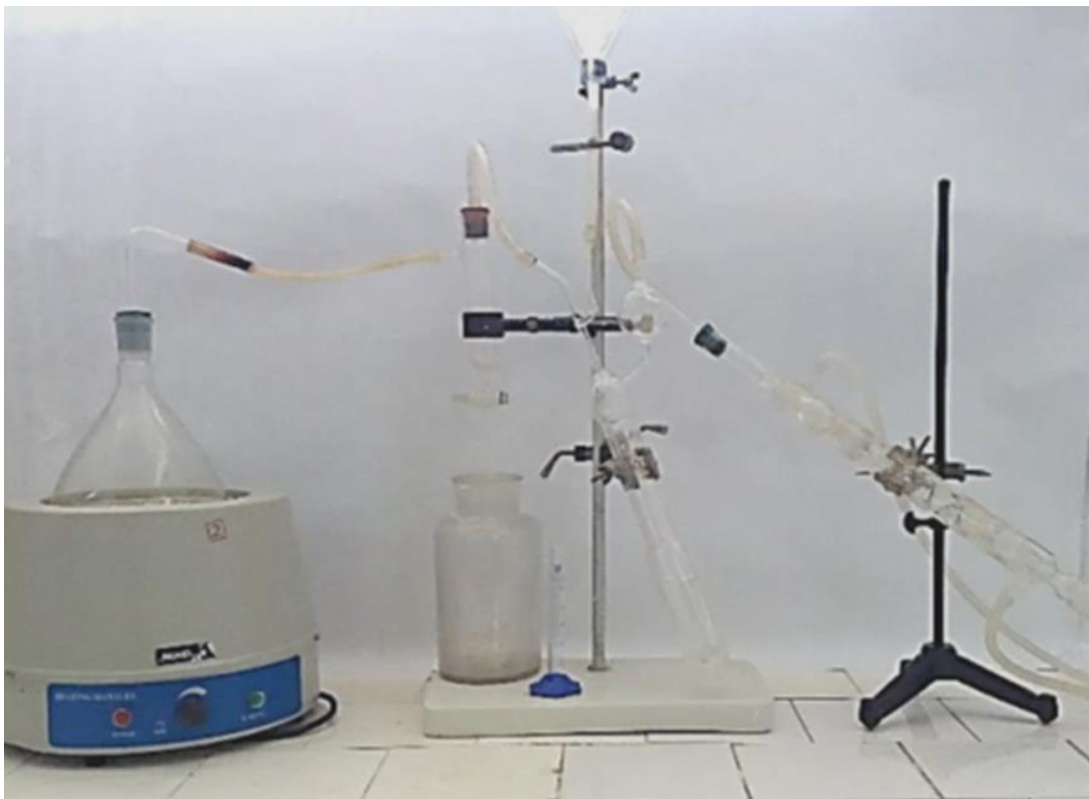


Fig. 10.10. Equipo MicroKjeldahl en Laboratorio de Cerealicultura, FCAYF-UNLP. (Foto Gerard, 2017).

Existen otros equipos que determinan proteína como el NIR (infrarrojo por reflectancia) o NIRT (infrarrojo por transmitancia). Estos equipos realizan determinaciones rápidas, pero es muy importante que estén calibrados con el método patrón.

Determinación del contenido de gluten

El equipo utilizado es el Glutomatic (Fig. 10.11B). Existen dos normas vigentes, en una de ellas se utiliza solución salina (IRAM 15864-2) (exportación) y en otra agua destilada (IRAM 15864-1) (mercado interno). El ensayo se realiza por duplicado. En cada vaso se colocan 10 g de harina (mi) (Fig. 10.11A) y 4,8 ml de agua destilada. El equipo realiza el amasado y lavado en forma automática. Las proteínas solubles en agua y el almidón se lavan depositándose en un vaso (Fig. 10.11E). Una vez obtenido el bollito de gluten húmedo (GH) (Fig. 10.11C), se coloca dentro de los casetes de la centrifuga para retirar el exceso de agua (Fig. 10.11D). Luego, se pesa el GH (m) en balanza analítica y el dato obtenido se multiplica por 10. El dato se refiere a la humedad en base 14%.

$$GH = m / mi \times 100 \times 86,0 / 100 - H$$

H es el contenido de humedad de la muestra.

Los porcentajes de GH (base 14% de humedad) pueden ser 27 a 32% y mayor para un buen gluten. En ocasiones, la muestra de harina no liga, es decir no forma gluten (Fig. 10.11F). Para determinar el contenido de gluten seco, se colocan los dos bollitos de gluten (uno de cada vaso) en el glutork (Fig. 10.12A), (dos planchas teflonadas a 134° C) y se deja 4 min 30 s (Fig. 10.12B). Por último, se pesa el GS (Fig. 10.12C) y se multiplica por 10. Los porcentajes para GS (base 14% humedad) pueden ser 9 a 12% o superior.

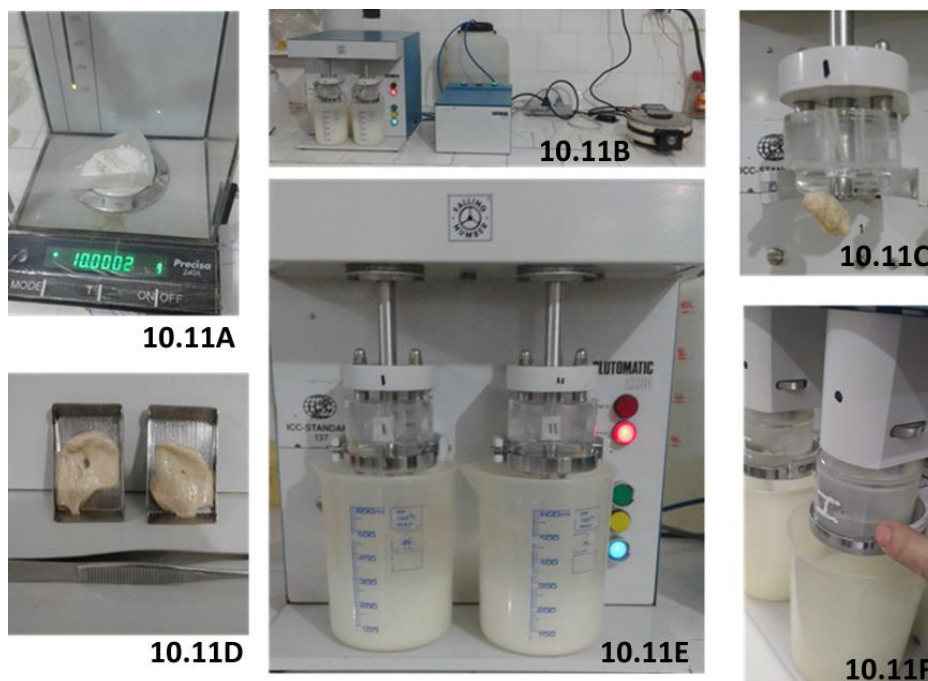


Fig. 10.11A. Balanza analítica con muestra de harina preparada para determinar gluten. Fig. 10.11B. Equipo Glutomatic 2200 con centrífuga y glutork. Fig. 10.11C. Gluten húmedo recién amasado. Fig. 10.11D. Gluten húmedo sacado de centrífuga. Fig. 10.11E. Glutomatic amasando y lavando. Se aprecian los vasos con almidón y proteínas solubles. Fig. 10.11F. Gluten sin ligar.
Fotos gentileza Ing. Agr. Waldo Berrueta. Laboratorio de Cerealicultura, FCAyF- UNLP.

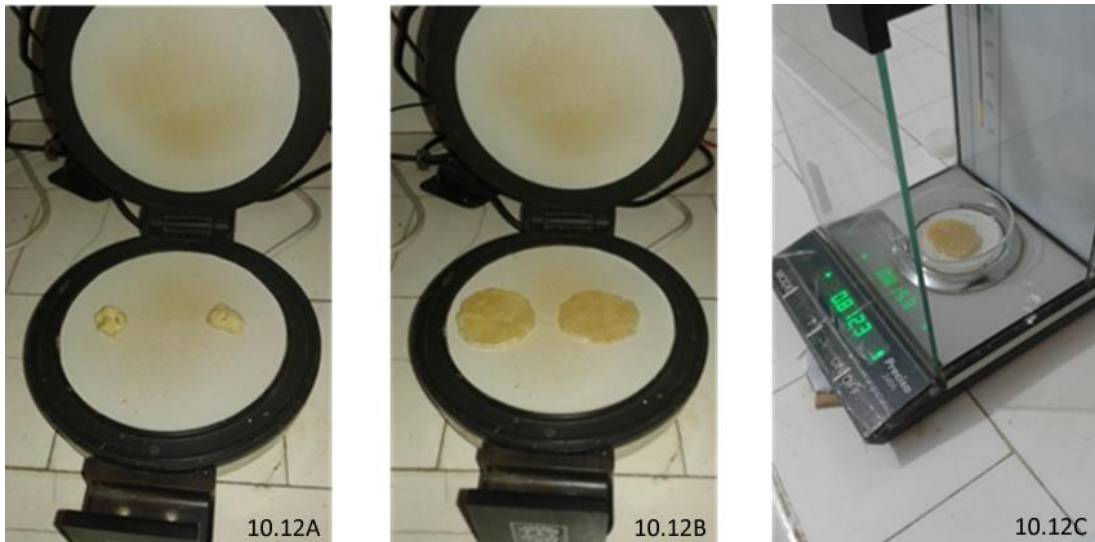


Fig.10.12A y 10.12B. Determinación de gluten seco en Glutork y Fig. 10.12C. Pesada de gluten seco en balanza analítica.

Fotos gentileza Ing. Agr. Waldo Berrueta. Laboratorio de Cerealicultura, FCAyF- UNLP.

Zeleny test

Esta prueba mide la calidad de la proteína de una manera indirecta. En una probeta, se forma una suspensión de harina con azul de bromofenol y se agita vigorosamente (Fig. 10.13A). La suspensión se coloca en un agitador mecánico (Fig. 10.13B) durante 5 minutos. Luego, se le agrega reactivo (ácido láctico, alcohol isopropílico y agua destilada). Se agita 5 minutos adicionales y se deja reposar en posición vertical. Por último, se lee el volumen de sedimentación (IRAM 15875) (Fig. 10.13C). El índice de sedimentación normal se encuentra entre 45 a 50 ml. A mayor volumen de sedimentación indica gluten fuerte por el contrario a menor volumen de sedimentación indica gluten débil (Vázquez, 2009).

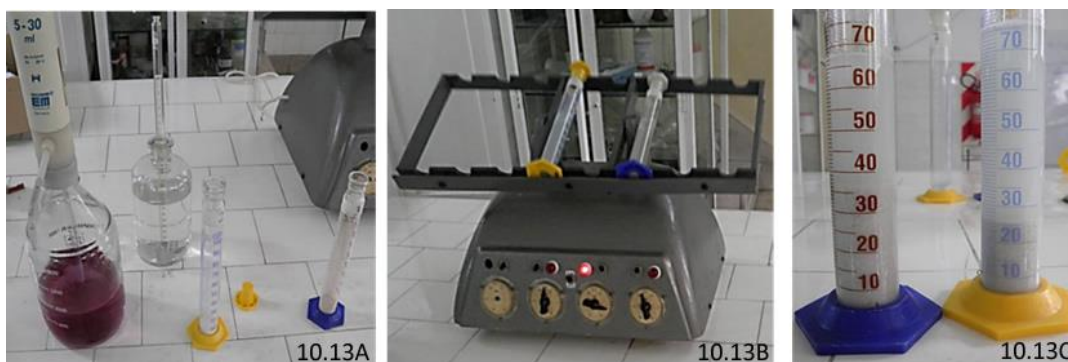


Fig. 10.13A. Muestra de harina y azul de bromofenol. Fig. 10.13B. agitador. Fig. 10.13C. Probetas con volumen de sedimentación.

Fotos (Gerard, 2017). Laboratorio de Cerealicultura, FCAyF-UNLP.

Falling Number o índice de caída

El brotado del trigo afecta negativamente la calidad panadera debido a que la hidrólisis de las moléculas de almidón reduce la viscosidad de la masa, la cual resulta pegajosa y difícil de procesar, produciendo panes poco estructurados al horneo (Chamberlain *et al.*, 1981). Una semilla pregerminada presenta una alta actividad de la enzima alfa amilasa, la cual es dependiente del grado de germinación del grano. Las alfa y beta amilasas son enzimas que desdoblan el almidón en azúcar fermentable y maltosa.

Una manera indirecta de medir la actividad de la alfa amilasa, en una muestra de trigo recibida por un molino, es mediante el análisis denominado **Falling Number** (FN) (índice o número de caída) medido en segundos (Fig. 10.14A). El método FN o índice de caída se basa en la rápida gelatinización de una suspensión de harina de trigo, introducida en un baño María hirviendo y en la subsiguiente medición del tiempo (en segundos) de la licuefacción del almidón contenido en la muestra por la acción de la alfa amilasa (Vázquez, 2009).

En un tubo viscosímetro de FN (Fig. 10.14B) se colocan 7 g de harina aproximadamente (o lo que indica la tabla en base al % humedad de la muestra calculado previamente) y se agregan 25 ml de agua destilada, agitando enérgicamente 25 a 30 veces, ubicando el tubo en una posición de 45°. Rápidamente, se coloca el vástago dentro del tubo viscosímetro que posee la suspensión y se procede al ensayo. Se efectúa una rápida gelificación y se mide después la fluidificación a través del tiempo que tardó en caer el vástago inmerso en el engrudo (Fig. 10.14C) (IRAM 15862).

Interpretación de los resultados obtenidos en el FN

El total de segundos es el número de caída o FN, el cual está relacionado con la actividad de la enzima alfa amilasa. A mayor actividad enzimática, menor número de caída (indicando la presencia de grano brotado en la muestra). Si el número de caída o FN es menor a 150 s indica presencia de grano brotado. Las masas de estas harinas resultarán pegajosas, flojas, extensibles, difíciles para trabajar en máquinas. Los panes que resulten de estas harinas serán de poco volumen, aplastados, con coloración oscura debido a la reacción de Maillard (reacción química entre azúcares y proteínas), con ampollas en la superficie y miga gomosa. Si el número de caída o FN se encuentra entre 300 a 400 s la actividad alfa amilasa es normal y si el resultado supera los 450 s indica actividad de la alfa amilasa débil y los panes tendrán miga seca, dura, compacta y con corteza pálida.



Fig. 10.14A. Equipo Falling Number. Fig. 10.14B. Tubos viscosímetros de Falling Number. Fig. 10.14C. Tubo viscosímetro con muestra de trigo gelificada luego de realizar el FN.
Fotos gentileza Ing. Agr. Facundo Quiroga. Laboratorio de Cerealicultura, FCAyF-UNLP.

Evaluación de la calidad panadera

Las panificadoras son muy exigentes porque emplean procesos altamente automatizados, debiendo partir de una materia prima con características homogéneas para elaborar distintos productos (Cuniberti, 2005). Para conocer la aptitud industrial se realizan análisis de laboratorio que definen la calidad de un trigo y así se pueden satisfacer las necesidades de los diferentes eslabones de la cadena comercial (Salomón *et al.*, 2013).

Reología del trigo

La reología estudia como los materiales se deforman, fluyen o fallan cuando se les aplica una fuerza. El nombre deriva de la palabra griega *rheos* que significa río, fluidez, transmisión. Por lo tanto, la reología se dedica a la “ciencia de lo que fluye” aunque las investigaciones reológicas no sólo estudian líquidos sino también sólidos. Normalmente, para medir una propiedad reológica el material es sometido a una distorsión o tensión precisa cuantificable, controlada, en un tiempo determinado y posteriormente se miden parámetros como tenacidad viscosidad, dureza (Dobraszczyk & Morgenstern, 2003).

Las mediciones reológicas en las masas se utilizan para definir sus propiedades físicas. Los objetivos son realizar una descripción cuantitativa de las propiedades mecánicas de los materiales, obtener información relacionada con la estructura molecular y la composición de los materiales, predecir el comportamiento del producto final en el amasado, laminado, horneado (Dobraszczyk, 2003; 2004).

Ensayos reológicos

Alveógrafo de Chopin: determinación del alveograma

El principio del funcionamiento del alveógrafo (Fig. 10.15A) se basa en la extensión tridimensional de una porción de masa que bajo la acción de una presión de aire se infla y toma la forma de una burbuja (Fig. 10.15B). El gráfico resultante se denomina alveograma (Fig. 10.16) y registra la presión en el interior de la burbuja hasta que ésta explota. Esta deformación de la masa simula la producida durante la fermentación bajo la presión del gas de origen biológico o químico. El alveógrafo está diseñado para medir la resistencia a la expansión y la extensibilidad de la masa en el ensayo. El instrumento consta de la amasadora para la formación de la masa, el alveógrafo propiamente dicho y el manómetro registrador de la curva (IRAM 15857).



*Fig 10.15A. Alveógrafo de Chopin en Wheat Chemistry and Quality Laboratory CIMMYT.
(Foto gentileza Dra. María Constanza Fleitas).*



Fig. 10.15B. Formación del alveo o burbuja en Alveógrafo de Chopin. Laboratorio de Cerealicultura, FCAyF-UNLP.

El alveograma se utiliza para estimar la calidad de trigos y harinas destinadas a todos los tipos de panificación, para el control del proceso de molienda, selección de mezclas de trigo para la producción de harinas y verificación de la acción de aditivos autorizados en el comportamiento de la harina.

Los parámetros que se evalúan en un alveograma (Fig. 10.16) son:

Valor P: Tenacidad (variable de presión máxima): Indica la resistencia de la masa a ser estirada y es representada por la altura máxima de la curva del alveograma. Se mide en mm.

Valor L: Extensibilidad (promedio de las abscisas): Es la distancia desde que se inicia el inflado y se origina la curva hasta que se rompe la burbuja o alvéolo. Se mide en mm.

Valor P/L: es la relación existente entre la tenacidad (P) y la extensibilidad (L). Indica la conformación de la curva y cuán equilibrada es.

Valor W: es la fuerza panadera e indica el trabajo necesario para la deformación de la masa y se representa con el área bajo la curva del alveograma. Se mide en Joules $\times 10^{-4}$.

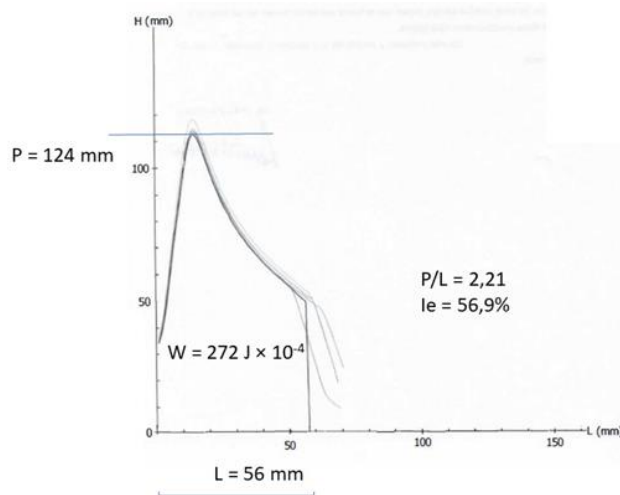


Fig. 10.16. Alveograma

Otros parámetros son el índice de elasticidad (le) %, índice de hinchamiento (G) que indica la aptitud para hacer un pan y la relación P/G.

El farinógrafo de Brabender

El farinógrafo de Brabender (Fig.10.17 y Fig. 10.18) mide y registra la consistencia de una masa que se forma a partir de harina y agua, cómo se desarrolla y cómo se va modificando con el transcurso del tiempo. El gráfico resultante se llama farinograma (Fig. 10.19 y Fig. 10.20), éste muestra la resistencia que opone la masa a un trabajo mecánico continuo en función del tiempo, en condiciones constantes de ensayo. El farinograma permite extraer conclusiones acerca de la **aptitud industrial de una harina** (IRAM 15855).



Fig. 10.17. Farinógrafo de Brabender.
Laboratorio de Cerealicultura (FCAYF-UNLP).



Fig. 10.18. Farinógrafo de Brabender (Wheat Chemistry and Quality Laboratory CIMMYT. Foto gentileza Dra. María Constanza Fleitas).

Parámetros del farinograma

Absorción de agua (A): Se mide en ml directamente desde la bureta del equipo y es el volumen necesario para obtener en el farinógrafo, una masa con una consistencia máxima de 500 UB (Unidades Brabender). Cuanto mayor sea la cantidad de agua absorbida para alcanzar las 500 UB, mayor será el rendimiento de la masa y por lo tanto el volumen de pan. Los valores aceptables se encuentran entre los 58 y 60 ml.

Tiempo de desarrollo de la masa (B): Se mide en minutos y es el tiempo (min) transcurrido entre el instante que comienza el agregado de agua y el instante en el que se alcanza la consistencia máxima de la masa. Un desarrollo rápido de la masa, indica un menor tiempo de trabajo de amasado. Valores aceptables se encuentran entre 5 y 10 min.

Estabilidad de la masa (D): Se mide en minutos. Es el tiempo que la masa permanece en las 500 UB. Cuanta más ancha sea la curva, más elasticidad y extensibilidad tendrá la masa y mayor la posibilidad de obtener una panificación de mayor volumen. A su vez, cuanto mayor sea la estabilidad, tanto más larga será la fermentación y tanto mayor será el esfuerzo que podrá soportar (Fig. 10.19).

Tiempo de ablandamiento (E): Es la diferencia entre el centro de la curva en el punto en el que comienza la declinación y el centro de la curva 12 minutos después de éste. Se mide en UF (Unidades farinográficas) o UB (Unidades Brabender). Cuanto mayor sea el grado de aflojamiento más corta tendrá que ser la fermentación y el esfuerzo al que la masa podrá ser sometida. En la Fig. 10.20 se muestra un farinograma de una harina muy floja o poco estable con alto grado de aflojamiento. Con respecto a los valores reológicos aceptables, es fundamental tener presente

que existen muchísimas especificaciones relacionadas con el tipo de producto a elaborar. Por ejemplo, la industria de galletitas prefiere masas extensibles (L alto) y la industria fideera masas tenaces (P elevado). La estabilidad farinográfica depende del destino final de la harina.

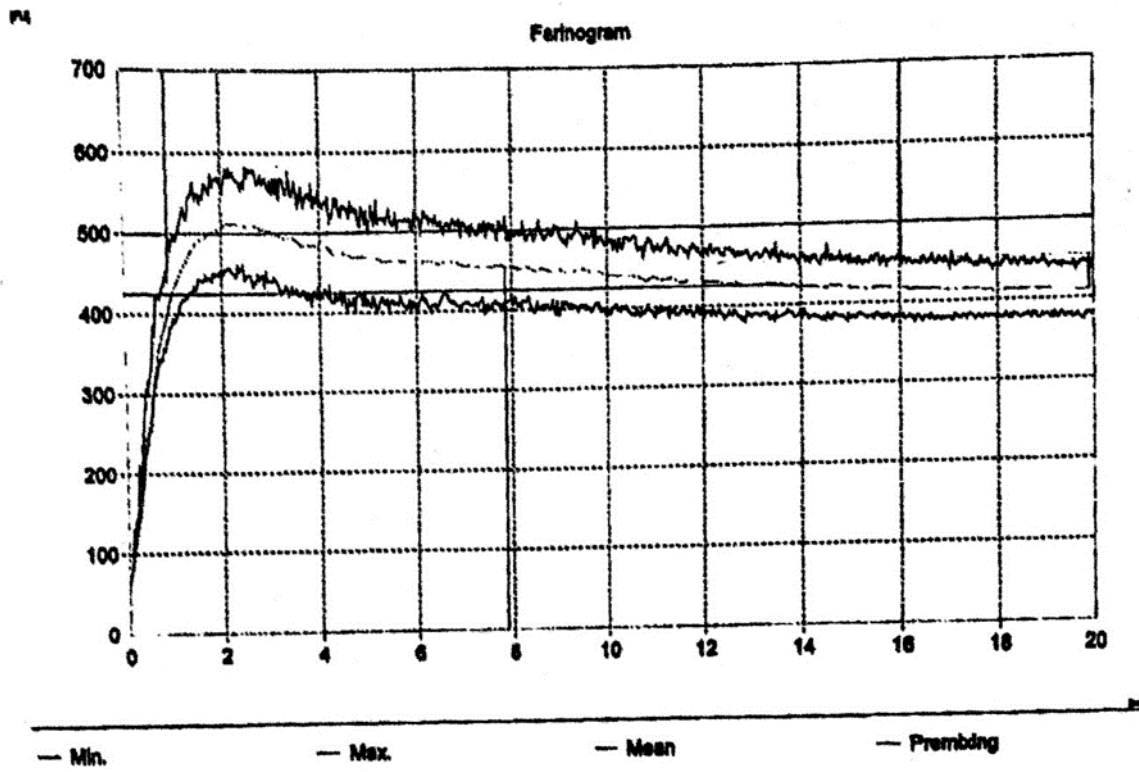


Fig. 10.19. Farinograma de una harina estable con sus parámetros calculados: Absorción farinográfica (corregida para 500 UF) 58,9%, B (tiempo de desarrollo) 7,9 min, D (Estabilidad farinográfica) 15,1 min, E (tiempo de aflojamiento (10 min después del inicio) 13 UF, Tiempo de aflojamiento (ICC/ 12 min después del pico máx) 43 UF.

Gentileza Molino Campodónico (La Plata).

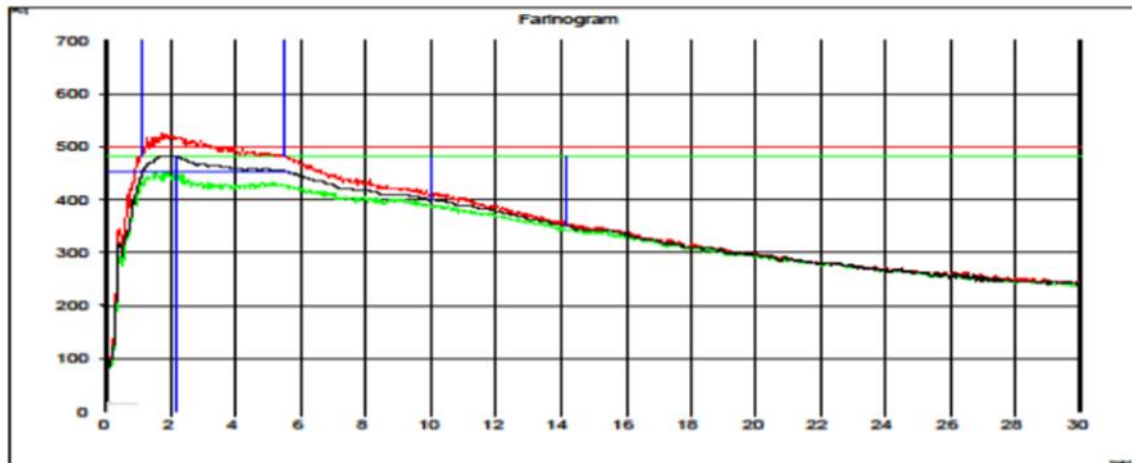


Fig. 10.20. Farinograma de una harina muy floja con sus parámetros calculados: Absorción farinográfica (corregida para 500 UF) 59,5%, B (tiempo de desarrollo) 2,2 min, D (Estabilidad farinográfica) 4,4 min, E (tiempo de aflojamiento (10 min después del inicio) 82 UF, Tiempo de aflojamiento (ICC/ 12 min después del pico máx) 131 UF.

Panificación

La panificación es un proceso crucial para determinar las características fehacientes de la harina y su resultado final: el pan. Permite comprobar la aptitud industrial y ratificar los análisis realizados con anterioridad. El pan es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies propias de la fermentación panaria, como la levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*). El agua permite el amasado, hidratando la harina y junto al trabajo mecánico facilita la formación del gluten. Además, permite el desarrollo de las levaduras. La sal cumple diversas funciones da sabor al pan, tenacidad, regula la fermentación, da coloración a la corteza y aumenta la retención de agua en el pan (Calvel, 1983; 1994). Las levaduras fermentan y producen etanol y dióxido de carbono. El dióxido de carbono queda atrapado en la masa, la cual se esponja y levanta.

Panificación experimental

Consiste en un ensayo llevado a cabo en laboratorio bajo normas. Siguiendo la norma IRAM 15858-1 se identifican tres etapas:

Amasado

Tiene como función principal formar una estructura característica de la fase proteica que no está presente en la harina. Este proceso permite el desarrollo de la masa (Fig. 10.21A y Fig. 10.21B). La masa se forma con harina (100 g), agua, levadura (3 g), sal (2,5 g) y azúcar (1 g). La cantidad de agua a agregar y el tiempo de amasado están en función del W, del P/L y del % de proteínas presente en la harina.

Fermentación

Es el proceso por el cual los azúcares existentes y los gránulos de almidón dañados son transformados por acción de las enzimas en dióxido de carbono y alcohol. Las enzimas que forman parte de la fermentación de la masa son las que actúan sobre los hidratos de carbono. Durante esta etapa se forman en la masa pequeñas burbujas de dióxido de carbono, que hacen que esta vaya aumentando su volumen. Esto se conoce como maduración de la masa. Una masa está madura cuando se ha logrado la máxima elasticidad posible. En ese momento está lista para la cocción.

En la norma se establece un tiempo de pre-fermentación de 85 min en una fermentadora que garantice 80% humedad y una temperatura de 30° C (Fig. 10.21C). A los 45 min se realiza

un primer *punch*, (Fig. 10.21D) esto consiste en dar un amasado suave permitiendo a la masa desalojar el dióxido de carbono y a los 15 minutos del primer *punch*, se realiza el segundo. A los 20 min posteriores se realiza el armado del pan, sobre una tabla estandarizada para tal fin (Fig. 10.22A). Las masas son colocadas en moldes estandarizados (Fig. 10.22B).

Cocción

En esta etapa ocurren cambios que transforman la masa en pan. En un principio, el aumento de temperatura provoca que la levadura actúe con mayor intensidad y ocurre el “crecido” en el horno. Por encima de 42°C la levadura se inactiva y la pieza alcanza su volumen final. El aumento de temperatura produce la gelificación del almidón sobre el que actúa la amilasa produciendo dextrina, hasta los 76°C en que se inactiva la enzima. A los 50°C comienza la desnaturalización y coagulación del gluten que continúan cada vez con mayor rapidez hasta los 80°C. La rápida evaporación del agua en la parte superficial provoca la formación de la costra cuyo brillo y color dependerá de las dextrinas formadas. En la panificación experimental los panes son llevados al horno y permanecen 15 minutos en el molde y 15 minutos fuera de él (Fig. 10.22C).



Figs. 10.21A y 10.21B. Amasado. Fig. 10.21C. Pre-fermentación. Fig. 10.21D. Primer *punch*.
Laboratorio de Cerealicultura, FCAyF-UNLP.
Foto propia.



10.22A



10.22B



10.22C



10.22D



10.22E

Figs. 10.22A-10.22B-10.22C. Armado del pan. 10.22D. Colocación del pan en el molde. 10.22E. Cocción en el horno. Laboratorio de Cerealicultura, FCAYF-UNLP. Foto propia.

Los sistemas de panificación utilizados en los molinos pueden ser diversos (directo, semidirecto, fermentación larga o tabla). En todos los casos será importante mantener uniformidad en la técnica.

Medición del volumen del pan

Una vez retirado del horno, los panes se dejan a temperatura ambiente (Fig. 10.23) y transcurrido una hora se pesan y se determina su volumen. El volumen puede determinarse con un equipo para tal fin por desplazamiento de semillas de colza (Fig. 10.24A). Otra opción para medir el volumen del pan es con una probeta o vaso de precipitado con semillas de colza (Fig. 10.24B). Es importante repetir la evaluación para obtener un dato promedio. Además, se evalúan color de la corteza, simetría, color de la miga, porosidad, distribución de alvéolos.



Fig. 10.23. Panes a temperatura ambiente (Wheat Chemistry and Quality Laboratory CIMMYT. Foto gentileza Dra. María Constanza Fleitas).



Fig. 10.24A. Equipo para medir el volumen del pan en Wheat Chemistry and Quality Laboratory CIMMYT. (Foto gentileza Dra. María Constanza Fleitas). Fig. 10.24B. Vaso de precipitado con semillas de colza. Laboratorio de Cerealicultura, FCyF-UNLP.

Referencias

- Álvarez Prado, S., Gallardo, J.M., Serrago, R.A., Kruk, B.C & Miralles, D.J. (2013). Comparative behavior of wheat and barley associated with field release and grain weight determination. *Field Crops Research*, 144, 28-33.
- Alzueta, I., Miralles, D., Rozzo Ortega, G & Rondanini, D. (2017). Determinación y manejo de la calidad en el cultivo de trigo En M. Sobré, E. Satorre & M. Suárez (Eds.), *Trigo, su rol en los sistemas de producción agrícola* (19-26). CABA: AACREA.
- Astiz Gassó, M. (2014). Carbones del trigo. En C.A. Cordo & M.N. Sisterna (Eds.), *Enfermedades del trigo. Avances científicos en la Argentina* (91-102). La Plata: Edulp.
- Bartosik, R., Castellari, C., Cardoso, L., de la Torre, D., Abadía, B., Carpaneto, B & Valle, F. M. (2012). Manejo de trigo con fusariosis en la poscosecha. Balcarce, INTA. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_manejo_de_trigo_con_fusarium_en_la_poscosecha.pdf
- Brach, A. M. (2012). Factores que determinan la variación de la calidad panadera en trigo. INTA Reconquista. *Revista Voces y Ecos*, 28, 26-29.
- Brocklehurst, P.A. (1977). Factors controlling grain weight in wheat. *Nature*, 266, 348–349.
- Calderini, D.F., Abeledo, L.G & Slafer, G.A. (2000). Physiological maturity in wheat based on kernel water and dry matter. *Agronomy Journal*, 92, 895-901.
- Calvel, R. (1983). *La panadería moderna*. Buenos Aires: AméricaLee.
- Calvel, R. (1994). *El sabor del pan*. Barcelona: Montaguad.
- Castro, A.C. (2016). *Efecto de la tolerancia a Zymoseptoria tritici, la fertilización nitrogenada y distintos fungicidas sobre la expresión del rendimiento y la calidad panadera del trigo*. Tesis doctoral. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/53350>
- Castro, A.C. & Simón, M.R. (2017). The impact of Septoria tritici blotch in bread making quality among argentinean wheat cultivars. *Journal of Cereal Science*, 77, 259-265.
- Chamberlain Collins, T. & McDermott, E. (1981). Alpha-amylase and bread properties. *International Journal of Food Science Technology*, 16, 127–152.
- Chopin Technologies (2015). Recuperado de https://chopin.fr/files/base_documentaire/leaflet/SDMATIC_leaflet_ES_20150805.pdf
- Ciaffi, M., Tozzi, L & Lafiandra, D. (1996). Relationship between flour protein composition determined by size-exclusion high-performance liquid chromatography and dough rheological parameters. *Cereal Chemistry*, 73, 346-351.
- Código Alimentario Argentino. Capítulo IX. Alimentos Farináceos. Art 661. Res 167, 26.1.82.
- Cuniberti, M. (1996). Fertilización nitrogenada, proteínas y calidad del trigo. Información para extensión N° 33. INTA Marcos Juárez. Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-proteinas-del-trigo.pdf>.
- Cuniberti, M. (2001). Factores que inciden en la calidad. Información Técnica INTA Rafaela. Publicación Miscelánea, 4, 1-6.
- Cuniberti, M. (2005). Clasificación del trigo como valor agregado. 1ª Jornada de Trigo de la Región Centro. 45-50. Córdoba.

- Cuniberti, M. (2014). Almacenamiento de granos (silo bolsa) y calidad. INTA Marcos Juarez. Recuperado de <https://inta.gob.ar/documentos/almacenamiento-de-granos-silo-bolsa-y-calidad-trigo>
- Dimmock, J.P.R.E & Gooding, M.J. (2002). The influence of foliar diseases, and their control by fungicides, on the protein concentration in wheat grain: a review. *Journal of Agricultural Science*, 138, 349-366.
- Dobraszczyk, B.J. (2003). Measuring the rheological properties of dough. En S.P Cauvain (Ed.), *Breadmaking Improving Quality*, (375-400). Cambridge, UK: Woodhead Publishing.
- Dobraszczyk, B.J. (2004). The physics of baking: rheological and polymer molecular structure function relationships in breadmaking. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 124(1-3), 61-69.
- Dobraszczyk, B.J & Morgenstern, M.P. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38, 229-245.
- Gambarrota, L. (2005). *Caracterización de las fracciones de harina de trigo pan. Análisis de las propiedades físico-químicas y reológicas de las fracciones de harina de trigo pan obtenidas en el molino experimental BÜHLER MLU-202*. Tesis de grado. Recuperado de <http://repositorio.ub.edu.ar/handle/123456789/114>
- Gerard, G.S. (2017). *Identificación de genes de resistencia a mancha de la hoja y otros caracteres de importancia agronómica en trigo*. Tesis doctoral. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/60151>
- Gómez Pallarés, M., León, A.E & Rosell, C. (2007). Trigo En A.E. del León & C. Rosell (Eds.), *De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica*. (19-71). Córdoba, Argentina: Hugo Báez Editor.
- Greenfield, H & Southgate, D.A.T. (2003). Food composition data 2nd ed: production, management and use. Roma: FAO of the United Nations.
- Horneck, D.A & Miller, R.O. (1998). Determination of total nitrogen in plant tissue. En Kalra, Y.P (Ed.), *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. Boca Raton, FL: CRC Press, Soil and Plant Science Council.
- IRAM 15850-1. Cereales y productos de cereales. Determinación del contenido de humedad. Parte 1 - Método de referencia práctico.
- IRAM 15854-1. Trigo. Molienda experimental para trigo pan. Parte 1 - Preparación y acondicionamiento de la muestra.
- IRAM 18851. Cereales y productos de cereales. Determinación de cenizas por incineración.
- IRAM 15862. Determinación de Falling Number. Método de Harberg - Perten - AACC N° 56-81.
- IRAM 15864-1. Trigo y harina de trigo. Determinación de gluten húmedo, de gluten seco y de índice de gluten. Método de lavado automático. Parte 1 - Lavado con agua para análisis.
- IRAM 15864-2. Trigo y harina de trigo. Determinación de gluten húmedo, de gluten seco y de índice de gluten. Método de lavado automático. Parte 2 - Lavado con solución salina.
- IRAM 15875. Trigo. Determinación del índice de sedimentación. Ensayo Zeleny.
- IRAM 15857. Cereales. Harina de trigo (*Triticum aestivum* L.). Características físicas de las masas. Determinación de las propiedades reológicas mediante el uso de un alveógrafo.
- IRAM 15855. Harina de trigo. Características físicas de las masas. Determinación de la absorción de agua y de las propiedades reológicas, utilizando un farinógrafo.

- IRAM 15858-1 Panificación experimental. Cereales. Ensayo de panificación. Parte 1 - Método tradicional para la calidad del pan.
- MacRitchie, F. (1994). Role of polymeric proteins in flour functionality. En S. Martino al Cimino (Ed.), *Wheat Kernel Proteins: Molecular and Functional Aspects*. (145-150). Università Degli Studi Delia Tuscia, Consiglio Nazionale della Recherche, Viterbo, Italia.
- McCabe, T., Mulhare, J.J., Byrne, J.J., Mclvor, A & Gallagher, E.J. (2001). Yield and quality improvement with strobilurin fungicides in winter wheat. *Aspects of Applied Biology and Wheat Quality*, 64, 219–226.
- Miralles, D. J., González, F. G., Abeledo, L. G., Serrago, R. A., Alzueta, I., García, G. A., de san Caledonio, R. P & Lo Valvo, P. (2014). *Manual de trigo y cebada para el cono Sur: procesos fisiológicos y bases de manejo*. Buenos Aires: Orientación gráfica editora 1era ed.
- Möckel, F.E & Canatmutto, M.A. (1984). Endosperma no vítreo en trigo: una revisión bibliográfica. *Revista Facultad de Agronomía*, 5, 23-39.
- Moore, J. C., de Vries, W., Lipp, M., Griffiths, J. C & Abernethy, D. R. (2010). Total protein methods and their potential utility to reduce the risk of food protein adulteration. *Comprehensive Review Food Science Food Safety*, 9, 330–351.
- Peña, R. J. (2007). Current and future trends of wheat quality needs. En H.T. Buck, Nisi, J.E & N. Salomón (Eds.), *Wheat Production in Stressed Environments* (411–424). Dordrecht, Países Bajos, Springer.
- Phillips, D. P. & Nierenberger, F. F. (1976). Milling and baking qualities of yellow Berry and dark, hard and vitreous wheats. *The Bakers digest*, 50, 42-48.
- PRONACATRI, (2006). Calidad industrial del trigo argentino: Análisis de la Red de Ensayos Comparativos de Trigo (RET), comparación de subregiones y variedades comerciales en cultivo. Programa Nacional de Calidad de Trigo, SAGPyA, Bs. As., 34 pp.
- Resolución SAGPyA 1262/04. Anexo 26 Metodologías varias. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/norma26-metodologias-varias.pdf>
- Sáez-Plaza, P., Navas, M.J. Wybraniec, S., Michałowski, T & García Asuero, A. (2013). An Overview of the Kjeldahl method of nitrogen determination. Part II. Sample Preparation, Working Scale, Instrumental Finish, and Quality Control. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 43, 224–272.
- Saha, U. K., Sonon, L & Kissel, D. E. (2012). Comparison of conductimetric and colorimetric methods with distillation-titration method of analyzing ammonium-nitrogen in total Kjeldahl digests. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43, 2323–2341.
- Salomón, N., Aldalur, B., Cuniberti, M & Miranda, R. (2013). Distribución de la calidad del trigo pan argentino utilizando mapas del sistema e información geográfica. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 39, 41-50.
- Savin, R. & Sorlino, D.M. (2003). Calidad de los granos y estimadores más comunes. En E.H Satorre et al. (Eds.), *Producción de granos: bases funcionales para su manejo* (27-45). Buenos Aires: FAUBA.

- Schierenbeck, M., Fleitas, M.C., Cortese, F., Golik, S.I. & Simón, M.R. (2019). Nitrogen accumulation in grains, remobilization and post-anthesis uptake under tan spot and leaf rust infections on wheat. *Field Crop Research*, 235, 27-37.
- Seghezzo, M.L & Molfese, E.R. (2006). *Calidad en trigo pan*. Boletín técnico 41. Chacra Experimental Integrada Barrow: INTA.
- Shewry, P.R., Napie, J.A & Tatham, A.S. (1995). Seed storage proteins: Structures and biosynthesis. *The Plant Cell*, 7, 945-956.
- Stone, P.J & Savin, R. (1999). Grain quality and its physiological determinants. En E.H Satorre & G.A Slafer (Eds.), *Wheat: Ecology and Physiology of yield determination*. (85-120). New York, USA, Food Product Press.
- Torrens Baudrix, L & Ventimiglia, L. (2020). Blend de variedades: buscando el equilibrio entre rendimiento y calidad, campaña 2019/20 en 9 de Julio. INTA. AER 9 de Julio EEA Pergamino. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_9_de_julio_blend_variedades_de_trigo_camp_19-20.pdf
- Vázquez, D. (2009). *Aptitud industrial de trigo*. Serie Técnica 177, Montevideo, Uruguay: INIA.
- Verbruggen, I.M & Delcour, J.A. (2003). Extension properties of wheat flour dough fortified with characterized wheat gluten fractions. *Journal of Cereal Science*, 37,151-156.
- Whitney, K. (2018). Fate of deoxynivalenol and deoxynivalenol-3-b-d-glucopyranoside during wheat processing. 4th ICC Latin American Cereals Conference -LACC4- and International Gluten Wheat Seminary -IGW-, 68. 11–14 March, Mexico City, Mexico.

CAPÍTULO 11

Trigo pan: Usos y comercialización

Eugenia Esquisabel y Ana Carolina Castro

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es uno de los cereales más extensamente cultivados y comercializados a nivel mundial debido a su importante contribución al consumo humano, proveyendo un alto valor nutricional (Gutiérrez-Moya *et al.*, 2020) y es una de las bases para garantizar la seguridad alimentaria con una población mundial en continuo aumento. En 2020/2021, la producción global fue de 777 millones de toneladas (U.S Wheat Associates, 2021). Los avances tecnológicos en el cultivo y procesamiento de este cereal han allanado el camino para que se convierta en una de las materias primas más económicas y de uso más extendido para aplicaciones alimenticias y no alimenticias.

Siendo uno de los más ampliamente consumidos en occidente desde épocas remotas, el grano del trigo es utilizado para hacer harina, harina integral, sémola, cerveza y una enorme variedad de productos alimenticios desde pan y otros alimentos horneados hasta pasta, y muchos otros productos que sirven de alimento básico en todo el mundo. Los alimentos a base de trigo contienen nutrientes de alto valor tales como proteínas, vitaminas, minerales y fitoquímicos bioactivos, y aportan alrededor del 20% de la energía consumida por la población mundial. Además, muchos de los constituyentes del trigo, como el almidón y el gluten, están presentes en productos de uso cotidiano (Wieser *et al.*, 2020).

La mayor parte del trigo producido, alrededor del 95%, pertenece a la especie *Triticum aestivum* L., comúnmente conocido como trigo pan o trigo harinero. Por su parte, el trigo “durum” o trigo candeal, que se utiliza principalmente en la elaboración de pastas, representa el restante 5% del total de trigo cultivado globalmente (Wieser *et al.*, 2020). En lo que a las exportaciones respecta, Estados Unidos se posiciona en el primer lugar, con 26,8 millones de toneladas exportadas en la campaña 2020/2021 (U.S. Wheat Associates, 2021) y con una exportación promedio de 26 millones de toneladas por año y, representando el 15,5% del volumen global de las exportaciones de trigo. Le siguen Rusia y Canadá, con un promedio de 22 millones de toneladas de trigo exportadas por año. La mayoría de los países que se encuentran entre los primeros diez exportadores de trigo, también ocupan posiciones prominentes como principales productores.

De todas formas, la producción de trigo está dominada por China, que contribuye con más del 17% de la producción mundial. Los volúmenes de producción y exportación mundial de trigo están altamente concentrados, así, los diez principales países exportadores concentran cerca del 84% del volumen total exportado, y alrededor del 70% de la producción total (Gutiérrez-

Moya et al., 2020). A los países que tradicionalmente han sido los principales exportadores de trigo (Estados Unidos, la Unión Europea, Canadá y Australia), se les han sumado en los últimos años Rusia, Ucrania, Kazajistán y Turquía.

En cuanto a las importaciones, el volumen de éstas es más disperso, siendo que los diez principales importadores representan solo el 37% del total. Egipto es el principal país importador, con 13 millones de toneladas importadas en la campaña 2020/2021, y es seguido por Indonesia, Argelia e Italia, que importan un promedio de 7 millones de toneladas por año cada una (Gutiérrez-Moya et al., 2020). En el período 2020/2021, China se ubicó en tercer lugar entre los países importadores, con un volumen de importaciones que superó los 10 millones de toneladas (U.S. Wheat Associates, 2021).

Como exportador mundial, Argentina se encuentra en el séptimo lugar, participando con un 7% del total comercializado. En la campaña 2019/2020 Argentina exportó alrededor de 11,89 millones de toneladas de trigo, mientras que, en las dos campañas anteriores, la del 2018/2019 y la del 2017/2018, se exportaron 11,29 y 11,85 millones de toneladas respectivamente (Bolsa de Cereales, 2020). Brasil es el principal comprador de trigo de Argentina, en la campaña 2018/2019 adquirió un volumen de 5,2 millones de toneladas, lo cual representó el 46% del total exportado. Indonesia se encuentra en segundo lugar, con un 17% del total de las compras. Luego se encuentran Argelia, Chile y Nigeria, que en conjunto compraron a la Argentina 969 mil toneladas (BCR, 2020). Con una producción promedio de 18,5 millones de toneladas de granos entre las campañas 2017/2018, 2018/2019 y 2019/2020 y un promedio de exportaciones en ese mismo período de 11,7 millones de toneladas, Argentina se ubica como el principal país productor y exportador de trigo de Latinoamérica. Para el período 2020/2021, la producción fue de 17 millones de toneladas, y las exportaciones alcanzaron 10 millones de toneladas (Bolsa de Cereales, 2021).

De la producción anual, unos 6 millones de toneladas se destinan al mercado interno, mientras que el excedente es exportado principalmente a países de Latinoamérica. Si bien el consumo interno de trigo se mantiene relativamente estable, las exportaciones oscilan cada año en relación con la producción, dado que los saldos exportables son el resultado de la diferencia entre lo producido y lo consumido en el mercado interno.

La cadena de trigo puede ser analizada teniendo en cuenta tres sectores bien diferenciados: los productores primarios; el sector industrial o transformador (molinos) y los comercializadores de harina. Dentro del sector primario de la cadena, encontramos a los semilleros, los productores y a los acopios. Los productores primarios se localizan en casi todas las regiones agrícolas de Argentina, siendo el sudeste de Buenos Aires la zona triguera por excelencia. El mercado es muy dinámico y altamente competitivo y operando en él, los productores primarios destinan su producción tanto al mercado interno como a la exportación. El sector industrial, los molinos, compran el trigo, lo procesan y ofrecen harina a granel o en bolsas de 50 kg. La harina es destinada a la industria para la elaboración de numerosos productos, o fraccionada para el mercado minorista interno, principalmente.

La industrialización del trigo en Argentina se realiza ampliamente en todo el país. La provincia de Buenos Aires es la que concentra la mayor cantidad de plantas de molienda de este

cereal; y a su vez, es la que posee la mayor superficie agrícola destinada a la producción primaria de trigo. La molienda del trigo constituye el primer eslabón de la transformación industrial que provee de distintos tipos de harina y subproductos a demandantes tanto en el mercado externo como interno. Las industrias de segunda transformación adquieren harina para la elaboración de pan tradicional de panadería, galletitas y bizcochos industriales, pastas alimenticias frescas y secas, pan industrial de molde y/ o bollería, o, también, se comercializa en forma fraccionada por 1 kg para su consumo hogareño (Alimentos Argentinos, 2019).

Del total de toneladas producidas, además de las ya mencionadas 6 millones de toneladas que se destinan a la molienda, 12,8 tienen como destino la exportación y 0,9 son usadas como semilla y otros. El trigo representa el 50% de la molienda total de cereales a nivel nacional, luego de la soja que ocupa el primer lugar. Desde el año 2002 hasta la fecha, la molienda de trigo pan viene registrando una tendencia general creciente. En el país funcionan 183 molinos harineros (Ministerio de Hacienda, 2018). En el mercado interno, los destinos de la harina de trigo se distribuyen de la siguiente manera:

- Pan tradicional 70%
- Pastas 10%
- Harinas comunes y premezclas (fraccionada) 10%
- Galletitas y bizcochos 7%
- Pan industrial y otros farináceos 3%

La campaña 2020/2021 estuvo afectada por una situación de déficit hídrico, que redujo la producción a 17 millones de toneladas, y se proyectan 9,8 millones de toneladas exportadas, como consecuencia de una mayor competencia con el trigo australiano en los primeros cuatro meses de la venta comercial, y de una desaceleración en la demanda de Brasil (Bolsa de Cereales, 2020).

La evaluación de la calidad comercial en trigo pan

La calidad comercial se refiere a las características que reúne el trigo para ser comercializado. Para definir esta calidad se aplica una norma que se denomina estándar de comercialización o base estatutaria (Tabla 11.1). En Argentina está vigente la norma de calidad para la comercialización del trigo pan XX con número de resolución 1262/2004. Esta norma puede obtenerse gratuitamente de diversos sitios de internet. Por ejemplo: http://www.cabcbue.com.ar/enlazados/normas_calidad/N20-TrigoPan.pdf

Tabla 11.1: Norma de comercialización de trigo pan

El tipo duro admitirá como máximo un 5% de variedades semiduras												
Grado	Peso Hectolítrico mínimo kg	Tolerancias máximas para cada grado						Granos Picados (%)	Trébol de olor semillas cada 100 g	Humedad	Insectos y Arácnidos	Arbitrajes establecidos Descuentos sobre el precio (según intensidad)
		Materias extrañas (%)	Granos dañados		Granos con Carbón (%)	Granos Panza Blanca (%)	Granos quebrados y/o Chuzos (1%)					
			Granos ardidos y por calor %	Total dañados %								
1	79	0,20	0,50	1,00	0,10	15,00	0,50	8	14,00	Libre	Olores comercialmente objetables 0,5 a 2% Punta sombreada con tierra	
2	76	0,80	1,00	2,00	0,20	25,00	1,20					
3	73	1,50	1,50	3,00	0,30	40,00	2,00					
Descuento a aplicar por c/ kg faltante o sobre % de excedentes	2	1	1,5	1	5	0,5	0,5	2	2% de merma gastos de zarandeo	Merma y gastos de secado	Gastos de Fumigación	0,5 a 2% Revolcado en tierra 0,5 a 2% Punta negra por carbón 1 a 6%

En la base estatutaria se consideran rubros determinantes de grado y rubros de condición. Teniendo en cuenta estos grados, es posible clasificar al trigo según sus características. Los rubros determinantes del grado son tres y son excluyentes, esto significa que basta que uno de los parámetros no se encuentre en la tolerancia del grado 1 para considerarse en el grado 2 o 3. Por ejemplo, un trigo tiene un peso hectolítrico (PH) igual a 79, materias extrañas (0,20%), granos ardidos y dañados por calor (0,50%), total dañados (1%) pero 0,20% de granos con carbón. Al tener 0,20% de granos con carbón ya deja de ser grado 1 porque excede la tolerancia de ese rubro que es 0,10% por lo tanto se convierte en grado 2. Los **rubros** que establecen **grado** son:

Peso hectolítrico (PH): es una determinación muy antigua y se refiere al peso de un volumen de 100 l expresado en kg/hl. La explicación de la determinación del PH está desarrollada en el capítulo Calidad del trigo pan. El PH puede disminuir por defectos de los granos tales como grano chuzo, quebrado, verde, helado, calcinado, picado, lavado, presencia de materias extrañas.

Materias extrañas: es todo aquello que no constituye grano de trigo pan por ejemplo semillas de otros cultivos, piedras, suciedad etc. Producen harinas sucias y tienen incidencia negativa en el rendimiento molinero (Seghezzeo y Molfese, 2006). Deben ser eliminadas en los procesos de prelimpieza y limpieza en los molinos.

Granos dañados: en este rubro se incluyen una serie de daños que deprecian el valor comercial del trigo ya que presentan una alteración importante de su estructura.

Granos dañados por calor: son granos que han sido mal secados o que sufrieron un incendio. Las proteínas de estos granos se desnaturalizan depreciando la calidad de esta y afectando negativamente al gluten que no cumplirá su función de aglutinar.

Granos ardidos: presentan una coloración oscura interna y externa debido a un proceso de fermentación producido por ataque de hongos y bacterias (Fig. 11.1).



Figura 11.1: Muestra de trigo ardido. Fuente propia.

Granos verdes: presentan esta coloración porque no completaron su madurez fisiológica.

Granos helados: son aquellos granos que han sufrido bajas temperaturas en el momento de su formación. Su aspecto presenta concavidades pronunciadas en sus laterales.

Granos brotados: estos granos han germinado en la planta madre. El inicio de la germinación produce un aumento de la enzima alfa-amilasa (implicada en la degradación del almidón para convertir en azúcares fermentables) lo que producirá masas pegajosas, con glútenes débiles, muy extensibles y poco tenaces. El uso de trigos brotados en la industria solo es posible con aditivación.

Granos calcinados: tienen aspecto yesoso, arrugados y en algunos casos con zonas rosadas (Fig. 11.2). Esto se debe al ataque de un hongo denominado *Fusarium graminearum*. Esta enfermedad produce micotoxinas como el deoxinivalenol (DON) que se mantienen estables durante la molienda y pasan a la harina causando perjuicios en la salud del hombre y los animales.



Figura 11.2: Granos de trigo pan calcinados. Fuente propia.

Granos roídos por isoca: la isoca roe los granos dejando lesiones visibles, le falta una parte y queda sucio y deteriorado. Son castigados cuando los bordes del grano o lesión tiene color negro, de lo contrario se los considera granos quebrados.

Granos roídos en su germen: son producidos por larvas de polillas que se alimentan del germen. Producen harinas sucias.

Granos con carbón: produce el defecto punta negra por carbón. El grano reduce su tamaño y se torna más esférico, la cubierta toma una coloración blanquecina y en el interior del grano hay una masa negra y untuosa de esporos del hongo *Tilletia spp.* Como la cubierta es frágil, se rompe y contamina al grano de trigo adhiriéndose al cepillo y surco. La molienda de estos granos produce harinas grises con olor a pescado (Seghezzo y Molfese, 2006).

Granos quebrados y/o chuzos: los granos quebrados son aquellos granos o pedazos de granos no dañados (de trigo pan) que pasan por una zaranda de agujeros con un ancho 1,6 milímetros \pm 0,013 milímetros y un de largo de 9,5 milímetros. Los granos chuzos son arrugados, flacos, de bajo PH y alto contenido en cenizas. Su formación se ve favorecida con altas temperaturas durante el llenado de grano o déficit hídrico.

Granos panza blanca: son aquellos granos que tienen un exceso de almidón dando un endosperma blanquecino y opaco. Tienen mayor contenido de almidón, menor contenido de proteína y gluten.

Granos lavados: Son aquellos opacados o decolorados por lluvias en pre-cosecha.

Existen otros rubros llamados “**rubros de condición**” que son excluyentes de grado. Incluyen:

Presencia de insectos vivos: Estos insectos atacan a los granos almacenados. Se clasifican en externos (carcomas, tribolios, polilla de la harina, ácaros) e internos (gorgojos, taladrillo, palomita).

Granos picados: estos granos tienen perforaciones a causa del ataque de insectos. Son granos vacíos.

Punta sombreada por tierra: todo lote que presente una elevada proporción de granos cuyos cepillos muestren una coloración característica producida por tierra adherida a los mismos.

Punta negra por carbón: todo lote que presente una elevada proporción de granos cuyos cepillos muestren una coloración negruzca como consecuencia de tener adherida a las esporas del hongo *Tilletia spp.*

Revolcado en tierra: tienen tierra adherida en la mayor parte de su superficie.

Olores comercialmente objetables: son olores provenientes de sustancias químicas, presencia de semillas de trébol de olor, mohos.

Además, se considerarán productos que alteren la condición natural, así como otra causa no mencionada que altere la calidad.

Contenido de proteína: es el valor de nitrógeno (N), expresado en por ciento al décimo, sobre base 13,5% de humedad, utilizándose como factor de corrección 5,7 en por ciento. La determinación de proteína está explicada en el capítulo La calidad del trigo pan. La norma establece que si la proteína es mayor a 11% se bonifica 2%, si el valor es igual a 11% no se bonifica ni se rebaja, si es menor a 11% se rebaja 2%, si es menor a 10% se rebaja 3% y si es me-

nor a 9% se rebaja 4%. Se exceptúa del sistema de bonificaciones a aquellos lotes que presenten un PH inferior a 75 kg/hl.

Aptitud panadera: las partes podrán establecer que se considerará fuera de grado al trigo cuyo gluten no tenga la capacidad de ligar durante el amasado o levado, determinado mediante el sistema Glutomatic (AACC N° 38-12). En ese caso se dice que el contrato está sujeto al artículo 12. Esto es de suma relevancia para los compradores de trigo, ya que la proteína puede tener un buen valor, pero si la calidad está deteriorada no podrá formar gluten, aspecto esencial y definitorio en la panificación.

Grado: dentro del tipo contratado el comprador está obligado a recibir mercadería de cualquiera de los tres grados establecidos en el estándar. Se establecen bonificaciones y rebajas por grado en el precio. Si es grado 1 la bonificación es 1,5%, si es grado 2 no se bonifica ni rebaja y si es grado 3 se rebaja 1,0%. Los análisis físicos son realizados por apreciación visual, en forma manual y generalmente son realizados en la recepción del acopio.

Referencias

- Alimentos argentinos (2019). *Cadena de la harina de trigo - resumen*. Recuperado de: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Cadenas%20de%20Valor%20de%20Alimentos%20y%20Bebidas/informes/Resumen_Cadena_2019_HARINA_DE_TRIGO_MARZO_2019.pdf.
- Bolsa de cereales (2021). Informe cierre de campaña 2020/2021. Recuperado de: <https://www.bolsadecereales.com/imagenes/informes/2021-01/157-informecierretrigo202021.pdf>.
- Bolsa de comercio de Rosario (2020). *Positivo balance para las exportaciones de trigo 2018/2019*. Recuperado de: <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/positivo>.
- Gutiérrez-Moya, E., Lozano, S. & Adenso-Díaz, B. (2020). Analysing the Structure of the Global Wheat Trade Network: An ERGM Approach. *Agronomy*, 10, 1967.
- Ministerio de Hacienda (2018). Informes de cadenas de valor, trigo. Recuperado de: <https://www.senado.gob.ar/upload/32044.pdf>.
- Seghezzi, M. L. & Molfese, E. R. (2006). Calidad de trigo pan. INTA Boletín técnico N° 41.
- U.S. Wheat Associates (2021). Recuperado de: <https://www.uswheat.org/wp-content/uploads/2021/03/SD-210309.pdf>.
- Wieser, H., Koehler, P. & Scherf, K. A. (2020). The two faces of wheat. *Frontiers in nutrition*, 7.

CAPÍTULO 12

Trigo: mejoramiento

María Rosa Simón

Evolución del mejoramiento y su impacto en fecha de floración, altura y generación de biomasa

La población mundial se ha incrementado rápidamente con gran parte de la misma habitando zonas urbanas y muchos países no han podido mantener un crecimiento sostenido como parte de este incremento (FAO, 2019). El cambio climático y la variabilidad climática también han afectado la productividad, la producción de alimentos y los recursos naturales, con impacto en los sistemas alimentarios. Esto ha conducido a cambios en la manera en que se producen, distribuyen y consumen los alimentos y a nuevos desafíos en materia de seguridad alimentaria, nutrición y salud (FAO, 2019). El próximo desafío es alcanzar en los años venideros, la demanda de alimentos que exige el rápido aumento de la población e incrementar la calidad nutricional de los cultivos.

El trigo pan es un alimento básico en muchas regiones del mundo en que se consume como fuente de calorías en la dieta y que provee además de energía, proteínas, vitaminas y fibras (Shewry & Hey, 2015). El rendimiento potencial del trigo, como así también el rendimiento logrado, deben incrementarse para alcanzar esta demanda.

La producción de trigo en los últimos 50 años se ha duplicado, basada en el incremento de los rendimientos, en tanto que el área sembrada ha experimentado escasos aumentos (FAOSTAT, 2021). Este incremento del rendimiento se ha logrado en un 50 % a través del mejoramiento y el resto en base a tecnología del cultivo y a sistemas de producción efectivos, se considera que ambos aspectos deben estar en equilibrio para que el sistema sea eficiente. Asimismo, no son deseables grandes aumentos en el uso del agua y nutrientes (Conor & Minguez, 2012), de manera que la mayor productividad debe surgir de ganancias genéticas, las que han disminuido en este siglo en comparación con el anterior y son insuficientes (Reynolds *et al.*, 2012). La ganancia genética ha variado según el período considerado, la región, el punto de partida en el rendimiento y las condiciones ambientales y económicas para realizar investigación en mejoramiento y para el desarrollo de la producción (Bedo & Lang, 2015). Debe también considerarse que el incremento en rendimiento no necesariamente significa un incremento en el rendimiento logrado, ya que en muchos casos el potencial de los cultivares no puede ser explotado en condiciones de campo (Anderson, 2010; Patrignani *et al.*, 2014) y el rendimiento logrado disminuye considerablemente. Cuanto más alejado esté el ambiente en que se desa-

rolla el cultivo (localidad, clima, tecnología) de las condiciones óptimas, más dependerá el rendimiento logrado de la adaptabilidad de los cultivares más que del rendimiento potencial.

El mejoramiento de trigo ha utilizado caracteres agronómicos que han sido clave en los programas de mejoramiento. Así por ejemplo ha logrado una fecha de floración óptima, que en un principio fue objeto de selección empírica y luego se realizó a través de la manipulación de genes que controlan el fotoperíodo y la vernalización y por lo tanto la fecha de floración (Fischer & Zsögon, 2010). Asimismo, se han logrado trigos primaverales a través de la insensibilidad al fotoperíodo y se ha reconocido a este factor como clave en el rendimiento de algunos trigos (Pugsley, 1983). El desarrollo de genotipos precoces es un mecanismo adaptativo para ambientes que tienen en la parte final del ciclo estrés por altas temperaturas y sequías (Motzo & Giunta, 2007).

Otro carácter de suma importancia ha sido la incorporación de genes de enanismo, así el mejorador italiano Nazareno Strampelli, en la primera mitad del siglo XX, realizó la transferencia del gen de enanismo *Rht8* del cultivar Akakomugi en numerosos cultivares. Los genotipos hasta ese momento tenían tallos largos y susceptibilidad al vuelco, por lo que la cosecha mecánica no podía realizarse. Algunas décadas después Norman Borlaug, en el centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) de México, desarrolló trigos semienanos incorporando los genes de enanismo *Rht1* o *Rht2* del cultivar japonés Norin 10. Estos trigos incrementaron los rendimientos considerablemente con adecuadas tecnologías y con ellos se sembró la mayor parte del área en México en la década del 60 para luego ser llevados a India, Pakistán, a Europa y América del Sur. Este proceso, que se denominó "revolución verde", le valió a Borlaug el premio Nobel de la Paz. Estos cultivares además de producir un incremento en rendimiento, redujeron el ciclo y el vuelco, lo que permitió un incremento en la utilización de fertilizantes y además mejoraron el índice de cosecha, al tener también un cambio sustancial en la distribución de asimilados al grano. Sin embargo, mayores incrementos en el índice de cosecha no parecen ser factibles, ya que los cultivares actuales tienen alturas reducidas (70 a 100 cm) (Richards, 1992) y mayores reducciones producirían una disminución en la eficiencia del uso de la radiación. La introducción de los cultivares semienanos en India condujo a una reducción en biomasa (Sinha & Agrawal, 1980) y de acuerdo a Richards (1992) cada 10 cm en reducción del tallo debajo de una altura de 100 cm, se produce una reducción de 4,4% en biomasa aérea. Asimismo, plantas más altas reducirían la partición a los destinos reproductivos. En muchas regiones el índice de cosecha es cercano al 60 % estimado como máximo (Austin *et al.*, 1980), en otras aún no se ha alcanzado. Considerando esto, las ganancias en rendimiento serán a expensas del incremento en biomasa, manteniendo la altura, es decir mejorando la cantidad de radiación interceptada por el cultivo o la eficiencia de uso de la radiación (EUR), caracteres que presentan variabilidad genotípica y pueden convertirse en objeto de selección (Slafer *et al.*, 1999).

El incremento en rendimiento logrado con el mejoramiento se ha basado en pequeñas proporciones en incrementos de biomasa, lo que se ha incrementado es el índice de cosecha que en general se ha basado en la reducción de altura (Slafer *et al.*, 1994), pero esta tendencia no puede continuar. .

El índice de área foliar, que implica una mayor intercepción de radiación no ha cambiado entre cultivares antiguos y modernos en varios países, entre ellos Argentina (Calderini *et al.*, 1997). Este puede ser mejorado en estadios tempranos en que puede ser deficiente, lo que sería de importancia en aquellos cultivos que crecen bajo restricciones hídricas o nutricionales (Richards, 1996a, b). La EUR puede ser mejorada a través de la mejora de la fotosíntesis, en la respiración o en la arquitectura del canopeo. Mejorar la distribución de la radiación en el canopeo también incrementa la EUR. Se logra al reducir el coeficiente de extinción lumínico, a través de un menor ángulo de hojas superiores, de manera que las hojas inferiores intercepten más radiación, aunque puede haber también asociaciones entre hojas erectas con menor tamaño de hojas (Araus *et al.*, 1993). Hasta el momento el efecto del mejoramiento en la EUR en pre-antesis no ha mostrado cambios en algunos países, aunque sí en otros. En post-antesis, la EUR se ha incrementado en los cultivares modernos (Calderini *et al.*, 1997).

La biomasa radical ha sido menos investigada, algunos trabajos señalan que el incremento en el índice de cosecha de los cultivares modernos se asocia a una menor inversión en el sistema radical, de manera que poseen una menor relación raíz/ tallo durante estadios tempranos del desarrollo y en antesis ya que el sistema radicular está en exceso y su menor desarrollo originaría más asimilados disponibles para el tallo y espigas (Passioura, 1983).

Impacto en los nutrientes

Otro carácter que afecta la eficiencia de uso es la distribución del nitrógeno en el canopeo. El nitrógeno de las hojas se ha relacionado con la eficiencia de uso de la radiación (Bindraban, 1996) y se ha mencionado que la eficiencia de uso de la radiación se incrementaría si el nitrógeno está localizado en las hojas más iluminadas (Field, 1983) en la parte superior del canopeo. Sin embargo, no es conocido si la distribución del nitrógeno puede modificarse para incrementar la eficiencia de uso de la radiación (Dreccer *et al.*, 1998).

En lo referente a la mejora en la economía de nutrientes, la mayor parte de los estudios coinciden en que el mejoramiento no ha modificado consistentemente la cantidad de N y P absorbido por el cultivo (Slafer *et al.*, 1990), de manera que lo que se ha incrementado es el rendimiento producido por unidad de N absorbido, se ha mejorado la partición al grano de ambos nutrientes. Sin embargo, la absorción de N sería un carácter factible de ser modificado ya que existe variabilidad genética para el mismo y en el futuro esto será necesario, ya que no es fácil obtener futuras mejoras en el índice de cosecha de estos nutrientes considerando que se utilizan en componentes estructurales de órganos vegetativos, por lo que un incremento en la translocación hacia los granos durante el llenado no es factible (Calderini *et al.*, 1999). A pesar del mejoramiento en la partición de N y P, la concentración de ambos en el grano tendió a decrecer con los nuevos cultivares debido a los incrementos del rendimiento que causan una dilución de los nutrientes, lo que ocasiona una disminución de la calidad del grano. Sin embargo, la calidad de los granos puede también incrementarse seleccionado por una mejor composición de las proteínas (Canevara *et al.*, 1994).

Impacto en el rendimiento y sus componentes

En cuanto a los componentes de rendimiento, este está determinado por el número de granos. m^{-2} (NG) y el peso de los granos (PG). El NG es el principal componente del rendimiento y está determinado por el número de espigas. m^{-2} y el número de granos. $espiga^{-1}$, entre los que puede haber una relación negativa, indicando compensación entre ellos (Slafer *et al.*, 1996). El NG ha sido el componente que experimentó el mayor incremento a través del mejoramiento y generalmente está relacionado con el número de granos. $espiga^{-1}$ (Waddington *et al.*, 1986; Slafer & Andrade, 1993). El número de granos. $espiga^{-1}$ se determina durante la encañazón en que un porcentaje importante de flores sobrevive para producir flores fértiles en antesis (Kirby, 1988) y luego la mayor parte de ellas producirá granos. Algunos estudios investigando este proceso determinaron que las variedades de trigo modernas inician más primordios florales y poseen más flores fértiles por espiguilla, pero la mayor supervivencia de primordios florales es la diferencia más importante cuando se compararan cultivares antiguos y modernos. También se ha demostrado que el mayor número de granos por espiga en los cultivares actuales está asociado con una mayor acumulación de materia seca debido a una partición de asimilados hacia las espigas antes de antesis más eficiente (Siddique *et al.*, 1989), dando espigas de mayor peso (Slafer & Andrade, 1993). Esta materia seca se incrementó con la revolución verde, ya que los genes de enanismo aumentaron la partición a las espigas por restricción del crecimiento del tallo y es un carácter que puede continuar siendo objeto de selección.

Como se indicó, la altura de la planta no puede seguir reduciéndose sin afectar la biomasa (Allan & Pritchett, 1980; Miralles & Slafer, 1995), pero se puede reducir la longitud del pedúnculo de la espiga, que contribuiría a reducir la competencia, ya que crece rápidamente cuando se determina el número de granos. Asimismo, caracteres tales como ángulo, ancho, largo de hojas y área foliar están relacionados con el rendimiento (Liu *et al.*, 2018a, b).

Además, se puede reducir el macollaje ya que muchos macollos luego mueren y esto también permitiría una mejor distribución de asimilados hacia la espiga (Richards, 1996b). Dos caracteres que han tenido una importante presión de selección por parte de los mejoradores han sido la selección contra la esterilidad de flores y los granos chuzos o pequeños (Fisher & Zsögön, 2010). Reynolds (2009) menciona como uno de los factores para incrementar rendimientos, la disminución en la mortandad de flores para mantener un mejor balance entre la fuente y el destino.

Por otra parte, se puede incrementar la duración del período pre-antesis, que es el período en que se determina el número de granos manteniendo la fecha de antesis que ya está cercana al óptimo en la mayor parte de las zonas trigueras. Las fases a doble lomo y a espiguilla terminal son independientes y puede alargarse la segunda manteniendo o reduciendo la primera (Halloran & Pennel, 1982, Slafer & Rawson, 1994). Esta fase puede alargarse manipulando la sensibilidad al fotoperíodo (Allison & Daynard, 1976, Slafer & Rawson, 1995a) o a la temperatura (Slafer and Rawson, 1995b) y con este alargamiento se producirá una menor mortandad de flores y/o macollos (Slafer *et al.*, 1996). El contenido del nitrógeno de la espiga también puede dar una estimación de su capacidad para fijar granos (Abbate *et al.*, 1995).

El PG del trigo no ha sufrido incrementos importantes durante el siglo XX (Austin *et al.*, 1980). La variabilidad del PG puede deberse a diferentes causas, así la variación de la duración del crecimiento del grano es causada por la respuesta de la tasa de crecimiento a la temperatura y/o a la temperatura base (Marcellos & Single, 1972). Frecuentemente hay una relación negativa entre NG y PG (Pinthus & Millet, 1978; Slafer & Miralles, 1993; Sukumaran *et al.*, 2018) y los cultivares modernos usualmente tienen pesos de granos individuales menores que los antiguos por la incorporación de los genes Rht que incrementaron el NG (Slafer & Andrade, 1989). Hay evidencias de que cuando se produce una situación de estrés en el cultivo, las disminuciones en rendimiento se deben fundamentalmente a la disminución en NG y en muchos casos el sombreado o desfoliado ha producido poco impacto en el peso individual de granos (Slafer & Savin, 1994), lo que indicaría una limitación por destino durante el llenado de granos y que la fuente está en exceso. Sin embargo, las relaciones inversas entre NG y PG podrían significar que estas relaciones negativas representan un incremento en la limitación de la fuente durante el llenado del grano (Calderini *et al.*, 1999). No obstante, cuando se evalúa el peso de los granos basales de las espiguillas centrales no tienen una asociación con el NG, por lo que se plantean diferentes posibilidades: una de ellas es que esta relación negativa podría deberse a que al aumentar el NG disminuye la disponibilidad de asimilados por grano, de manera que hay competencia entre granos por recursos y el PG baja. Sin embargo, esto no coincide con el hecho de que el trigo esté más limitado por destino que por fuente (Rawson & Evans, 1971; Kruk *et al.*, 1997a), por lo que la explicación para esta relación negativa sería que el incremento en el NG conduciría a una mayor proporción de granos distales en las espiguillas o en posiciones apicales o basales de la espiga o en espigas de macollos secundarios que tienen menor peso potencial, por lo que disminuiría el PG aún con excesos en la disponibilidad de asimilados por grano (Slafer *et al.*, 1996, Calderini *et al.*, 1995, 1999).

En algunos genotipos con alto número de espiguillas no se han encontrado diferencias en el PG (Wolde *et al.*, 2019), lo que indica que se puede lograr un alto PG manteniendo el NG. Esto implica que la selección por un mayor PG puede ser efectiva para mejorar el rendimiento (Tschikunde *et al.* 2019). Asimismo, en estudios en que se ha modificado la relación fuente-destino en cultivares liberados en diferentes épocas (Kruk *et al.*, 1997b) se observó que los cultivares modernos responden más a las limitaciones de la fuente que los antiguos. Esto indicaría que el PG de los cultivares modernos está probablemente limitado por la fuente y el destino simultáneamente (Slafer & Savin, 1994). Serrago *et al.* (2013) determinaron que el trigo y la cebada solo estarían limitados por fuente bajo estreses severos en que el tamaño de grano se reduciría por la falta de asimilados disponibles para su llenado. Más recientemente Rivera Amado *et al.* (2020) indicaron que hubo variabilidad en la respuesta de 26 cultivares de trigo del CIMMYT cuando se realizaron tratamientos de raleo de espiguillas que fluctuaron entre ausencia de incremento de peso hasta un 28% de incremento, indicando variación desde limitaciones por destino hasta limitaciones por fuente o colimitación fuente/destino. La respuesta se incrementó linealmente en cultivares liberados desde 1966 hasta 2009, lo que indicó que los cultivares actuales de primavera con mayor potencial de rendimiento tuvieron una colimitación por fuente y destino, lo que puede atribuirse a un incremento en los destinos al incrementarse el

número de granos sin un consecuente aumento en la capacidad de la fuente postantesis. También realizaron tratamientos de sombreado y defoliación y observaron que hubo bajas reducciones en el PG en relación a los tratamientos control, indicando que la limitación por destino predomina en los cultivares con colimitación. Tanto el sombreado de los tallos y vainas de las hojas como la defoliación pre-antesis produjeron reducciones (Rivera Amado, 2020).

Cuando se realiza mejoramiento por rendimiento se pueden seleccionar componentes del rendimiento o caracteres relacionados con el mismo, uno de ellos es el coeficiente de fertilidad de la espiga (González *et al.*, 2011). El NG es el componente principal del rendimiento, que resulta crítico para alcanzar ganancias genéticas en rendimiento en trigo (García *et al.*, 2014) y puede considerarse como el producto del peso seco de la cantidad de espigas.m⁻² y el número de granos/unidad de peso seco de la espiga que es el coeficiente de fertilidad de la espiga (CFE). El NG es difícil de seleccionar en las primeras generaciones dado el escaso material y tiene además baja heredabilidad (Alonso *et al.*, 2018), en cambio el CFE es independiente del tamaño de la muestra (Abbate *et al.*, 2013) y tiene moderada heredabilidad por lo que puede seleccionarse en las primeras generaciones (Martino *et al.*, 2015). El CFE puede calcularse como la relación entre el número de granos.espiga⁻¹/peso de espiga no grano (raquis+gluma+glumelas+aristas) a la cosecha o puede determinarse como la relación entre el número de granos.espiga⁻¹ a la cosecha/ peso de espiga en antesis. El CFE ha sido propuesto como atributo para mejorar el número de granos y así el rendimiento potencial (Alonso *et al.*, 2018; Petrini *et al.*, 2020). Al considerar la utilidad del CFE como estrategia en programas de mejoramiento, hay que tener en cuenta posibles relaciones negativas con otros componentes del rendimiento, incluyendo el peso seco de las espigas en antesis y el peso de los granos. Si bien se han indicado relaciones negativas entre el CFE y el peso de los granos, en algunos trabajos se ha observado que son ligeras o no existen (Martino *et al.*, 2015; Gerard *et al.*, 2019). Alonso *et al.* (2018) analizaron los cambios en el rendimiento en grano luego de aplicar diferentes estrategias de selección y encontraron que las mayores respuestas del rendimiento en grano se lograron cuando se seleccionó por alto rendimiento y alto CFE.

Impacto en la resistencia a adversidades y la calidad

Con la incorporación de genes como el *Sr 31* y el *Sr 22*, se han obtenido mejoras en lo referente a roya del tallo, que ha permitido que se haya transformado en una enfermedad de menor importancia que en la década del 50. Sin embargo, tal como se señaló en el capítulo de enfermedades han aparecido nuevas razas en los últimos años. En roya anaranjada también se ha incorporado resistencia genética, en general de tipo completa, que implica la posibilidad de un rápido quiebre de la misma. En roya amarilla, se ha realizado escaso mejoramiento, dado que era una enfermedad limitada a zonas frescas, en la actualidad la aparición de nuevas razas hace necesario la obtención de cultivares con resistencia. En otras enfermedades como septoriosis que se incrementó con la incorporación del germoplasma mexicano, mancha amarilla y fusariosis hay alguna resistencia de tipo parcial, con variabilidad

entre genotipos. También se han desarrollado trigos resistentes a herbicidas (imidazolinonas) y existe en Argentina un trigo transgénico no comercializado aún (HB4) que es resistente a sequía y al herbicida glufosinato de amonio.

Si bien la calidad disminuyó con el incremento del rendimiento, es un objetivo del mejoramiento y se dispone de germoplasma perteneciente a tres grupos de calidad, en que el 1 corresponde a trigos correctores para panificación industrial, luego el 2 son trigos con más de 8 horas de fermentación y el grupo 3, son los de inferior calidad.

Otro hito en el mejoramiento fue la incorporación en el CIMMYT de la translocación 1B/1R, en que el brazo corto del cromosoma 1B del centeno se reemplazó por el brazo corto del 1R de centeno. En el germoplasma utilizado en Argentina, tanto los genes de enanismo como esta translocación están presentes. Esta translocación confirió al trigo resistencia a royas y oidios y también a algunos insectos (Zeller & Hsam, 1983). También confirió mayor rendimiento y adaptación (Rajaram & Braun, 2008), pero perjudicó la calidad de la masa, redujo el volumen y originó masas más pegajosas (Peña *et al.*, 1990), aunque según las combinaciones de gluteninas este efecto puede disminuirse (Gobaa *et al.*, 2008). Este efecto negativo se debió a la incorporación de secalinas en lugar de gliadinas y también a la pérdida de subunidades de glutenina de bajo peso molecular en el brazo corto del cromosoma 1B (Dhaliwal *et al.* 1988). Por otra parte, los estudios difieren en cuanto al efecto de esta translocación en el peso hectolítrico, peso de mil granos, espiguillas por espiga, altura de planta, contenido de proteína y dureza de grano (Nishio *et al.*, 2007; Gobaa *et al.*, 2008).

En Argentina y otros países otro hito importante que incrementó el rendimiento fue la incorporación en cultivo de trigos híbridos, que en Argentina sucedió en la década del 80 y cuyos rendimientos eran muy superiores a las variedades comerciales, aunque en algunos casos con inferior calidad. Sin embargo, este programa llevado a cabo por empresas no continuó debido entre otros factores, al alto costo de producción de la semilla híbrida. El trigo es una planta autógama y deben mejorarse previamente diversas características que favorezcan la fecundación cruzada en las líneas que constituyen el híbrido para disminuir los costos de producción. También en Argentina, en la década del 90 se introdujeron cultivares de germoplasma francés que incrementaron los rendimientos, aunque disminuyeron la calidad y la sanidad.

Caracteres fisiológicos en la mejora del cultivo

Además de los caracteres agronómicos, también hay caracteres fisiológicos que contribuyen a la mejora del rendimiento en trigo. La temperatura del canopeo es importante para incrementar el potencial de rendimiento (Gao *et al.*, 2017). Las plantas con canopeos con menor temperatura en la mitad del período de llenado de grano son más resistentes a la sequía y tienen más rendimiento en condiciones de limitantes de agua (Thapa *et al.*, 2018).

También el incremento en el contenido de clorofila en post-antesis está relacionado con el índice de cosecha, temperatura del canopeo, carbohidratos solubles y rendimiento en grano (Gao *et al.*, 2017). Asimismo, el “*stay green*” que está relacionado con el mantenimiento de la

clorofila es un objetivo para mantener la interceptación y utilización de la radiación e incrementar el rendimiento (Cossani & Reynolds, 2012).

El incremento en la fotosíntesis en algunos casos no ha mostrado asociación con rendimiento por su relación negativa con la superficie de la hoja u otras asociaciones, pero en otros casos ha sido efectiva (Watanabe *et al.*, 1994). Si bien las relaciones entre la fotosíntesis y el rendimiento no son consistentes, las ganancias genéticas en fotosíntesis post-antesis se han relacionado con el rendimiento (Zheng *et al.*, 2011). Fischer *et al.* (1998) también mencionó incrementos en rendimiento relacionados con conductancia estomática e incremento en la tasa fotosintética. Otros caracteres relacionados con la fotosíntesis como la tasa de transpiración, la conductancia estomática han sido mencionados en algunos casos como relacionados con la ganancia genética (Sayre & Rajaram, 1997). Reynolds (2009) mencionó el mejoramiento de la fotosíntesis a través de la variación natural en la enzima rubisco como una de las formas de incrementar considerablemente el rendimiento.

Los carbohidratos solubles en agua incrementan el rendimiento en grano (Gao *et al.*, 2017). También se han encontrado asociaciones entre la eficiencia del uso de la radiación y los carbohidratos solubles (Shearman *et al.*, 2005) indicando que la ganancia genética se produce por una mejora en la tasa de crecimiento debido al incremento en los carbohidratos solubles (Shearman *et al.*, 2005).

Asimismo, Reynolds *et al.* (2016) reportó los progresos realizados a través de caracteres fisiológicos en mejoramiento en el CIMMYT, indicando mejoras en mejoramiento para déficit de agua, con un 16% de incremento en rendimiento promedio y mayor biomasa para la mejor línea utilizada, considerando ensayos en múltiples ambientes. Para rendimiento en grano, indicó un 22% de incremento en rendimiento, también con mayores biomásas. Para estrés por altas temperaturas reportó un 8% de incremento en rendimiento y por estrés por alta temperatura y sequía un promedio de 13% de incremento.

Métodos de mejoramiento

Para lograr estos objetivos, suelen utilizarse los clásicos métodos de mejoramiento de autógamias, consistentes en cruzamientos y luego conducción a través del método genealógico (más utilizado), el masal genealógico y el masal hasta homocigosis, luego de lo cual se conducen ensayos comparativos. Para objetivos especiales tales como la incorporación de resistencia a enfermedades o caracteres de herencia simple que se encuentran solo en stocks iniciales en materiales no adaptados puede utilizarse la retrocruza, en que el donante contribuye en una menor proporción al desarrollo de la progenie que el progenitor recurrente. Para incorporar resistencia a varias razas de un determinado patógeno pueden utilizarse las multilíneas en que se incorpora en un progenitor inicial con buenas características agronómicas la resistencia a varias razas del patógeno, luego se conducen hasta homocigosis y se mezclan en proporciones variables.

Asimismo, existen métodos como los cruzamientos dialélicos y la selección recurrente, que permiten incorporar mayor variabilidad y romper grupos de ligamiento al cruzar numerosos progenitores y filiales segregantes, cruzamientos interespecíficos e intergenéricos. En algunos países se cultivan también trigos híbridos, que en Argentina tal como se indicó existieron en la década del 90, pero el programa que era sostenido por un criadero privado no continuó por el alto costo de producción de la semilla de dichos híbridos.

El éxito de los programas de mejoramiento depende en gran medida del material inicial. Una encuesta incluyendo mejoradores de 52 países demostró que los mejoradores utilizan predominantemente sus propias líneas avanzadas y cultivares inscriptos como progenitores para los cruzamientos especialmente para incrementar rendimiento; también líneas del CIMMYT y foráneas y una más baja proporción de "landraces" más usadas para resistencia a enfermedades (Rejesus *et al.*, 1996). Los caracteres más importantes como el rendimiento, calidad y en muchos casos resistencia a agentes bióticos son poligénicos, de herencia compleja y más difíciles de seleccionar que los caracteres simples.

También se realizan cruza entre el trigo con sus progenitores salvajes (*Aegilops* spp.) y con otros cereales. El desarrollo de genotipos en el futuro necesita incrementar la variabilidad genética, por lo que se necesitan nuevas estrategias en los bancos genéticos para explorar la variabilidad de progenitores silvestres y utilizarla en programas de mejoramiento (Bedo & Lang, 2015). También el desarrollo en etapas previas al mejoramiento "prebreeding" de cultivares y líneas adaptadas, germoplasma exótico, progenitores salvajes, genotipos mutantes y viejas.

En los últimos años también se han desarrollado nuevos métodos para mejorar la eficiencia del mejoramiento y reducir los tiempos de selección. Uno de los métodos que se ha introducido es la tecnología de líneas doble haploides que produce descendencia homocigota de la F₁ en un solo año y también puede ser utilizada para poblaciones de mapeo (Laurie & Bennett, 1988). También la utilización de marcadores moleculares que es una herramienta de importancia para acelerar la introgresión de genes en "backgrounds" adaptados y para piramidar genes de resistencia sin necesidad de que el patógeno esté presente o de características de calidad.

Se han transferido genes de *Agropyron elongatum* confiriendo resistencia a roya de la hoja, del tallo (Knott, 1968) y también tolerancia a salinidad (Chen *et al.*, 2004), incremento de biomasa y rendimiento (Reynolds *et al.*, 2001) y reducción de altura (Chen *et al.*, 2012). El gen *Lr 19* de importancia en la resistencia a roya de la hoja fue transferido de esta especie y se asoció a incrementos en rendimiento, biomasa y número de granos, como así también a partición de biomasa a la espiga en antesis y flores fértiles sin afectar el número de espigas (Reynolds *et al.*, 2001). Condicionó también mayores valores de eficiencia de uso de la radiación y fotosíntesis de la hoja bandera en el llenado.

También el gen *Sr 22* de resistencia a la nueva raza de roya del tallo *Ug 99* se encuentran en una translocación derivada de *Triticum boeoticum*, aunque se han desarrollado pocos cultivares dado el bajo rendimiento de las líneas que poseen este gen, pero se han desarrollado líneas que poseen una pequeña región del cromosoma 7A que porta ese gen, que pueden resultar efectivas (Olson *et al.*, 2010) para la liberación de cultivares resistentes a la raza *Ug 99*.

Varios otros genes de resistencia a roya han sido introducidos de *Aegilops* spp y *Agropyron* spp. (McIntosh, 2010).

Además de su resistencia a enfermedades *Triticum monococcum* y *T. dicoccoides* también son fuentes para ampliar la base genética de *T. aestivum* en proteínas (Garg *et al.*, 2009). También *Agropyron elongatum* aportó mejoras en las proteínas de reserva (Cao *et al.*, 2007).

Los trigos sintéticos son una herramienta importante para ampliar la base genética y seleccionar genotipos con nuevas propiedades agronómicas. Resultan de la cruce de *Triticum turgidum* ssp. *durum* con *Aegilops tauschii* y en la década del 90 muchos trigos hexaploides sintéticos fueron retrocruzados con líneas del CIMMYT y líneas elite. Estas líneas son muy utilizadas por los mejoradores por su alta resistencia a enfermedades, especialmente royas y en algunos casos alta calidad. Y también en varios casos han tenido mejor PG y rendimiento que el padre recurrente (del Blanco *et al.*, 2001). También proveen adaptación a altas temperaturas, sequía, salinidad, vuelco y desbalances de micronutrientes (Trethowan & Mujeeb-Kazi, 2008).

Referencias

- Abbate, P.E., Andrade, F.H. & Culot, J.P. (1995). The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *Journal of Agricultural Science*, 124, 351-360.
- Abbate, P., Pontaroli, A., Lázaro, L. & Gutheim, F. (2013). A method of screening for spike fertility in wheat. *Journal of Agricultural Science*, 151, 322— 330.
- Allan, R.E. & Pritchett, J.A. (1980). Registration of 16 lines of club wheat germplasm. *Crop Science*, 5, 5-8.
- Allison, J.C. & Daynard, T.B. (1976). Effect of photoperiod on development and number of spikelets of a temperature and some low-latitude wheats. *Annals of Applied Biology*, 83, 93-102.
- Alonso, M. P., Mirabella, N. E., Panelo, J. S., Cendoya, M. G. & Pontaroli, A. C. (2018). Selection for high spike fertility index increases genetic progress in grain yield and stability in bread wheat. *Euphytica*, 214:112.
- Araus, J.L., Reynolds, M.P. & Acevedo, E. (1993). Leaf posture, grain yield, growth, leaf structure and carbon isotope discrimination in wheat. *Crop Science*, 33, 1273-1279.
- Austin, R.B, Calderini, D.F., Dreccer, M.F. & Slafer, G.A. (1995). Genetic improvement in wheat yield and associated traits. A re-examination of previous results and latest trends. *Plant Breeding*, 14, 108-112.
- Morgan, C.L., Ford, M.A. & Blackwell, R.D. (1980). Contribution to grain yield from preanthesis assimilation in tall and dwarf barley phenotypes in two contrasting seasons. *Annals of Botany*, 45, 309-319.
- Bedő, Z., & Láng, L. (2015). *Wheat Breeding: Current Status and Bottlenecks. Alien Introgression in Wheat*, 77–101.
- Bindraban, P. (1996). Quantitative understanding of wheat growth and yield for identifying crop characteristics to further increase yield potential. En M.P.Reynolds, S. Rajaram & A. Mc Nab

- (Eds.) *increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers* (230-236) Mexico DF: CIMMYT.
- Calderini, D.F., Castillo, F.M., Arenas, A., Molero, G., Reynolds, M. Craze, M., Bowden, S., Milner, M., Wallington, E.J, Dowle, A., Gomez, L.D. & McQueen-Mason, S J. (2021). Overcoming the trade-off between grain weight and number in wheat by the ectopic expression of expansin in developing seeds *New Phytologist*, 230, 629-640.
- Calderini, D.F., Dreccer, M.F. & Slafer, G.A. (1995). Genetic improvement in wheat yield and associated traits. A re-examination of previous results and latest trends. *Plant Breeding*, 14, 108-112.
- Calderini, D.F., Dreccer, M.F. & Slafer, G.A. (1997). Consequences of plant breeding on biomass growth, radiation interception and radiation use efficiency in wheat. *Field Crops Research*, 52, 271-281.
- Calderini, D.F., Reynolds, M. & Slafer, G.A. (1999). Genetic gains in wheat yield and associated physiological changes during the twentieth century. En E. Satorre & G. A. Slafer (Eds.) *Wheat Ecology and Physiology of Yield Determination* (351-377) New York: The Haworth Press.
- Canevara, M.G., Romani, M., Corbellini, M., Perenzin, M. & Borghi, B. (1994). Evolutionary trends in bred in Italy since 1990. *European Journal of Agronomy*, 3, 175-185. New York: The Harworth Press.
- Cao, S., Xu, H., Li, Z., Wang, X., Wang, D., Zhang, A., Jia, X. & Zhang, X. (2007). Identification and characterization of a novel *Ag. intermedium* HMW-GS gene from *T. aestivum* to *Ag. Intermedium* addition lines TAI-I series. *Journal of Cereal Science* 45:293–301.
- Connor, D.J. & Minguéz, M.I. (2012). Evolution not revolution of farming systems will best feed and green the world. *Global Food Security* 1, 106–113.
- Chen, S.Y., Xia, G.M., Quan, T.Y., Xiang, F.N., Jin, Y. & Chen, H.M. (2004). Introgression of salt-tolerance from somatic hybrids between common wheat and *Thinopyrum ponticum*. *Plant Science*, 167, 773–779.
- Chen, G, Zheng, Q, Bao, Y., Liu, S., Wang, H. & Li, X. (2012). Molecular cytogenetic identification of a novel dwarf wheat line with introgressed *Thinopyrum ponticum* chromatin. *Journal of Bioscience* 37,149–155.
- Cossani, C. M., & Reynolds, M. P. (2012). Physiological traits for improving heat tolerance in wheat. *Plant Physiology*, 160, 1710–1718.
- Del Blanco, I.A., Rajaram, S. & Kronstad, W.E. (2001). Agronomic potential of synthetic hexaploid wheat-derived populations. *Crop Science*, 41, 670–676.
- Dreccer, M.F., Slafer, G.A. & Rabbinge, R. (1998) Optimization of vertical distribution of canopy nitrogen: An alternative trait to increase yield potential in wheat. *Journal of Crop Production*, 1, 47.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP & WHO. (2019). The State of Food Security and Nutrition in the World Safeguarding against economic slowdowns and downturns. Rome, FAO. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf
- FAOSTAT, FAO (2021). Database. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: <http://faostat.fao.org>

- Field, C. (1983). Allocating leaf nitrogen for the maximisation of carbon gain: Leaf age as a control on the allocation program. *Oecologia*, 56, 341-347.
- Fischer, T. & Zgöögön, A. (2010). Uso de caracteres morfofisiológicos para el mejoramiento del rendimiento en trigo. En: D.J. Miralles, L. Aguirrezábal, M.E., Otegui, B.C. Kruk & N. Izquierdo. (Eds.) *Avances en ecofisiología de cultivos de granos* (288-306) Buenos Aires: Universidad Nacional de Buenos Aires.
- Gao, F., Ma, D., Yin, G., Rasheed, A., Dong, Y., Xiao, Y., et al (2017). Genetic progress in grain yield and physiological traits in Chinese wheat cultivars of southern Yellow and Huai Valley since 1950. *Crop Science* 57, 760–773.
- García, G. A., Serrago, R. A., González, F. G., Slafer, G. A., Reynolds, M. P. & Miralles, D. J. (2014). Wheat grain number: Identificación de favourable physiological traits in an-elite doubled haploid population. *Field Crops Research*, 168, 126-134.
- Garg, M., Tanaka, H., Ishikawa, N., Takata, K., Yanaka, M., Tsujimoto, H. (2009). *Agropyron elongatum* HMW-glutenins have a potential to improve wheat end-product quality through targeted chromosome introgression. *Journal of Cereal Science*, 50, 358–363.
- Gerard, G.S., Alqudah, A., Lohwasser, U., Börner, A. & Simón, M.R. (2019). Uncovering the genetic architecture of fruiting efficiency in bread wheat: A viable alternative to increase yield potential. *Crop Science*, 59, 1853–1869.
- Gobaa, S.; Brabant, C.; Kleijer, G. & Stamp, P. (2008). Effect of the 1BL.1RS translocation and of the *Glu-B3* variation on fifteen quality tests in a doubled haploid population of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science* 48, 598-603.
- González, F. G., Terrile, I & Falcón, M. O. (2011). Spike fertility and duration of stem elongation as promising traits to improve potential grain number (and yield): Variation in modern Argentinean wheats. *Crop Science*, 51,1693-1702.
- Halloran, G.M. & Pennel, A.L. (1982). Duration and rate of development phases in wheat in two environments. *Annals of Botany*, 49, 115-121.
- Kirby, E.J.M. (1988) Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. *Field Crop Research*, 18, 127-140.
- Knott DR (1968) Translocations involving *Triticum* chromosomes and *Agropyron* chromosomes carrying rust resistance. *Canadian Journal of Genetics & Cytology*, 10, 695–696.
- Kruk, B., Calderini, D.F. & Slafer, G.A. (1997a). Source-sink ratios in modern and old wheat cultivars. *Journal of Agricultural Science* 128,273-281.
- Kruk, B.C., Calderini, D.F. & Slafer, G.A. (1997b). Grain weight in wheat cultivars released from 1920 to 1990 as affected y post-anthesis defoliation. *Journal of Agricultural Science*, 128, 273-281.
- Laurie, D.A. & Bennett, M.D. (1988). The production of haploid wheat plants from wheat x maize crosses. *Theoretical and Applied Genetics*, 73, 393–397.
- Liu, K., Xu, H.& Liu, G. (2018). QTL mapping of flag leaf-related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 131, 839.

- McIntosh, R.A., Yamazaki, Y., Rogers, W.J., Morris, C.F. & Devos, K.M. (2010) Catalogue of gene symbols for wheat. Recuperado de <http://www.shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/download.jsp>
- Marcellos, H. & Single, W.C. (1972). The influence of cultivar, temperature, and photoperiod on post-flowering development of wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 23, 533-540.
- Martino, D. L., Abbate, P. E., Cendoya, M. G., Gutheim, F., Mirabella, N. & Pontaroli, A. C. (2015). Wheat spike fertility: inheritance and relationship with spike yield components in early generations. *Plant Breeding*, 134, 264-270.
- Miralles, D.J. & Slafer, G.A. (1995). Yield, biomass and yield components in dwarf, semidwarf and tall isogenic lines of spring wheat under recommended and late sowing dates. *Plant Breeding*, 114, 392-396.
- Motzo, R. & Giunta, F. (2007). The effect of breeding on the phenology of Italian durum wheats: From and races to modern cultivars. *European Journal of Agronomy* 26, 462–470.
- Nishio, Z., Takata, K., Ito, M., Tabiki, T., Ikeda, T. M., Fujita, Y., Maruyama-Funatsuki, W., Iriki, N. & Yamauchi, H. (2007). Small-scale bread-quality test performance heritability in bread wheat: influence of high molecular weight glutenin subunits and the 1BL.1RS translocation. *Crop Science*, 47, 1451-1458.
- Olson, E.L., Brown-Guedira, G., Marshall, D., Stack, E., Bowden, R.L., Jin, Y., Rouse, M. & Pumphrey, M.O. (2010). Development of wheat lines having a small introgressed segment carrying stem rust resistance gene *Sr22*. *Crop Science*, 50, 1823–1830.
- Passioura, J.B. (1983). Root and drought resistance. *Agriculture Water Management* 7, 265-280.
- Patrignani, A., Lollato, P.L., Ochsner, T.E., Godsey, C.B. & Edward, J.T. (2014). Yield gap and production gap of rainfed winter wheat in the southern Great Plains. *Agronomy Journal*, 106, 1329–1339.
- Peña, R. J., Amaya, A., Rajaram, S. & Mujeeb-kazi, A. (1990). Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *Journal of Cereal Science*, 12, 105-112.
- Pretini, N., Terrile, I., Gazaba, L., Donaire, G.M., Arisnabarreta, S., Vanzetti, L. & González, F.G. (2020). A comprehensive study of spike fruiting efficiency in wheat. *Crop Science*, 60, 1441-1555.)
- Pinthus M.J. & Millet E. (1978). Interactions among number of spikelets, number of grains and grain weight in spikes of wheat (*Triticum-aestivum* L). *Annals of Botany*, 42, 839–848.
- Pugsley, A.T. (1983). The impact of plant physiology on Australian wheat breeding. *Euphytica*, 32, 743–748.
- Rajaram, S. R. & Braun, H. J. (2008). Wheat yield potential. En M.P. Reynolds, J. Pietragalla & H. Braun (Eds.). *International Symposium on Wheat Yield Potential: Challenges to International Wheat Breeding* (103-107). México D.F: CIMMYT.
- Rawson, H.M. & Evans, L.T. (1971). The contribution of stem reserves to grain development in a range of wheat cultivars of different height. *Australian Journal of Agricultural Research* 22, 851-86.

- Rejesus, R.M., van Ginkel, M. & Smale, M. (1996). Wheat breeders' perspectives on genetic diversity and gemplasm use: findings from an international survey. Wheat Special Report. No.40, 129-147 Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Reynolds, M.P., Calderini, D.F., Condon, A.G. & Rajaram, S. (2001). Physiological basis of yield gains in wheat associated with the *Lr19* translocation from *Agropyron elongatum*. *Euphytica*, 119,137–141.
- Reynolds, M., Foulkes, J., Furbank, R., Griffiths, S., King, J., Murchie, E., Parry, M. & Slafer, G.A. (2012). Achieving yield gains in wheat. *Plant Cell Environment*, 35,1799–1823.
- Reynolds, M. & Langridge, P. (2016). Physiological breeding. *Current Opinion in Plant Biology*, 31,162–171.
- Richards R.A. (1992). The effect of dwarfing genes in spring wheat in dry environments I. Agronomic Characteristics. *Australian Journal of Agricultural Research*, 43, 517-523.
- Richards, R.A. (1996a). Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation*, 20, 157–166.
- Richards, R.A. (1996b). Increasing yield potential in wheat-source and sink limitations. En M.P. Reynolds, S. Rajaram & A. Mc Nab (Eds.) *Increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers* (134-149) México DF: CIMMYT.
- Rivera Amado, C., Molero, G., Trujillo-Negrellos, E., Reynolds, M. & Foulkes, J. (2020). Estimating Organ Contribution to Grain Filling and Potential for Source Upregulation in Wheat Cultivars with a Contrasting Source–Sink Balance *Agronomy*, 10, 1527.
- Sayre, K. D., Rajaram, S., & Fischer, R. A. (1997). Yield potential progress in short wheats in northwest Mexico. *Crop Science*, 37, 36–42.
- Serrago, R., Alzueta, I., Savin, R. & Slafer, G.A. (2013). Understanding grain yield responses to source–sink ratios during grain filling in wheat and barley under contrasting environments, *Field Crops Research*, 150, 42-51.
- Shearman, V. J., Sylvester-Bradley, R., Scott, R. K. & Foulkes, M. J. (2005). Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. *Crop Science*, 45, 175–185.
- Shewry, P. R & Hey, S.J. (2015). The contribution of wheat to human diet and health. *Food Energy Security*, 4, 178– 202.
- Siddique, K.H.M., Kirby, E.J.M. & Perry, M.W. (1989). Ear to stem ratio in old and modern, tall and semi-dwarf wheats in a Mediterranean environment. *Plant and Soil*, 121, 89-98.
- Sinha, S.K. & Aggarwal, P.K. (1980) Physiological basis of achieving the productivity potential of wheat in India. *Indian Journal of Genetics & Plant Breeding*, 40,375–384.
- Slafer, G.A. (1989). Differences in phasic development rate amongst wheat cultivars independent of responses to photoperiod and vernalization. A viewpoint of the intrinsic earliness hypothesis. *Journal of Agricultural Science*, 126, 403-419.
- Slafer, G.A. & Andrade, F.A. (1989). Genetic improvement in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in Argentina. *Field Crops Research*, 21, 289-296.
- Slafer, G.A., Andrade, F.H. & Feingold, E.H. (1990). Genetic improvement of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Argentina: Relationships between nitrogen and dry matter. *Euphytica*, 50, 63-71.

- Slafer, G.A & Andrade, F.H (1993). Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras. *Field Crops Research*, 31, 351-367.
- Slafer, G.A. & Miralles, D.J. (1993). Fruiting efficiency in three bread wheat (*Triticum aestivum*) cultivars released at different eras. Number of grains per spike and grain weight. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 170, 251–260.
- Slafer, G.A. & Savin, R. (1994). Grain mass change in a semi-dwarf and a standard-height wheat cultivar under different sink-source relationships. *Field Crops Research*, 37, 39-49.
- Slafer, G.A., Satorre, E.H. & Andrade, F.H. (1994). Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. En G.A. Slafer (Ed.) *Genetic improvement of Fields Crops* (1-68). New York: Marcel Dekker.
- Slafer, G.A. & Rawson, H.M. (1995a). Development in wheat as affected by timing and length of exposure to long photoperiod. *Journal of Experimental Botany*, 46, 1877-1886.
- Slafer, G.A. & Rawson, H.M. (1995b). Base and optimum temperature vary with genotype and stage of development in wheat. *Plant, Cell and Environment* 18, 671-679.
- Slafer, G.A., Calderini, D.F. & Miralles, D.J. (1996). Yield components and compensation in wheat: Opportunities for further increasing yield potential. En P.Reynolds, S. Rajaram & A. Mc Nab (Eds.) *Increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers* (230-236) Mexico DF: CIMMYT.
- Slafer, G.A., Araus, J.L. & Richards, R.A. (1999). Physiological traits that increases the yield potential of wheat En E. Satorre & G.A. Slafer (Eds.) *Wheat: ecology and physiology of yield determination* (379-414). New York, London: Oxford Food Product Press. The Haworth Press Inc.
- Sukumaran, S., Lopes, M., Dreisigacker, S., & Reynolds, M. (2018). Genetic analysis of multi-environmental spring wheat trials identifies genomic regions for locus-specific trade-offs for grain weight and grain number. *Theoretical and Applied Genetics*, 131, 985-998.
- Thapa, S., Jessup, K. E., Pradhan, G. P., Rudd, J. C., Liu, S., Mahan, J. R., et al. (2018). Canopy temperature depression at grain filling correlates to winter wheat yield in the U.S. *South. High Plains. Field Crops Research*, 217, 11–19.
- Trethowan, R.M. & Mujeeb-Kazi, A. (2008). Novel germplasm resources for improving environmental stress tolerance of hexaploid wheat. *Crop Science*, 48,1255–1265.
- Tshikunde, M. T., Mashilo, J., Shimelis, H. & Odindo, A. (2019). Agronomic and Physiological Traits, and Associated Quantitative Trait Loci (QTL) Affecting Yield Response in Wheat (*Triticum aestivum* L.): A Review *Frontiers in Plant Science*, 10, 1428.
- Waddington, S.R., Ranson, J.K., Osmanzai, M. & Saunders, D.A. (1986). Improvement in the yield potential of bread wheat adapted to northwest Mexico. *Crop Science*, 26, 698-703
- Watanabe, N., Evans, J.R. & Chow, W.S. (1994). Changes in the photosynthetic properties of Australian wheat cultivars over the last century. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, 169-183.
- Wolde, G.M., Mascher, M. & Schnurbusch, T. (2019). Genetic modification of spikelet arrangement in wheat increases grain number without significantly affecting grain weight. *Molecular Genetics and Genomics*, 294, 457-468.

- Zeller, F. J. & Hsam, S. L. K. (1983). Broadening the genetic variability of cultivated wheat by utilizing rye chromatin. En Sakamoto (Ed.) *Proceedings of the 6th. International Wheat Genetics Symposium*. Kyoto University, Kyoto. 161-173.
- Zheng, T. C., Zhang, X. K., Yina, G. H., Wang, L. N., Hana, Y. L., Chen, L., et al. (2011). Genetic gains in grain yield, net photosynthesis and stomatal conductance achieved in Henan Province of China between 1981 and 2008. *Field Crops Research*, 122, 225–233.

CAPÍTULO 13

Trigo fideo

Ana Carolina Castro

Origen

El **trigo fideo** o trigo candeal (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*) es una gramínea muy antigua originaria del Norte de África y las costas del Mediterráneo cuyo origen filogenético ha sido descrito en el capítulo correspondiente a trigo pan.

Características morfológicas del trigo fideo

El trigo fideo tiene un porte que es generalmente erecto, posee raíces primarias (seminales) y secundarias (adventicias) de mayor diámetro. Ambos tipos de raíces son fibrosas. Los tallos miden entre 75 a 150 cm, con 5 o 6 entrenudos bien desarrollados, huecos con paredes engrosadas y más o menos macizos en los últimos entrenudos. Las hojas son glabras, verde amarillentas o azuladas, con aurículas no pilosas que lo diferencia del trigo pan. Las espigas son aristadas, con raquis tenaz, de sección más o menos cuadrada, largas, de densidad variable según el cultivar (entre 20-47 espiquillas en 10 cm). (Fig. 13.1), generalmente más compactas que las de trigo pan.



Fig. 13.1. Espigas de trigo fideo.
(Foto gentileza Mag. Ing. Agr. Elena Molfese).

Las glumas son más largas que en trigo pan, relativamente flojas, blancas, rojizas o negras; quilla muy pronunciada en la base, pudiéndoles faltar el hombro. Las aristas pueden tener hasta 20 cm, blancas o negras, siendo éstas más comunes en climas secos y luminosos; son rectas y más o menos paralelas. Los granos son largos, angostos, comprimidos lateralmente, con curso prominente, predominando las formas de sección triangular, con un peso de mil granos aproximado de 55 g. El endosperma es muy duro, traslúcido, de fractura vítrea y con el embrión largo (Fig. 13.2) (Jensen & Cabral, 2001a).



*Fig. 13.2. Granos de trigo fideo.
(Foto gentileza Mag. Ing. Agr. Elena Molfese).*

Producción y consumo de trigo fideo en el mundo

Los grandes productores de trigo fideo a nivel mundial se destacan por generar una propuesta de valor a sus clientes, en términos de ofrecer un trigo de características bien definidas y de calidad muy homogénea lo que asegura una materia prima estandarizada para el proceso productivo, reduciendo costos de acondicionamiento del grano, que son muy comunes en el caso de trigo fideo de menor calidad u homogeneidad. Para cumplir con la propuesta de valor, los oferentes realizan una adecuada clasificación de la producción de fideo y dentro de cada clase generan un sistema de graduación que acota niveles de proteína, gluten, vitreosidad del grano, entre otros, lo que asegura al comprador que está adquiriendo los atributos físicoquímicos que requiere. Canadá y Estados Unidos que concentran un 45% y 10% respectivamente de la participación de mercado a nivel mundial, son los mejores ejemplos de sistemas de clasificación para trigo fideo.

Según la International Pasta Organisation (2018) los principales países productores de pastas secas y frescas son Italia, Estados Unidos, Turquía, Rusia, Brasil, Irán, Argentina (Fig. 13.3A). En Argentina, en 2019 se produjeron 348031 toneladas de pastas alimenticias. La

misma fuente informa los países con mayor consumo de pastas secas y frescas en kg por habitante por año (Fig. 13.3B). En Argentina, en 2019 el consumo fue de 8,54 kg por habitante por año (UIFRA, 2020).

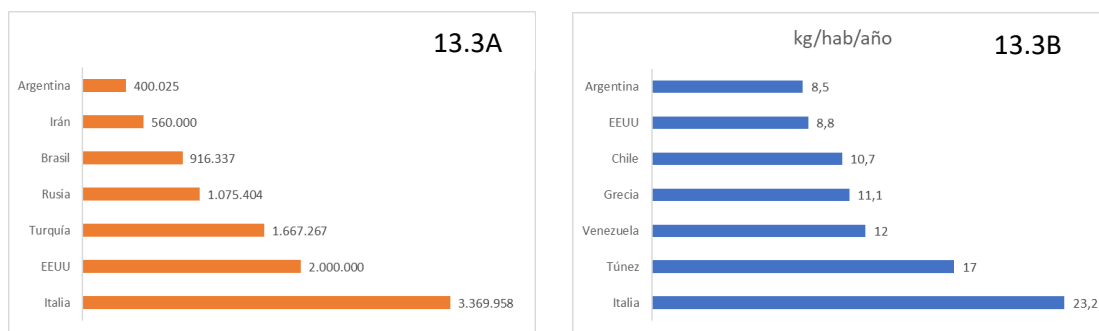


Fig. 13.3A. Principales países productores de pastas alimenticias (toneladas secas y frescas) en 2018.
Fig. 13.3B. Ránking de países con mayor consumo de pastas (kg/habitante/año) en 2018.

El mercado del trigo fideo a nivel mundial se asocia principalmente a su consumo para la elaboración de pastas y couscous (gránulos de semolina de trigo candeal) y fluctúa en torno a 7 millones de toneladas anuales, siendo los principales polos de consumo la Unión Europea (gran consumidor de pastas) y el norte de África (Argelia, Túnez, Marruecos, Libia, etc) grandes consumidores de couscous, grano entero, trigo burgol, frekeb y chapattis (Kezih *et al.*, 2014). Si bien el mercado no muestra un alto dinamismo en términos de su evolución, existe una demanda estable, muy asociada a la oferta de grano a nivel mundial, lo que genera que el producto presente las características de trigo *Premium* por sus características únicas para la generación de sus productos derivados, presentando un importante diferencial de precios respecto a trigos de panificación comunes.

Dentro de América Latina, Perú y Venezuela presentan volúmenes de importación atractivos, que sumados podrían estar anualmente en torno a las 500.000 toneladas. En todo el mundo se producen anualmente alrededor de 14 millones de toneladas de pasta seca, de las cuales un 25% corresponde a Italia y un 0,7% a la Argentina. A nivel regional, nuestro país ostenta el segundo lugar como mayor fabricante de pasta en Latinoamérica, detrás de Brasil y superando a México.

El cultivo de trigo fideo en Argentina

El trigo fideo fue introducido en Argentina, en el sur de la provincia de Buenos Aires, principalmente en el Partido de Tres Arroyos, por inmigrantes italianos en la década de 1920/30. En la campaña 1969/70, Argentina contaba con una superficie sembrada superior a 400.000 ha, y ocupaba el tercer lugar en el mundo como exportador, con una producción de 760.000 t que representaba entre el 6 y 8,5% del total nacional de trigo. El principal importador era Italia, con exigencias específicas de calidad que se cumplían sin problemas (Seghezzeo, 2014).

En el período 1976 a 1978 se produjeron ataques de *Fusarium* que disminuyeron la producción bruscamente. Además, con la incorporación del germoplasma mexicano, se incorporaron cultivares de trigo pan de ciclo corto con buen rendimiento que desplazaron al trigo fideo y el reemplazo de cultivares de buena productividad, pero menor calidad. Esto causó una disminución de la superficie dedicada a trigo fideo (Seghezzo, 2014). Según datos del Ministerio de Agroindustria de la Nación (2021), el promedio nacional de la superficie sembrada en los últimos cinco años fue de 65.647 ha y la producción rondó las 192.435 t/año, también promedio del último lustro con un rendimiento de 3107 kg/ha.

Zonas de cultivo en Argentina y variedades de trigo fideo

El área de cultivo se extiende desde el sudeste hasta el sudoeste de la provincia de Buenos Aires y parte de La Pampa (subregiones trigueras IV y V Sur), representando una opción interesante para los productores (Informe Institucional Trigo, 2016). La región IV es triguera por excelencia, en ella se obtienen rendimientos estables y buena calidad industrial. En la precosecha o durante la misma pueden ocurrir lluvias originando el defecto grano lavado. La región V Sur presenta variabilidad climática dada por la distribución irregular de las lluvias, temperaturas extremas y vientos que pueden afectar la calidad (Molfese & Fritz, 2020).

Tradicionalmente en la provincia de Buenos Aires se distinguen tres zonas, sudeste, centro sur y oeste, que poseen diferentes características agroclimáticas (Carbajo *et al.*, 2001). Los partidos de Coronel Dorrego y Tres Arroyos (área centro sur) representan la mayor superficie ocupada con este cultivo respecto de las otras zonas (Forján & Manso, 2016). Hace unos años, se incorporó superficie de cultivo bajo riego en la provincia de San Luis, y también en las provincias de Tucumán y Salta, debido a la instalación de un molino y fábrica de pastas, que utilizan al candeal como insumo para la elaboración de sus productos (Molfese *et al.*, 2017).

La producción es habitualmente inferior a la de trigo pan y según el Instituto Nacional de Semillas (INASE, 2021) se dispone de 13 variedades comerciales aprobadas por el Comité de Cereales de Invierno de la CONASE (Comisión Nacional de Semillas). Recientemente, el Ministerio de Desarrollo Agrario junto al INTA registraron dos nuevas variedades de trigo fideo, denominadas Bonaerense MDA INTA Charito y Bonaerense MDA INTA Galpón, que fueron desarrolladas en la Chacra Experimental Integrada (CEI) Barrow y estarán disponibles en mayo 2021 para ser adquirida por los productores (Desarrollo Agrario/Noticias, 2021). Ambas variedades poseen buena adaptabilidad para la zona triguera y tolerancia a estrés biótico y abiótico. Además, tienen buena calidad industrial para la industria fideera.

Requerimientos ecológicos del cultivo

El trigo fideo es un cultivo de ciclo invernal, que en la región triguera argentina se siembra desde julio a mediados de agosto y se cosecha en diciembre. Al ser un cultivo originario de

regiones que poseen un régimen de precipitaciones medias a bajas (500 mm/año o menos) posee buen comportamiento frente a la baja disponibilidad hídrica. Es sensible a las heladas. Requiere inviernos suaves y húmedos, combinados con días secos y soleados especialmente en la etapa de llenado de grano. Esto favorece la producción de granos de alta calidad (Jara Podestá, 2011).

Ciclo del cultivo

El ciclo de este cultivo es intermedio-corto y comprende las siguientes etapas descritas por Jensen & Carbajo (2001b):

Germinación: En condiciones adecuadas de humedad, temperatura y oxígeno, la semilla de trigo fideo comienza a germinar dentro de las 24- 48 h. Los granos de endosperma vítreo, como el trigo fideo, absorben agua más lentamente, pero en mayor cantidad que los granos de trigo pan con endosperma más blando. El embrión se dilata, rompe el pericarpio y a partir de ahí se desarrolla la radícula. Una vez constituido el sistema de raíces seminales, éstas se extienden rápidamente comenzando con su función de absorción; simultáneamente se desarrolla la plúmula que dará origen a la parte aérea de la planta.

Emergencia: Desde la siembra a la emergencia transcurren entre 10 a 20 días dependiendo de las condiciones ambientales y del suelo. A partir de la emergencia, la planta despliega sus primeras hojas y comienza a realizar fotosíntesis.

Macollaje: con la aparición de la cuarta hoja, emergen de la base del tallo principal, originadas de yemas adventicias ubicadas en las axilas de las hojas. Este período es muy variable dependiendo de las condiciones ambientales (30-40 días) y finaliza con la diferenciación del ápice del primordio de la espiga.

Encañazón: el primordio de la espiga se desarrolla simultáneamente con la elongación de los entrenudos y el consiguiente alargamiento del tallo.

Vaina engrosada: Aparece la hoja superior (hoja bandera), su vaina está hinchada por la espiga que se hace evidente.

Espigazón y floración: En esta etapa emerge la espiga y culmina la diferenciación de órganos florales. A los pocos días de la emergencia de la espiga, se produce la floración (anthesis). El trigo fideo tiene autofecundación, aunque puede ocurrir fecundación cruzada dependiendo de las condiciones ambientales. Esta etapa es muy sensible a temperaturas altas y bajas, déficit hídrico, exceso de humedad, deficiente disponibilidad de nutrientes y factores bióticos, especialmente hongos que producen enfermedades tales como escudete negro y fusariosis.

Llenado de grano y madurez: Una vez producida la autofecundación, el ovario crece rápidamente en tamaño y se desarrolla el grano (cariopse). Las reservas acumuladas en los tallos y hojas se remobilizan a la espiga. La acumulación de sustancias de reserva (proteínas y almidón) aumentan rápidamente el peso del grano. Mientras existan tejidos verdes la planta continúa absorbiendo nutrientes y llenando el grano. El pasaje de sustancias de reserva al grano

finaliza cuando el pedúnculo de la espiga se torna de color amarillo alcanzando así la madurez fisiológica. Finalmente, la planta comienza a secarse progresivamente. Las temperaturas elevadas, falta de humedad y elevada radiación solar acortan este período, mientras que se prolonga en condiciones de alta humedad, temperaturas bajas y días nublados. Cuando el grano tiene una humedad inferior al 15% se considera la madurez comercial o de cosecha (Jensen & Carbajo (2001b).

Características deseables en el grano de trigo fideo

El tamaño del grano debe ser grande y uniforme para asegurar una alta relación endosperma/cáscara y por consiguiente buen rendimiento. Los trigos con mayores pesos hectolítricos y con mayores pesos de mil granos indicarán buen rendimiento de sémola. La vitreosidad y la dureza del grano garantizan altos rendimientos de sémola. Un grano con germen grande y protuberante facilitará su remoción en el proceso de molienda, ya que la presencia de éste le confiere a la sémola grasa y opacidad. La presencia de la enzima lipoxigenasa puede oxidar los carotenos alterando el color amarillo típico.

Se busca un alto contenido de proteína ya que le confiere al producto terminado (pasta) propiedades como buen color, textura, firmeza y baja pegajosidad, principalmente (Seghezzo, 2014). El color amarillo ámbar dado por la presencia de pigmentos carotenoides es una cualidad valorada. En general el grano de trigo fideo se compone de un 12% de proteína, 2% de cenizas, 2% de lípidos, 14% de agua, 67% de almidón y azúcares y 3% de celulosa.

Diferencias principales entre trigo pan y trigo fideo

Genéticas

Las dos especies presentan características genéticas bien distintas siendo la más importante el número de cromosomas, 28 en el trigo fideo, 42 en el trigo pan. Genéticamente, el trigo fideo es tetraploide, mientras que el trigo pan es un individuo hexaploide.

Morfológicas

El trigo pan tiene una estructura harinosa en su grano mientras que el trigo fideo tiene una estructura vítrea lo que hace que sus granos difieran en su dureza y que en la molienda se obtengan dos productos bien diferentes: harina blanca, pulverulenta del trigo pan y sémola de granulometría más gruesa y color amarillo en el trigo candeal (Fig. 13.4).



Fig. 13.4: Granos de trigo pan (izquierda) (Foto propia) y granos de trigo fideo (derecha). (Foto gentileza Mag. Ing. Agr. Elena Molfese).

En el proceso de molienda

Aunque ambas especies se destinan al consumo humano, la tecnología de transformación y el producto final obtenido son muy distintos. A nivel de la molienda el proceso depende de las características del grano y del producto que se quiere obtener, así como de la configuración del molino. La molienda del trigo pan se realiza con menor presión, pero se tamiza con dificultad, a diferencia del trigo fideo que requiere mayor presión, pero se facilita su tamizaje. Desde el punto de vista de la molturación en el trigo fideo predomina el uso de cilindros estriados, caso contrario del trigo pan. Los ajustes del molino y equipos complementarios deben ajustarse a las propiedades de los trigos y teniendo en cuenta el objetivo a producir: harina panificable y sémola para elaboración de pastas. De la molienda del trigo pan se obtiene harina blanca y pulverulenta, de una granulometría aproximada de 180 micrones y de la de trigo fideo se obtiene una sémola de granulometría gruesa (300-500 micrones) y de color amarillo.

En la composición proteica

Las proteínas de reserva del endosperma se clasifican en gliadinas y gluteninas. Las gliadinas son proteínas monoméricas y se subdividen en cuatro grupos: α , β , γ y ω . Las subunidades de gluteninas están unidas por enlaces disulfuro intermoleculares y se subdividen en aquellas de bajo peso molecular y alto peso molecular (Carrillo *et al.*, 2000). La importancia del estudio de estas proteínas radica en que el tamaño, estructura y distribución se asocian con las características de las masas (Seghezzeo, 2014).

Estudios sobre la composición de las gliadinas encontraron que las gliadinas: γ -gliadina (γ -45) y γ -gliadina (γ -42) son marcadores genéticos para buena y pobre calidad de pasta respectivamente (Kosmolak *et al.*, 1980; Du Cros *et al.*, 1982). Por otro lado, las subunidades de gluteninas de bajo peso molecular ligadas estrechamente a las γ -gliadinas son responsables en las diferencias de viscoelasticidad del gluten de los trigos duros (Payne *et al.*, 1984).

La dureza del grano está definida por el grado de adhesión entre los gránulos de almidón y la matriz proteica. Esta interacción está regulada por el complejo de proteínas friabilina que incluye puroindolinas A (pinA) y B (pinB). Las puroindolinas se unen a los lípidos polares de la superficie del gránulo de almidón y de los cuerpos proteicos en el endosperma limitando las interacciones almidón/proteína. La textura más suave del endosperma del trigo pan se debe a la presencia de ambos tipos de alelos de puroindolinas. La mutación de cualquiera de ellos se

asocia con una textura más dura. Las pinB están ausentes o son escasas en los trigos durum (Seghezzo, 2014).

En las características reológicas

La distinta composición de las proteínas de reserva es la razón que determina el producto final que se obtiene con una u otra materia prima. La composición y la cantidad de las proteínas de reserva del endosperma en trigo fideo influyen notoriamente sobre las propiedades reológicas de la masa y la calidad de las pastas (Sissons *et al.*, 2005). El alto contenido de proteína incrementa la calidad de la sémola ya que las cadenas de polipéptidos son más numerosas y las posibilidades de interacción entre las proteínas para formar una red son mayores (Seghezzo & Molfese, 1999).

En trigo fideo, los glútenes blandos, pegajosos y muy extensibles están asociados a un alto contenido de gliadina, que es cohesiva, pero con baja elasticidad y ocasionan una pobre firmeza del fideo. Aquellos que sean firmes, elásticos y moderadamente extensibles poseen un alto contenido de gluteninas y tienen la tendencia a mostrar una buena calidad de cocción (Seghezzo & Molfese, 1999). La masa que se logra con el trigo pan presenta, en general, buena extensibilidad y tenacidad media/baja, mientras que la que se obtiene del trigo candeal se caracteriza por la elevada tenacidad y una extensibilidad menor. Una buena tenacidad del gluten ayuda a retener el almidón dentro del fideo evitando la formación de una pátina superficial y modera la absorción de agua permitiendo un buen comportamiento en la cocción.

Características de las pastas elaboradas con trigo fideo que lo distinguen del trigo pan

El trigo fideo contiene más carotenoides que el trigo pan, por lo que le dará un color amarillo ámbar. Presenta alta tenacidad y baja extensibilidad, lo cual es más apropiado para el proceso de fabricación y para las propiedades finales de las pastas. También, requieren menos agua que el trigo pan para formar la masa. Las pastas elaboradas con trigo fideo son más estables en la cocción (no se desintegran al hervir) de igual forma son más resistentes a la sobrecocción. No liberan almidón, por lo que son de baja pegajosidad dándole un buen comportamiento al plato. Poseen menor índice glucémico (42-50) con respecto a la glucosa o al pan blanco (IG 69) con lo cual resulta una ventaja saludable ya que los carbohidratos son digeribles lentamente (Paladino *et al.*, 2014). El índice glucémico mide la rapidez con la que los carbohidratos elevan el azúcar en la sangre.

Evaluación de la calidad en trigo fideo

La calidad del trigo fideo se define para los diferentes sectores de la cadena productiva. El productor busca rendimiento, resistencia a enfermedades y robustez del tallo. El molinero desea alto rendimiento semolero, fuerza de gluten, buen color de sémola y bajo contenido de cenizas. Los elaboradores de pastas aprecian el color, sabor, aroma y comportamiento en la cocción y los consumidores valoran un producto inocuo, saludable y de alto valor nutricional.

Factores que influyen sobre la calidad

La calidad se genera en todo el ciclo del cultivo, pero principalmente todo lo que ocurra durante el llenado de grano será clave para definir la calidad ya que en ese momento se acumulan las proteínas formadoras del gluten. Las temperaturas superiores a los 25-30 °C y baja humedad relativa durante el llenado de grano producen acortamiento del período que se traduce en granos chuzos, con menor rendimiento molinero y modificación en la composición de las proteínas, con la consiguiente reducción en la calidad. Contrariamente, si las temperaturas son bajas, hay nubosidad y alta humedad relativa durante el llenado de grano, el ciclo se alargará y el grano acumulará más hidratos de carbono. Esto produce el grano panza blanca que tiene gran contenido de almidón y menos contenido proteico. Las masas son más tenaces con mayor P/L. El grano panza blanca es opaco y harinoso y disminuye las características vítreas del grano de trigo fideo, siendo más castigado en la comercialización que en trigo pan.

Por otro lado, cuando el grano de trigo recibe agua de lluvia previa a la cosecha, la absorbe, se hincha, y al secarse nuevamente no recobra su tamaño original. Este defecto recibe el nombre de “grano lavado” Esto provoca fracturas internas que disminuyen la densidad del grano, peso hectolítrico, afectando así el rendimiento molinero (Brach, 2012). La calidad no se ve afectada. Asimismo, las precipitaciones en precosecha pueden producir brotado aumentando la cantidad de enzima alfa amilasa, lo que licua el almidón y resulta en trigos que darán masas pegajosas.

Enfermedades y sus consecuencias en la calidad del grano

Las enfermedades del trigo fideo se pueden presentar durante todo el ciclo de cultivo y son comunes con las de trigo pan mencionadas en el capítulo correspondiente, variando solamente en la severidad y daños que producen. En general, hay buen comportamiento a las royas y los mayores problemas se presentan con la mancha de la hoja y, fundamentalmente la fusariosis ya que el trigo fideo es más susceptible a este patógeno.

Enfermedades en los granos

Escudete negro

Los patógenos responsables son *Alternaria sp* y *Fusarium graminearum* acompañados por *Bipolaris sorokiniana*, *Curvularia sp*, *Cladosporium sp*, *Epicoccum sp* etc. El síntoma consiste en un manchado pardo o negro que se localiza principalmente en el germen del grano, aunque también puede extenderse al área circundante y al surco. Los niveles de infección varían entre localidades y años, en respuesta a las condiciones ambientales. Esta enfermedad es más seria con lluvias frecuentes y períodos prolongados de rocío o humedad relativa superior al 60% y temperaturas medias superiores a 17°C desde floración y durante el desarrollo del grano.

Esta enfermedad afecta seriamente la calidad del grano destinado a la industria semolera y fideera. En los productos de la molienda se observa un aumento indeseable de partículas coloreadas. Estas se transfieren a las sémolas y productos elaborados a partir de ellas, afectando negativamente la calidad (Storm, 2011).

Caries o Carbón

Existen dos enfermedades: Carbón volador (*Ustilago tritici*) y Carbón hediondo (*Tilletia sp.*). El primero ataca la espiga, la destruye dejándola transformada en una masa pulverulenta color verde oscuro que se deshace fácilmente dejando el raquis pelado. En el segundo caso, las esporas del hongo acompañan a la semilla durante el crecimiento de la planta hasta atacar al nuevo grano cuando se forma. El grano queda más redondeado, recubierto por una película blanquecina que contiene una masa de color negro, muy frágil, que se rompe fácilmente, dándole color gris a la harina y un olor desagradable que es castigado en la comercialización (Astiz Gasso, 2014).

Golpe blanco o Fusariosis de la espiga

Se considera la enfermedad más importante en trigo fideo debido a su efecto perjudicial en la producción de grano y seguridad alimentaria. Como produce granos arrugados y livianos, a menudo con zonas rojas o rosas, esta enfermedad reduce el rendimiento de grano y la calidad de la molienda. La acumulación de micotoxinas reduce la calidad comercial del grano, planteando un riesgo para la salud humana y disminuye la fecundidad y ganancia de peso en los animales. *Fusarium graminearum* y *Fusarium culmorum* son las dos especies de hongos consideradas más patógenas. Las precipitaciones durante la floración y el desarrollo del grano favorecen la ocurrencia de la enfermedad. El daño que provoca *Fusarium*, además de la pérdida de rendimiento de sémola, es que las masas se vuelvan opacas y rojizas (Seghezzo, 2014). Se ha demostrado que a medida que el daño por *Fusarium* aumenta, se producen cambios en la composición, incluyendo aumento de los azúcares reductores y de las proteínas extractables con agua y disminución en las celulosas y hemicelulosas. Las proteínas del gluten de un trigo infectado por *Fusarium* se degradan por las proteasas fungales. Así, las masas se vuelven débiles y de inferior comportamiento en la panificación (Seghezzo, 2014).

Fertilización nitrogenada

La concentración de N en grano es clave para determinar la cantidad de proteína y calidad del gluten, parámetros de gran relevancia en el trigo fideo. Además, el contenido de proteína se correlaciona con la vitreosidad, otra característica apreciada en la calidad comercial e industrial. El trigo fideo demanda una leve mayor cantidad de N que el trigo pan. La fertilización en trigo fideo se justifica ya que se establecen contratos entre industrias y productores, garantizando la calidad deseada y un precio acorde.

Según Ferraris (2016) si la disponibilidad de N es baja o el aprovechamiento es deficiente por pérdidas (lixiviación o volatilización), puede afectarse la concentración de proteína y no tanto el rendimiento ya que la planta prioriza la formación de los granos. En contraste, si el rendimiento es elevado podrá existir un efecto de dilución del N en el grano, ocasionando menor concentración de proteína, si no se acompaña con una adecuada fertilización.

El momento de aplicación del fertilizante es muy importante en la definición de la calidad de trigo fideo. Las aplicaciones tardías producirán una progresiva disminución en el incremento del rendimiento, pero mejorará la calidad a través del aumento de proteína y vitreosidad. Las aplicaciones realizadas en hoja bandera influyen notablemente en la calidad (Loewy & Ron, 2001).

En este sentido, Ferraris (2016) sugiere diferentes opciones: fertilizar con una dosis superior al óptimo para rendimiento, para generar un remanente en planta; fertilización tardía luego de definir componentes de rendimiento o lograr una fertilización balanceada de N y fósforo, azufre y zinc. Las fertilizaciones fraccionadas y adecuadas según el potencial del cultivo garantizan una buena vitreosidad (Molfese & Fritz, 2020).

Evaluación de la calidad comercial y consecuencias de los defectos comerciales sobre la sémola y la pasta

En Argentina existe una norma de comercialización que establece “grados” sobre una muestra representativa del cereal. Esta norma (Tabla 13.1) puede descargarse gratuitamente de diversos sitios. En la misma se detallan los diferentes rubros de grado y condición.

http://www.cabc.com.ar/enlazados/normas_calidad/N21-TrigoFideo.pdf

También se establecen contratos entre productores y molinos o industrias, fijando características de calidad e inclusive la variedad a sembrar. De esa forma se garantizan atributos de calidad específicos necesarios en la industria.

Tabla 13.1: Norma de comercialización oficial para trigo fideo en Argentina

TOLERANCIAS MÁXIMAS PARA CADA GRADO											
Grado	Peso Hectolítrico mínimo kg	Materias extrañas (%)	Granos dañados		Granos con Carbón %	Granos quebrados y/ Chuzos (1%)	Trigo pan máximo %	Granos icados máximo (%)	Trébol de olor semillas cada 100 g Máximo	Humedad %	Vitreosidad Mínimo %
			Granos ardidos y por calor %	Total dañados %							
1	78	0,75	0,50	1,00	0,10	0,50		0,50	8	14,00	50
2	76	1,50	1,00	2,00	0,20	1,20	3,00				
3	72	3,00	1,50	3,00	0,30	2,00					
Desc a aplicar por c/kg faltante o sobre % de excedentes	1	1	1,5	1	5	0,5	0,5	2	2% de merma gastos de zarandeo	Merma y gastos de secado	Ver recuadro

VITREOSIDAD	
Bonificaciones	Rebajas
51 a 55% 0,5%	46 a 49% 1,0%
56 a 60% 1,0%	41 a 45% 3,0%
61 a 65% 1,5%	36 a 40% 5,0%
66 a 70% 2,0%	31 a 35% 7,0%
71 a 75% 3,0%	26 a 30% 9,0%
76 a 80% 4,0%	21 a 25% 11,0%
81 a 85% 5,0%	16 a 20% 13%
86 a 90% 6,0%	11 a 15% 15,0%
91 a 95% 7,0%	6 a 10% 17,0%
96 a 100%	0 a 5% 19%

Proteína: Bonificaciones y rebajas sobre el precio de grado 2. Por valores superiores a 11% se bonificará 2% por cada porcentaje o fracción proporcional. Por valores inferiores a 10% se rebajará 2% por cada porcentaje o fracción proporcional.

Libre de insectos vivos y/o arácnidos vivos.

Punta negra por carbón desde 1% a 4%.

Revolcado en tierra desde 0,5% a 2%.

Olores comercialmente objetables 0,5% a 2%.

Peso hectolítrico (PH): Es el peso de un volumen de 100 litros de trigo, expresado en Kg.Hl⁻¹. Es una especificación ampliamente usada y un indicador del potencial rendimiento semolero. Se ve afectado por densidad, forma del grano, humedad, chuzos. Para su determinación se utiliza la balanza Schopper al igual que en trigo pan.

Materias extrañas: es el conjunto de granos y materias extrañas que no corresponden a trigo fideo, envoltorios de trigo, semillas de otras especies, piedras, terrones, arena etc. Producen sémolas sucias y disminuyen el rendimiento semolero.

Granos dañados: son los granos o pedazos de granos que presentan una alteración sustancial en su constitución. Entran en este rubro los granos ardidados y/o dañados por calor, verdes, helados, brotados, calcinados, roídos por isoca y roídos en su germen.

Granos inmaduros: son los granos que no completaron su madurez. Tienen menor rendimiento semolero y alto contenido en cenizas.

Granos panza blanca: estos granos poseen el 50% de su endosperma almidonoso. Esto disminuye el color de la sémola y pasta, y otorga pecas blancas indeseables para los productos. La vitreosidad se reduce, baja el rendimiento semolero (ya que son granos más blandos y producen harinas más finas), disminuye el PH y tienen menor contenido de proteína dando como resultado fideos secos, débiles y de baja calidad en la cocción.

Granos partidos y/o chuzos: son aquellos granos o pedazos de granos (excluidos los dañados) de trigo fideo que pasan por una zaranda con agujeros acanalados de 9,5 mm de largo x 1,6 mm de ancho. Disminuyen la extracción de sémola, tienen bajo PH, afectan el color de la pasta, mayor probabilidad de presentar bacterias, hongos y micotoxinas.

Granos de trigo pan: La presencia de granos de trigo pan disminuye la vitreosidad. Es importante considerar la siembra de trigo fideo en lotes que no hayan tenido al trigo pan como cultivo antecesor, usar semilla original y limpiar los elementos que se utilizan en la cosecha (Molfese & Fritz, 2020).

Granos brotados: aquellos que presentan el germen abierto o con indicio de germinación. La actividad alfa amilásica se eleva. Si existe un porcentaje de granos brotados mayor al 10% se producirán fideos oscuros por el aumento de los azúcares reductores, disminuye la calidad de la proteína, dando glútenes extensibles y pegajosos. La textura de la pasta cocida se ve afectada siendo blanda.

Grano lavado: son granos que reciben lluvias previo a ser cosechados. Estos granos disminuyen el rendimiento semolero, el PH y la vitreosidad.

Vitreosidad (%): Es una propiedad óptica que se refiere a la translucidez de los granos. Se define como el porcentaje de granos vítreos que existen en una muestra. Los granos vítreos tienen mayor contenido de proteína que los almidonosos. Se determinan por método de diafanoscopio (Fig. 13.5).



*Fig. 13.5. Medición de la vitreosidad por método diafanoscopio en la Chacra Experimental Integrada de Barrow.
(Foto gentileza Mag. Ing. Agr. Elena Molfese).*

Evaluación de la calidad industrial

Atributos considerados en el grano

Peso hectolítrico: ya se mencionó su importancia en la calidad comercial.

Peso de mil granos (PMG): Es una medida del tamaño promedio del grano. Un valor aceptable podría ser 55 g hasta 60 g, más grande que el de trigo pan. A mayor relación endosperma/salvado mayor rendimiento semolero. Se determina sobre muestra limpia y sin granos partidos.

Proteína (%): Las sémolas con alto porcentaje de proteína tienen baja cantidad de partículas almidonosas por lo tanto se hidratan en forma pareja durante el mezclado produciendo fideos fuertes y elásticos. El contenido de proteína se relaciona también con el color, fisuras, textura de la superficie y cualidades de cocción: firmeza y pegajosidad. Se determina por método Kjeldahl (patrón o referencia) o algún método equivalente (NIR, etc).

Vitreosidad (%): ya mencionada su definición e importancia anteriormente.

Atributos considerados en la sémola

Para la molienda se utiliza un molino experimental Bühler 202 D. Se acondiciona a 15,8% de humedad durante 20 horas.

Relación molinera: rendimiento molinero/ceniza sémola

Determinación de gluten: El gluten es el resultado del amasado y lavado de una masa de harina con agua o solución salina (según norma) dando un bollito amarillento viscoelástico que consiste en las proteínas insolubles en agua, las gliadinas y gluteninas. Las proteínas solubles y el almidón se lavan. Se determina el gluten húmedo y seco con equipo Glutomatic y el valor se expresa en por ciento.

Gluten index (GI): El bollito de gluten se centrifuga y esta fuerza obliga al gluten a pasar por un tamiz colocado en el casete de la centrifuga. La cantidad de gluten que pasa por el tamiz indica la calidad del gluten. Un valor de GI mayor a 70% es deseable (Cubbada *et al.*, 1991).

Falling number: Se determina la actividad de la enzima alfa amilasa con equipo *Falling Number* y el valor obtenido se expresa en segundos.

Test reológicos: se utiliza un farinógrafo de Brabender con adaptaciones a la técnica (Irvine *et al.*, 1960), con porcentaje de absorción de agua constante (45%), tiempo de amasado fijo (8 min) y amasadora de 50 g. Se mide el nivel de energía y el aflojamiento (Fig. 13.6).

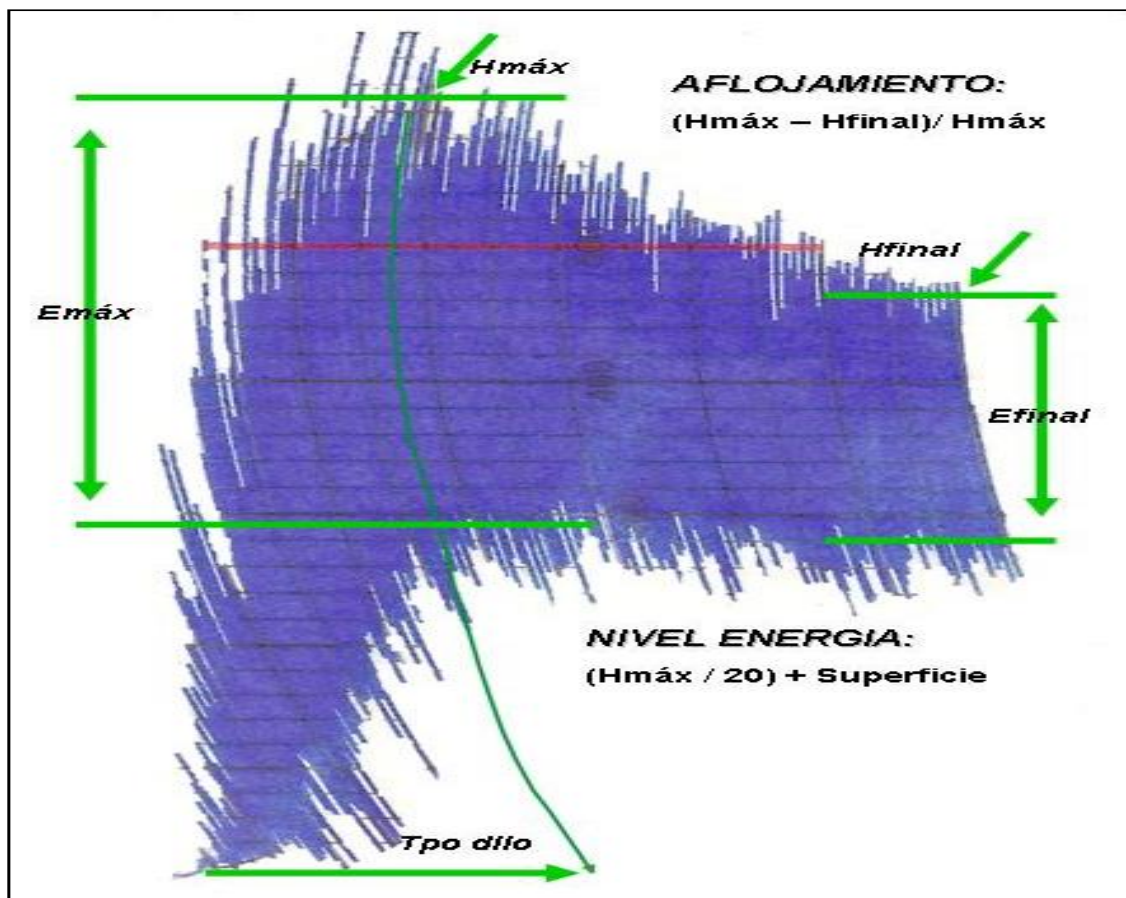


Fig. 13.6: Farinograma de una harina de trigo candeal.
 (Foto gentileza Mag. Ing. Agr. Elena Molfese).

Medición del color

La determinación del color se realiza en sémolas y en pastas con un colorímetro de reflectancia y se mide el brillo o luminosidad, amarillo y rojo (Fig. 13.7).



Fig. 13.7. Medición del color en sémolas y pastas de trigo candeal con Minolta Chromameter CR 310. (Foto gentileza Mag. Ing. Agr. Elena Molfese).

En la Tabla 13.2 se resumen algunos de los parámetros de calidad comercial e industrial de las campañas 2014/2015 a 2018/2019 en las subregiones de cultivo IV, V Sur y NOA. En general, los valores de PH son buenos. La vitreosidad es variable según los años, los porcentajes obtenidos son bajos y es un parámetro que podría mejorarse a través del manejo. El porcentaje de trigo pan en algunas campañas supera la tolerancia admitida en la norma con lo cual reduce la calidad de las partidas. La proteína muestra valores aceptables. Los altos valores de FN demuestran que en general no hay presencia de grano brotado, aunque en alguna campaña puede presentarse este defecto.. El gluten es un valor bueno y los parámetros farinográficos son acordes a las exigencias de la industria. En www.trigoargentino.com.ar se detallan todos los parámetros de calidad comercial e industrial en forma más extensa por campañas y localidades de las subregiones mencionadas anteriormente.

Tabla 13.2: Parámetros de la calidad comercial e industrial en trigo candeal en las campañas 2014/2015 a 2018/2019 en Argentina

Campaña	Subregión	CALIDAD COMERCIAL					CALIDAD INDUSTRIAL				
		PH (kg/Hl)	Vitreosidad (%)	Proteína (%)		FN (seg)	Color (b)	GH (%)	GI	Farino Nivel Ener	Farino- Afloj (%) Aflojamiento (%)
2014/15	IV	78,13	35	4,16	11,58	513	20,6	29,6	50	27,5	30
	V Sud	77,19	33	3,86	11,01	500	21,3	26,4	68	26,0	27
	NOA	81,43	54	5,56	12,50	547	22,1	31,1	55	28,3	29
2015/16	IV	79,84	37	2,42	11,00	428	21,5	26,9	73	29,2	27
	V Sud	79,59	34	2,06	10,50	454	21,2	26,7	68	28,4	28
	NOA	80,59	40	4,51	10,40	572	19,5	24,7	78	27,2	26
2016/17	IV	80,06	53	3,88	12,31	508	21,0	31,1	62	27,5	32
	V Sud	79,46	41	3,80	11,00	523	21,7	26,9	67	24,5	31
	NOA	83,82	54	1,89	10,94	437	20,7	24,5	89	28,7	27
2017/18	IV	81,17	49	2,82	11,60	448	20,5	28,4	58	27,4	33
	V Sud	78,42	64	2,35	11,30	460	22,1	27,3	65	24,5	32
	NOA	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
2018/19	IV	76,47	14	4,37	11,92	370	19,0	31,0	41	30,8	36
	V Sud	77,45	28	4,31	10,98	428	21,4	29,1	57	28,9	31,5
	NOA	77,23	34	3,75	13,07	193	19,6	29,2	89	33,4	30

Fuente: www.trigoargentino.com.ar

Elaboración de fideos experimentales

En el Laboratorio de Calidad Industrial de la Chacra Experimental Integrada Barrow (Convenio INTA-MDA) (Tres Arroyos) se elaboran fideos en forma experimental (Fig. 13.10). El proceso se inicia con el amasado de la sémola y el agua. La masa formada se transfiere a la prensa para su posterior extrusión a través de una tráfila con teflón, equipada con vacío para evitar la formación de pecas blancas. Luego se realiza el secado a 92% humedad relativa y 42°C para disminuir la humedad desde 31-32% a 14%. Los fideos deben tener un período de reposo antes de ser sometidos a las pruebas de cocción. El secadero y los elementos para la extrusión deben cumplir con una serie de requisitos (Seghezzeo, 2014).



Fig. 13.10. Amasado, empaste, extrusión y secado. (Fotos gentileza Mag. Ing. Agr. Elena Molfese).

En el producto final también se determinan cualidades a través de la evaluación sensorial. Se determinan características de la calidad de cocción tales como firmeza que es la resistencia de la pasta cocida cuando es masticada o aplastada entre los dedos o cortada con los dientes, la pegajosidad que es el estado de desintegración de la superficie del fideo cocido estimada por apreciación visual y el volumen que es el grado de adhesión de los fideos después de la cocción evaluado visual y manualmente. El tiempo óptimo de cocción se registra colocando la pasta en agua destilada a ebullición. Cada 30 segundos se toma una muestra, se coloca sobre un portaobjeto y se lo presiona con otro. Se observa la extinción del nervio central (Fig. 13.11).

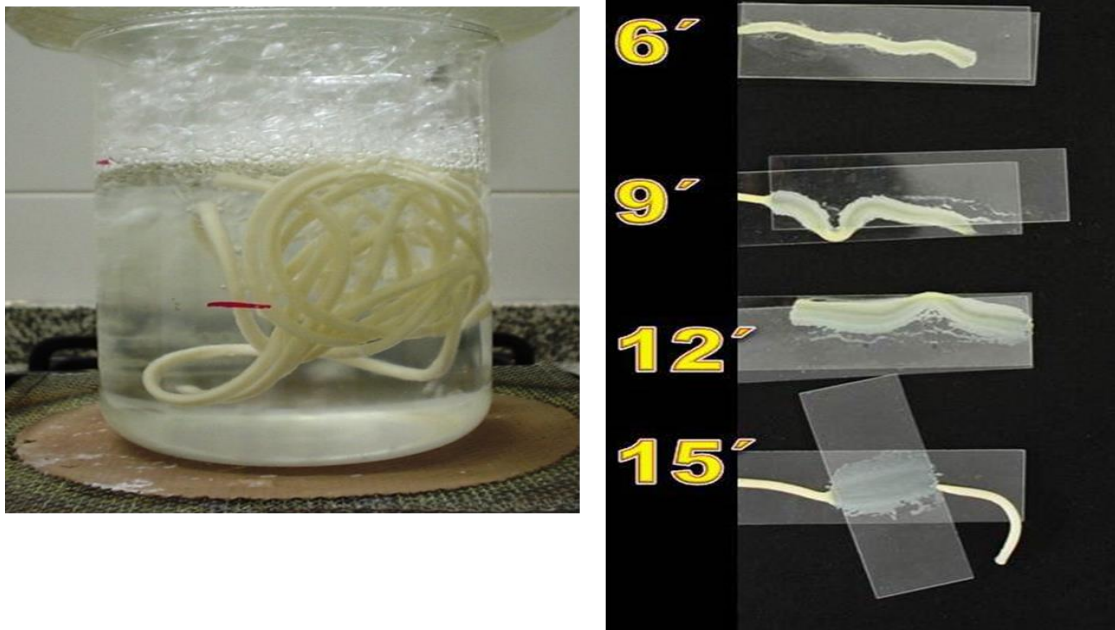


Fig. 13.11. Tiempo óptimo de cocción.
(Foto gentileza Mag. Ing. Agr. Elena Molfese).

Referencias

- Brach, A.M. (2012). Factores que determinan la variación de la calidad panadera en trigo. Reconquista. INTA Reconquista. *Revista Voces y Ecos*, 28, 26-29.
- Carbajo, H.L., Gualati, A., Jensen, C.A & Loewy, T. (2001). Áreas de cultivo. En C. Carbajo & H. Jensen (Eds.), *Manual Técnico: Trigo candeal*. Material Divulgación 3, 13-14. Bs As, Chacra Experimental Integrada Barrow (Convenio MAGyAL-INTA): INTA.
- Carrillo J.M., Martínez M.C., Moita Brites C., Nieto-Taladriz M.T., Vázquez J.F. (2000). Relationship between endosperm proteins and quality in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). En C. Royo., M. Nachit., N. Di Fonzo & J.L Araus. (Eds.), *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges*. 463-467. Zaragoza: CIHEAM.

- Cubadda, R., Carcea, M., Pasqui, L.A & Perten, H. (1991). Metodo rapido di valutazione della qualità del glutine delle semole e del grano duro. *Chimica dei Cereali. Tecnica molitoria*, 861-874.
- Desarrollo Agrario/Noticias. 21 de Enero de 2021. El Ministerio de Desarrollo Agrario registró dos nuevas variedades de trigo candeal. Recuperado de www.gba.gob.ar/desarrollo_agrario/Noticias/el_ministerio_de_desarrollo_agrario_registr%C3%B3_dos_nuevas_variedades_de
- Du Cros, D.L., Wrigley, C.W. & Hare, R.A. (1982). Prediction of durum wheat quality from gliadin-protein composition. *Australian Journal of Agricultural Research*, 33, 429-442.
- Ferraris, G. N. (2016). Rol de la fertilización en la obtención de granos de alta calidad comercial en trigo. VIII Congreso Nacional de Trigo. VI Simposio de Cereales de siembra otoño-invernal. II Encuentro del Mercosur. Simposio 2. 7-9 de septiembre, 2016. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- Forján, H & Manso, L. (2016). El área ocupada por los cultivos de cosecha fina en la región. Recuperado de <http://inta.gob.ar/documentos/el-area-ocupada-por-los-cultivos-de-cosecha-fina-en-la-region-0>
- INASE (Instituto Nacional de Semillas). (2021). Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/inase>
- International Pasta Organization. (2018). Recuperado de <https://internationalpasta.org/>
- Irvine, G., Bradley, J & Martin, G. (1961). A Farinograph technique for macaroni doughs. *Cereal Chemistry*, 38, 153-164.
- Jara Podestá, A. (2011). Caracterización y mercados del trigo del trigo candeal-Dirección de Mercados Agroalimentarios. Newsletter N.º 59.
- Jensen, C.A & Carbajo, H.L. (2001a). Descripción de la planta. En C. Carbajo & H. Jensen (Eds.), *Manual Técnico: Trigo candeal*. Material Divulgación 3, 15-18. Bs As, Chacra Experimental Integrada Barrow (Convenio MAGyAL-INTA): INTA.
- Jensen, C.A & Carbajo, H.L. (2001b). Crecimiento y desarrollo de la planta. En C. Carbajo & H. Jensen (Eds.), *Manual Técnico: Trigo candeal*. Material Divulgación 3, 19-22. Bs As, Chacra Experimental Integrada Barrow (Convenio MAGyAL-INTA): INTA.
- Kezih, R., Bekhouche, F & Merazka, A. (2014). Some traditional Algerian products from durum wheat. *African Journal of Food Science*, 8, 30-34.
- Kosmolak, F.G., Dexter, J.E., Matsuo, R.R., Leisle, D. & Marchylo, B.A. (1980). A relationship between durum wheat quality and gliadin electrophoregrams. *Canadian Journal of Plant Science*, 60, 427-432.
- Loewy, T & Ron, M. (2001). Fertilización en el sudoeste bonaerense. En C. Carbajo & H. Jensen (Eds.), *Manual Técnico: Trigo candeal*. Material Divulgación 3, 45-51. Bs As, Chacra Experimental Integrada Barrow (Convenio MAGyAL-INTA): INTA.
- McCabe, T., Mulhare, J.J., Byrne, J.J., McIvor, A & Gallagher, E.J. (2001). Yield and quality improvement with strobilurin fungicides in winter wheat. *Aspects of Applied Biology and Wheat Quality*, 64, 219-226.
- Ministerio de Agroindustria de la Nación. (2021). Recuperado de www.minagri.gob.ar/new/0-0/programas/dma/granos/inf-trigo-candeal/trigo_candeal.php

- Molfese, E.R., Astiz, V & Seghezzo, M.L. (2017). Evaluación de la calidad del trigo candeal (*Triticum turgidum* L. subsp. durum) en los programas de mejoramiento de Argentina. *Revista Investigaciones Agropecuarias* 43, 303-311.
- Molfese, E.R & Fritz, N. (2020). Producción y calidad del trigo candeal (*Triticum turgidum* L. subsp. durum) en Argentina: análisis del quinquenio 2014/2018. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 46, 293-305.
- Padalino, L., Mastromatteo, M., Lecce, L., Spinelli, S., Conto, F & Del Nobile, M.A. (2014). Effect of durum wheat cultivars on physico-chemical and sensory properties of spaghetti. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 2196-2204.
- Payne, P.I., Jackson, E.A. & Holt, L.M. (1984). The association between γ -gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties: A direct causal effect or the result of genetic linkage? *Journal of Cereal Science*, 2, 73-81.
- Seghezzo M.L. & Molfese E.R. (1999). *Trigo Candeal: Criterios para la evaluación de la calidad*. Publicación Miscelánea N°2: MAA-INTA.
- Seghezzo, M.L. (2014). *Calidad en trigo candeal*. Chacra Experimental Integrada Barrow, Tres Arroyos: INTA.
- Seghezzo, M.L & Molfese, E.R. (2001). Calidad comercial e industrial. En C. Carbajo y H. Jensen (Eds.), *Manual Técnico: Trigo candeal*. Material Divulgación 3, 83-88. Bs As, Chacra Experimental Integrada Barrow (Convenio MAGyAL-INTA): INTA.
- Sissons, M. J., Ames, N. P., Hare, R. A & Clarke, J. M. (2005). Relationship between glutenin subunit composition and gluten strength measurements in durum wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 2445–2452.
- UIFRA (Unión De Industriales Fideeros De La República Argentina). 2019-2020. Reporte anual de la Industria Fideera Argentina. Pastas Secas. Estadísticas Sectoriales. Recuperado de <https://uifra.org.ar/>
- Trigo Argentino Recuperado de www.trigoargentino.com.ar/TrigoFideo/PromedioNacional?Idioma=Esp&i=1&IdCamp=24

CAPÍTULO 14

Cebada cervecera: origen, importancia del cultivo, crecimiento y desarrollo

María Rosa Simón, Axel Iván Voisin

Origen

La cebada es una de las plantas cultivadas más antiguas. Su domesticación ocurrió simultáneamente con la del trigo en las cercanías de los ríos Tigris y Eufrates y la antigua Persia hasta el norte de África, en la región que es actualmente Egipto y tuvo en sus comienzos una difusión similar a la del trigo. Los egipcios la utilizaron para cerveza (Salas Salvado *et al.*, 2005) y luego con el descubrimiento y uso del pan, determinaron la preponderancia de este último cereal. La domesticación se extendió en un área amplia que abarcó Nepal, India y China (Molina Cano, 1989). Si bien inicialmente se consideró que la región mencionada de la media luna fértil era un único centro, luego también se encontraron cebadas de seis hileras en Marruecos sugiriendo que este era también un centro de origen (Molina Cano *et al.*, 1987). Moralejo *et al.* (1993, 1994) determinaron que el origen de la cebada es multicéntrico en la zona del Mediterráneo y también probablemente en la zona del Tíbet. La taxonomía de las especies de cebada es discutida, pero puede decirse que corresponden a la especie *Hordeum vulgare* L. var *vulgare*. El antecesor silvestre de estas cebadas es *Hordeum spontaneum* Koch que es una especie silvestre de raquis frágil y a partir de esta especie se domesticó la cebada (Bard *et al.*, 2000).

Tienen tres espiguillas unifloras en cada nudo del raquis. Cuando las tres espiguillas son fértiles, la cebada se denomina de seis hileras (que corresponden a las tres espiguillas de cada lado del raquis) que en algunas clasificaciones se las menciona como subespecie *hexastichum*. Cuando solamente la espiguilla central es fértil y las laterales quedan reducidas, se denomina cebada de dos hileras, que en algunas clasificaciones se las denomina como subespecie *distichum* (Bonnet, 1966) (Fig. 14.1). El número de hileras queda determinado por 5 locus (Lundqvist & Lundqvist, 1998). El gen *Vrs1* es el gen más importante que controla el número de hileras, aunque están también el *Vrs2*, *Vrs3*, *Vrs4* y *Vrs5*, que presentan diferente grado de fertilidad en las espiguillas laterales y el alelo dominante de *Vrs1* es el que condiciona el tipo dos hileras, en tanto el recesivo origina 6 hileras.



Fig. 14.1. Cebadas de 2 (A) y 6 hileras (B)

Importancia del cultivo

La producción mundial de cebada para la campaña 2020/2021 fue de 157 millones de t (USDA, 2021), siendo el cuarto cereal en el mundo después del maíz, trigo y arroz. Se destaca como principal productor la Unión Europea, seguido por Rusia, Australia, Canadá, Turquía, Ucrania, Kazajistán, Irán, Argentina y EEUU. En Argentina, la cebada ha tenido un importante incremento en los últimos años. Se estima que el cultivo se inició con los colonizadores y las primeras exportaciones con 2 t se realizaron en 1875 (Tomaso, 2004).

La cebada en Argentina comienza a aparecer en las estadísticas en 1909 con 60.000 ha, mayoritariamente para uso forrajero, en tanto que la producción para uso cervecero se incrementó en el siglo XX junto con la industria cervecera, uno de los factores fue la importancia de la cerveza para los inmigrantes. Pueden distinguirse varios períodos, un primer período en que la superficie sembrada pasa de 100.000 a 300.000 ha, junto con el incremento en la capacidad maltera y de la exportación de malta, luego otro período que va de 2000 hasta 2010, en que el cultivo crece de 300.000 a 650.000 ha y continúa el aumento en la capacidad maltera y la exportación de malta. Asimismo, continúa la expansión de la soja, que resulta adecuada en la secuencia con cebada, ya que esta última tiene una madurez más temprana que el trigo y además se produce un aumento en el consumo de cerveza. Otro período va desde 2010 hasta la actualidad en que el cultivo en algunos años alcanzó 1,5 millones de ha, acompañado por la disminución de la superficie sembrada con trigo y el incremento en las exportaciones como cebada forrajera, además de los cupos a la exportación de trigo y al hecho de que el trigo presentaba retenciones y la cebada no. Así, la producción de cebada pasó de 800.000 t a 5.000.000 t en pocos años (Cattáneo,

2013). Esta tendencia hacia el incremento continúa hasta la actualidad con algunas fluctuaciones y en la campaña 2020/2021 se sembraron unas 850.000 ha con una producción de aproximadamente 3,7 millones de t, se estima que para la campaña actual se incrementará a más de un millón de ha. Asimismo, con la expansión del área sembrada la cebada pasó del sudoeste a regiones del sudeste de las Provincia de Buenos Aires con mejores condiciones edáficas y climáticas y a pesar de que el cupo a la exportación en trigo se eliminó, la cebada no disminuyó su importancia. Más del 90% de la producción se realiza en la Provincia de Buenos Aires y el resto en La Pampa, Córdoba, Santa Fe. El centro norte de Buenos Aires aporta el 20% del total, el sudeste un 50% y el sudoeste de Buenos Aires un 20%, influenciado por la localización de las malterías y puertos de exportación (Cattáneo, 2013).

Del total de lo cosechado, aproximadamente la mitad tiene destino forrajero y la otra mitad cervecero, en tanto que a nivel mundial el 25% es para la fabricación de cerveza. De lo que se cosecha, el 70% está en manos de la empresa multinacional AB InBev, que comprende varias marcas (Quilmes, Brahma, Iguana, Isenbeck, Stella Artois, Patagonia, Warsteiner y Miller), en tanto el resto corresponde a la empresa chilena Compañía de Cervecerías Unidas (CCU) que comprende Schneider, Bieckert, Imperial, Salta, Palermo, Santa Fe. La cebada se comercializa en parte por contratos, las malterías entregan la semilla y el productor se compromete a entregar el producto cosechado dentro de ciertos parámetros de calidad que fija el estándar de comercialización. Aquellas cebadas que no se ajustan a las tolerancias del estándar se comercializan como forrajeras (Cattáneo, 2019).

Crecimiento y desarrollo

Varias características del crecimiento y desarrollo de la cebada tienen similitudes con trigo. En este capítulo se hará un breve resumen de estos aspectos y se destacarán algunos que son diferenciales entre ambos cultivos en las diferentes etapas fenológicas, incluyendo diferencias en la morfología externa del cultivo y a nivel del ápice meristemático. De manera similar a lo que sucede en trigo, las fases pueden agruparse para su estudio dentro de subperíodos que pueden definirse como fase vegetativa, reproductiva y de formación y llenado de grano que abarcan: 1- Pre-siembra, germinación, nacimiento, emergencia y pre-macollaje hasta la cuarta hoja (vegetativa), 2: Macollaje (coincidente con la reproductiva temprana), 3: Encañazón, espigazón, floración (reproductiva tardía), 4: Formación de estructuras del grano, llenado del grano, madurez (formación y llenado de grano).

Etapa vegetativa

Esta fase comprende un primer subperiodo que comienza unos 30 días antes de la siembra (presiembr) en el que todas las labores que se realicen inciden en el cultivo y luego de esta, incluye la germinación, emergencia y el premacollaje, aproximadamente hasta la aparición de la cuarta hoja. Este subperiodo hace referencia al estado vegetativo del cultivo.

Para germinar la semilla necesita alcanzar un 35 a 45% de su peso en agua. La germinación comienza luego de un período de dormancia que es necesaria para prevenir el germinado precosecha. Es un carácter genotípico ya que determinados genes condicionan la sensibilidad al ácido abscísico que previene la germinación y está influenciado por factores ambientales. Sin embargo, puede ser un problema en el malteado, obligando a las malterías a almacenar el grano previo al procesado (GRDC, 2016). Las bajas temperaturas durante el desarrollo del grano conducen a un mayor grado de dormancia y hay una relación entre la temperatura media durante el período en el llenado y el porcentaje de germinación de los granos 12 días después de la madurez fisiológica (Rodríguez *et al.*, 2001), con esta relación se construyó un modelo de predicción que puede ser utilizado para estimar los riesgos de brotado. A temperatura ambiente, la dormancia se va perdiendo con el almacenaje a temperaturas compatibles con una adecuada germinación (Corbineau & Côme, 1980) y esta pérdida se incrementa con temperaturas más altas (Simpson, 1990). A la inversa cuando se almacena a -18°C , la dormancia se mantiene (Lenoir *et al.*, 1983). También en la salida de la dormancia, los granos se vuelven menos sensibles al efecto inhibitorio de la germinación producido por la falta de oxígeno (Bradford *et al.*, 2008) y por la luz (Barrero *et al.*, 2009). El porcentaje medio de oxígeno en cebada que permite la germinación es 36,30% y 0,30% en la cosecha y luego de 9,5 meses de almacenaje a 20°C (Bradford *et al.*, 2008).

En la germinación emerge la radícula y comienza la aparición de las raíces seminales que conjuntamente con la radícula, forman el sistema radical primario. Este sistema pierde su importancia cuando comienza el desarrollo de las raíces principales o verdaderas. Estas últimas comienzan a formarse al estado de tercera hoja, desde la corona de la planta ubicada en el subnudo correspondiente al punto de unión del mesocotilo con el coleoptilo y son las encargadas de proveer agua y nutrientes.

Una de las principales diferencias con respecto a trigo en esta etapa es que la semilla de cebada presenta un tamaño mayor, por consiguiente, un embrión más grande. Por otra parte, la cebada tiene hojas más finas, por lo que la superficie de hojas por unidad de masa de hojas es más grande, lo que compensa su menor tasa de asimilación con respecto a trigo y resulta en mayor superficie de hojas y crecimiento (López Castañeda *et al.*, 1995), dando un mayor vigor inicial de las plántulas, pudiendo observarse que las primeras hojas son más largas y anchas en cebada (Fig. 14.2). Además, las hojas son de un color verde más claro que las de trigo, siendo en general glabras. En la zona de unión de la vaina con la lámina se encuentran las aurículas abrasadoras y glabras que diferencian a la cebada de otros cereales en estado vegetativo, que tienen aurículas más cortas. Similar a lo que ocurre en trigo, externamente durante esta etapa se observa la aparición y despliegue de hojas. A nivel interno, el ápice continúa diferenciando primordios foliares.

Al igual que en trigo, el pasaje al estado reproductivo está condicionado por la temperatura, el fotoperíodo y la vernalización que modifican la tasa de desarrollo del cultivo y, por lo tanto, influyen en la duración de las etapas ontogénicas. La temperatura, al igual que en trigo es un factor universal, afectando en todas las etapas del cultivo y a medida que esta aumenta se produce un acortamiento de las fases, por lo tanto, el ciclo será más corto. De acuerdo a los

estudios realizados por Takahashi & Yasuda (1971), el hábito primaveral en cebada está determinado por tres genes (*Vrn1*, *vrn2* y *Vrn3*). Los dos genes dominantes y uno recesivo son responsables del hábito primaveral, en tanto que solo el haplotipo conteniendo la combinación de *vrn1*, *Vrn2* y *vrn3* condiciona hábito invernal, es decir con requerimientos de vernalización. En los cultivares argentinos para grano, este requerimiento no ha sido detectado (Whitechurch *et al.*, 2007; Alzueta *et al.*, 2014; Dietz, 2021), aunque si se ha detectado en los cultivares para forraje (Miralles *et al.*, 2011). En cuanto al fotoperíodo, es una planta cuantitativa de día largo, esto nos indica que a medida que aumenta la duración del día la velocidad de desarrollo aumenta y la longitud del ciclo a diferenciación y floración se acorta (Miralles *et al.*, 2014). Alzueta *et al.*, (2014) reporta umbrales de fotoperíodo de 12,8 y 13,6 h. En tanto que Dietz (2021) determinó que el umbral de fotoperíodo varió entre 13,1 y 13,6 h. Si bien hay algunas evidencias de una fase juvenil corta (Roberts *et al.*, 1998), en Argentina no se ha observado dicho atributo (Miralles *et al.*, 2003). Los valores de precocidad intrínseca encontrados fueron variables entre cultivares (Alzueta *et al.*, 2014; Dietz *et al.*, 2021).



Fig. 14.2. Crecimiento de trigo (a la izquierda) y cebada (a la derecha) a los 10 días de la siembra en condiciones de laboratorio.

Etapa reproductiva

Al igual que lo señalado en trigo esta etapa abarca la reproductiva temprana y la reproductiva tardía.

Etapa reproductiva temprana

Corresponde al período que va desde la diferenciación reproductiva (doble lomo) hasta la formación de todas las espiguillas, que coincide con el inicio de la encañazón; en tanto que la reproductiva tardía abarca desde ese momento hasta la floración. La **etapa reproductiva temprana** comienza generalmente entre 3 y 6 hojas, de manera que el macollaje que comienza generalmente en tres o cuatro hojas desplegadas, se produce en esta fase. Cuando se alcanza el estado de doble lomo, el ápice deja de diferenciar hojas, y comienza a diferenciar las espiguillas que conformaran la espiga, que a diferencia de trigo se diferencian en forma acrópeta (desde la base hacia la punta). También de manera diferente a lo que sucede en trigo, las espigas de cebada no presentan una espiguilla terminal que señale el cese de la diferenciación de espiguillas. Sin embargo, este hecho puede identificarse cuando comienza la elongación de las aristas de las espiguillas más desarrolladas dentro de la espiga (García del Moral *et al.*, 1991) que son las basales, por ser las primeras en formarse. Durante este periodo el meristema apical se ubica en el lugar de unión del mesocotilo con el coleóptilo, por debajo de la superficie del suelo. La espiga presenta un raquis central que está compuesto por 10 a 30 nudos. En cada artejo del raquis de la espiga se diferencian tres primordios de espiguillas (dos laterales y una central), denominado "triple arruga". Cada uno de estos primordios seguirá su crecimiento y desarrollo en las cebadas de seis hileras, mientras que en las de dos hileras se atrofian las espiguillas laterales perdurando sólo la espiguilla central (Miralles *et al.*, 2011).

Al igual que en trigo hay sincronía entre la aparición de hojas y la de macollos (Kirby *et al.*, 1985). La cebada tiene un mayor potencial de macollaje que el trigo y en las cebadas de dos hileras este potencial es mayor (García del Moral & García del Moral, 1995). El filocrono de cebada tiende a ser mayor o al menos igual que el de trigo, con escasas diferencias en el número final de hojas. Se demostró que la tasa de aparición de macollos fue mayor en cebada que en trigo. El número máximo de macollos estuvo positivamente asociado a la tasa de aparición de los mismos y aunque la finalización del macollaje fue similar en ambas especies, en cebada el número de macollos fue mayor debido a estas diferencias en la tasa de aparición. Asimismo, un mayor número máximo de macollos estuvo relacionado a una mayor tasa de mortalidad, aunque el número final de macollos estuvo estrechamente ligado al número máximo y por lo tanto el número final se definió durante la fase temprana del macollaje. Además, la cebada presenta mayor cantidad de macollos iniciados por hoja aparecida que el trigo (Alzueta *et al.*, 2012). Se ha determinado que una mayor duración de la fase vegetativa conduce a un incremento del número de hojas desarrolladas, macollos y espiguillas, pero tiene un efecto negativo en la supervivencia de las espiguillas (Kitchen & Rasmusson, 1983).

En el ápice que ha pasado al estado reproductivo se suceden diferentes estadios: doble lomo, triple arruga, primordios de glumas, primordios de glumelas, primordios de estambres y pistilos, carpelos, estilos y finalmente de aristas (Kirby & Appleyard, 1987). Los órganos florales comienzan a diferenciarse en la fase reproductiva temprana luego de doble lomo y triple arruga y continúan en la tardía. El doble lomo se compone al igual que en trigo de primordios de hojas en el lomo inferior y de espiguillas en el superior. Pero en este último se desarrollan tres montículos, uno central que corresponde a la espiguilla central y dos que corresponden a las laterales.

Se observaron mayor número de espiguillas en cebadas de seis hileras que en cebadas de dos hileras. La variación del número de espiguillas por espiga cuando todas las espiguillas se han formado es mayor en cebadas de seis que de dos hileras (Kernich *et al.*, 1997). También se ha determinado que la tasa de supervivencia de las espiguillas fue más alta en la de dos hileras, ya que las de seis tienen más espiguillas por espiga y tienen mayor mortalidad (Kirby & Appleyard, 1987; Arisnabarreta & Miralles, 2006). La diferencia en mortalidad entre ambas cebadas se debe a competencia por asimilados (Kirby, 1988; Arisnabarreta & Miralles, 2004) o a la posición de las espiguillas en la espiga (Arisnabarreta & Miralles, 2006). Kirby & Appleyard (1987) habían determinado que incrementar la duración de la etapa entre el estadio de triple montículo hasta espigazón puede aumentar el rendimiento de la cebada (Kirby & Appleyard, 1987), en tanto que Alqudah & Schnurbusch (2014) determinaron que el aborto comenzó inmediatamente después de que se formaran todas las espiguillas (indicado por la aparición de las aristas en las espiguillas inferiores) y que el mayor porcentaje de abortos se produjo hasta la aparición de las aristas por arriba de la vaina de la hoja bandera (EC49) (Zadoks *et al.*, 1974) y estuvo negativamente correlacionado con el número de espiguillas y con el tiempo térmico requerido para alcanzar el estadio de formación de todas las espiguillas.

Asimismo, Miralles *et al.* (2000) y Alqudah & Schnurbusch (2014) determinaron que la espiga principal juega un papel importante en el rendimiento por planta. También destacaron la importancia de la extensión del período desde la formación de la última espiguilla hasta espigazón para incrementar el rendimiento a través de una mayor supervivencia de espiguillas.

Etapa reproductiva tardía

Cuando se han formado todas las espiguillas de la espiga comienza la **etapa reproductiva tardía**, que puede denominarse también tercer subperíodo. En ese momento comienza la encañazón, se produce un ligero engrosamiento del primer nudo que puede visualizarse muy cerca de la superficie del suelo. Al inicio de esta etapa, termina la diferenciación de macollos y comienzan a morir aquellos que no lograron diferenciar el doble lomo, cesa la diferenciación de espiguillas y continúa la diferenciación de flores que comenzó en la etapa anterior. Hay un importante crecimiento del tallo que estará formado por 5 a 7 entrenudos y puede alcanzar una altura entre 0,6 a 1,3 m, se produce la elongación de entrenudos y luego el crecimiento de la espiga por lo que tallo y espiga compiten por fotoasimilados y nutrientes (Miralles *et al.*, 2014). Las tasas de crecimiento en este momento resultan fundamentales, se encuentra una asociación importante de este parámetro con el número de granos por unidad de área (Arisnabarreta & Miralles, 2008).

La última hoja (bandera) presenta en cebada un área inferior al resto de las hojas, el cultivo alcanza su máximo índice de área foliar, luego la espiga alcanza el estado de bota o vaina engrosada en que la espiga se encuentra encerrada en la vaina de la hoja bandera. Luego aparecen las aristas, en los cultivares que las poseen, por encima de la vaina de la hoja bandera. Esto en cebada indica que las flores están completamente desarrolladas para ser polinizadas (Waddington *et al.*, 1983) y la fecundación (cleistógama) se produce cuando las espiguillas se encuentran encerradas en la vaina de la hoja bandera. Esto implica que no puede advertirse la

antes de como sucede en trigo por extrusión de anteras de las espiguillas. La visualización de este estadio en cebada se produce cuando aparecen las aristas por encima de la vaina de la última hoja y en ese momento se define el número de espigas y de flores fértiles por espiga (Miralles *et al.*, 2011).

Un porcentaje importante de las flores (37 y 56% en cebadas de dos y seis hileras) mueren antes de llegar al estado de flor fértil principalmente en la región distal de la espiga (Arisnabarrera & Miralles, 2006). Se produce el desarrollo de las anteras que atraviesan tres estadios, anteras blancas, translúcidas que comienzan a elongar y comienza también el desarrollo de estilos y estigmas, luego se sucede el estadio de anteras verdes y aparecen los estigmas y se produce la meiosis y finalmente el estadio de anteras amarillas en que se forma el polen y el estigma está receptivo (Kirby & Appleyard, 1987).

Desarrollo y llenado del grano

Esta fase, que puede denominarse también como cuarto subperíodo, comienza luego de la fecundación, y abarca el crecimiento del grano y la madurez. Al igual que en trigo, luego de la fecundación ocurre una fase “lag” o cuaje donde hay una activa división celular, que define el número de células endospermáticas y por ende el peso potencial del grano. Al finalizar esta fase de diferenciación celular, queda definido el número de granos y comienza el llenado efectivo, el cual se caracteriza por la acumulación de materia seca en el grano. La tasa de llenado y la duración de esta etapa definirán el peso de los granos. De manera similar a lo descrito para trigo, a medida que avanza este periodo, el grano atraviesa los estados de grano lechoso, pastoso (se produce la madurez fisiológica), grano duro y grano maduro. Entre grano lechoso y pastoso se produce el “plateau hídrico” en que la cantidad de agua que entra y la que se pierde se equilibran y en la que es muy importante el abastecimiento hídrico ya que se produce la mayor tasa de crecimiento del grano. Al alcanzar la madurez fisiológica queda definido el peso de los granos y el rendimiento del cultivo (Miralles *et al.*, 2014). Alqudah *et al.* (2011) reportaron que un estrés por sequía en este período lo acorta y decrece el peso del grano y el rendimiento, por lo que incrementar la longitud del mismo es un objetivo en los programas de mejoramiento.

Generación de rendimiento

El rendimiento se genera mediante los mismos modelos descritos en trigo. En el caso de cebada la hoja bandera es pequeña, aunque siguen siendo las hojas superiores las que concentran la mayor proporción de la radiación interceptada y su área foliar y el coeficiente de extinción determinarán la fracción de radiación interceptada por las hojas inferiores (Carretero *et al.*, 2010). Al igual que en trigo y otros cultivos, en cebada las variaciones en rendimiento son explicadas por los cambios en el número de granos por unidad de área, ya que en general hay menores asociaciones entre el rendimiento y el peso de granos (García del Moral *et al.*, 2003).

Una diferencia con lo que sucede en trigo es que cada espiguilla puede tener entre 9 y 12 primordios de flores y de las que dan grano hasta 4 o excepcionalmente 5, en cebada cada espiguilla diferencia un primordio que posteriormente podrá constituirse o no en una flor fértil que dará grano (Arisnabarreta & Miralles, 2006). Por ello, el número de granos por unidad de área está más asociado a cambios en el número de espigas por unidad de área que a variaciones en el número de granos por espiga, ya que tiene poca plasticidad para modificar el número de granos por espiga. Esto significa que para aumentar el número de granos por unidad de área se debe incrementar el número de espiguillas fértiles por espiga, de manera de aumentar el número de granos por espiga y/o el número de espigas fértiles.

El período crítico de la cebada se ubica unos días antes que el de trigo si se lo considera desde el 50% de espigazón, ya que se produce entre 10 y 40 días previos a la espigazón. Sin embargo, si se tiene en cuenta la verdadera floración del cultivo que es cuando aparecen las aristas, es similar a trigo (unos 30 días antes de ese estadio). El período crítico para la determinación del número de granos por espiga para cebadas de dos hileras es entre espigazón y los 25 días previos a dicho estadio, en tanto para el número de espigas por unidad de superficie se estableció entre 20 y 40 días previos a la espigazón por lo que el período crítico en cebadas de dos hileras puede considerarse algo anterior al del cultivo de trigo debido principalmente a la contribución de espigas por unidad de superficie (Arisnabarreta & Miralles, 2008).

El peso de mil granos es de suma importancia dado que al menos el 85% del grano debe poseer un calibre mayor a 2,5 mm (SAGyP, 2007), con una tolerancia de 80% y a su vez una tolerancia de 4% de granos que pasen la zaranda de 2,2 mm. Alcanzar estos valores puede dificultarse con altos rendimientos. Alvarez Prado *et al.*, 2013 demostraron un ligero incremento en peso de mil granos en cebada, con respecto a trigo cuando se aumentó la relación fuente/destino, lo que indica que la cebada está más limitada por fuente. Aunque en ambientes relativamente secos se ha encontrado más limitación por destino en cebada que en trigo (López Castañeda & Richards, 1994; Bingham, 2009).

Referencias

- Alvarez Prado, S., Gallardo, J.M., Serrago, R., Kruk, B. & Miralles, D. (2013). Comparative behavior of wheat and barley associated with field release and grain weight determination. *Field Crops Research* 144, 28-33.
- Alzueta, I., Abeledo, L.G., Mignone, C.M. & Miralles, D.J. (2012). Differences between wheat and barley in leaf and tillering coordination under contrasting nitrogen and sulfur conditions. *European Journal of Agronomy* 41, 92-102.
- Alqudah, A.M., Samarah, N.H. & Mullen, R.E. (2011). "Drought stress effect on crop pollination, seed set, yield and quality, En E. Lichtfouse (Ed.) *Alternative farming systems, biotechnology, drought stress and ecological fertilization* (193-213), Netherlands: Springer.
- Alqudah, A.M. & Schnurbusch, T. (2014). Awn primordium to tipping is the most decisive developmental phase for spikelet survival in barley. *Functional Plant Biology* 41, 424-436.

- Alzueta, I. Arisnabarreta, S. Abeledo, L.G. & Miralles, D.J. (2014). A simple model to predict phenology in malting barley based on cultivar thermo-photoperiodic response. *Computers and Electronics in Agriculture*, 107, 8-19.
- Arisnabarreta, S. & Miralles, D.J. (2006). Floret development and grain setting in near isogenic two and six rowed barley lines (*Hordeum vulgare* L.). *Field Crop Research*, 96, 466-476.
- Arisnabarreta, S. & Miralles, D.J. (2008). Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two and six row barley. *Field Crop Research* 107, 196-202
- Bard, A. Müller, K., Schafer-Pregl, R., El Rabey, H., Effgern, S., Ibrahim, H. Pozzi, C., Rohde, W. & Salanini, F. 2000. On the Origin and Domestication History of Barley (*Hordeum vulgare*). Oxford Journals. *Molecular, Biology & Evolution* 17, 499-510.
- Barrero, J.M., Talbot, M.J., White, R.G., Jacobsen, J.V. & Gubler, F. (2009) Anatomical and transcriptomic studies of the coleorhiza reveal the importance of this tissue in regulating dormancy in barley. *Plant Physiology* 150, 1006–1021.
- Bingham, I.J., Walters, D.R., Foulkes, M.J. & Paveley, N.D. (2009). Crop traits and the tolerance of wheat and barley to foliar disease. *Annals of Applied Biology*, 154, 159-173.
- Bonnett, O.T. (1966). Inflorescences of maize, wheat, rye, barley, and oats: their initiation and development. *University of Illinois College of Agriculture, Agricultural Experiment Station Bulletin. Champaign, IL* 721, 59–77.
- Bradford, K.J., Benech-Arnold, R., Côme, D. & Corbineau, F. (2008) Quantifying the sensitivity of barley seed germination to oxygen, abscisic acid and gibberellin using a population-based threshold model. *Journal of Experimental Botany* 59, 335–347.
- Carretero, R. Serrago, R.A. Bancal, M.O. Perelló, A.E.D. & Miralles, D.J. (2010). Absorbed radiation and radiation use efficiency as affected by foliar diseases in relation to their vertical position into the canopy in wheat. *Field Crops Research*, 116, 184-195.
- Cattáneo, M. (2013). El cultivo de cebada en Argentina. 4º Congreso Latinoamericano de Cebada, Bahía Blanca 30 de octubre al 1 de noviembre de 2013.
- Cattáneo, M. (2019). Cebada cervecera. Recuperado de <http://www.cebadacervecera.com.ar>.
- Corbineau, F. & Côme, D. (1980) Quelques caractéristiques de la dormance du caryopse d'Orge (*Hordeum vulgare* L., variété Sonja). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, série D* 290, 547–550.
- Dietz, J.I. (2021). *Determinación del período crítico y requerimientos de fotoperíodo y vernalización en avena*. Tesis doctoral. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/116959>
- García del Moral, L.F. Ramos, J.M. García del Moral, M.B. & Jiménez Tejada, M.P. (1991). Ontogenic approach to grain production in spring barley base on path coefficient analysis. *Crop Science* 31, 1179-1185.
- García del Moral, L. F. García del Moral, M. B. Molina-Cano, J. L. & Slafer, G. A. (2003). Yield stability and development in two-and six-rowed winter barleys under Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 8, 109-119.
- García del Moral, M.B. & García del Moral, L.F. (1995). Tiller production and survival in relation to grain yield in winter and spring barley. *Field Crops Research* 44, 85–93.

- GRDC (Grain Research and Development Corporation). Growth Notes. Barley. Chapter 5: Crop Growth and Physiology. Recuperado de <http://www.GrowNote-Barley-North-4-Physiology.pdf> (grdc.com.au).
- Kernich, G.C., Halloran, G.M. & Flood, R.G. (1997). Variation in duration of pre-anthesis phases of development in barley (*Hordeum vulgare*). *Australian Journal of Agricultural Research* 48, 59-66.
- Kirby, E.J.M., Appleyard, M. & Fellowes, G. (1985). Leaf emergence and tillering in barley and wheat. *Agronomie* 5, 193-200.
- Kirby, E. & Appleyard, M. (1987). *Cereal development guide*. Stoneleigh, UK: NAC Cereal Unit.
- Kirby, E.J.M. (1988). Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. *Field Crops Research* 18, 127-140.
- Kitchen, B.M. & Rasmusson, D.C. (1983). Duration & inheritance of leaf initiation spike initiation & spike growth in barley. *Crop Science* 23, 939-943.
- Lenoir, C., Corbineau, F. & Côme, D. (1983) Rôle des glumelles dans la dormance des semences d'orge. *Physiologie Végétale* 21, 633-643.
- López Castañeda, C. & Richards, R.A. (1994). Variation in temperate cereals in rainfed environments. I. Grain yield, biomass and agronomic characteristics. *Field Crops Research*, 37, 51-62.
- López Castañeda, C. & Richards, R.A. (1995). Variation in early vigour between barley and wheat. *Crop Science* 35, 472-479.
- Lundqvist, U. & Lundqvist, A. (1988). Induced intermedium mutants in barley - origin, morphology and inheritance. *Hereditas*, 108, 13-26.
- Miralles, D.J., Richards, R.A. & Slafer, G.A. (2000). Duration of the stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 27, 931-940.
- Miralles, D.J. Slafer, G.A. Richards, R.A. & Rawson, H.M. (2003). Quantitative developmental response to the length of exposure to long photoperiod in wheat and barley. *The Journal of Agricultural Science*, 141, 159-167.
- Miralles, D. Benech Arnold, L. & Abeledo, G. (2011). *Cebada cervecera*. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora.
- Miralles, D.J. González, F.G. Abeledo, L.G. Serrago, R.A. Alzueta, I. García, G.A. De San Caledonio, R.P. & Lo Valvo, P. (2014). *Manual de trigo y cebada para el cono sur procesos fisiológicos y bases de manejo*. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora. 56p.
- Molina Cano, J.L., Fra-Mon, P., Salcedo, G., Aragoncillo, C., Roca de Togores, F. & Garcia-Olmedo, F. (1987). Morocco as a possible domestication center for barley: biochemical and agromorphological evidence. *Theoretical and Applied Genetics*, 73, 531-536.
- Molina Cano, J. L. (1989). *La cebada*. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.
- Moralejo Vidal, M. (1993). Cebadas dísticas españolas (*Hordeum vulgare* L.): filogenia, bioquímica y aplicación potencial en programas de mejora (Tesis doctoral). Recuperado de <https://www.tdx.cat/handle/10803/8340>.

- Moralejo, M. Romagosa, I. Salcedo, G. Sanchez-Monge, R. & Molina-Cano, J. L. (1994). On the origin of Spanish two-rowed barleys. *Theoretical and Applied Genetics* 87, 829-836.
- Roberts, E.H. Summerfield, R.J. Cooper, J.P. & Ellis, R.H. (1988). Environmental control of flowering in barley (*Hordeum vulgare* L.). I: Photoperiod limits to long day responses, photoperiod insensitive phases and effects of low temperature and short day vernalization. *Annals of Botany* 62, 127-144.
- Rodriguez, M.V., González Martín, J., Insausti, P., Margineda, J.M. & Benech-Arnold, R.L. (2001). Predicting preharvest sprouting susceptibility in barley: a model based on temperature during grain filling. *Agronomy Journal* 93, 1071–1079.
- SAGyP. (2007). Normas de calidad y comercialización de cebada cervecera. Resolución 446/07. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-446-2007-135785/actualización>
- Salas Salvadó, J., Garcia – Lorda, P. & Sánchez Ripollés, J. M. (2005). *La alimentación humana y la nutrición a través de la historia*. Barcelona. Editorial Glosa.
- Simpson, G.M. (1990). *Seed dormancy in grasses*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Takahashi, R. & Yasuda, S. (1971). Genetics of earliness and growth habit in barley. En (R.A. Nilan) *Barley Genetics II (Proceedings of the Second International Barley Genetics Symposium)*. (388–408). Pullman, WA. Washington State University Press.
- Tomaso, J.C. (2004). Cebada cervecera en la Argentina. *Cereales. Revista IDIA XXI* (6), 201-216.
- USDA. (2021). Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Recuperado de <https://www.usda.gov/>
- Waddington, S.R. Cartwright, P.M. & Wall, P.C. (1983). A quantitative scale of spike initial and pistil development in barley and wheat. *Annals of Botany* 51, 119-130.
- Whitechurch, E.M. Slafer, G.A. & Miralles, D.J. (2007). Variability in the duration of stem elongation in wheat and barley genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193, 138-145.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T. & Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14, 415-421.

CAPÍTULO 15

Cebada cervecera: época y densidad de siembra

Laura Victoria Da Silva y Juan Ignacio Dietz

Época de siembra

La época de siembra es una práctica agronómica determinante del rendimiento y calidad de los cultivos, mediante la cual se sincroniza el crecimiento y desarrollo de los cultivos con las condiciones óptimas de temperatura, fotoperiodo, radiación y disponibilidad de agua, según requerimientos en cada una de las etapas fenológicas de los mismos. La época de siembra de la cebada estará condicionada por diversos factores: fecha media de última helada, disponibilidad de agua en el perfil del suelo, cultivar, momento en que debe liberarse el lote (si se plantea como antecesor de un cultivo de segunda), ubicación del período crítico y posibilidad de golpe de calor durante el llenado de grano, entre otros.

Al plantearse la factibilidad de un cultivo en un área determinada, se debe reconocer que las épocas más apropiadas para la siembra y cosecha implican diferencias por región productiva. Es importante no sólo conocer los requerimientos del cultivo sino también considerar las restricciones y limitantes que el clima y el suelo ejercerán sobre el mismo, y adecuar la época de siembra y el ciclo del cultivar de acuerdo a las condiciones específicas de la región cultivable. Numerosos trabajos en cebada (Tomaso & Paleo, 1994; Giménez *et al.* 2004; Giménez *et al.* 2007) han documentado la importancia de la época de siembra según el ciclo del cultivar, en la determinación del rendimiento y la calidad de grano. En este sentido, Tomaso & Paleo (1994), en ensayos realizados en la localidad de Bordenave, encontraron que atrasos en la época de siembra disminuían el rendimiento y el tamaño de los granos en la mayoría de los genotipos, en tanto que Giménez *et al.* (2004) encontraron interacción entre los genotipos y las épocas de siembra, resultando las épocas intermedias las óptimas en rendimiento y tamaño de los granos.

Las condiciones ambientales donde se desarrollarán los cultivos variarán dependiendo de la ubicación geográfica. Un aspecto adicional a considerar es que la superficie destinada al cultivo de cebada en Argentina se incrementó marcadamente durante los últimos años, debido a la expansión geográfica del cultivo dentro de Región Pampeana en particular en zonas ambientalmente contrastantes: (i) una caracterizada por restricciones hídricas de severas a moderadas (sudoeste bonaerense) y (ii) otra definida como de alta potencialidad (sudeste bonaerense) (Abeledo & Miralles, 2011). La superficie sembrada con cebada para la campaña 2020 rondó las 850000 ha (Cattáneo & Cortese, 2020).

La adaptabilidad del cultivo a las diferentes regiones productoras requiere la correcta elección de la fecha de siembra, así como también del cultivar. La cebada es un cereal de invierno que en estas latitudes se siembra en los meses de mayo, junio, julio y en la primera quincena de agosto con temperaturas frías que aseguran la germinación de la semilla [las temperaturas durante la época de siembra se ubican en el rango de 5 a 12 °C dependiendo de la localidad (Miralles *et al.* 2014)], y favorecen la etapa vegetativa del cultivo. En este sentido, gran parte de la zona de cultivo cumple con estos requisitos de temperatura requeridos durante una época bastante amplia, por lo que no sería un factor limitante para la siembra del cultivo. Además, la época de siembra determinará las buenas condiciones de radiación y temperatura durante el período crítico del cultivo, minimizando el riesgo de heladas tardías durante la floración y de golpes de calor durante el llenado de granos. Asimismo, la cosecha coincidirá con los meses de noviembre, diciembre y eventualmente los primeros días de enero, con condiciones de temperatura y humedad adecuadas para el correcto secado de los granos.

En lo que respecta a los requerimientos edáficos, la cebada responde muy bien a suelos de textura liviana (franco, franco limoso, y franco arcilloso) y profundos (Beratto, 2001), con niveles óptimos de pH entre 6.0 a 8.5, siendo susceptible a suelos ácidos (pH 5.2 o inferiores) y tolerante a suelos alcalinos (Beratto, 2001). Es fundamental que la siembra se realice con buenas condiciones de humedad en el suelo y que la misma sea suficiente para la buena implantación del cultivo. No obstante, excesos de humedad en las primeras etapas del cultivo puede ocasionar pérdida de plantas.

Fecha de siembra y elección del cultivar

La fecha de siembra y elección del cultivar son dos prácticas agronómicas que fijan el ambiente en el que crecerán y se desarrollarán las plantas, determinando el rendimiento y la calidad de grano a cosecha; ambos parámetros deben ser definidos al inicio del planteo productivo. El impacto en el rendimiento de heladas durante las etapas de floración (y en menor medida en etapas de llenado de granos) ha sido ampliamente documentado en cereales de invierno (Dolferus *et al.*, 2011; Fredericks *et al.*, 2015; Martino & Abbate, 2019); por ello la correcta elección de la fecha de siembra debe considerar la fecha de ocurrencia de última helada, la cual es variable según la zona de producción. En cebada, además, es fundamental considerar la probabilidad de golpes de calor durante el llenado de granos, debido a la importancia de la calidad en este cultivo.

Definida la fecha de última helada, se deben considerar los requerimientos térmicos de los cultivares para adecuar los mismos a la duración de la estación de crecimiento. La estación de crecimiento disponible para un cultivo está determinada por el período de ocurrencia de heladas y por la diferente sensibilidad a las mismas que presenta cada una de las especies. El criterio antes expuesto no implica la elección de una única fecha de siembra y ciclo del cultivo, sino un límite de referencia dentro del cual los distintos genotipos pueden producirse en función de otras restricciones. Es importante destacar que la fecha de última helada para

cada localidad presenta una fuerte variación entre años. Además, en la mayor parte de la región Pampeana se ha observado, en los últimos años, el retraso en la fecha de primeras heladas y el adelantamiento de las últimas heladas, determinando un periodo libre de heladas más amplio (Fernández Long *et al.*, 2005). Definida la fecha de última helada debe considerarse el régimen de precipitaciones de cada región, siendo otra variable importante a considerar al momento de establecer la fecha de siembra más adecuada, ya que períodos de lluvia y sequía determinarán la disponibilidad de los recursos hídricos impactando en la productividad de los sistemas agropecuarios.

La fecha de siembra condiciona la disponibilidad hídrica (y más precisamente la evapotranspiración potencial) a la cual queda expuesto el cultivo durante su estación de crecimiento. En sistemas de producción en seco, las precipitaciones ocurridas durante el ciclo son la principal fuente de agua para el cultivo. Del mismo modo, el rendimiento en cebada, al cultivarse en una estación seca como el invierno, guarda una estrecha relación con el agua disponible almacenada en el perfil del suelo a la siembra (Moeller *et al.*, 2009; Anderson, 2010). Esto cobra gran importancia en el cultivo de cebada ya que este es tradicionalmente realizado en regiones sub-húmedas a semiáridas (Acevedo & Fereres, 1993). Una menor disponibilidad de agua durante el establecimiento del cultivo (fase siembra-emergencia), y principalmente durante el periodo crítico para la definición del número de granos.m⁻², ocasionarán una reducción del rendimiento potencial, por ello es fundamental adecuar el ciclo de cultivo a disponibilidad hídrica del ambiente, ubicando el periodo crítico fuera de los momentos de mayor estrés. De acuerdo con Magrín (1990), la fecha de anthesis se adelantaría con un estrés hídrico moderado y se retrasaría con un estrés más severo, pudiendo modificarse la fecha en que finaliza el periodo de crecimiento de la espiga. En contrapartida, aumentos de humedad durante el llenado de granos propician la aparición de enfermedades fúngicas foliares como el complejo de royas y manchas. Por lo tanto, establecida la ubicación del periodo crítico, la fecha óptima de floración y el periodo de llenado de grano en función del ciclo del cultivar, del bajo riesgo de ocurrencia de heladas tardías, requerimientos térmicos y de la disponibilidad de agua se puede definir la fecha de siembra óptima.

Cualquier planteo productivo busca obtener altos rendimientos, y tanto la fecha de siembra como la elección del cultivar son dos herramientas fundamentales para dicho fin. Asimismo, en cebada, la obtención de granos de calidad es de mayor trascendencia que en otros cultivos, debido a su uso industrial, en la elaboración de cerveza.

Efecto de la fecha de siembra sobre factores ambientales explorados por el cultivo

En un cultivo sin limitantes de agua, suelo, nutrientes y libre de adversidades, el crecimiento y desarrollo dependen de la radiación solar que intercepta, la vernalización (en aquellos genotipos con requerimientos) y del largo del día (fotoperiodo), de la temperatura. Numerosos trabajos en cebada mencionan que dichos factores son responsables y condicionantes del creci-

miento y desarrollo (Roberts *et al.*, 1988; Miralles *et al.*, 2011; Miralles *et al.*, 2014; Dietz; 2021), siendo la sensibilidad a cada factor variable entre los genotipos. Como estos factores varían marcadamente durante el año, la modificación de la fecha de siembra determinará un cambio en el ambiente que explorarán las plantas (Otegui & López Pereira, 2003).

Vernalización y fotoperiodo

Como ha sido descripto previamente la temperatura, la vernalización y el fotoperiodo son los factores que modifican la tasa de desarrollo en cereales de invierno, siendo responsables de los cambios en la duración de la etapa emergencia- floración (DEF). Cambios en las fechas de siembra modificarán las horas de frío brindadas por el ambiente, las cuales tendrán implicancias sobre el desarrollo del cultivo en aquellos genotipos con respuesta a la vernalización. El estudio de la interacción entre vernalización y fecha de siembra en una localidad determinada es de gran importancia, ya que pueden darse situaciones tales como el caso de localidades sin horas de frío, retrasos o adelantos en las fechas de siembra, y por lo tanto conocer la respuesta de los genotipos de cebada bajo esas condiciones resulta de interés. Dietz (2021) estudiando el efecto de la vernalización y el fotoperiodo en cereales de invierno, encontró que retrasos en las fechas de siembra ocasionaron un aumento en la duración de la etapa emergencia a floración (medida en °C día) en aquellos genotipos con requerimientos de vernalización (siendo de diferente magnitud según genotipos), lo cual se asoció a la menor cantidad de horas de frío brindadas por el ambiente a medida que se desplazaron las fechas de siembra. Si bien en la actualidad los cultivares de cebada sembrados en Argentina no presentan requerimientos de vernalización (Alzueta *et al.*, 2014; Dietz, 2021), la mejora continua del germoplasma e incorporación de nuevos materiales podría cambiar dicha situación.

Al igual que lo anteriormente expuesto para vernalización, cambios en las fechas de siembra modifican el fotoperiodo al cual son expuestas las plantas, afectando la duración de las etapas de desarrollo y con ello el rendimiento y calidad del cultivo de cebada. Al adelantar la fecha de siembras las plantas estarán expuestas a fotoperiodos más cortos durante las etapas iniciales de su ciclo, y a la inversa cuando se retrasa la misma. La respuesta fotoperiódica en cebada varía según la sensibilidad de los cultivares a dicho factor (Miralles *et al.*, 2003; Alzueta *et al.*, 2014; Dietz, 2021), determinado la adaptabilidad al ambiente. En este sentido, Dietz (2021) encontró diferencias en la duración de la etapa emergencia-floración en genotipos argentinos de cebada, en respuesta a cambios en la fecha de siembra. El autor señala que incrementos en la duración del día reducen la duración de la etapa (medida en °C día) y por lo tanto, en cebadas argentinas, al no mostrar requerimientos de vernalización, el ciclo a anthesis dependerá de la fecha de siembra (que modifica el fotoperiodo).

Al efecto del fotoperiodo sobre la duración de las etapas de desarrollo (aceleración de la tasa de desarrollo), hay que sumarle el mismo efecto que causa el aumento de las temperaturas medias, como resultado del retraso en la fecha de siembra. Cuando las plantas son expuestas a temperaturas más elevadas, las etapas transcurren más rápidamente (Slafer *et al.* 2003) lo que ocasionará fuertes acortamientos de las etapas, y por consiguiente caídas en el rendimiento.

Radiación y temperatura

Otros aspectos a tener en cuenta, los cuales resultan limitantes para la elección de la fecha de siembra, son la radiación y las temperaturas máximas y mínimas sobre la óptima establecida para cada cultivo, principalmente en la etapa considerada crítica para la determinación del rendimiento y también para la etapa de llenado de granos. No obstante, temperaturas sub y supra-óptimas pueden tener efectos negativos sobre las diferentes etapas fenológicas.

La interacción ente radiación y temperatura en un ambiente dado sobre la definición de la productividad potencial de un cultivo, se ha traducido en una relación que permite explicar satisfactoriamente el rendimiento en cereales de invierno, esta relación ha sido denominada cociente fototermal (Otegui & López Pereira, 2003). La fecha de siembra determina el cociente fototermal que cada cultivo explorará a lo largo de su ciclo y, especialmente, durante las etapas críticas para la determinación de rendimiento. Aunque el rendimiento potencial de los cultivos podría maximizarse eligiendo fechas de siembra que tiendan a ubicar los periodos críticos del cultivo en épocas con relaciones fototermales altas, la presencia de restricciones de mayor importancia (heladas tardías, disponibilidad hídrica) impide el uso de este criterio como elemento de decisión (Otegui & López Pereira, 2003). En la región Pampeana, las heladas tardías determinan que la espigazón en cebada deba ocurrir con posterioridad a los meses agosto-septiembre, momentos en que el cociente fototermal es máximo.

Temperaturas superiores a la denominada óptima, particularmente durante el periodo de llenado de granos de los cultivos, es otra variable a considerar al momento de seleccionar la fecha de siembra. Evans *et al.* (1978) señalan que en cebada el crecimiento inicial de los granos ocurre en forma óptima con temperaturas de 16 a 19 ° C, y hacia el final de la etapa de llenado de granos, la temperatura óptima es de 24 ° C. Además, varios autores (Schelling *et al.*, 2003) afirman que la duración del periodo de llenado del grano influye en el rendimiento y calidad de la cebada. Temperaturas moderadamente altas (25 a 32°C) durante todo el período ocasionarán una aceleración de los procesos, provocando un aumento en la tasa de llenado de los granos con consiguiente reducción del peso individual de los mismos, y un aumento en la tasa de desarrollo del cultivo reduciendo la duración del periodo (Slafer *et al.*, 2003). El grado de disminución en el peso de los granos dependerá del genotipo, el ambiente y la duración e intensidad de las altas temperaturas. Estas temperaturas moderadamente altas durante el llenado de los granos también pueden tener efectos negativos sobre la composición de estos afectando calidad. El grado de estrés térmico va a depender de la intensidad (moderadamente alta o muy alta) y del régimen de las temperaturas (crónico o intermitente). Al respecto, estudios realizados en trigo por Wardlaw *et al.* (2002) demostraron que el efecto de breves periodos de temperaturas muy altas (>32°C) resultó más perjudicial sobre el peso y la composición de proteínas de grano que el efecto de temperaturas moderadamente elevadas sostenidas durante un período más largo. Con relación a los efectos de breves periodos (3-5 días) de muy altas temperaturas durante el llenado de los granos, diferentes autores (Stone & Nicolas, 1994; Savin *et al.*, 1996) han documentado reducciones en el rendimiento de cebada por disminución tanto en el número como en el peso de los granos.

Efecto de la fecha de siembra en el rendimiento

La elección de la fecha de siembra es una de las prácticas agronómicas más importantes en la determinación del rendimiento de los cultivos sin implicar un cambio en los costos de producción. Como ya ha sido mencionado, la fecha de siembra determina el ambiente que explorará cada cultivo, lo cual repercute en la duración de las etapas ontogénicas que conforman el ciclo de las plantas y en la capacidad de capturar radiación solar. Por ello, es importante estimar los efectos que pueden causar un retraso o anticipo de la fecha de siembra por factores no previstos.

El rendimiento en los cereales suele ser expresado mediante sus dos principales componentes numéricos, el número de granos.m⁻² y el peso promedio de los mismos (Slafer & Rawson, 1994). Numerosas evidencias en cereales de invierno (Slafer *et al.*, 2003; Peltonen-Sainio *et al.*, 2007; Fischer, 2008) han demostrado que, de los dos componentes, el primero es el que mejor explica las variaciones en el rendimiento final. Aunque el número de granos.m⁻² se forma durante todo el ciclo, es posible identificar un momento más breve (*i.e.* periodo crítico) en el cual mermas en la disponibilidad o captación de recursos, provocan las mayores reducciones en el rendimiento. Por ello, los cultivos se deben manejar de forma tal que los períodos críticos para la determinación del rendimiento ocurran en momentos donde las condiciones ambientales son las más favorables para el crecimiento.

En cebada, el número de espigas es el componente principal en la determinación del número de granos.m² (Arisnabarreta & Miralles, 2008), y, por lo tanto, del rendimiento. Las mejores estrategias de manejo tendientes a incrementar el número de granos se centran en aumentar el número de sitios potenciales de formación de futuras espigas, de manera que con un mismo nivel de pérdida de sitios potenciales las caídas de rendimiento sean menores. El momento en que se genera el número potencial de espigas es durante el macollaje, por ello la importancia de propiciar el aumento en la duración de esta etapa. El inicio de macollaje dará comienzo a un período de generación de nuevos vástagos que alcanzarán el máximo de producción coincidiendo aproximadamente con el inicio de encañazón, luego del cual comenzará la mortandad de los mismos hasta establecerse el número final de vástagos fértiles en floración (número de espigas.m⁻²) (Slafer *et al.*, 2003). El alargamiento del macollaje, puede lograrse a través de adelantos en la fecha de siembra.

El efecto de la fecha de siembra sobre la generación de biomasa y rendimiento de los genotipos dependerá del ciclo de los mismos, en cultivares de ciclo largo y siembras tempranas, las plantas al ser expuestas a menores valores de radiación, temperaturas y fotoperiodos más cortos, experimentan una reducción de la tasa crecimiento y de desarrollo, aumentando el periodo vegetativo por mayor número de días (n), lo que se traduce en mayor acumulación de biomasa, macollos, espigas y en consecuencia número de granos. En genotipos de ciclo corto, el efecto de la fecha de siembra sobre el macollaje es menor. En este sentido, (Giménez *et al.* 2007) afirman que los cultivares de ciclos largos deben ser sembrados en épocas tempranas para obtener altos rendimientos. Además, los autores sostienen que para condiciones que no permitan realizar siembras tempranas o se siembren en lotes con limitantes, los genotipos de

ciclo más corto (si bien en algunos casos muestran un potencial de rendimiento menor), ofrecen una mayor estabilidad. De igual manera, Ventimiglia & Torrens Baudrix (2012), señalan que siembras tempranas resultan beneficiosas a pesar de existir riesgos de heladas tardías, asociándose a incrementos en el rendimiento de grano.

Las condiciones ambientales que se presentan durante el periodo crítico de la cebada; i.e. alrededor de floración, van a tener efecto sobre el rendimiento y calidad de grano. En este sentido, diferentes autores (Slafer *et al.*, 2003) coinciden en que el mayor número de granos (y en consecuencia mayor rendimiento) dependerá de (i) el estado del cultivo al momento de iniciar el periodo crítico y (ii) de las condiciones de que disponga el cultivo durante ese período, de allí la importancia de la correcta elección de la fecha de siembra.

Cuando se retrasa la fecha de siembra, disminuye el riesgo de ocurrencia de heladas durante la etapa de floración, sin embargo, aumenta la probabilidad de que el cultivo quede expuesto a un estrés térmico durante las etapas críticas para la determinación del rendimiento y calidad de granos. La ocurrencia de altas temperaturas durante el llenado de granos y el resultado final tanto sobre el rendimiento, como calidad, ocasionada por el estrés térmico, es tan común y universal que muchas veces no se tiene en cuenta su efecto. Se han documentado en cereales de invierno reducciones del 10 al 15 % en el rendimiento (Wardlaw & Wrigley, 1994; Tewolde *et al.*, 2006), y del 5 al 30% en el peso de los granos (Savin *et al.*, 1997), debido a las altas temperaturas durante la etapa posterior a la floración (i.e. llenado de granos). Se debe tener en cuenta que cuanto más temprano en el periodo del llenado de grano se dé el estrés por altas temperaturas, mayor será la reducción esperada en el peso de los granos (Savin & Nicolas, 1999).

Siembras tardías y genotipos de ciclo medio y largo harán que el período de maduración coincida con épocas donde son frecuentes los días de alta temperatura y con vientos desecantes. Estos fenómenos traerán no sólo una baja en el rendimiento final, sino fundamentalmente un menor tamaño de grano, con mayor cantidad de proteínas, deteriorando, en consecuencia, la calidad comercial de la cebada (Cattáneo, 1993).

¿Cómo optimizar la ubicación de la fecha de floración?

En los últimos años, el desarrollo de modelos de simulación ha sido una estrategia novedosa para calcular el momento de floración en cereales como trigo y cebada. Algunos de estos modelos incluyen una caracterización de la fenología de los cultivares en estudio, permitiendo calcular la fecha de siembra en función de la fecha de floración. Un ejemplo son los modelos CRONOS® (<http://cronos.agro.uba.ar>) (Alzueta *et al.*, 2014); los cuales se caracterizan por su practicidad y sencillez de uso. Su uso se fundamenta en la respuesta que presentan los distintos cultivares a la temperatura y al fotoperiodo, como factores reguladores del desarrollo del cultivo. En estos modelos de simulación conformados por un software on-line, el usuario debe elegir la especie, el cultivar y el sitio (dentro de la región Pampeana), y en función de una fecha de siembra propuesta, el modelo arrojará como variable respuesta la fecha media de anthesis esperada. Dichos modelos también permiten predecir el momento de ocurrencia, tanto en días calendarios como en unidades térmicas, de otros eventos ontogénicos (emergencia, madurez)

así como la probabilidad de riesgo de heladas en antesis y la probabilidad de golpes de calor durante el llenado de los granos.

Densidad de siembra

Las decisiones de manejo deberían apuntar a ubicar los periodos críticos para la generación del rendimiento bajo las mejores condiciones que brinde un ambiente. En este sentido, algunas prácticas de manejo como la densidad de siembra, la fecha de siembra y la elección del genotipo, tienen un gran impacto sobre el resultado económico final.

El primer paso a cumplir para que la cebada exprese su potencial genético es lograr una buena implantación del cultivo. La densidad de siembra es una práctica de manejo cuyo objetivo es maximizar la captación de recursos (radiación solar, agua, nutrientes, etc.) durante todo el ciclo del cultivo de cebada, aunque principalmente durante el periodo crítico para la definición del número de granos.m⁻², condicionando la biomasa aérea acumulada y el rendimiento alcanzable.

La competencia intra-específica es el factor que modula la respuesta del cultivo a la densidad. La respuesta a un amplio rango de variaciones en la densidad en el cultivo de cebada es explicada por un modelo asintótico tanto para la biomasa aérea como para el rendimiento (Willely & Holliday, 1971).

La densidad óptima es aquella que produce el mayor rendimiento (y... en la Figura 1) con el menor número de plantas (x... en la Figura 1), es decir que el agregado de plantas adicionales no produce incrementos del rendimiento. Además, suele utilizarse el concepto de densidad óptima económica, el cual tiene en cuenta el costo de la semilla, es decir, convendrá aumentar la densidad hasta el punto en que el valor del rendimiento adicional compense el costo del agregado de semilla. La determinación de esta densidad resulta de importancia, ya que el costo de la semilla es de gran importancia en el margen bruto del cultivo, y por lo tanto se utilizará la lógica de sembrar la menor cantidad de semilla que permita alcanzar los mayores rendimientos. Densidades mayores a la óptima pueden afectar las relaciones de competencia por recursos entre plantas, pudiendo darse tres tipos de efectos: mortalidad dependiente de la densidad, efectos compensatorios entre tamaño y densidad, y alteración de la estructura de la población (Park *et. al.*, 2003). Si la densidad de siembra resulta demasiado elevada, puede provocar alta mortandad de plantas por competencia.

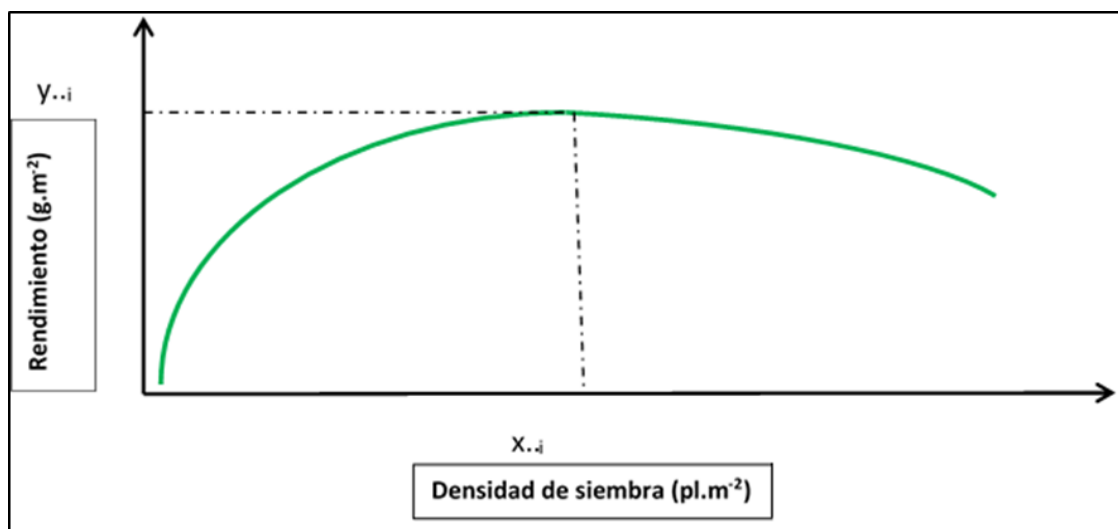


Fig. 15.1. Esquema teórico de la respuesta del rendimiento a la densidad de plantas en el cultivo de cebada; donde x_1 representa la mínima densidad de plantas que maximiza el rendimiento.

El valor de densidad óptima dependerá tanto de las condiciones del ambiente como del cultivar (interacción *genotipo* × *ambiente*). Por ello, es fundamental tener en cuenta que densidades que resulten óptimas para un ambiente, pueden ser insuficientes o excesivas para otro de diferentes condiciones.

Diversos trabajos realizados por el INTA así como también la Red Nacional de Cebada Cervecera (Lauric *et al.*, 2009; Lauric *et al.*, 2010; Conti *et al.*, 2021) recomiendan una densidad de siembra desde 220 a 250 plantas.m⁻². La densidad óptima varía en función de la fecha de siembra (determinante del ambiente explorado por el cultivo), de la oferta de agua y nutrientes, y del cultivar. Por lo tanto, modificaciones en alguna de las variables implica modificar también la densidad de forma tal de mantener la productividad del cultivo. Retrasos en las fechas de siembra, causarán un acortamiento del ciclo de cultivo; en particular de la etapa de macollaje, ocasionando caídas en el número de espigas y que repercutirán sobre el rendimiento. Por ello, ante demoras en la fecha de siembra la mejor estrategia es aumentar en la densidad de siembra.

Por otro lado, condiciones de déficit hídrico o escasez de nutrientes, conllevan a disminuir la densidad óptima (ya que la oferta de recursos es menor) y en consecuencia el rendimiento óptimo logrado. En este sentido, Ross (2012) sugiere que en ambientes con limitantes ambientales es conveniente utilizar densidades medias a bajas (180-220 plantas.m⁻²) según fecha de siembra. En su trabajo, realizado en Barrow sobre el cultivo de cebada, con tres densidades de siembra (198, 225 y 261 plantas.m⁻²), encontró que la densidad de siembra no tuvo efecto sobre el rendimiento y la proteína, pero sí sobre el peso de mil granos (PMG) y el calibre, por lo cual la densidad menor sería la óptima para las condiciones del lugar. Ante escenarios de baja disponibilidad hídrica, una densidad de siembra menor promueve un uso conservativo del agua durante el período vegetativo al reducir la cobertura vegetal y dirigir una mayor proporción de radiación hacia la superficie seca del suelo, más resistente a la pérdida de agua que el cultivo (Alessi & Power, 1976), lo que puede aumentar la disponibilidad de agua en etapas reproductivas en aquellos sistemas sometidos a sequías progresivas y severas y que dependen del agua

de reserva en el suelo. En ambientes pobres, es conveniente utilizar densidades moderadas, porque las pérdidas de rendimiento por el uso de densidades supraóptimas en años secos, es generalmente mayor que el potencial de rendimiento no explotado por utilizar densidades subóptimas en los años de buena disponibilidad hídrica. Sin embargo, en ambientes sin limitantes hídricas y buen manejo nutricional y sanitario, los mayores rendimientos se obtienen con densidades altas.

Espaciamiento

El arreglo espacial del cultivo es una práctica de manejo complementaria a la densidad de siembra, definido como la distancia existente entre hileras, y entre plantas dentro de la hilera; i.e. rectangularidad, es una práctica complementaria a la elección de la densidad de siembra. El espaciamiento entre hileras puede determinar una mejora en la distribución espacial de las plantas, permitiendo una mejor captación de recursos por planta. Puede ocurrir que para una misma densidad aumentos en las distancias entre hileras (Figura 2) disminuyan la rectangularidad (disminuye la distancia entre plantas dentro de la hilera), y en algunas oportunidades esta estrategia puede determinar un menor aprovechamiento de los recursos y/o mayor competencia entre plantas dentro de la hilera, con consecuente reducción del rendimiento (Chen *et al.*, 2008). Usualmente se sostiene que rectangularidades más cercanas a 1 dan los mejores rendimientos, sin embargo existen controversias.

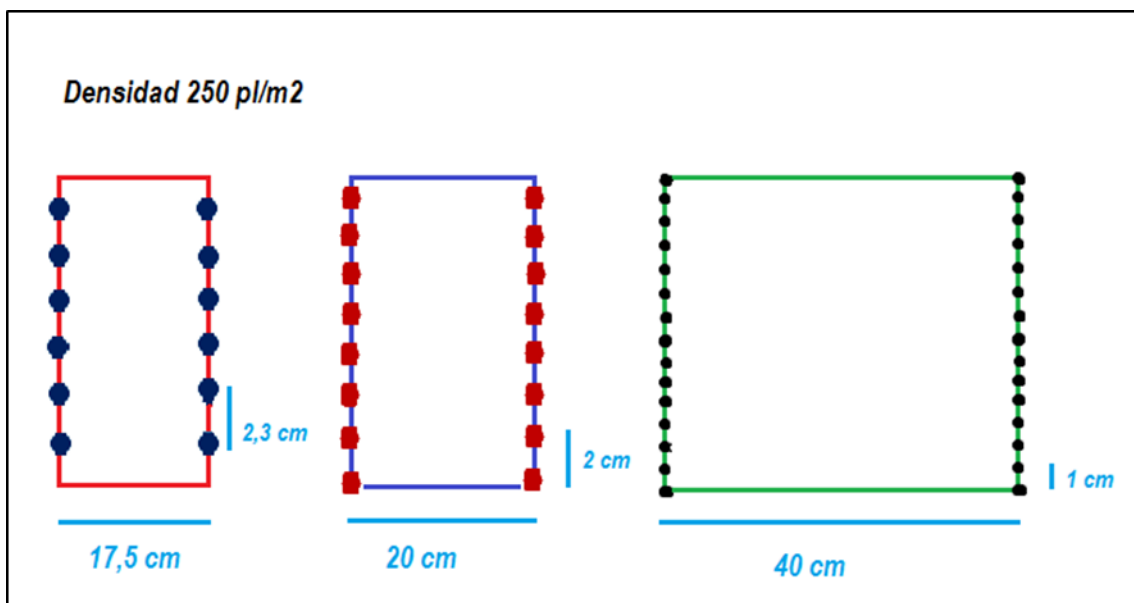


Fig. 15.2. arreglos espaciales en cebada para una densidad de siembra de 250 pl.m⁻², determinando diferentes rectangularidades (1er arreglo: 17,5 cm x 2,3 cm; 2do arreglo: 20 cm x 2 cm; 3er arreglo: 40 cm x 1 cm).

Cereales de invierno como trigo y cebada pueden sostener altos rendimientos en una gran amplitud de espaciamientos de siembra, debido a su capacidad de compensación entre los componentes de rendimiento (Lafond, 1994; Satorre, 2000; Hoffman *et al.*, 2009). Numerosos

trabajos (Marshall & Ohm, 1987; Johnson *et al.*, 1988; Freeze & Bacon, 1990) señalan que la reducción del espaciamiento entre hileras se asocia a mejoras en el rendimiento de grano; como consecuencia del anticipo en la cobertura del suelo, el mejor aprovechamiento de la radiación incidente, el incremento de la producción temprana de biomasa y la reducción en la competencia de malezas. Este efecto resulta de mayor importancia cuando las condiciones de producción reducen el desarrollo y/o crecimiento inicial del cultivo (Kruk & Satorre, 2003). En igual sentido, Pelagagge *et al.* (2014) hallaron que el rendimiento en genotipos argentinos de trigo se redujo en respuesta al aumento del espaciamiento entre surcos, y el efecto dependió de la variedad. En dicho trabajo, los espaciamientos de 20 y 26 cm alcanzaron los mayores rendimientos, diferenciándose de los espaciamientos de 40 y 52 cm. Además, pudo observarse un comportamiento diferencial entre variedades, ya que una variedad de porte erecto y menos macolladora mostró una caída lineal del rendimiento a medida que aumentó el distanciamiento, en tanto que otra variedad de porte semi-rastrero y más macolladora sostuvo el rendimiento al cambiar el espaciamiento de 20 a 26 cm. Asimismo, el espaciamiento de los surcos afectó a la biomasa producida en las dos variedades; de igual manera que lo hizo con el rendimiento, sin afectar al índice de cosecha ni la eficiencia del uso de la radiación. Sin embargo, estudios realizados por Lafond (1994) encontraron el efecto inverso, ya que en dicho trabajo el espaciamiento a 30 cm se asoció con rendimientos mayores al de los espaciamientos a 10 y 20 cm, siendo el que mejor se adaptó para un amplio rango de condiciones de ambiente.

Como ha sido previamente mencionado, el sudoeste bonaerense es una de las principales zonas productoras de cebada en nuestro país, siendo el déficit hídrico es el factor que más impacta sobre el rendimiento. En los últimos años, con el objetivo de darle estabilidad al rendimiento de los cereales de invierno, y de esta manera minimizar el riesgo económico, se han estudiado posibles cambios en la densidad y distribución espacial de las plantas, ya que estas prácticas determinan la estructura del cultivo, la producción de macollos y biomasa aérea, el consumo de agua durante el macollaje, entre otros. Resultados preliminares (González Serain & Vallejos, 2015) demostraron que las densidades y distanciamientos ensayados no afectaron el rendimiento, aunque los autores afirman que debido a que las precipitaciones durante el ensayo fueron superiores a las normales, serán necesarias mayores investigaciones para recomendar disminuciones en las densidades de siembra y aumentos en los distanciamientos entre hileras.

Referencias

Abeledo, L.G. & Miralles, D.M. (2011) ¿Qué cambios presentaron en los últimos años los sistemas de producción de trigo y cebada en Argentina? En S. Valle, C. Lizana, D. Calderini (Eds.), *Sistemas de Producción de Trigo y Cebada: Decisiones de manejo en base a conceptos ecofisiológicos para optimizar el rendimiento, la calidad y el uso de los recursos*. Universidad de Valdivia - CYTED, Valdivia, Chile. (39-54). Recuperado de: <http://www.metrice.udl.cat/es/>

- Acevedo, E.H., & Fereres, E. (1993). Resistance to abiotic stresses. *Plant Breeding*, 406-421.
- Alessi, J. & Power, J.F. (1976). Water use by dryland corn as affected by maturity class and plant spacing. *Agronomy Journal*, 68, 547-550.
- Alzueta, I., Arisnabarreta S., Abeledo, L.G. & Miralles, D.J. (2014). A simple model to predict phenology in malting barley based on cultivar thermo-photoperiodic response. *Computers and electronics in agriculture*, 107, 8-19.
- Anderson, W.K. (2010). Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. *Field Crops Research*, 116, 14-22.
- Arisnabarreta, S., & Miralles, D.J. (2008). Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two-and six-rowed barley. *Field Crops Research*, 107, 196-202.
- Beratto, E. (2001). Cebada y Avena. Agenda del Salitre. *Sociedad Química y Minera de Chile*, (577- 591).
- Cattáneo, M. (1993). Primera Jornada De Actualización Técnico-Económica Del Cultivo De Cebada Cervecera. Publicaciones de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (59-61).
- Chen, C., Neill, K., Wichman, D. & Westcott, M. (2008). Hard red spring wheat response to row spacing, seeding rate, and nitrogen. *Agronomy Journal*, 100, 1296-1302.
- Conti, V., Moreyra, F., González, G., González, A. & Giménez, F. (2021). Red Nacional de Cebada Cervecera - REC Campaña 2020- EEA INTA Bordenave. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/red-nacional-de-cebada-cervecera-rec-campana-2020>
- Dietz, J.I. (2021). Determinación del periodo crítico y requerimientos de fotoperiodo y vernalización en avena. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de la Plata (144). Recuperado de: <https://doi.org/10.35537/10915/116959>
- Dolferus, R., Ji, X., & Richards, R.A. (2011). Abiotic stress and control of grain number in cereals. *Plant Science*, 181, 331-341.
- Evans, L.T., Wardlaw, I.F. & Fischer, R.A. (1978). Wheat. En L.T Evans (Ed.), *Crop Physiology* (101-149). Cambridge University Press, GB.
- Evans, L.T. & Fischer, R.A. (1999). Yield potential: its definition, measurement, and significance. *Crop Science*, 39, 1544–1551.
- Frederiks, T.M., Christopher, J.T., Sutherland, M. W., & Borrell, A. K. (2015). Post-head-emergence frost in wheat and barley: defining the problem, assessing the damage, and identifying resistance. *Journal of Experimental Botany*, 66, 3487-3498.
- Martino, D.L., & Abbate, P.E. (2019). Frost damage on grain number in wheat at different spike developmental stages and its modelling. *European Journal of Agronomy*, 103, 13-23.
- Fernández-Long, M.E., Müller, G.V., Beltrán-Przekurat, A., & Scarpati, O.E. (2013). Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33, 1673-1686.
- Fischer, R.A. (2008). The importance of grain or kernel number in wheat: a reply to Sinclair and Jamieson. *Field Crops Research* 105, 15-21.
- Freeze, D.M. & Bacon, R.K. (1990). Row spacing and seed-rate effects on wheat yields in the mid-south. *Journal of Production Agriculture*. 3, 345-348.

- Giménez, F., Aquino, H. & Tomaso, J.C. (2004). VI Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cultivos de Siembra Otoño-Invernal. Bahía Blanca.
- Giménez, F., Conti, V., Moreyra, F. & Tomaso, J.C. (2007). Efecto de la época de siembra sobre los caracteres económicos en genotipos de cebada cervecera. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Bordenave, ARG. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp_4_efecto_de_la_poca_de_siembra.pdf
- González Serain, T. & Vallejos, A. (2015). Influencia del distanciamiento entre hileras y dosis de siembra en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) sobre el rendimiento y sus componentes. Universidad Nacional del Sur.
- Hoffman, E., Viega, L., Cadenazzi, M., Benítez, A., Gestido, V., Mesa, P. & Glison, N. (2009). Bases morfo-fisiológicas que justifican el manejo diferencial de cultivares de trigo y cebada en Uruguay. En *Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º, 2009, Paysandú, Uruguay)*. (49-74). *Memorias*. Paysandú, Facultad de Agronomía.
- Johnson, J.W., Hargrove, W.L. & Moss, R.B. (1988). Optimizing row spacing and seeding rate for soft red winter wheat. *Agronomy Journal*. 80, 164-166.
- Kruk, B. & Satorre, E.H. (2003). Densidad y arreglo espacial de cultivo. En Satorre, E.H., Benech R. Arnold, G. Slafer, E. de La Fuente, D. Miralles, M. Otegui, R. Savin (Eds.) *Producción de granos, bases funcionales para su manejo (277-316)*. Buenos Aires: FAUBA.
- Lafond, G.P. (1994). Effects of row spacing, seeding rate and nitrogen on yield of barley and wheat under zero-till management. *Canadian Journal of Plant Science*, 74, 703-711.
- Lauric, A., Marinissen, A., Torres Carbonell, C. & Loewy, T. (2009). Efecto de la fertilización nitrogenada en el cultivo de cebada en un año de sequía. EEA INTA Bordenave. Recuperado de: <https://www.profertel.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/efecto-de-la-fertilizacion-nitrogenada-en-cebada-en-un-ao-de-sequia.pdf>
- Lauric, A., Marinissen, A. & Torres Carbonell, C. (2010). Cebada Cervecera: Experiencia local Fertilización nitrogenada de cebada cervecera en un año seco - Campaña 2008/09. EEA INTA Bordenave. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-1_experiencia_en_cebada_cervecera.pdf
- Magrín, G. (1990). Thèse Doct. Ing., ENSA, Montpellier (80).
- Marshall, G.C. & Ohm, H.W. (1987). Yield responses of 16 winter wheat cultivars to row spacing and seeding rate. *Agronomy. Journal* 79, 1027-1030.
- Miralles D.J., Windauer, L.B. & Gomez, N. F.G. (2003). Factores que reglan el desarrollo de los cultivos de granos. En E.H. Satorre et al. (Eds.), *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo (61-71)*. Buenos Aires: FAUBA.
- Miralles, D. (2004). Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo. Información técnica de trigo. Campaña, (1-7).
- Miralles, D.J, Arisnabarreta, S. & Alzueta, I. (2011). Desarrollo ontogénico y generación del rendimiento. En. D.J Miralles, R.L. Benech-Arnold, L.G Abeledo (Eds.), *Cebada cervecera (1-34)*. Buenos Aires: FAUBA.

- Miralles, D., González, F., Abeledo, L., Serrago, R., Alzueta, I., & García, G. (2014). En R.P. San Caledonio, P. Lo Valvo (Eds.), *Manual de trigo y cebada para el Cono Sur: procesos fisiológicos y bases de manejo* (56). Buenos Aires: Orientación Gráfica.
- Moeller, C., Asseng, S., Berger, J., & Milroy, S. P. (2009). Plant available soil water at sowing in Mediterranean environments—Is it a useful criterion to aid nitrogen fertilizer and sowing decisions. *Field Crops Research*, *114*, 127-136.
- Otegui, M.E. & López Pereira, M. (2003). Fecha de Siembra. En: E.H. Satorre *et al.* (Eds.), *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo* (259-275). Buenos Aires: FAUBA.
- Park, S.E, Benjamin, L.R. & Watkinson, A.R. (2003). The theory and application of plant competition model: an agronomic perspective. *Annals of Botany* *92*, 741-748.
- Pelagagge, G., Gómez, D., Frascina, J. & Pagnan, F. (2014). Efecto del espaciamiento entre surcos sobre el rendimiento en dos cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.). Informe de actualización técnica. EEA Marcos Juárez.
- Peltonen-Sainio, P., Kangas, A., Salo Y. & Jauhiainen L. (2007). Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: evidence based on 30 years of multi-location trials. *Field Crops Research*, *100*, 179-188.
- Roberts, E.H., Summerfield, R.J., Cooper, J.P. & Ellis, R.H. (1988). Environmental control of flowering in barley (*Hordeum vulgare* L). I Photoperiod limits to long-day responses, photoperiod-insensitive phases and effects of low temperature and short-day vernalization. *Annals of Botany* *62*, 127-144.
- Ross, F. (2012). Densidad, fertilización y uso de funguicida en cebada cv. Scarlett. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_maa_barrow_densidad_fertilizacin_y_funguici.pdf
- Satorre, E.H. (2000). Plant density and distribution as modifiers of growth and yield. En E.H. Satorre, G.A. Slafer (Eds), *Wheat, Ecology and Physiology of Yield Determination* (141-160). Food Products Pres.
- Savin, R. Stone, P.J., Nicolas, M.E. (1996). Responses of grain growth and malting quality of barley to short periods of high temperature in field studies using portable chambers. *Australian Journal of Agricultural Research*, *47*, 465-477.
- Savin, R. & Nicolas, M. E. (1999). Effects of timing of heat stress and drought on growth and quality of barley grains. *Australian Journal of Agricultural Research*, *50*, 357-364.
- Slafer G.A., Miralles D.J., Savin R., Whitechurch E.M. & González F.G. (2003). Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en trigo. En E.H. Satorre *et al.* (Eds.), *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo* (101-132). Buenos Aires: FAUBA.
- Schelling, K., Born, K., Weissteiner, C. & Kühbauch, W. (2003). Relationships between Yield and Quality Parameters of Malting Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Phenological and Meteorological Data. *Journal of Agronomy and Crop Science* *189*, 113-122.
- Stone, P.J. & Nicolas, M.E. (1994). Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post anthesis heat stress. *Australian Journal of Plant Physiology* *21*, 887-900.

- Tewolde, H., Fernandez, C.J. & Erickson, C.A. (2006). Wheat cultivars adapted to post-heading high temperature stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 192, 111-120.
- Tomaso, J.C. & Paleo, A. (1994). Segundo Congreso Latinoamericano de Cebada. Chile.
- Ventimiglia, L., & Torrens Baudrix, L. (2012). Variedades de cebada cervecera: cómo afecta la fecha de siembra al rendimiento ya la calidad del grano. *INTA, EEA Pergamino, UCT Agrícola Ganadero del Centro, AER*, 9.
- Wardlaw, I.F. & Wrigley, C.W. (1994). Heat tolerance in temperate cereals-an overview. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, 695-703.
- Wardlaw, I.F., Blumenthal, C., Larroque, O., Wrigley, C.W. (2002). Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. *Functional Plant Biology*, 29, 25-34.
- Willey, R. W. & Holliday, R. (1971). Plant population and shading studies in barley. *The Journal of Agricultural Science*, 77, 445-452.

CAPÍTULO 16

Cebada cervecera: Manejo de enfermedades

Silvina Larran

Introducción

El cultivo de cebada ha presentado en nuestro país un paulatino incremento en los últimos años en la superficie sembrada, en la producción y en los valores de exportación, lo que responde a varios factores. Por un lado, a que el cultivo de la cebada posibilita una cosecha temprana en comparación con su principal competidor, el trigo, lo que favorece la implantación de cultivos de verano como la soja. Otras de las causas del incremento de la cebada en el país son la aparición en el mercado de variedades de alto rendimiento, de buena calidad comercial (grano uniforme) y de buena calidad maltera-cervecera. A su vez, el incremento responde a la demanda de producción para la exportación de malta y para la industria cervecera de nuestro país. Y, por otro lado, también debe mencionarse que responde a una reacción frente a políticas desalentadoras para la producción de trigo, tales como la aplicación de retenciones en la comercialización y cupos de exportación.

Siendo la producción de malta y cerveza el principal destino del grano de cebada cervecera se requiere continuidad en el abastecimiento y en la calidad del grano. Son características de importancia su poder germinativo (con una base de 98 %), un mínimo de 9,5 % de proteína y un 85 % del grano con un calibre de 2,5 mm, de acuerdo con lo establecido en las bases estatutarias para la comercialización (Resol. 27/2013, Senasa, 2013).

Entre los principales factores limitantes de los rendimientos y de la calidad de los granos de cebada se destacan las enfermedades, principalmente las de origen fúngico. Las enfermedades causadas por patógenos afectan diferentes procesos biológicos de las plantas que alteran directamente su morfología y fisiología normal, como la fotosíntesis, la respiración, la traslocación de agua y nutrientes, la reproducción y ocasionan un aumento de la tasa de transpiración por ruptura de la epidermis.

Considerando los conceptos de nivel productivo del cultivo de Rabbinge (1993), las enfermedades son factores reductores que limitan la manifestación de la potencialidad genética de un cultivo en una determinada región interfiriendo en la generación de los componentes del rendimiento (Carmona & Sautua, 2017). En este sentido, es importante remarcar que el cultivo de cebada, si bien tiene similitudes con el de trigo, tiene algunos aspectos característicos que deben ser considerados para el manejo del mismo. Por un lado, al igual que en trigo, el número de granos.m² es el principal componente del rendimiento, sin embargo, en cebada, el número

de espigas.m⁻² cumple un rol preponderante ya que la espiga tiene baja capacidad para compensar el número de granos por espiga. Así, el período crítico en cebada se adelanta en relación con el trigo, por lo cual es importante que el cultivo llegue sano a este período siendo de importancia realizar los monitoreos sanitarios previos.

Cabe mencionar que, el incremento de la superficie sembrada de cebada en el país viene acompañado de un aumento en la incidencia y severidad de algunas enfermedades típicas del cultivo, aparición de nuevas o de la reemergencia de enfermedades. Esto se debe a la expansión del cultivo, al escaso número de variedades utilizadas con destino a la industria maltera/cervecera y a los sistemas de producción implementados en los últimos años tales como la siembra directa, el monocultivo o menor diversidad en la secuencia de los cultivos, a la difusión de variedades susceptibles y a la utilización de semillas infectadas, entre otras causas (Carmona, 2008a; Errenguerena *et al.*, 2017).

Las enfermedades en la cebada se presentan a lo largo de todo el ciclo del cultivo, siendo las más importantes las manchas foliares, las que reducen el índice de área foliar, con efectos diferentes sobre la intercepción de la radiación y por ende sobre la biomasa, según el cultivo haya llegado o no al índice de área foliar crítico (Paveley *et al.*, 2001; Carretero *et al.*, 2010). Asimismo, Bingham & Topp (2009) demostraron que la presencia de enfermedades foliares en los estratos inferiores del canopeo reduce en mayor medida la absorción de radiación del cultivo cuanto más abierto es el canopeo. El efecto sobre la eficiencia del uso de la radiación puede depender del patógeno considerado, tal como ha sido demostrado en trigo (Bancal *et al.*, 2007; Carretero *et al.*, 2010; Schierenbeck *et al.*, 2016). Los patógenos causantes de manchas foliares producen toxinas que ocasionan la muerte de los tejidos y por ende afectan la respiración y la fotosíntesis (Carmona, 2008b). Asimismo, en relación con los patógenos biotróficos, como los causantes de las royas y los oidios, se ha demostrado que modifican la relación fuente-destino, derivando para sí mismos los nutrientes elaborados por el hospedante (Simón *et al.*, 2020). Se han observado reducciones en la tasa de fotosíntesis neta de hojas afectadas con la roya de la hoja, cuando se consideró el área total de la hoja, en tanto que al expresarla por unidad de área verde se observaron incrementos en la tasa fotosintética de las hojas enfermas (Owera *et al.*, 1981). Las enfermedades foliares pueden afectar cualquiera de los componentes del rendimiento dependiendo del momento en que afectan al cultivo. Por otro lado, las pérdidas que ocasionan varían según el año y el genotipo (Carmona, 2008b). Serrago *et al.* (2009) determinaron que cuando los cultivos invernales alcanzan altos rendimientos existe una co-limitación por fuente y por destino, utilizando gran parte de las reservas almacenadas en tallos, aún sin presencia de enfermedades, por lo que el rol de dichas reservas en la tolerancia a enfermedades es discutido. Por otro lado, se ha demostrado que la fotosíntesis de la espiga tiene un rol de importancia por su contribución en el llenado del grano, pudiendo realizar el principal aporte de fotoasimilados comparado con la hoja bandera (Tambussi *et al.*, 2007). Asimismo, se ha demostrado que la fotosíntesis de la espiga tiene una mayor tolerancia frente a condiciones de stress hídrico. De acuerdo con esto podría esperarse que la fotosíntesis de la espiga sea un atributo importante en la tolerancia a enfermedades por el rol que cumplen en el llenado de granos.

La cebada también es afectada por patologías que ocasionan pudriciones radiculares y en este caso, los patógenos intervinientes alteran la absorción y traslocación de agua y nutrientes

ocasionando síntomas como marchitamientos. Otras patologías afectan la reproducción de la espiga transformando a los granos en masas carbonosas (carbones) (Carmona, 2008b).

Las principales enfermedades que afectan en la actualidad al cultivo de la cebada en nuestro país y que se han incrementado en los últimos años son la mancha en red (*Drechslera teres* (Sacc.) Shoemaker), la escaldadura (*Rhynchosporium commune* Zaffarano, B.A. McDonald & A. Linde) y la mancha borrosa (*Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem.). Otras enfermedades de importancia que afectan a este cultivo son la ramulariosis o salpicado necrótico por *Ramularia collo-cygni* B. Sutton & J.M. Waller, la roya de la hoja (*Puccinia hordei* Otth) y el carbón volador de la cebada (*Ustilago nuda* (Jens.) Rostr.) A su vez, algunas enfermedades que afectan a este cultivo también infectan al trigo y entre ellas pueden mencionarse a la fusariosis de la espiga (principalmente causada por *F. graminearum*), a la roya negra del tallo (*Puccinia graminis* Pers.), el pietín (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) y, otras enfermedades con formas especiales que afectan a la cebada tales como la roya amarilla (*P. striiformis* Westend. f. sp. *hordei*) y el oídio de los cereales *Blumeria graminis* f. sp. *hordei* (DC.) Speers. Entre las bacteriosis que tienen como hospedantes al trigo y la cebada se registran, según regiones y condiciones climáticas, el rayado bacteriano o espiga negra por *Xanthomonas translucens* pv. *undulosa* y el tizón bacteriano (*Pseudomonas syringae*). Y, entre las enfermedades de origen virósico se pueden mencionar el enanismo amarillo de los cereales (BYDV, Barley Yellow Dwarf Virus) y el mosaico estriado de la cebada (BSMV, Barley stripe Mosaic virus) (Carmona *et al.*, 2008a, Duvellier *et al.*, 2005).

A su vez, puede hacerse referencia a otras enfermedades fúngicas que han surgido en este cultivo, tales como la pudrición de la raíz por *Rhizoctonia solani* Kuhn, el manchado por *Fusarium poae* y la mancha atigrada o “halo spot”. Esta última fue detectada en 1992 en el sur de la provincia de Buenos Aires (Carmoma *et al.*, 1996) causando manchas de forma cuadrangular a rectangulares con centro pálido y márgenes amarronados sobre las que se forman líneas de picnidios negros y es ocasionada por *Pseudoseptoria donacis* (Passerini) Sutton. Esta enfermedad es de baja importancia, sin embargo, debido a las condiciones ambientales favorables para el patógeno en la región donde ha sido registrada se sugiere que se tenga en cuenta al realizar monitoreos.

Con la finalidad de evitar pérdidas de rendimiento, de calidad del grano y de mantener el cultivo sano, en el marco de una agricultura sustentable bajo el paradigma del manejo integrado, se recomienda la utilización de diferentes estrategias aplicadas en forma oportuna para el logro de su eficacia. En este sentido, para reducir el efecto de las enfermedades en los cultivos se deben aplicar medidas iniciales que son aquellas que se deciden antes de implantar el cultivo, tales como la planificación de la rotación de los cultivos, la eliminación de plantas guachas y hospedantes secundarios, la elección de las variedades a sembrar, que genéticamente sean tolerantes o resistentes a enfermedades, si existiera, y la siembra de semillas tratadas/semillas sanas (Carmona, 2008b). Una vez implantado el cultivo, pueden utilizarse otras medidas como la aplicación de fungicidas foliares, para lo cual es necesario el reconocimiento de las enfermedades presentes a través de la realización de un correcto diagnóstico. A su vez, es importante llevar a cabo el seguimiento de los niveles de las enfermedades registradas a través de monitoreos continuos, para de esta manera evaluar la rentabilidad de la aplicación de fungicidas en relación con la pérdida de rendimiento o calidad ocasionada por la enfermedad (umbrales de daño).

En lo que respecta a la protección del cultivo con productos fitosanitarios, puede mencionarse un estudio llevado a cabo por la Red de Protección de Enfermedades de la Cebada (RE-PEC) integrada por el INTA con diferentes estaciones experimentales, el Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires y empresas de insumos fitosanitarios con el objetivo de evaluar y validar estrategias para la aplicación de fungicidas. Para ello, clasificaron las enfermedades que afectan a este cultivo, de acuerdo con la naturaleza epidemiológica, en tres grupos: 1) las que afectan en estado de plántula, en el momento de la implantación del cultivo; 2) enfermedades foliares tradicionales, en las que se pueden realizar los monitoreos a los fines de decidir la aplicación de fungicidas y 3) el salpicado necrótico foliar por *Ramularia collo-cygni*. Cabe aclarar, que esta enfermedad se consideró en otro grupo debido a que por sus características epidemiológicas requiere un manejo particular, diferente en relación con las enfermedades foliares tradicionales que afectan a este cultivo (Errenguerena *et al.*, 2017). La Red, en base a los grupos de enfermedades establecidos evaluó la aplicación de distintos productos fungicidas utilizando tres tácticas para el manejo:

A. Protección de semilla y plántula: Utilizando productos fungicidas curasemilla, también bioestimulantes y/o biológicos con fines de erradicar el inóculo primario y protección/inmunización ante infecciones tempranas para los tres grupos de enfermedades;

B. Protección del área foliar con monitoreo en el campo y uso de umbrales para las enfermedades del grupo 2;

C. Protección de área foliar en base a identificación de *R. collo-cygni* (grupo 3).

Como resultados obtuvieron que las tácticas aplicadas mostraron un buen control de enfermedades foliares tempranas con el uso de curasemillas, a base de carboxamidas y triazoles de nueva generación (triazolintiona) y algo de control en el salpicado necrótico. Este efecto de control lo obtuvieron en avanzada postemergencia sin necesidad de aplicar en encañazón, solo teniendo que realizar una aplicación foliar en EC 39 (hoja bandera desplegada de acuerdo con la escala de Zadoks, 1974). A su vez, cuando no se contó con eficacia del curasemilla frente a las enfermedades foliares en estadios tempranos dio buen resultado la aplicación de fungicidas en macollaje/encañazon. En el manejo del salpicado necrótico los mejores resultados los obtuvieron en aplicación en hoja bandera con el uso de carboxamidas y clorotalonil. Destacaron además la efectividad de una variedad de productos químicos con eficacia recomendando hacer aplicaciones de mezclas para evitar resistencia genética (Errenguerena *et al.*, 2017).

En lo que respecta a la programación de estrategias a implementar para el manejo de las enfermedades se requiere, por un lado, el reconocimiento de las patologías presentes, su epidemiología, considerando los factores predisponentes, su sobrevivencia, los factores que afectan la dispersión, los daños que ocasionan, entre otras características de importancia. En este sentido, a continuación, se describen las principales características de las enfermedades de importancia en cebada. Las patologías que también tienen como hospedante al trigo no serán descritas en este capítulo.

Enfermedades de la plántula y del sistema radical

Estas patologías son causadas por un complejo de hongos pertenecientes a diversos géneros entre los que se destacan *Bipolaris*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Pythium*. Especies de estos hongos pueden afectar a la cebada desde el estado de plántula hasta espigazón, produciendo diferentes sintomatologías como tizones de plántulas, podredumbre de raíz y cuello, manchas foliares y también pueden afectar la espiga (Lori & Sisterna, 2014). Durante el primer estadio del ciclo del cultivo este complejo fúngico puede producir fallas en la germinación, muerte en preemergencia (previo a emerger del suelo) o en estados tempranos de postemergencia, síntomas conocidos como “*damping-off*”. Cuando la infección se produce en plántulas emergidas, éstas resultan débiles, de escaso desarrollo, mostrando una coloración verde oscuro o amarillo claro. Estas plántulas se marchitan y mueren debido a la podredumbre de las raíces y cuello o ambos, lo cual constituye los conocidos *tizones en plántula*. De esta manera se ocasionan pérdidas en el momento de la implantación lo cual trae aparejado una reducción en el stand de plantas y desuniformidad de plantas en el terreno (Fig. 16.1.A).

Las plantas que sobreviven a la infección en estadios tempranos pueden ser afectadas por estos hongos hasta espigazón, observándose plantas de menor altura, poco vigor y con reducida capacidad de macollaje. Son plantas débiles que se presentan en manchones con *podredumbre de raíz y cuello* o foot rots, con raíces amarronadas y con los tejidos del cuello que se blanquean o se oscurecen y se pudren (Fig. 16.1.B). La sintomatología se puede extender a la zona de la corona (crown rot) afectando los entrenudos de la parte inferior de ésta, la corona, la base de los tallos y hasta la vaina de la hoja basal. Si bien diferentes especies dentro del género *Fusarium* intervienen en estas patologías desde el inicio del ciclo del cultivo, *F. graminearum* es la especie más prevalente, salvo en el caso de la podredumbre de la corona en la que la especie más asociada es *F. pseudograminearum* (Lori & Sisterna, 2014).



Fig. 16.1. A: Podredumbre ocasionada por *Fusarium*. Fuente: E. Moya, Bugwood.org; B: Podredumbre ocasionada por *Pythium*.

Fuente: M. Burrows, Montana State University, Bugwood.org.

F. graminearum y *Bipolaris sorokiniana* coexisten en muchas regiones cerealeras del mundo causando estas sintomatologías, influyendo el clima y los sistemas de producción en la predominancia entre estos (Lory y Sisterna, 2014). Ambos patógenos son transmitidos a través de semillas mientras que especies de *Fusarium* también sobreviven en restos vegetales como estructuras sexuales (peritecios) y como estructuras de resistencia (clamidosporas). *B. sorokiniana* a su vez, permanece como micelio en el rastrojo y conidios en el suelo. *Rhizoctonia* puede permanecer en el suelo y en el rastrojo en forma de micelio y en forma de esclerocios. Estos patógenos suelen actuar simultáneamente, por lo cual se dificulta su identificación, y son muy dependientes de las condiciones ambientales y de los sistemas de labranza.

Cuando el hongo involucrado es *B. sorokiniana* se presentan síntomas al azar o en manchones en el campo con plantas de crecimiento reducido, con coloración verde claro, lo que evidencia la afección radicular. Las plantas infectadas maduran anticipadamente. Cuando interviene el hongo *R. solani*, el cual ocasiona importantes pérdidas en la región sudoeste bonaerense donde se presentan manchones o parches en el cultivo con podredumbres húmedas de raíces con coloración pardo-oscura y menor desarrollo de plantas. Las hojas se tornan cloróticas, de aspecto rígido pudiendo observarse con coloración rojiza. Las plantas afectadas reducen su capacidad de macollaje. Este hongo requiere suelos arenosos, alcalinos, períodos de stress hídrico y bajas temperaturas (Storn, 2017).

La podredumbre ocasionada por representantes del género *Pythium* causa “*damping-off*” con la típica podredumbre de semillas, podredumbre en pre y postemergencia y la podredumbre de raíces en plantas. Las plantas afectadas son de menor altura, con síntomas de deficiencia, menor cantidad de macollos y menor número de granos por espiga. El hongo se ve favorecido por abundante contenido de agua en el suelo, falta de drenaje y suelos muy arcillosos. Puede persistir muchos años como oosporas en restos de raíces, materia orgánica o suelo. En condiciones favorables germinan produciendo las zoosporas que se dispersan a través del agua hasta llegar a las semillas en germinación o raíces jóvenes a las que infecta (Wolcan, 2014).

Condiciones predisponentes

Tal como se mencionó, cada uno de los patógenos involucrados en esta patología tiene requerimientos específicos en cuanto a suelo, humedad y temperatura.

Manejo

Para tomar las decisiones de manejo es importante tener en cuenta que los patógenos causantes de las enfermedades de plántula, del sistema radical y de cuello son causados por un complejo de hongos muy dependientes del ambiente (suelo y clima) y de la historia del lote. Ello implica que los síntomas puedan ser ocasionados por varios hongos simultáneamente o con prevalencia de alguno.

Entre las medidas para el manejo se recomienda preferencialmente: 1) el tratamiento de semillas con fungicidas (carboxamidas, triazoles) para proteger a la plántula en los primeros estadios y evitar pérdidas en el stand de plantas, y 2) la rotación con cultivos no susceptibles a fin de reducir el nivel de inóculo. Debido a la sobrevivencia de estos patógenos en el suelo y

restos vegetales, la rotación es primordial en el manejo de estas patologías en particular teniendo en cuenta el sistema de producción más difundido bajo el modelo de siembra directa. La implementación de una fertilización de arranque favorece el desarrollo de raíces y permite el establecimiento de las plantas.

Enfermedades foliares

La cebada es afectada por una amplia variedad de enfermedades foliares, algunas de las cuales afectan también al trigo, si bien en algunos casos existen formas especiales para la cebada. En este capítulo las enfermedades que afectan al trigo y a la cebada que ya fueron descritas para el trigo no serán abordadas, entre ellas la roya negra del tallo, la roya amarilla, la roya anaranjada y las bacteriosis como el rayado bacteriano o espiga negra por *Xanthomonas translucens* pv. *undulosa* y el tizón bacteriano (*Pseudomonas syringae*). Lo mismo para las formas especiales de la roya amarilla, *P. striiformis* f. sp. *hordei* y el oídio de los cereales *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*.

Mancha en red de la cebada

El agente causal es el hongo necrotrófico *Drechslera teres* (Sacc.) Shoemaker (anamorfo)-*Pyrenophora teres* Drechs. (teleomorfo). Es una enfermedad endémica que ha acompañado al cultivo de la cebada en su gran expansión, siendo la de mayor prevalencia e incidencia según estudios epidemiológicos. En nuestro país se presenta en todas las regiones donde se cultiva cebada, desde los primeros estadíos hasta cosecha, ocasionando pérdidas de rendimiento de hasta 20 %. El nombre de la enfermedad se debe al síntoma característico en las hojas en las que se presenta con estrías necróticas cruzadas por otras transversales dando la apariencia de una red o reticulado que se hace más evidente en las lesiones más antiguas (Ridao *et al.*, 2014). Sin embargo, la enfermedad puede manifestarse en toda la planta (vainas, espigas y granos). Las lesiones inicialmente aparecen como puntos marrones y luego se expanden en forma longitudinal adquiriendo el aspecto de retículo. En ataques severos, el desarrollo de muchas manchas en las hojas puede ocasionar la muerte de la misma. Se han registrado dos tipos de manchas, la típica descrita “en red” (Fig. 16.2), ocasionada por *D. teres* f. sp. *teres* Smedeg y otra “tipo spot” (Fig. 16.3), que se caracteriza por producir manchas redondas u ovales con coloración marrón oscuro y es causada por *D. teres* f. sp. *maculata* Smedeg (Erreguerena *et al.*, 2017).

Las fuentes de inóculo son las semillas infectadas, que transportan al hongo en su interior como micelio durmiente a cortas y largas distancias, y el rastrojo infectado. A partir de la semilla el hongo infecta el coleoptile manifestándose en la primera hoja, la que puede morir precozmente. La infección puede continuar de hoja en hoja a través de conidios dispersados por el viento a corta distancia, debido a su gran peso. El signo de la enfermedad es una eflorescencia tenue de color oscuro

constituido por conidios y conidióforos que se observan a ambos lados de las lesiones. En el rastreo el hongo sobrevive como pseudotecios y conidios libres. De esta manera, bajo siembra directa, las ascosporas y los conidios constituyen el inóculo primario reiniciando el ciclo e infectando el cultivo (Carmona, 2008a; Pereyra & Germán, 2011). La enfermedad no solo reduce la superficie fotosintética, sino también el peso de raíces y tallos y el número de macollos, afecta la translocación de carbohidratos y la absorción de nitrógeno, conllevando a la reducción del número y peso de granos, principales componentes del rendimiento (Pereyra & Germán, 2011).

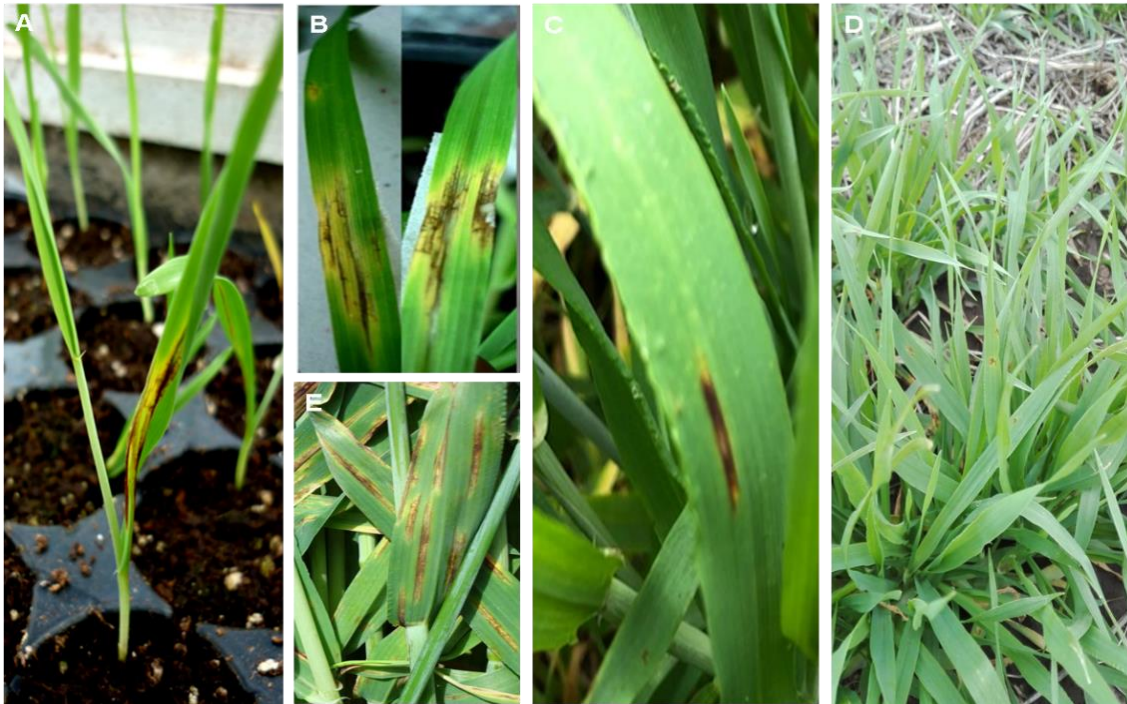


Fig. 16. 2. Síntomas de *D. teres* f. sp. *teres*.
Fuente: A y B: P. Moya; C: S. Larran; D: A. Castro; E: M. Carmona.



Fig. 16. 3. Síntomas *D. teres* f. sp. *maculata*.
Fuente: M. Carmona.

Condiciones predisponentes

La infección se ve favorecida con temperaturas medias mayores a 10 °C con óptimo entre 15 y 25 °C y agua libre sobre la superficie foliar (12 a 36 h) lo que permite la germinación de las esporas depositadas sobre las hojas (Melo Reis, 1991; Carmona, 2008a). La transmisión desde la semilla a la plántula se ve favorecida por factores que retrasen la emergencia de la plúmula como temperatura del suelo de 10 a 15° C, suelo seco y siembras profundas (Melo Reis, 1991). El uso de variedades susceptibles, el monocultivo, la siembra directa y la siembra de semillas infectadas son factores que condicionan y favorecen la enfermedad.

Manejo

Entre las medidas preferenciales para el manejo se recomienda el uso de semillas sanas; tratamiento de semillas con fungicidas que reduzcan el inóculo primario; rotación de cultivos; aplicación de fungicidas foliares (mezclas de estrobilurinas y triazoles) con un umbral recomendado en 30 % de incidencia foliar a partir de encañazón; eliminación de plantas voluntarias de cebada y elección de variedades tolerantes.

Escaldadura de la cebada

Esta enfermedad es ocasionada por el hongo *Rhynchosporium commune* Zaffarano, B. A. McDonald & A. Linde. El patógeno causante es ampliamente conocido como *R. secalis* (Oudem.) J.J. Davis, inicialmente aislado de centeno, sin embargo, en 2011 la especie que afecta a *Hordeum* fue reclasificada como *R. commune* (Zhang *et al.*, 2020). Como se mencionó con anterioridad, esta patología puede destacarse debido a que en los últimos años ha experimentado un incremento que ha acompañado la expansión del cultivo de la cebada. De acuerdo a estudios realizados en el 2014 (Ridao *et al.*, 2014) ha sido registrada con valores de importancia en la región pampeana sur. Los síntomas característicos que ocasiona este patógeno son manchas alargadas, elípticas, con centro grisáceo, blanco o pálido y bordes marrones ondulados en hojas y vainas (Fig. 16.4). Inicialmente, estos síntomas se observan durante el macollaje a inicio de encañazón principalmente en las hojas de la base de las plantas con lesiones jóvenes caracterizadas por una apariencia húmeda y color verde-azulado. Cuando la enfermedad es severa puede afectar toda el área foliar, por la coalescencia de las manchas, incluyendo la zona de inserción de las hojas y de las vainas, principalmente en siembras tempranas. En estos casos, si la enfermedad afecta tempranamente en el cultivo puede ocasionar el vuelco de las plantas debido al debilitamiento que produce en las cañas (Ridao *et al.*, 2014; Carmona & Sautua, 2015).

El agente causal de esta enfermedad es un patógeno necrotrófico que sobrevive como micelio en el rastrojo, el cual es considerado el inóculo principal de la enfermedad. No se conoce la forma sexual del hongo. Es un patógeno que se transporta a través de la semilla, si bien esta fuente de inóculo es considerada secundaria, siendo la principal fuente el rastrojo, tal como se mencionó anteriormente. Las plantas de cebada voluntarias y malezas susceptibles (ej. *Lolium* sp.) son también fuente de inóculo de la enfermedad (Ridao *et al.*, 2014; Carmona & Sautua, 2015).

El desarrollo de la enfermedad es de tipo ascendente. Inicialmente se ven afectadas las hojas basales y de ahí asciende hacia las superiores, teniendo un rol importante en la distribución del patógeno tanto el viento como las precipitaciones, que dispersan a los conidios formados a partir de las lesiones necróticas. Estos conidios son los responsables de infectar otras hojas, vainas u otras plantas, realizándose una dispersión a corta distancia (Andrade Vilaro, 1989).



Fig. 16.4. Lesiones características de la escaldadura de la cebada.
Fuente: L. Couretot.

Condiciones predisponentes

Las condiciones predisponentes para la enfermedad son humedad relativa alta, precipitaciones por el requerimiento de mojado foliar y temperaturas de 15 a 20 °C. Temperaturas mayores no son favorables para el hongo, deteniendo su crecimiento. Estas condiciones se dan en la región pampeana sur, donde es importante la enfermedad, afectando hasta encañazón con daños que rondan el 10 y 15 %. Sin embargo, en años fríos y en variedades susceptibles *R. commune* puede ocasionar daños hasta hoja bandera y afectar espigas infectando aristas y glumas. Al igual que para la mayoría de las manchas foliares, causadas por patógenos necrotóficos, el monocultivo y la siembra directa favorecen la sobrevivencia del patógeno en el rastrojo e incrementan el inóculo inicial.

La enfermedad ocasiona daños en el rendimiento y en la calidad de los granos de cebada por reducción en el número de macollos, número de granos y principalmente reducción del tamaño del grano o calibre, lo cual es importante en la comercialización de la cebada. Tal como se mencionó si la enfermedad se presenta en forma severa también la pérdida es por vuelco.

Manejo

Entre las medidas que se recomiendan para el manejo de la enfermedad se destacan la rotación de cultivos sin la inclusión del centeno, debido a que es susceptible, utilizar semilla sana o tratada con fungicida curasemillas a los fines de disminuir el inóculo primario, eliminación de

malezas susceptibles y plantas voluntarias de cebada, aplicación de fungicidas foliares y utilización de variedades poco susceptibles a la enfermedad (Carmona & Sautua, 2015).

Mancha borrosa y mancha ocular

El agente causal es el hongo *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem. (anamorfo)/*Cochliobolus sativus* (Ito & Kurib.) Drechsler ex Dastur (teleomorfo) que ya fue mencionado causando “tizón de la plántula”. En hojas y vainas, ocasiona lesiones típicas elípticas de color marrón oscuro con contornos no definidos, sintomatología que le da el nombre a la enfermedad conocida como “mancha borrosa” (Fig. 16.5). Desde hace algunos años se ha detectado un síntoma diferente en forma de ojo o lesión redondeada ocasionado por este patógeno que se ha denominado “mancha ocular”. Las manchas foliares varían en tamaño y forma de acuerdo con la edad y estado de la planta, siendo más frecuentes después de espigazón y en las hojas basales. Inician como pequeñas manchitas color ocre de pocos milímetros e irregulares. Luego se alargan siguiendo las nervaduras con bordes poco definidos color marrón-negruzco (spot blotch) (Sisterna, 2014a).



Fig. 16. 5. Síntomas de la mancha borrosa.
Fuente: M. Carmona.

Los granos pueden ser afectados cuando la enfermedad se presenta con alta severidad observándose una coloración parda o negra en la zona del embrión lo cual es conocido como “escudete negro”, que será descrito en enfermedades de espiga y granos. Los granos pueden perder su poder germinativo y si germinan las plántulas pueden presentar los síntomas típicos del tizón (Sisterna, 2014a). Las plantas que sobreviven, pueden ser atacadas por este patógeno y presentar “podredumbre radicular”, también ya mencionada.

Esta enfermedad se presenta en todas las regiones donde se cultiva cebada, prevaleciendo en la zona norte de la provincia de Buenos Aires, considerándose una enfermedad re-emergente con creciente importancia. Se presenta en forma uniforme en el lote. Las fuentes de inóculo principales son las semillas infectadas (con micelio en su interior), semillas infestadas (con conidios externamente) y el rastrojo infectado. Sin embargo, algunos conidios del hongo permanecen en el suelo constituyéndose éste en fuente de inóculo (Sisterna, 2014a).

Condiciones predisponentes

Las condiciones favorables para la enfermedad son temperaturas entre 20 y 25 °C, humedad relativa elevada y más de 12 h de mojado por lluvia o rocío (Ridao *et al.*, 2014). El viento dispersa el patógeno favoreciendo las infecciones foliares a corta distancia.

Manejo

Se recomienda el uso de semilla sana o tratada con fungicidas como por ejemplo Iminoctadine, iprodione, guazatine, imazalil, triadimenol y difenoconazole, rotación de cultivos (con colza, lino y avena), uso de fungicidas foliares, eliminación de plantas voluntarias y siembra de variedades tolerantes. Los fungicidas deben aplicarse cuando se llega al umbral de daño económico alrededor de 25-30 % de incidencia en macollaje-encañazón con triazoles o mezclas de triazoles y estrobilurinas (Carmona, 2008b).

Salpicado necrótico o ramulariosis

Su agente causal es el hongo *Ramularia collo-cygni* B. Sutton & J.M. Waller y es la enfermedad más importante en el cultivo de cebada a nivel mundial. Tal como se mencionó con anterioridad, el patógeno tiene un período de latencia como endófito en el que coloniza los tejidos de la planta sin causar síntomas y luego presenta una fase necrótica. La enfermedad se hace visible en forma “explosiva” a partir de la floración, momento en el cual se produce un stress natural por la re-movilización de los nutrientes hacia la espiga. El hongo puede desarrollar en las hojas que han muerto naturalmente o por condiciones predisponentes como deficiencia de nutrientes y/o stress en la base de plantas desde el estado de macollaje (Carmona & Sautua, 2015).

Los síntomas característicos son lesiones necróticas muy pequeñas inicialmente aisladas, a modo de un salpicado de coloraciones marrones, frecuentemente con halo clorótico que se distribuyen en toda la hoja, a los que también se los llama “puntos pimienta” (Fig. 16.6). Esta patología suele confundirse con otras manchas foliares o lesiones de origen fisiológico (deficiencias de nutrientes como Mg y K o exceso de Boro), si bien, tanto la presencia de manchas en hojas, tallos y vainas, aunque a veces en espigas, glumas y aristas, más la característica de observarse la lesión en ambas caras de la hoja y la presencia del halo clorótico son aspectos que ayudan para diferenciarla (Ridao *et al.*, 2014; Carmona *et al.*, 2013; Carmona & Sautua, 2015).

Estas pequeñas lesiones se hacen luego más grandes, más rectangulares, se oscurecen y coalescen a lo largo de las hojas, lo cual, sumado a la producción de toxinas por el hongo, ocasionan una clorosis foliar, muerte generalizada de las hojas y una senescencia temprana (Fig. 16.6 B). El signo del hongo se observa en los tejidos afectados presentándose desde las manchas iniciales con conidióforos característicos en forma de “cuello de cisne” lo cual le ha dado el nombre a la enfermedad y conidios a lo largo de las nervaduras, emergiendo de los estomas en fascículos. Los conidios, penetran por estomas, son muy pequeños y se dispersan a través del viento a corta y larga distancia, apareciendo los síntomas a los 7-9 días de la infección, sin embargo, las precipitaciones también tienen un rol en la dispersión de los conidios. El patrón de distribución de la enfermedad en el campo es en forma generalizada y otras veces en manchones lo cual depende de la presencia de malezas susceptibles o de las precipitaciones (Carmona, 2008b).



Fig. 16. 6. Síntomas de salpicado necrótico.
Fuente: A: L. Couretot; B: M. Carmona.

Dependiendo de las condiciones predisponentes, será la severidad con que se manifieste la enfermedad, la que al producirse explosivamente puede conducir a la muerte de las hojas en forma temprana, y de ello depende el daño que finalmente se verifica en la reducción de los rendimientos afectando el número, peso y calibre de los granos. Se han registrado valores de severidad del 60 al 100 % en 2001/2002 en campos de Puán, Tres Arroyos, Bragado, Coronel Dorrego y Guisasola, y, otra epifitía muy grande con 40 y 60 % de severidad en la campaña 2012/2013 en zonas de Santa Fe y Córdoba y valores de reducción de rendimiento promedio de 20 % con valores extremos del 60 % rondando entre 1 a 1,5 tn.ha⁻¹ (Carmona *et al.*, 2013).

Las fuentes de inóculo son las semillas infectadas, el rastrojo infectado, plantas de cebada voluntarias y otros hospedantes susceptibles. El hongo a partir de estas fuentes de inóculo infecta a las plántulas, produciendo esporulaciones tempranas en hojas senescentes, lo que aumenta la cantidad de inóculo, coloniza endofíticamente la planta hasta manifestarse con los síntomas característicos dependiendo su severidad de las condiciones ambientales (Fig. 16.7).

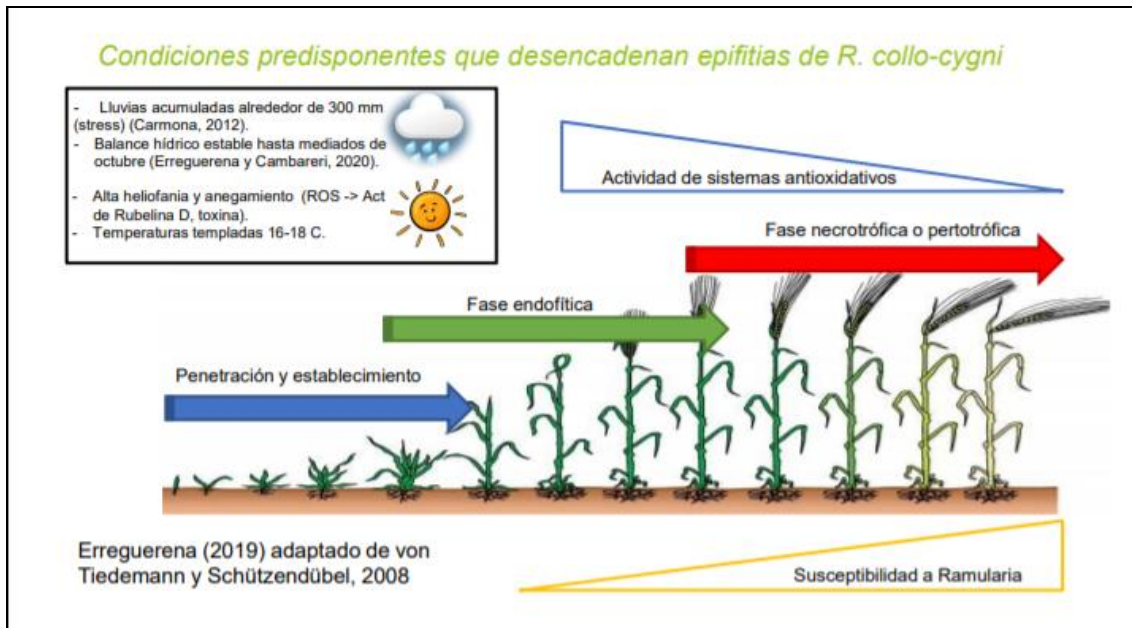


Fig. 16.7. Condiciones predisponentes y etapas de la infección.

Fuente: Errenguerena, 2020.

Condiciones predisponentes

La ramulariosis es una enfermedad esporádica en nuestra región que se ve favorecida por condiciones de humedad relativa mayor a 90 %, temperaturas frescas entre 10 y 18 °C y alta heliofanía. A su vez, las precipitaciones facilitan las horas de mojado foliar que requiere el hongo para germinar y penetrar en la planta. Otros factores que favorecen la enfermedad son el uso de variedades susceptibles, siembras tempranas, el monocultivo y la siembra directa. Asimismo, se ha sugerido que las plantas estresadas por falta de recursos minerales como nitrógeno o anegamiento predisponen a la planta frente a la enfermedad (Ridao *et al.*, 2014; Carmona & Sautua, 2015).

Manejo

Para el manejo de la enfermedad se recomienda el uso de semilla sana, tratamiento de semillas, evitar el monocultivo, eliminación de plantas voluntarias de cebada y otros hospedantes susceptibles (ej. *Lolium* spp.) y la aplicación de fungicidas, ya que todas las variedades utilizadas en el país son susceptibles a la ramulariosis, siendo en particular la variedad Scarlett de alta susceptibilidad. Debido a la dificultad para el reconocimiento de la enfermedad a campo ante la similitud con otras patologías de origen parasitario u otras sintomatologías de origen fisiológico, se recomienda, previo a la toma de decisión de aplicar fungicida, la realización de un diagnóstico en laboratorio fitopatológico a los fines de identificar el agente causal.

Para la aplicación de fungicida se recomienda la triple mezcla de carboxamidas, como isopyrazam, fluxapyroxad, bixafen, para mencionar algunos junto con estrobilurinas y triazoles (Errenguerena, 2017). Esta mezcla de fungicidas a su vez disminuye el riesgo de generación de resistencia a fungicidas, considerando que el hongo tiene una alta variabilidad genética. Sin embargo, ya se ha registrado resistencia a estrobilurinas en Argentina.

Debido a que el patógeno tiene un período de latencia, es importante estar atento con las condiciones ambientales que si son favorables se recomienda una aplicación preventiva (Erren-guena, 2020). Por otro lado, se debe considerar, la presencia de otras enfermedades foliares en el cultivo las que, de llegar al umbral de daño requerirán una aplicación de fungicida para lo cual esta mezcla triple permite un amplio rango de estas enfermedades y también es efectiva frente a la ramulariosis. Se ha demostrado que una aplicación desde macollaje-encañazón tiene buenos resultados en la reducción de esta enfermedad (Carmona *et al.*, 2013).

Roya de la hoja de la cebada

Es ocasionada por el hongo biótrofo *Puccinia hordei* Otth. Es una roya heteroica y macrocíclica. Puede afectar a la cebada desde el estado de plántula, si bien la enfermedad es más evidente desde el estado de macollaje a espizazón. Se caracteriza por la producción de pústulas de color naranja, principalmente en la cara superior de las hojas, que corresponden a los urediniosoros. Más tarde aparecen los teliosoros como pústulas de color negro (Fig. 16.8). Infecciones severas provocan un amarillamiento prematuro de las hojas. Es una enfermedad que ha venido incrementándose en los últimos años principalmente en el sudeste de Buenos Aires y que ha respondido a la siembra de una amplia superficie de siembra con la variedad Scarlett que es susceptible a esta roya.

Los daños que ocasiona son más severos cuando infecta tempranamente el cultivo o al estado de hoja bandera. Las plantas afectadas pueden llegar a presentar hojas más pequeñas y tallos débiles. En infecciones tempranas severas el rendimiento se puede ver muy afectado al igual que el peso de los granos (González González *et al.*, 2013).

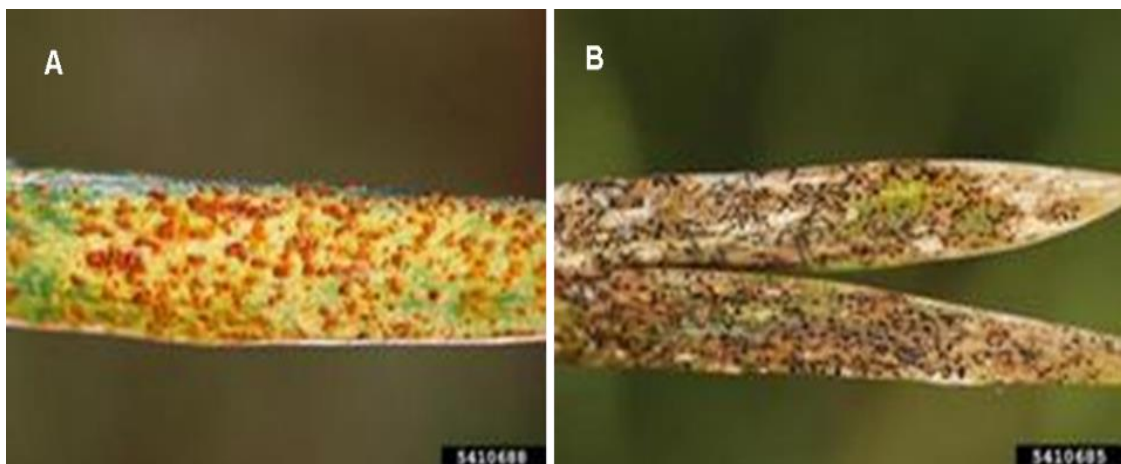


Fig. 16. 8. Roya de la hoja: A: Urediniosoros; B: Teliosoros.
Fuente: Donald Groth, Louisiana State University AgCenter, Bugwood.org.

Las plantas voluntarias de cebada son la principal fuente de inóculo en las que sobrevive el patógeno, las que aportan el inóculo primario. El inóculo secundario se genera con las siguien-

tes infecciones (enfermedad policíclica) dispersándose a través del viento a cortas y largas distancias, tal como ocurre para todas las royas.

Condiciones predisponentes

Requiere condiciones de humedad con presencia de agua libre sobre las hojas durante más de 6 horas y temperaturas templadas con óptima entre 15 y 22 °C para que ocurra la infección.

Manejo

Entre las medidas que se recomiendan para el manejo de la enfermedad pueden mencionarse evitar el exceso de fertilización, evitar el uso de variedades susceptibles, evitar siembras densas, realizar monitoreos y hacer aplicaciones con fungicidas foliares. Se utilizan mezclas de triazoles y estrobilurinas con umbrales ente el 5 y 10 % de incidencia foliar desde fin de macollaje (Carmona, 2008b).

Mosaico estriado de la cebada

Su agente causal es el virus Barley stripe Mosaic virus (BSMV). Es una enfermedad que puede causar importantes daños en variedades susceptibles. Los síntomas característicos son estrías longitudinales en las hojas, color amarillo a verde pálido, si bien algunas razas pueden ocasionar aborto de flores (Herrera *et al.*, 2001) (Fig. 16.9). También puede ocasionar enanismo leve y las plantas pueden mostrar un aspecto achaparrado y hojas retorcidas. El virus se localiza en el embrión y en el endosperma, siendo la semilla la principal fuente de inóculo. Las pérdidas de rendimiento que ocasiona, alrededor del 20 %, están asociadas al número de semillas por espiga, al peso y al poder germinativo. Las pérdidas dependen de la variedad utilizada, del origen de la semilla, de la virulencia del virus y de las condiciones ambientales (Sinavimmo, 2021). El virus se transmite a través de las semillas, por transmisión mecánica por contacto entre plantas y por polen. También puede afectar a la avena y al trigo.

Condiciones predisponentes

Las condiciones predisponentes son temperaturas entre 25 °C y 30 °C y días luminosos (Sinavimmo, 2021).

Manejo

Para el manejo se recomienda el uso de semilla sana y de variedades con tolerancia o resistencia.



Fig. 16. 9. Síntomas del mosaico estriado de la cebada (BSMV).

Fuente: A: State Plant Pathology Institute of Denmark, Bugwood.org. B: J. Begtrup, State Plant Pathology Institute, Bugwood.org.

Enanismo amarillo de los cereales en cebada

La enfermedad es ocasionada por el virus Barley yellow dwarf virus (BYDV) que también afecta a la avena, trigo y maíz y un amplio rango de hospedantes dentro de las Poaceas. El síntoma característico es el amarillamiento de las hojas desde el ápice hacia la base, algunas veces con una coloración algo rojiza y enanismo de la planta (Fig. 16.10). La enfermedad también puede ocasionar hojas banderas rígidas, fallas en la emergencia de las espigas, afectar raíces o evitar su formación (Sinavimo, 2021). Esta enfermedad tiene una amplia distribución dependiendo de las zonas de producción y el año. El virus es transmitido por áfidos, principalmente pulgones de diversos géneros como *Sitobion*, *Ropalosiphum* y *Sipha maydis* en forma persistente y circulativa, esto es una vez que adquirió el virus, el virus se transmite por un lapso de unas semanas.



Fig. 16.10. Síntomas del mosaico amarillo de los cereales (BYDV).

Fuente: A: W.M. Brown Jr., Bugwood.org; B: K. Weller, USDA Agricultural Research Service, Bugwood.org.

Se conocen varias razas del virus. El daño depende de la raza que infecte, del cultivar, del estado fenológico de las plantas al momento de la infección, del hospedante (especie) y de las condiciones ambientales.

Condiciones predisponentes

Temperaturas frescas entre 15 y 18 °C favorecen la aparición de la enfermedad al igual que días con alta heliofanía y clima seco.

Manejo

Para el manejo de la enfermedad se recomienda la aplicación de insecticidas sistémicos a la semilla, resistencia genética y eliminación de plantas voluntarias y otros hospedantes susceptibles. Debe considerarse que cuanto más temprano se presente el virus mayor será el daño que ocasione en el cultivo.

Enfermedades en inflorescencias y granos

Carbón volador de la cebada

El agente causal es el hongo *Ustilago nuda* (Jens.) Rostr. Es una enfermedad que, si bien existe en nuestro país desde hace 30 años, en los últimos 3 años viene cobrando mucha importancia por su rápida distribución. Se observa durante el período de floración momento en el que emerge la “espiga carbonuda”, que consiste en el raquis totalmente cubierto por una masa pulverulenta carbonosa de teliosporas (Fig. 16.11A). La masa de carbón presenta una coloración castaño verdoso a negro y se desprende con facilidad. Las plantas enfermas tienen un menor porte que las plantas sanas y son más precoces emergiendo la espiga carbonuda antes que el resto de las plantas sanas. Inicialmente los soros pulverulentos están cubiertos por una membrana que luego se rompe rápidamente siendo ésta una de las características que diferencia *U. nuda* de *U. tritici*, el carbón que afecta al trigo. Al romperse la membrana las teliosporas del hongo se dispersan con la ayuda del viento y en presencia de alta humedad ingresan a través de los estigmas de las flores o directamente a través de la pared del ovario infectando los granos en formación. El hongo permanece en su interior en estado de dormición observándose como un velo de color marrón dorado a marrón cuando los granos son analizados con la técnica de extracción de embriones según las normas ISTA (Astiz Gassó, 2020a) (Fig. 16.11B).

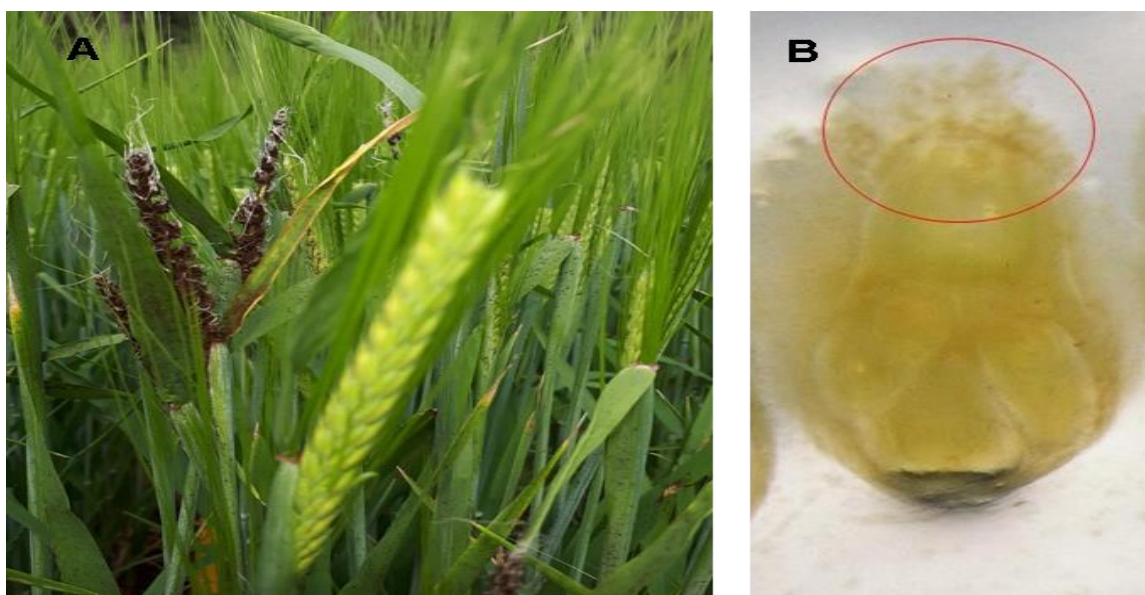


Fig.16. 11. Carbón volador de la cebada. A: Espigas carbonudas; B: Detección en embriones con *Ustilago nuda*.

Fuente: M. M. Astiz Gassó.

Al sembrarse la semilla infectada, el hongo desarrolla sistémicamente junto con el ápice infectando la espiga en formación sin observarse síntomas visibles hasta la floración. El hongo no afecta la germinación, contrariamente requiere que la semilla germine para poder asegurarse la infección.

Condiciones predisponentes

El período para que se produzca la infección es acotado al momento de la floración por lo cual las condiciones ambientales durante corto tiempo deben ser favorables para el hongo. Entre ellas, para una óptima germinación de la teliospora se requiere alta humedad (95 %) y temperaturas entre 20 y 25 °C.

Esta enfermedad en los últimos años está adquiriendo relevancia debido a que es dispersada a cortas y largas distancias a través de semillas infectadas no tratadas o ineficientemente tratadas. Estas semillas al sembrarse aumentan de un año al otro exponencialmente la incidencia de la enfermedad. Por lo cual, es importante la realización de diagnósticos para la detección de carbón previo a la siembra y en caso positivo realizar un efectivo tratamiento. Es importante remarcar que en nuestro país no existe legislación que regule tolerancias de carbón en semillas para la siembra. En otros países se admite para semillas fiscalizadas una tolerancia de dos semillas con presencia de carbón en el embrión de cada 2000 observados utilizando la técnica de extracción de embriones (Astiz Gassó, 2020b). Sin embargo, si existen en el país tolerancias en la comercialización de semillas a través de las normas establecidas por el SENASA, no especificando que sean para siembra (Resolución SENASA 27/2013) siendo la tolerancia de recibo de un máximo 0,2 % (2 semillas de 100).

Un estudio realizado por la Asociación de Laboratorios Agropecuarios Privados (ALAP) junto con Syngenta analizó la incidencia del carbón volador en 45 lotes de semillas de cebada en nuestro país destinadas a la producción de semillas para la campaña 2020 revelando que el 78

% de las muestras fueron positivas para *U. nuda* utilizando la técnica de extracción de embriones con valores de incidencia promedio de 2,23 % (Fig. 16.12).

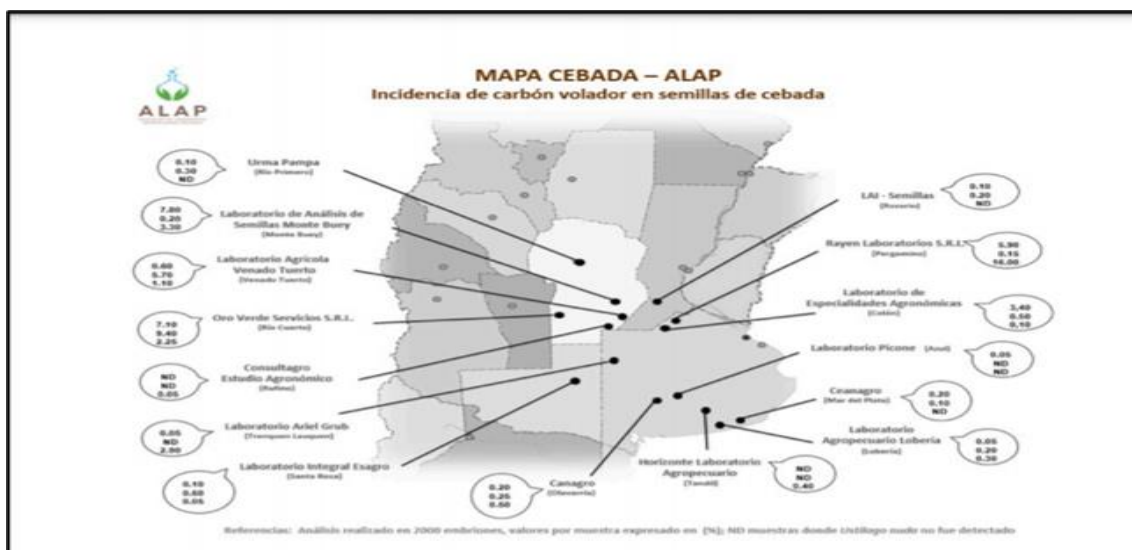


Fig. 16. 12. Valores de incidencia de *Ustilago nuda* en muestras de semillas analizadas (la incidencia es por 2000 semillas en porcentaje).
Fuente: ALAP, 2020.

Como puede verse en el gráfico un 20 % de las muestras analizadas presentó valores de incidencia de hasta 0,1 %, 29 % con valores entre 0,1 y 0,5 % y un 29 % con valores mayores a 0,5 %.

Manejo

La recomendación preferencial es la realización de un análisis de semillas previo a la siembra a los fines de detectar la incidencia del carbón. Y, para su control debe aplicarse un fungicida curasemillas sistémico al detectarse valores entre 0,1-0,2 % de embriones con carbón en semillas analizadas. También se menciona una aplicación de alta dosis con valores de 0,5 % de presencia de carbón en semillas (Astiz Gassó, 2020a). Los fungicidas que se utilizan son mezclas de carboxamidas y triazoles.

Manchado de espigas y granos

Los granos de cebada pueden ser afectados por una gran variedad de hongos saprófitos patógenos débiles entre los que se destacan principalmente diversos representantes del género *Alternaria* y *B. sorokiniana*. Otras especies que han sido aisladas de granos manchados pertenecen a los géneros *Fusarium*, como *F. poae* y *Drechslera*, *Curvularia*, *Epicoccum*, *Exserohilum* y *Cladosporium*. En nuestro país, *Alternaria* es el principal género que interviene en esta enfermedad con representantes de grupos de especies diferentes: *A. alternata*, *A. tenuissima* y *A. infectoria*, manifestándose como manchas negras y ocasionando daños aún en endosperma (Cipollone, 2016). Por otro lado, es importante resaltar que se ha demostrado su

transmisión a las plántulas (Perelló & Larran, 2013) y que estos hongos producen micotoxinas de riesgo para la salud humana y animal (Perelló, 2014).

Los granos afectados presentan una coloración parda o negra que, en la mayoría de los casos se limita al embrión, conocido como “escudete negro” o “*blackpoint*”, ya mencionada anteriormente en la descripción de la mancha borrosa debido a que uno de los agentes causales es *B. sorokiniana*. Sin embargo, esta limitación del manchado en el embrión es más típica en trigo, presentándose más difusa en los granos de cebada (Fig. 16.13). En infecciones severas todo el grano puede quedar manchado y arrugado (Sisterna, 2014b).

Sobre los granos manchados los hongos intervinientes pueden producir micelio y/o estructuras reproductivas sobre glumas y aristas y, en este caso ocasionar el manchado de la espiga. Muchas veces no se observa el manchado en espigas y en otros casos se observan solo lesiones elípticas marrón claro a marrón oscuro en la cara interior de las glumas y, sin embargo, durante la trilla pueden observarse los granos manchados (Sisterna, 2014b).

Este complejo de hongos que producen el manchado de granos puede disminuir el poder germinativo, el peso, el tamaño de los granos y la calidad maltera. En granos almacenados pueden afectar hongos de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*, los que ocasionan coloraciones en los granos, fallas en germinación, dañado de embriones y producción de micotoxinas (Sisterna, 2014b).

Puede mencionarse, el resultado de un estudio realizado con muestras de granos de cebada provenientes de distintas localidades del país del 2014 y 2015, el cual mostró que el 100 % de las muestras tuvieron incidencia de *Alternaria*, correspondiendo la mayor proporción a especies del grupo *A. tenuissima* (72,9 %). Asimismo, el análisis de las semillas detectó la presencia de micotoxinas en el 83% de las muestras siendo el alternariol la micotoxina predominante seguida de ácido tenuazónico. Estas tienen importancia debido a que tienen diversos efectos adversos en la salud contaminando granos y productos de la industrialización de estos granos. Se destaca que no existe legislación que regule las tolerancias en nuestro país (Castañares, 2020).

Condiciones predisponentes

El desarrollo de esta patología está relacionada a condiciones ambientales de alta humedad y lluvias prolongadas durante el período de maduración de los granos. También se observa en espigas que han sido afectadas por la fusariosis en donde los hongos desarrollan sobre los tejidos muertos y sobre espigas que han sufrido el vuelco o daños por heladas.

Manejo

Se recomienda una combinación integrada entre manejo cultural y la aplicación de fungicidas que debería evaluarse en relación con cada interacción genotipo x ambiente. El tratamiento de semillas con terapicos contribuye a reducir el inóculo inicial actuando sobre el agente causal. En el almacenamiento de granos controlar las condiciones de temperatura y humedad durante el transporte y el almacenamiento de los granos (Castañares, 2020).



Fig. 16.13. Granos manchados de cebada.
Fuente: J. Cipollone.

Entre las patologías que afectan la inflorescencia y los granos de cebada no puede dejar de mencionarse a la fusariosis de la espiga, la cual no será abordada en este capítulo debido a que está descrita en el capítulo 6: Trigo: manejo de enfermedades. Sin embargo, cabe destacar la importancia de esta patología en la pérdida de rendimiento, calidad y por las micotoxinas producidas como metabolitos secundarios que afectan la seguridad alimentaria, las que junto con las producidas por *Alternaria* son las más importantes que afectan a la cebada.

Consideraciones finales en el manejo de enfermedades del cultivo de cebada

El incremento de la superficie sembrada con cebada, la susceptibilidad de las variedades utilizadas frente a las enfermedades, las prácticas de manejo, como el monocultivo y las rotaciones no adecuadas como soja-cebada y soja de segunda-soja, son factores que han ido incrementando la incidencia y severidad de las enfermedades que afectan a este cultivo. A modo de ejemplo, las rotaciones no adecuadas han favorecido el desarrollo de enfermedades radiculares ocasionadas por *R. solani* y *Fusarium* spp. También la siembra directa, el monocultivo, fallas en la elección de las rotaciones y tratamientos ineficientes de semillas, entre otros, han incrementado las enfermedades foliares ocasionada por patógenos necrotróficos que perduran en el rastrojo o que se transmiten a través de las semillas. Otro aspecto que se debe considerar es que el uso de un solo genotipo o de escasa variabilidad genética en amplias regiones productoras favorece la proliferación de epifitias ocasionadas por diferentes patologías.

Siendo que, en cebada, además del rendimiento, la calidad y en especial, el calibre de la semilla, son considerados de importancia en lo que respecta al destino para la industria malte-

ra/cervecera, para mantener la sanidad del cultivo y lograr expresar la mayor potencialidad de producción del genotipo en el marco de una agricultura sustentable debe programarse un manejo que incluya estrategias integradas culturales, genéticas, químicas y biológicas. Asimismo, entre las recomendaciones para mantener la sanidad de los cultivos se destacan la realización de análisis de semillas previo a la siembra en laboratorios y monitoreos durante el ciclo del cultivo. Si bien hay excepciones en cuanto al manejo de las enfermedades que afectan a la cebada, de acuerdo con las características epidemiológicas, a continuación, se resumen las principales medidas para los grupos de enfermedades descriptos.

En líneas generales puede mencionarse que para el manejo de las patologías que ocasionan “*damping off*”, podredumbre de raíces, base de tallos y corona, se recomiendan como medidas preferenciales, por un lado, el tratamiento de semillas con mezclas (carboxamidas, triazoles) a fines de brindar una protección inicial para el establecimiento del cultivo. Por otro lado, se debe realizar una programación previa de rotación con cultivos no susceptibles a las enfermedades que se den en la región. Asimismo, la implementación de una fertilización de arranque favorece el desarrollo de raíces y permite el establecimiento de las plantas.

Las manchas foliares que son causadas por patógenos necrotróficos, tal como se mencionó, son las principales enfermedades que afectan en la actualidad al cultivo de cebada siendo la semilla infectada y el rastrojo las principales fuentes de inóculo. Por lo tanto, las medidas preferenciales para su manejo son el uso de semillas sanas o tratadas con fungicidas para proteger a las plántulas en los primeros estadios y la rotación con cultivos no susceptibles a estos patógenos para reducir el inóculo primario. Sin embargo, pueden implementarse para estas patologías otras medidas tales como el uso de variedades con resistencia o tolerancia, tratamientos químicos oportunos y eliminación de hospedantes secundarios como malezas y plantas de cebada voluntarias. Las prácticas de manejo del rastrojo que aceleren la descomposición favorecen la reducción de inóculo. Adicionalmente, la correcta elección de la fecha de siembra para algunas enfermedades es de importancia a fin de escapar a las condiciones favorables para el desarrollo de patógenos como en el caso de los causantes de la escaldadura y la ramulariosis, las cuales son favorecidas por las siembras tempranas. Por su parte, para las enfermedades ocasionadas por patógenos biotróficos como las royas y oídios, las estrategias para su manejo están basadas en el uso de variedades con resistencia genética, eliminación de plantas voluntarias y el control químico.

La aplicación de fungicidas foliares se recomienda luego de un seguimiento a través de monitoreos una vez que los valores alcancen el umbral de daño de acción con la finalidad de reducir la tasa de infección. Cabe mencionar, que las aplicaciones foliares con fungicidas a su vez reducen los efectos de los patógenos causantes del manchado de granos. Los fungicidas que se recomiendan son las mezclas dobles o triples (carboxamidas, triazoles y estrobilurinas) que combinan diferentes mecanismos de acción, evitan la generación de resistencias, amplían el espectro de acción o aumentan el tiempo de protección. En particular, se destaca la inclusión de carboxamidas para el manejo de ramulariosis y, de acuerdo con las condiciones predisponentes ambientales se recomienda la aplicación preventiva.

Para el carbón volador, deben utilizarse fungicidas curasemillas sistémicos entre los que se recomiendan carboxamidas y triazoles, cuando se registran en el lote de semillas analizado valores de referencia entre 0,1 y 0,2 % de carbón en embriones. Entre los fungicidas utilizados como curasemillas pueden mencionarse a iminocadine, iprodione, guazatine, imazalil, y triazoles como triadimenol, triticonazol y difenoconazole, como bencimidazoles, carbendazim. Para las aplicaciones foliares se utilizan fluxapyroxad (carboxamida), piraclostrobina, azoxistrobina, trifloxistrobina (estrobilurina) y epiconazole, tebuconazole y epoxiconazole (triazol).

Plagas

En cuanto a las plagas que afectan al cultivo de cebada son las mismas consideraciones que las realizadas en el capítulo de plagas de trigo. Debido a que se cultivan en la misma época y a la similitud morfológica y ecofisiológica de ambos cultivos la interacción con las plagas es la misma. De esta manera, en este capítulo no se desarrollarán esta temática.

Referencias

- Andrade Vilaro, O. (1989). Rincosporiosis o escaldadura de la hoja de cebada *Rhynchosporium secalis* (Oud.) J. J. Davis, en la zona sur de Chile. Sintomatología, condiciones predisponentes, daño y control. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. *Boletín Técnico 138*. Estación Experimental Carillanca Temuco, Chile.
- Asociación de Laboratorios Agropecuarios Privados (ALAP). (2020). Incidencia de carbón volador (*Ustilago nuda*) en semillas de cebada (*Hordeum vulgare*). Informe realizado para Syngenta.
- Astiz Gassó, M. M. (2020a). *Ustilago nuda* en cebada (*Hordeum vulgare*) y *Ustilago bullata* en cebadilla criolla (*Bromus catharticus*). 1º Congreso Argentino de semillas. ALAP - Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Córdoba Módulo 1. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=KeF3QV6cTRk&t=4593s>.
- Astiz Gassó, M. M. (2020b). Detección de *Ustilago* spp. en semillas de *Triticum* spp. y *Hordeum* spp. 1º Congreso Argentino de semillas. Asociación de Laboratorios Agropecuarios Privados (ALAP) - Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Córdoba. Recuperado de: :///C:/Users/Silvina/Downloads/120-S-Astiz-Gasso-2-poster_merged.pdf.
- Bingham, I. J. & Topp, C. F. (2009). Potential contribution of selected canopy traits to the tolerance of foliar diseases by spring barley. *Plant Pathology*, 58, 1010-1020.
- Bancal, M. O., Robert, C. & Ney, B. (2007). Modelling wheat growth and yield losses from late epidemics of foliar diseases using loss of green leaf area per layer and preanthesis reserves. *Annals of Botany*, 100, 777-789.
- Carmona, M. (2008a). Principales manchas foliares en el cultivo de cebada cervecera. Diagnóstico y manejo. Agronegocios del Plata (ADP) N° 5.
- Carmona, M. (2008b). Manejo integrado de las principales enfermedades de la cebada cervecera: el caso de las manchas foliares. XVI Congreso de Aapresid. Editor/es: XVI Congreso Aapresid "Quo Vadis", 297-305.

- Carmona, M., Barreto, D. & Fortugno, C. (1996). Occurrence of halo spot in barley caused by *Pseudoseptoria donacis* in Argentina. *Bulletin OEPP EPPO BULLETIN* 26, 431-439. Recuperado de: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.1996.tb00608.x>
- Carmona, M. & Sautua, F. (2015). *Manual práctico para el diagnóstico de enfermedades foliares y su control con fungicidas en los cultivos de trigo y cebada* (85). FAUBA-BASF.
- Carmona, M. & Sautua, F. (2017). Criterios para el manejo integrado de enfermedades. En G. A. Divito & F. O. García (Comp. y Eds.), *Manual del cultivo de trigo* (93-108). Acassuso: International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- Carmona, M.A., Scandiani, M.M., Formento, A. N. & Luque, A. (2013). Epidemias de *Ramularia collo-cygni*, organismo causal del salpicado necrótico de la cebada. Campaña 2012-2013 Revista Cultivos Invernales en SD. AAPRESID: 44-47. Recuperado de: <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2018/03/Cultivos-Invernales-2013.pdf>
- Carretero, R., Serrago, R.A., Bancal, M.O., Perelló, A.E. & Miralles, D. J. (2010). Absorbed radiation and radiation use efficiency as affected by foliar diseases in relation to their vertical position into the canopy in wheat. *Field Crops Research*, 116, 184-195.
- Castañares, E. (2020). Micotoxinas de *Alternaria* en granos de cebada, ¿una amenaza para la seguridad alimentaria? 1º Congreso Argentino de semillas. Conferencia. Asociación de Laboratorios Agropecuarios Privados (ALAP)-Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Cipollone, J. (2016). Manchado del grano de trigo candeal: incidencia, micoflora y estudios bioquímicos en material del SE de la Pcia. de Bs. As. Tesis Doctoral. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/57792/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Duveiller, R.P., Singh, M., Henry, E. I. & García, A. (2005). Guía práctica para la identificación de algunas enfermedades de trigo y cebada. Segunda edición. México, D.F.: CIMMYT. 58 p.
- Errenguerena I. (2017). Estado sanitario y detección de *Ramularia collo-cygni* en el cultivo de cebada de la provincia de Buenos Aires. Recuperado de <https://inta.gob.ar/noticias/estado-sanitario-y-deteccion-de-ramularia-collo-cygni-en-el-cultivo-de-cebada-de-la-provincia-de-buenos-aires>
- Errenguerena, I. (2020). Detección, epidemiología y manejo de *Ramularia collo-cygni*. Conferencia 1º Congreso de Semillas. ALAP - Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Córdoba. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=KeF3QV6cTRk>
- Errenguerena, I., Quiroz, F. & Gimenez, F. Coordinadores. (2017). Red de protección ante enfermedades en cebada. INTA. Campaña 2016/2017. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_repec_informefinal_campana2016-2017.pdf
- González González, M., Zamora Díaz, M., Huerta Zurita, R., Solano Hernández, S. (2013). Eficacia de tres fungicidas para controlar roya de la hoja en cebada maltera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4 N° .8. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000800010

- Herrera, G., Beratto E.M., Andrade, O.V. & Madariaga, M.V. (2001). Identification of barley stripe mosaic virus (BSMV) on Barley in Chile. *Agric. Téc.*, 61, 3. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072001000300003>
- Lori, G. & Sisterna, M. (2014). Enfermedades fúngicas de la plántula y del sistema radical. En C.A. Cordo, & M. N. Sisterna (Coords). *Enfermedades del trigo. Avances científicos en la Argentina* (123-128). La Plata: Editorial EDULP.
- Melo Reis, E. 1991. Mancha en red de la cebada: biología, epidemiología y control de *Drechslera teres*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) Uruguay. Serie Técnica N° 3.
- Owera, S.A., Farrar, J.P. & Whitbread, R. (1981). Growth and photosynthesis in barley infected with brown rust. *Physiological Plant Pathology*, 18, 79-80.
- Paveley, N.D., Sylvester-Bradley, R., Scott, R.K. & Day, W. (2001). Steps in predicting the relationship of yield on fungicide dose. *Phytopathology*, 91, 708-716.
- Perelló, A. E. (2014). Enfermedades nuevas y emergentes en trigo. En C. A. Cordo & M. N. Sisterna (Coords.) *Enfermedades del trigo. Avances científicos en la Argentina* (186-200). La Plata, Editorial EDULP.
- Perelló, A.E. & Larran, S. (2013). Nature and effect of *Alternaria* spp. complex from wheat grain on germination and disease transmission. *Pakistan Journal of Botany*, 45, 1817-1824.
- Pereyra, S. & Germán, S. (2011). Manchas foliares en cebada: reconocimiento, epidemiología y estrategias de manejo. En S. Pereyra, M. Díaz de Ackermann, S. Germán & K. Cabrera, K. (Eds.) *Manejo de enfermedades de trigo y cebada*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Serie técnica N° 189. República Oriental del Uruguay.
- Rabbinge, R. (1993). The ecological background of food production. En *Crop Protection and Sustainable Agriculture. Ciba Foundation Symposium*, 177, 2-29. Chichester, Inglaterra, John Wiley & Sons. Recuperado de: <https://edepot.wur.nl/216169>
- Ridao, A. C., Clemente, G. E., Erreguerena, I. A., Lázzaro, N., Maringolo, C. A., Montoya, M. & Quiróz, F. J. (2014). Panorama sanitario de la cebada. *Revista Visión Rural Año XXI N° 101*. SIDALC.
- Senasa, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Norma de comercialización cebada cervecera. Recuperado de: <http://www.senasa.gob.ar/resolucion-272013>
- Serrago, R.A., Carretero, R., Bancal, M.O., Miralles, D. J. (2009). Foliar diseases affect the eco-physiological attributes linked with yield and biomass in wheat (*Triticum aestivum* L.). *European Journal of Agronomy*, 31, 195-203.
- Schierenbeck, M., Fleitas, M.C., Miralles, D.J. & Simón, M.R. (2016). Does radiation interception or radiation use efficiency limit the growth of wheat inoculated with tan spot or leaf rust? *Field Crops Research*, 199, 65-76.
- Sisterna, M. (2014a). Mancha borrosa del trigo. En C. A. Cordo & M. N. Sisterna (Coords.), *Enfermedades del trigo. Avances científicos en la Argentina* (173-186). La Plata: Editorial Edulp.

- Sisterna, M. (2014b). Manchado de la semilla/grano de trigo. En C.A. Cordo, & M. N. Sisterna, (Coords.), *Enfermedades del trigo. Avances científicos en la Argentina* (77-91). La Plata: Editorial Edulp.
- Simón, M.R., Fleitas, M.C., Castro, A.C. & Schierenbeck, M. (2020). How foliar fungal diseases affect nitrogen dynamics, milling, and end-use quality of wheat. *Front Plant Science*, *11*, 569-401.
- Sinavimo, Sistema nacional de monitoreo y vigilancia de plagas. Recuperado de <https://www.sinavimo.gob.ar/plaga/barley-stripe-mosaic-virus>
- Storn, A. C. (2017). Enfermedades de cebada en el inicio del cultivo. *Agrobarrow*, *60*, 13-14. Recuperado de https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/31116/Agro_barrow_60_p.13-14.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tambussi, E A., Bort, J., Guiamet, J.J., Nogués, S. & Araus, J.L. (2007). The photosynthetic role of ears in C3 cereals: Metabolism water use efficiency and contribution to grain yield. *Critical Reviews in Plant Science*, *26*, 1-16.
- Wolcan, S. (2014). Patologías causadas por *Gaeumannomyces graminis*, *Pythium* spp., *Rhizoctonia* spp. y otros. En C A. Cordo & M.N. Sisterna (Coords.), *Enfermedades del trigo. Avances científicos en la Argentina* (128-161). La Plata: Editorial EDULP.
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzac, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, *14*, 415-421.
- Zhang, X., Ovenden, B. & Milgate, A. (2020). Recent insights into barley and *Rhynchosporium commune* interactions. *Molecular Plant Pathology*. *21*, 1111–1128.

CAPÍTULO 17

Cebada cervecera: Fertilización

Christian Weber

Introducción

La cebada comparte no sólo el mismo nicho ecológico que el trigo, sino además numerosos atributos fisiológicos que hacen a la generación del rendimiento y la calidad de grano. Es así que algunas de las consideraciones referentes a la dotación de nutrientes al cultivo vistas en el capítulo correspondiente a trigo, son válidas también para cebada, aunque este último cultivo posee ciertas particularidades que serán desarrolladas en el presente capítulo. En la Argentina existen tres tipos de producción de cebada: grano cervecero, grano forrajero y pasto (forraje) con cultivares adaptados para cada tipo. Este capítulo se centrará en el manejo de la fertilidad para la producción de grano. Si bien en nuestro país se cultivan ambos tipos de cebada, cervecera y forrajera, casi con exclusividad la producción se realiza con destino a malteado restando una pequeña proporción para su uso como alimentación animal. Esto se asocia al valor comercial final del producto que suele ser considerablemente superior cumplidos ciertos requisitos de calidad y el destino es para su uso en malterías, fundamentalmente aquellos relacionados al contenido de proteína y tamaño (calibre) de los granos, requisitos que cuando no pueden satisfacerse, el destino de los granos pasa a ser forrajero con su consecuente impacto sobre el resultado económico del cultivo. Es decir, los cultivares de cebada cervecera cumplen con los requisitos exigidos por el mercado forrajero, pero los cultivares de grano forrajero no siempre cumplen con los atributos de calidad exigidos por la industria cervecera (Moreyra & Abbate, 2020). Para ser utilizada por las malterías, la cebada debe tener un contenido intermedio de proteína en los granos, razón por la cual, el manejo de la fertilización nitrogenada es fundamental para alcanzar altos rendimientos y adecuada calidad industrial (Prystupa, 2007). La eficiencia en la producción de cerveza (cantidad de cerveza/unidad de malta) puede verse significativamente y negativamente afectada por valores excesivos de proteína en grano, aportando además turbidez y sabor amargo, mientras que valores bajos pueden representar limitantes al crecimiento de las levaduras responsables del proceso fermentativo. Esto determina un rango estrecho de contenido proteico ideal para el proceso industrial que ronda valores de 10-11% y que determina que dentro de la Norma de comercialización vigente (Norma V, Anexo A -Cebada Cervecera- 2013) el establecimiento de 9,5 y 13 % como los valores mínimo y máximo de proteína en la tolerancia de recibo. Como se mencionara, el otro atributo importante y que tiene que ver con el tamaño del grano y su uniformidad también es afectado por la dotación de nu-

trientes (de manera directa y de manera inversa afectando la removilización de nutrientes durante el período de llenado de granos).

Por otro lado, es importante destacar que se verificó en nuestro país un cambio sustancial en los sistemas de producción debido a diferentes factores. Por un lado agronómicos, como el reemplazo de variedades con bajo potencial de rendimiento por nuevos germoplasmas con alto potencial, que permitieron mayor uso de tecnología de fertilización y que dio como resultado un aumento continuo del rendimiento de 58 kg/ha/año desde 1970 y de un crecimiento de 60% en la superficie sembrada durante la última década (Moreyra & Abbate, 2020). Hoy si bien existen numerosos cultivares inscriptos, cerca del 80% de superficie está sembrada con una sola variedad -Andreia-, situación similar a la verificada oportunamente con la variedad Scarlett a partir del año 2000 y hasta 2012. A su vez, la expansión del cultivo de soja y el hecho de que la cebada es un mejor antecesor en la sucesión cebada/soja que el trigo, fueron factores causales en la expansión de la cebada. Por otro lado, cuestiones coyunturales como restricciones a la exportación de trigo impuestas entre los años 2008 a 2015, así como el crecimiento en la producción de cerveza, incidieron en el incremento del cultivo. Lo anterior ha marcado una intensificación en el uso de los suelos que acentuó la degradación de la fertilidad y la aplicación de fertilizantes se ha vuelto una práctica habitual (Simón, 2013).

Manejo nutricional en cebada

En la actualidad el N, P y S son los nutrientes que más limitan la producción de cultivos de granos en la región pampeana. En cebada, como en otros cultivos, la fertilización nitrogenada además de incrementar los rendimientos puede afectar en forma marcada el contenido proteico de los granos (Prystupa *et al.*, 2012). La respuesta del contenido proteico a la fertilización nitrogenada depende entre otros factores de la variedad utilizada, de la disponibilidad edáfica de N y de la dosis aplicada. La respuesta en rendimiento a dosis crecientes de N muestra un patrón similar a lo observado en otros cultivos (Matthiess *et al.*, 2002). La cebada tendría umbrales críticos inferiores a los de trigo y pendientes menos pronunciadas de respuesta que la hacen más adaptada a suelos con escaso contenido de N. Con bajas disponibilidades de N, la aplicación de pequeñas dosis puede no afectar o incluso disminuir el contenido proteico de los granos (Matthiess *et al.*, 2002, Ross *et al.*, 2011). Dosis algo mayores determinan aumentos en el contenido proteico y si se continúa aumentando la dosis de fertilizante nitrogenado, el contenido proteico seguirá aumentando. Lázzari *et al.*, (2005) en ocho experimentos a campo para determinar el efecto del nitrógeno sobre el crecimiento, la absorción de N del suelo y del fertilizante, el rendimiento y la concentración de N en grano y en diferentes sitios de la Provincia de Buenos Aires, realizaron tratamientos de 0, 30 y 60 kg N. ha⁻¹ aplicados a la emergencia de la planta, 30 y 60 kg N. ha⁻¹ aplicados en macollaje temprano, y 60 kg N. ha⁻¹ fraccionado en dos momentos: 30 kg N. ha⁻¹ cada uno aplicados a la emergencia y en macollaje temprano. Desde macollaje temprano hasta madurez fisiológica, evaluaron la producción de materia seca y la absorción de N de plantas. En este estudio los autores encontraron que la dosis de 30 kg N. ha⁻¹

aumentó el rendimiento, pero no la concentración de N del grano. El agregado de 60 kg N. ha⁻¹ afectó ambos, mientras que el momento de aplicación de N no afectó el rendimiento de la materia seca ni la concentración de N en el grano. La variación en la absorción de N entre sitios fue mayor que la variación en la absorción de N del fertilizante, mientras que el Índice de Cosecha de Nitrógeno no fue afectado por las dosis de N aplicado. Ross *et al.* (2011) en ensayos realizados en ambientes con tosca en el sudeste bonaerense encontraron que el rendimiento del cultivo de cebada fue significativamente afectado por la fertilización nitrogenada, mientras que la magnitud de la respuesta varió entre años y sitios evaluados. La profundidad del suelo - que afecta el nivel de reserva de agua a la siembra-, se presentó como un factor de importancia, que afectó el nivel de producción. Entre los casos evaluados, los lotes que tuvieron un adecuado barbecho y colmaron su capacidad de almacenaje de agua fueron los que mostraron los mayores rendimientos. Sin embargo, fueron las precipitaciones desde mediados del ciclo del cultivo las que afectaron la eficiencia de uso del N del fertilizante. En los ambientes con tosca, con adecuadas precipitaciones desde mediados de ciclo se determinó un requerimiento de 28 kg de N. t⁻¹ de cebada para alcanzar 11% de proteína, sin afectar el calibre de los granos. El contenido proteico de los granos es una consecuencia de la relación entre la oferta de N y el rendimiento (Prystupa *et al.*, 2012). Para cuantificar esta relación existe un índice que se obtiene dividiendo la disponibilidad de N por el rendimiento (Nd/R) (McKenzie *et al.*, 2004, Prystupa *et al.*, 2012). La disponibilidad de N se calcula sumando el N presente como nitrato en el suelo hasta 60 cm de profundidad más el aportado por los fertilizantes. El Nd/R representa los kilogramos de N disponible (suelo + fertilizante) por tonelada de grano. El contenido proteico de los granos se asocia significativamente a este cociente. Así la función obtenida permite estimar la cantidad de N por tonelada de grano necesaria para alcanzar un determinado contenido proteico, para alcanzar los requerimientos de las bases del estándar de comercialización para cebada cervecera (Norma V). Se ha estimado que para ello se debe disponer de entre 23 y 43 kg N por tonelada de grano. Existen además otros factores ambientales tales como elevadas temperaturas (mayores a 25 °C) durante el llenado de grano o dos-tres días con temperaturas mayores a 32 °C pueden determinar incrementos significativos en el porcentaje de proteína en grano. Otro factor a considerar es la disponibilidad hídrica en igual período, ya que deficiencias hídricas (solas o en combinación con altas temperaturas) también pueden elevar el contenido proteico de los granos (Savin *et al.*, 1997; Passarella *et al.*, 2002; Fathi *et al.*, 1997), por lo cual es importante tener en cuenta este potencial efecto en relación a la zona de cultivo.

Otro aspecto a tener en cuenta es el efecto que puede tener el nitrógeno sobre el calibre de los granos. Fertilizaciones con este nutriente tienen efecto sobre la supervivencia de macollos al igual que en trigo, aumentando la proporción de granos provenientes de éstos que pueden tener efecto en la disminución en el tamaño y uniformidad de los granos con su consecuente merma en la calidad industrial del mismo (Stark & Brown, 1987).

Dada la correspondencia citada con el trigo en referencia a la dinámica de generación de rendimiento y sus componentes, la fertilización nitrogenada puede realizarse a la siembra, macollaje, dividida o en estadios más tardíos y la conveniencia de uno u otro momento está condicionada por diversos factores (Loewy & Ron, 2000). La dinámica de acumulación de N en ce-

bada mostraría patrones similares a lo observado en el cultivo de trigo. Para el sudeste bonaerense, se demostró que el trigo acumula más N total que cebada pero a una tasa menor. Sin embargo, diversos estudios muestran que la absorción pre-antesis tendría mayor importancia para el cultivo de cebada respecto a trigo (Boga, 2014). Adicionalmente, se han reportado diferencias en el patrón de acumulación de N entre genotipos de cebada, asociado posiblemente a la variación en el índice de cosecha que se ha verificado en cultivares modernos (Abeledo *et al.*, 2007). La postergación de la fertilización puede tener efectos sobre el contenido proteico de los granos, en general cuanto más tarde se fertiliza, mayor es la probabilidad de que aumente el contenido proteico de los granos (Simón, 2013). La síntesis de las proteínas de reserva en el grano requiere el aporte de N, entre otros nutrientes. Estos nutrientes pueden proceder de diferentes fuentes, como de la absorción de nitrato por parte del sistema radical durante el periodo de crecimiento de los granos, los cuales serán transportados directamente hacia la espiga y los granos vía xilema. Claramente este aporte dependerá fuertemente de las condiciones edafoclimáticas en las que se produce el llenado. Otra fuente de N será el previamente almacenado en los tejidos y será aportado mediante el proceso de removilización, el cual requiere la previa degradación de las proteínas de los tejidos (primeramente, las hojas basales y de ahí en ascenso a otras hojas y tejidos superiores) a fin de dar lugar a péptidos más pequeños y aminoácidos libres que serán transportados hacia los granos en desarrollo vía floema. La magnitud en la que este proceso de removilización se encuentre presente dependerá de numerosos factores entre los que sobresale la dotación de nutrientes del suelo y la habilidad de la planta para su absorción. La contribución relativa de estos dos procesos -absorción y removilización-, varía según la especie y las condiciones ambientales; sin embargo, numerosos estudios realizados en cereales como cebada, trigo y arroz han demostrado que hasta el 90% del N del grano proviene de la removilización del N almacenado en los tejidos vegetativos (Veliz, 2017).

La difusión de variedades de alto rendimiento que ocupan el mayor porcentaje del área sembrada (80% de la superficie 2020 sembrada con la variedad Andreia) ha generado la necesidad de obtener granos que no decaigan significativamente en proteínas. Para ello pueden complementarse las aplicaciones tempranas con fertilizaciones realizadas en espigazón-antesis que tienen efectos menores en el rendimiento e incrementan en forma más eficiente el contenido proteico (Ross *et al.*, 2011; Matthies *et al.*, 2002).

En relación al fósforo, en los suelos de la región pampeana ha verificado una marcada disminución en las últimas décadas (la marcada secuencia de doble cultivo ha sido un factor determinante) y es frecuente encontrar deficiencias en las zonas de cultivo de cebada (García, 2001). La cebada posee una mayor tasa acumulación de P respecto a trigo hasta los 60 días desde la siembra. Estas diferencias podrían deberse a la habilidad que tienen algunos genotipos de cebada para producir ácidos orgánicos en sus raíces que aumentan la disponibilidad inicial de P proveniente de fracciones menos lábiles, las cuales se vuelven disponibles para el cultivo (Tara, 2000). La fertilización con este nutriente suele tener efectos significativos sobre el rendimiento (dependiendo de la magnitud del déficit) y en contraposición a lo verificado con nitrógeno, un efecto menos claro sobre el porcentaje de proteína en grano, mientras que el calibre de los mismos no se vería afectado (Prytsupa *et al.*, 2004). La recomendación de la

dosis se puede realizar siguiendo varios criterios. Si se utiliza el criterio de suficiencia, se deben aplicar las dosis que aseguren el máximo beneficio económico. Para ello se debe contar con modelos generados a partir de redes que relacionen la respuesta del cultivo a una o más dosis de fertilizante fosforado. Por la escasa información en cebada, se suelen extrapolar los modelos de trigo a cebada, que tiene respuestas similares (Bell *et al.*, 2013). Otro criterio es el de enriquecimiento, que consiste en elevar la disponibilidad de P hasta un rango que no limite el rendimiento de las especies cultivadas durante la rotación en un lote (utilizado en modelos de extensión de EEUU y extrapolable a nuestro país por condiciones productivas y ecológicas similares) (Rehm *et al.*, 2002). Si la disponibilidad de P está en el rango medio se fertiliza con una dosis de P equivalente a lo que el cultivo exporta en los granos (reposición), para lo que se multiplica el rendimiento esperado por la concentración de P del grano, que en cebada es de 3kg/t (Ciampitti & García, 2007). Si el nivel de P es bajo se recomienda una dosis mayor que la reposición (dosis de enriquecimiento) con el objeto de elevar la disponibilidad a lo largo de los años y si la disponibilidad de P es alta se recomienda no fertilizar. En nuestro país no se cuenta con un método preciso para la fertilización fosforada, sin embargo, ensayos simultáneos con trigo en idénticos sitios, diseño experimental y años, han demostrado una adecuada correspondencia entre los cultivos, razón por la cual serían extrapolables con un grado aceptable de confiabilidad los métodos de diagnóstico desarrollados para trigo (Loewy & Ron, 2000).

Por último, en los últimos años se han evidenciado en algunos casos deficiencias en otros nutrientes tales como azufre y cloro respectivamente en orden de importancia. Para el caso del primero, la deficiencia de S puede afectar negativamente la calidad maltera de los granos (Gallotta *et al.*, 2020). Deficiencias de S están asociadas a la inhibición del transporte de azúcares y aminoácidos que genera una alteración significativa del metabolismo del nitrógeno, que redundará en un menor contenido de proteínas (Veliz, 2017). La fertilización con S y N tiene efecto significativo sobre las distintas fracciones de las proteínas de reserva (denominadas hordeínas) en cuanto a su cantidad y composición final, y al tener estas hordeínas diferente contenido de S, impactan diferencialmente sobre la calidad de la malta (Veliz, 2017). Como se indicara más arriba, las deficiencias de N promueven los procesos de removilización de aminoácidos debido a la aceleración del proceso de senescencia foliar, mientras que la deficiencia de S tiene el efecto contrario, inhibiendo la removilización de metabolitos vía floema (Veliz *et al.*, 2016). En cuanto al este mismo nutriente, si bien se han reportado algún caso de deficiencia en el norte de Buenos Aires (Michiels & Degenhart, 2004) -probablemente debido a una secuencia intensa de rotaciones con cultivos oleaginosos- la respuesta en cebada no parece ser extendida. En ensayos de 19 experimentos realizados en toda la Pcia. de Buenos Aires y en el Sur de Buenos Aires (Prystupa *et al.*, 2008, Ross *et al.*, 2011) no se encontró una respuesta generalizada. Por otro lado, existen evidencias de respuesta a la fertilización con cloruros en la bibliografía internacional sin datos fiables a nivel local.

Referencias

- Abeledo, G.L., D.F. Calderini, y G.A. Slafer. (2007). Nitrogen Economy in old and modern malting barley. *Field Crop Research*, 106, 171-178.
- Bell, R., Reuter, D., Scott, B., Sparrow, L, Strong W. & Chen, W. (2013). Soil phosphorus-crop response calibration relationships and criteria for Winter cereal crops grown in Australia. *Crop and Pasture Science*, 64, 480-498.
- Ciampitti, I. A. & García, F. O. (2007). Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, oleaginosos e industriales. Informaciones agronómicas 33. Archivo Agronómico 11.
- Fathi, G., McDonald, G. K& Lance, R. C. M. (1997). Effect of post-anthesis water stress on the yield grain protein concentration of barley grown at two levels of nitrogen. *Australian Journal of Agriculture Research*, 48,. 67-80.
- Galotta M. F., Rey M. F., & Roberts I. N. (2020). Efecto de la deficiencia de azufre durante el desarrollo de los granos de cebada sobre el poder germinativo y la dormición. *Investigación, Ciencia Y Universidad*, 3, 93.
- Recuperado a partir de <http://www.repositorio.umaza.edu.ar/ojs/index.php/icu/article/view/289>
- García, F. O. (2001). Balance de fósforo en los suelos de la Región Pampeana. *Informaciones Agronómicas*, 9, 1-3.
- Lázzari M. A., Landriscini M. R. & Echagüe M. E. (2005). Patrones de absorción de nitrógeno nativo y del fertilizante en cebada cervecera con fertilizaciones cercanas a la siembra. *Ciencia del Suelo*, 23, 69-75.
- Loewy, T. & Ron. M. M. (2000). Fertilización de cebada cervecera con nitrógeno y fósforo en el SO bonaerense. Comparación directa con el trigo. Actas del XVII Congreso Argentino de Ciencias del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires.
- Matthies, W., Serre, M & Cattáneo, M. (2002). Fertilización nitrogenada en una variedad de cebada cervecera de alto potencial de rendimiento en la Argentina. Anales de la XXII Reunión anual de pesquisa de cevada. Passo Fundo, Brasil.
- McKenzie, R.H., Middleton, A.B., Hall, J., De Mulder J. & Bremer, E. (2004). Fertilizer response of barley grain in south and central Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*. 84: 513-523.
- Michiels, C. & Degenhart, S. (2004). Ensayo de fertilización de cebada cervecera, var. Scarlett. *Informaciones Agronómicas*, 22, 18-20.
- Moreyra, F. & Abbate, P. E. (2020). Rendimiento y estabilidad de los cultivares de cebada en Argentina. Ediciones INTA. 11pp.
- Passarella, V. S., Savin, R. & Slafer, G. A. (2002). Grain growth and malting quality in barley as affected by brief periods of increased spike temperature under field conditions. *Australian Journal of Agriculture Research*, 53, 1219-1227.
- Prytsupa P., Savin, R. & Slafer, G. A. (2004). Peso y calibre de los granos de cebada cervecera en respuesta a deficiencias de fósforo y nitrógeno. VI Congreso Nacional de trigo y IV Simposio Nacional de Cereales de Siembra otoño-invernal. Bahía Blanca, Buenos Aires: 373-374.

- Prystupa, P. (2007). Fertilización de cebada cervecera. En I. Álvarez, Roberto (Comp.) Fertilización de cultivos de granos y pasturas: Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana (pp. 121-130). Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Prystupa, P., Franco, G., Bergh, R., Ventimiglia, L., Loewy, T., Ferraris, G., Couretot, L. & Gutierrez Boem, F.H. (2008). Validación de un modelo para estimar el contenido proteico en cebada cervecera. VII Congreso Nacional de Trigo y V Simposio Nacional de Siembra Otoño Invernal. Santa Rosa, La Pampa: S14.
- Prystupa, P.G., Ferraris, G., Loewy, T., Gutierrez Boem, F.H., Ventimiglia, L., Couretot, L. & Bergh, R. (2012). Fertilización nitrogenada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata 16 a 20 de abril de 2012. Actas CD.
- Rehm, G., Schmitt, M & Munter, R. (2002). Fertilizing barley in Minnesota. University of Minnesota, Extension Service. FO-03773-GO.
- Ross, F., Massigoge, J. & Zamora, M. (2011). Fertilización de cebada cervecera en ambientes con tosca en el sur de Buenos Aires, Argentina. *Informaciones agronómicas de Hispanoamérica*, 3, 9-13.
- Savin, R., Stone, P. J., Nicolas, M. E. & Wardlaw, I. F. (1997). Grain growth and malting quality of barley. Effects of heat stress and moderately high temperature. *Australian Journal of Agriculture Research*, 48, 615-624.
- Simón, M. R. (2013). Cebada cervecera. Material de circulación interna. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales UNLP. Recuperado de <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/mod/folder/view.php?id=32314>.
- Stark, J. C. & Brown, B. D. (1987). Estimating nitrogen requirements for irrigated malting barley. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 18: 433-444. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/00103628709367831>.
- Tara, S. (2000). Root released organic acids and phosphorus uptake of two barley cultivars in laboratory and field experiments. *European Journal of Agronomy*, 12, 81-289.
- Veliz, C. G., Roberts, I., Criado, M. V., Echeverria, M. & Caputo Suarez, C. P. (2016). Relevancia de la disponibilidad de azufre y removilización de asimilados sobre la calidad de la cebada cervecera. *Química Viva*, 15, 11-16.
- Veliz, C. G. (2017). Efecto de la disponibilidad de azufre sobre los procesos de removilización de asimilados y senescencia foliar en plantas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) y su impacto sobre la calidad de los granos (tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires. Facultad de Farmacia y Bioquímica. [Consultado: 9/4/2021] Disponible en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad de Buenos Aires: http://repositorioubasibbi.uba.ar/gsd/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=posgraafa&cl=CL1&d=HWA_3001

CAPÍTULO 18

Cebada cervecera: regiones productoras, rotaciones, malezas

Christian Weber, Axel Iván Voisin

Distribución geográfica y zonas productoras de Argentina

El cultivo de cebada cervecera en la Argentina concentra su producción en la Región Pampeana, donde la provincia de Buenos Aires aporta más del 90 % de superficie cultivada, mientras que el este de La Pampa aporta algo más del 4% y el sur de Córdoba y sur de Santa Fé tienen similar representatividad con un 1% cada una (Fig. 18.1). Esta condición se encuentra estrechamente vinculada a la capacidad instalada de malterías, mientras que por el contrario, las plantas de fabricación de cerveza se hallan cercanas a los centros de consumo (Moreyra & Abbate, 2020). Las tres firmas malteras grandes instaladas en el país, Cargill S.A., Maltería Pampa S.A. y Cervecería y Maltería Quilmes SA., junto con una firma exportadora de cebada cervecera, Toepfer S. A., son las que producen semilla fiscalizada y las entregan a los productores para las siembras por convenio (MAGyP, 2016). Para el caso de la cebada no existe una regionalización clara como sí lo hay para trigo. En Buenos Aires, pueden distinguirse diferentes zonas, el sudeste bonaerense que en promedio tiene una superficie cultivada de 415.000 ha, siendo el área de mayor aporte a la producción nacional (entre el 45-55% según años); el centro-norte que posee en promedio unas 170.000 ha. y el oeste-sudoeste que aporta unas 350.000 ha (Fig. 18.2) (Cattáneo, 2019).

Argentina*: Cebada 2016-2019

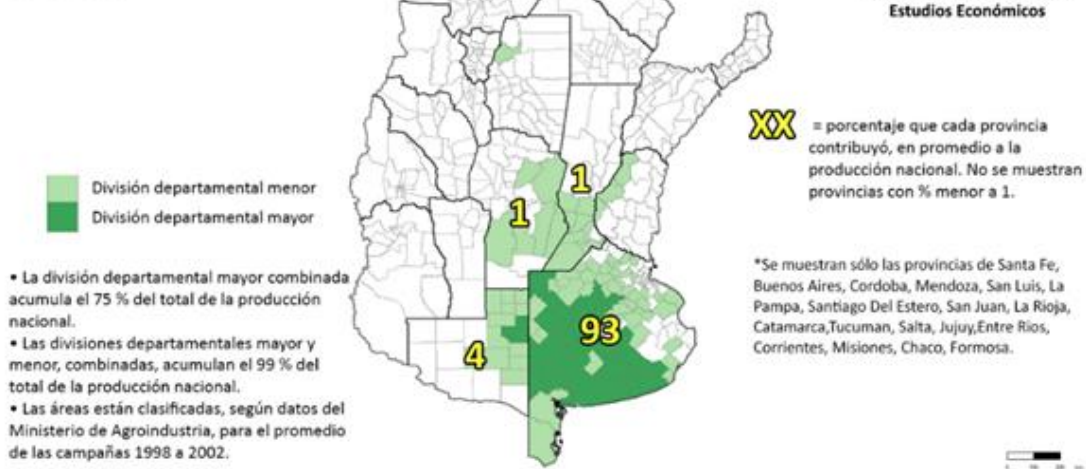


Fig. 18.1. Distribución del cultivo de cebada en Argentina en el trienio 2016-2019: Tomado de DiYenno y Terré, La cebada en Argentina con más problemas que el trigo. Informativo semanal de la Bolsa de Comercio de Rosario.

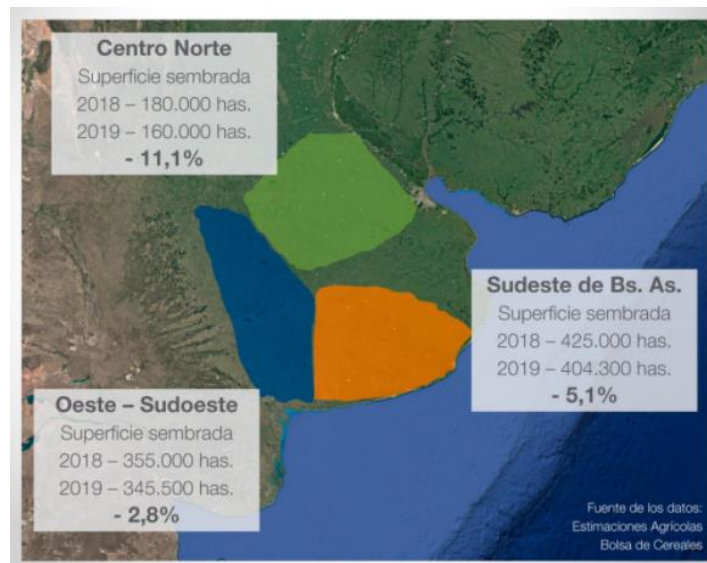


Fig. 18.2. Superficie sembrada con cebada cervecera 2018-2019 en la provincia de Buenos Aires. Tomado de www.cebada cervecera.com.ar

Dada la representatividad del cultivo en las tres zonas de la provincia de Buenos Aires que se mencionará precedentemente se centrará en ellas el análisis de las características edafo-climáticas para cada una en orden de importancia según la superficie asignada anualmente al cultivo.

Sudeste de la provincia de Buenos Aires

La cebada encuentra en esta región condiciones agroecológicas altamente aptas para cada una de las etapas del crecimiento y desarrollo del cultivo, con un clima templado-frío caracteri-

zados por inviernos largos y primaveras frescas. A lo anterior se suman cuestiones tecnológicas (presencia de una alta capacidad instalada de malterías) y agronómicas (la inclusión de cebada en los planteos de rotaciones zonales ha permitido una mejora significativa de los cultivos de segunda en la rotación -200/300 kg/ha de soja, por ejemplo), que han redundado en una presencia importante del cultivo que representa en los últimos años un 50-55% del total de cebada que se produce en Buenos Aires. En esta zona, sin embargo es posible determinar subzonas con características contrastantes respecto a sus características agroecológicas. Así en el área costera, en zonas aledañas a Necochea, se observan ambientes con alto potencial productivo que va declinando a medida que se adentra en el continente, principalmente por problemas de profundidad en el perfil. En la zona de serranías, mientras tanto, se observan situaciones donde pueden encontrarse lomas, media loma y bajos. En este sentido el potencial productivo se ve limitado por problemas de profundidad en los primeros y riesgos de heladas en el último. Por último, hacia el Sur, la zona de Tres Arroyos - San Cayetano - Orense, muestra zonas en las que predominan suelos francos, más hacia la costa y que empiezan a tener algunos problemas de profundidad por la presencia de calcáreo y suelos más finos a medida que se acerca a Tres Arroyos. El clima de toda el área si bien es adecuado para el cultivo, muestra un gradiente de coeficiente fototermal -de mayor a menor- desde la parte continental hacia el costero, sin embargo, también tiene un comportamiento inverso el gradiente hídrico, con lo cual existen mejores condiciones en el área de influencia marítima -corredor Miramar Necochea- volviéndose algo más restrictivos hacia el oeste-sudoeste (Di Nápoli & Gonzales Montaner, 2017).

En toda la región, la cebada es además una alternativa productiva en aquellos ambientes que pueden tener limitaciones a fin de ciclo (balance humedad/temperatura en el llenado de grano), dada su mayor precocidad, perdiendo competitividad con el trigo sólo en aquellos casos en los que este último posee potenciales de rendimientos muy elevados (por encima de 6 tn/ha). Debe sumarse a lo anterior la posibilidad de adelantamiento de casi un mes en la fecha de siembra de la soja cuando se utiliza como antecesor cebada. En general en toda la zona existe respuesta a la fertilización fosforada (frecuentemente asociada al doble cultivo) mientras que es generalizado el uso de fertilizantes nitrogenados dependiendo su cantidad del objetivo de rendimiento planteado y las características de la subzona. Las fechas de siembra más comunes van desde mediados de junio a mediados de julio para los cultivares más utilizados. En toda la región el cultivo presenta rotaciones variadas con cultivos estivales de los que pueden destacarse girasol, maíz, soja y papa. Respecto a la presencia y manejo de adversidades bióticas, comparten gran parte de los conceptos aportados para trigo en la región IV triguera con algunas campañas en las que se han observado ataques de enfermedades como Escaldadura (*Rhynchosporium secalis*), Mancha en red (*Drechslera teres*) y Ramularia (*Ramularia collo-sygni*) (Bilbao, 2013; Carmona *et. al*, 2013).

Oeste-Sudoeste de la provincia de Buenos Aires

En esta región, los cultivos invernales tienen una función significativa en el sostenimiento de la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios (Caviglia & Andrade, 2010) aportando productividad en granos aprovechando las lluvias otoñales y primaverales, protegiendo el suelo en los

meses con mayor peligro de erosión (agosto a noviembre) y dotando de recursos económicos a fin de año, a las explotaciones mixtas (Zingaretti *et. al.*, 2016). Se trata de otra zona importante para la producción de cebada, que resulta aquí también una mejor opción que el trigo como antecesor de soja, y que ha verificado un aumento en la demanda interna y externa (Cattáneo, 2011). Esta zona posee características particulares relacionadas a la distribución estacional e irregular de las precipitaciones en combinación con una escasa capacidad de los suelos predominantes (hapludoles -típicos-énticos y taptoárgicos /haplustoles) para retener la humedad. La precipitación media anual es cercana a los 700 mm. concediendo a la zona un carácter subhúmedo o de transición. Sin lugar a dudas, estos factores en combinación determinan una menor capacidad ambiental respecto al sudeste y una mayor variabilidad de rendimientos que resultan altamente influenciados por las precipitaciones que comienzan a ser más acordes a los requerimientos del cultivo a partir de septiembre. En general son suelos pobres en materia orgánica y con necesidad de llevar a adelante prácticas conservacionistas (Sainz Rosas *et al.*, 2011). Ello condiciona además la respuesta a otros factores tecnológicos como el manejo de la densidad óptima de siembra y la fertilización nitrogenada. Sin embargo, en esta zona es posible verificar un adecuado balance entre rendimiento y calidad de grano producido. Los inviernos son largos y rigurosos pudiendo ocurrir heladas tardías y por fuera de la fecha media de última helada que se da normalmente a fines de octubre. Este factor, junto a una menor disponibilidad hídrica, condiciona el no poder utilizar fechas de siembra muy tempranas y con ello también el potencial productivo (Ron & Loewy, 1996). Las fechas de siembra más comunes se dan entre el 1 al 30 de junio, observándose que hacia el 25 de ese mes ya se sembró más del 80% de la superficie con cebada. Las densidades utilizadas más comúnmente rondan las 250-280 semillas x m² (Miguez & Bath, 2014).

Centro-Norte de la provincia de Buenos Aires

Esta zona está caracterizada por poseer suelos que presentan variaciones de este a oeste. En el centro predominan los Argiudoles con un horizonte A de textura franco limoso, con una profundidad entre 15 y 45 cm. y contenido en materia orgánica variable entre 2,5 a 5%, que varía según el manejo productivo (Golik *et al.*, 2018). Este horizonte pasa gradualmente hacia uno más arcilloso (B2t) que se extiende hasta más o menos un metro de profundidad, de color pardo y estructura prismática. En el oeste predominan suelos Hapludoles, con un drenaje interno moderado a rápido por falta de un B2t. Puede estar presente un horizonte B de poca expresión, de color claro y bajo contenido en arcillas. El clima presente es húmedo a subhúmedo (E a O), con una media anual de 17°C y un periodo de 270 a 260 días libres de heladas, con fecha límites para la última en la primer semana de septiembre. Las temperaturas invernales rondan los 10-12°C en promedio. En cuanto a la disponibilidad hídrica, marca diferencias entre el oeste y el este, donde se verifican de 700-1050 mm anuales respectivamente sin restricciones importantes para el cultivo de cereales de invierno salvo en años particulares (Boxler & Pozzi, 2014). Sin lugar a dudas la inclusión de la soja en la rotación, el reemplazo de maíz por parte de este cultivo, han tenido impacto también sobre la presencia de la cebada como cereal de invierno que propende a la incorporación de carbono en el sistema. En esta zona los módu-

los de rotación más habituales son: Trigo/soja-maíz; trigo/soja-maíz-soja y maíz-soja (Ermacora, 2014). Sin embargo, la cebada ingresa en los planteos productivos zonales como alternativa de cultivo de invierno en ambientes donde el cultivo de trigo queda relegado en productividad debido a limitaciones en el final de su ciclo (factores abióticos en llenado - i.e. temperatura excesivas-). El adelantamiento de la floración de principios de octubre a la última semana de septiembre, ajustando fecha de siembra, resulta una herramienta factible para mejorar condiciones durante el llenado sin aumentar significativamente el riesgo a heladas y no retrasar la cosecha y posible siembra del cultivo de segunda (Ermacora *et. al.*, 2018). En cuanto al manejo fitosanitario, la Mancha en red y Mancha borrosa de la cebada son las enfermedades foliares prevalentes. En Junín, Arribeños y San Antonio de Areco se determinó presencia de *Ramularia collo-cygni* agente causal del salpicado necrótico de la cebada. Las fechas de siembra tempranas quien presenta menos presión de enfermedades, especialmente mancha en red. El efecto del adelanto en la fecha de siembra además puede tener efectos positivos en el calibre del grano, uno de los componentes clave en la calidad comercial.

Malezas en el cultivo de cebada

En general todos los conceptos vertidos en el capítulo de trigo son aplicables para el cultivo de cebada. Las malezas son una limitante para la producción de cebada, no solo por la competencia por recursos y el impacto sobre el rendimiento, sino también por la contaminación del grano que va al malteado. La contaminación con *Avena fatua* en las partidas de cebada causa un gran perjuicio para el proceso industrial de malteado (Vigna, 2013).

La cebada como cultivo de invierno comparte el mismo nicho ecológico que las malezas descritas para trigo. Las gramíneas como *Avena fatua* y *Lolium mutiflorum* resultan ser las más frecuentes en el cultivo y de las más perjudiciales en comparación con las latifoliadas. Dentro de estas últimas *Polygonum aviculare*, *Senecio madagascariensis*, *Centaurea solstitialis*, *Dipoltaxis tenuifolia*, *Centaurea solstitialis*, *Ammis majus*, entre otras, son las que se encuentran en mayor frecuencia (Gigón *et al.* 2008, Istilart & Yannicari, 2013).

Un detalle importante en este cultivo es la mayor habilidad competitiva frente a otros cereales de invierno, lo que resulta ventajoso en las etapas iniciales del ciclo. El vigor inicial de las plántulas de cebada resulta ser superior al de trigo en los primeros momentos. Su semilla es más grande, presenta un embrión de mayor tamaño, resultando en que las primeras hojas son de mayor ancho y longitud (Miralles *et al.*, 2014). A su vez se ha encontrado una mayor tasa de aparición de macollos (Alzueta, 2008). Estos aspectos permitirían generar una mayor área foliar en menos tiempo, brindando una mayor habilidad competitiva. De todos modos, la dinámica de macollaje se verá afectada por la fecha de siembra, densidad, condiciones hídricas y nutricionales (fertilización) y el genotipo utilizado (Miralles *et al.*, 2014). Por esto, el cultivo necesita ser complementado con la aplicación de algún herbicida si resulta necesario (López & Vigna, 2004).

Como se describió en el capítulo de trigo, las rotaciones tienen un impacto importante sobre las poblaciones de malezas. Así, por ejemplo, se ha observado que la implantación de pasturas durante varios años, la rotación con cultivos de verano o la utilización de verdeos de invierno durante dos años redujeron drásticamente la infestación con *A. fatua* (López & Vigna, 2004) y que la utilización de herbicidas en una secuencia de cultivos permitió obtener reducciones de infestación mayores que las observadas en la aplicación en monocultivo.

La siembra directa en el cultivo para la campaña 2016/17 rondo el 85 % del total del área sembrada (AAPRESID, 2017), por lo que la preparación química del barbecho es de gran importancia y dependerá en gran medida del cultivo antecesor. Si el lote proviene de trigo y cebada la aplicación puede comenzar antes que en el caso de un cultivo de verano y la frecuencia de gramíneas será más alta por la producción previa de semillas que si el antecesor es un cultivo de verano que corta el ciclo de las malezas invernales (Vigna, 2013). Si el antecesor está tratado con imidazolinonas, en años con precipitaciones escasas se deberá considerar la fitotoxicidad sobre el cultivo (Istilar, 2005). Un barbecho largo requerirá varias aplicaciones donde pueden intervenir varios herbicidas en mezcla con glifosato. El incremento de las prácticas de manejo es importante ante la aparición de resistencia a glifosato en *Lolium* spp. (Yanicari *et al.*, 2009, Vigna *et al.*, 2011a) o de *A. fatua* a graminicidas (Vigna *et al.*, 2011b).

Los herbicidas hormonales registrados son similares a los que se utilizan en trigo. Para control de latifoliadas en preemergencia: fluorocloridona, en post-emergencia desde 2-3 hojas a fin de macollaje: bromoxinil, dicamba en mezcla con sulfonilureas (Missil), mezcla de prosulfurón, triasulfurón y dicamba (Peak Pack), a partir del cambio de estado del ápice hasta la elongación de aristas puede aplicarse metsulfurón y los hormonales: MCPA, 2-4-D, dicamba, picloram, que tienen la misma ventana de aplicación que en trigo (doble lomo a espiguilla terminal), y algunos como el fluoroxipir (Starane) y clopyralid (Lontrel) que al igual que en trigo también pueden extenderse hasta espigazón. Para gramíneas pinoxaden más cloquintocet mexil como antídoto (Axial), fenoxaprop-p-etil (Puma), mezcla de iodosulfurón, mesosulfurón y metsulfurón (Hussar Plus) que se aplican desde 2-3 hojas hasta fin de macollaje (Vigna, 2013).

Referencias

- AAPRESID. (2017). *Evolución de Siembra Directa en Argentina Campaña 2016-2017*. 14 pp. Recuperado: <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2018/03/Estimacio%CC%81n-de-superficien-en-SD.pdf>. Último acceso: marzo 2021.
- AAPRESID. (2017). *Evolución de Siembra Directa en Argentina Campaña 2016-2017*. 14 pp. Recuperado: <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/2018/03/Estimacio%CC%81n-de-superficien-en-SD.pdf>. Último acceso: marzo 2021.
- Alzueta, I. (2008). *Ecofisiología de la generación del rendimiento y la calidad en genotipos de trigo y su comparación con cebada* (Tesis Doctoral). Recuperada de: Repositorio FAUBA.

- Alzueta, Ignacio. (2008). *Ecofisiología de la generación del rendimiento y la calidad en genotipos de trigo y su comparación con cebada* (Tesis Doctoral). Recuperada de: Repositorio FAUBA.
- Bilbao, E. (2013). Enfermedades fúngicas en cebada en el sudeste bonaerense. Cv- Invernales 2013- Cereales. 48-52. Recuperado de www.aapresid.org.ar- PUBLICACIONES.
- Boxler M. & Pozzi R. (2014). Región Sur de Santa Fé. Revista CREA Maíz Técnicas probadas para una producción rentable. 63-93.
- Carmona, M. A., Scandiani, M. M., Formento, A. N. & Luqye, A. (2013). Epidemias de *Ramularia collo-cygni*, organismo causal del salpicado necrótico de la cebada. Campaña 2012-2013, 44-47. Recuperado de www.aapresid.org.ar- PUBLICACIONES.
- Cattáneo M. (2011). Los mercados de cebada cervecera en la Argentina y en el mundo. En D.J. Miralles, R.L. Benech Arnold y L.G. Abeledo (Eds.). *Cebada Cervecera*. Facultad de Agronomía UBA, 275-284.
- Cattáneo M. (2019). Evolución del Cultivo de Cebada en Argentina | Ciclo de Charlas CEBAR. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=EH6-L79PhIQ>.
- Caviglia, O.P & Andrade, F.H. (2010). *Sustainable Intensification of Agriculture in the Argentinean Pampas: capture and use efficiency of environmental resources*. *Americas J. Plant. Sci. Biotech.*, 3,1-8.
- Di Nápoli, M. & González Montaner J. (2017). Modelos de producción zonales. Cap. 9. *Revista CREA*, 71-74.
- Ermacora, M. (2014). Región Norte de Buenos Aires. Maíz Técnicas probadas para una producción rentable. *Revista CREA*, 63-93.
- Ermacora, M., Reyes, M. & Rossomanno, G. (2018). CREA Norte de Bs. As. -Cebada- Plan Zonal y Convenio AACREA-Cargill. Protocolos de Experimentación: Campaña 2018. Recuperado de: <https://www.crea.org.ar/cuando-conviene-sembrar-cebada/>.
- Gigón, R., Labarthe, F., Lageyre, E, Vigna, M., López, R., Vergara, M. & Varela, P. (2008). *Comunidades de malezas en cultivos de trigo en el Sur y Sudoeste de la provincia de Buenos Aires*. En actas de VII Congreso Nacional de Trigo, Santa Rosa, La Pampa.
- Golik, S., Schierenbeck, M. & Fleitas, M. C. (2016). Maíz zonas de cultivo. En: Cereales de verano (Simon y Golik Coord.) Colección de libros cátedra. Edulp-UNLP. - 1a ed. - La Plata: Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Pp. 163-190.
- Istilart, C. (2005). *Residualidad de imidazolinonas sobre cereales de invierno* (84-87). Carpeta de actualización técnica para profesionales cosecha fina. Tres Arroyos, Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Istilart, C., & Yannicari, M. (2013). *Análisis de la evolución de las malezas en cereales de invierno durante 27 años en la zona sur de la pampa húmeda argentina* (113 – 116). Actualización técnica en cultivos de cosecha fina 2012/13. Tres Arroyos, Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Miguez, M. & Bath, D. (2014). Descripción del modelo productivo de cereales de invierno en la Zona Oeste. Recuperado de <http://www.creaoeste.org.ar/wp-content/uploads/2015/02/Modelo-Productivo-Miguez-JAT-Fina-2014.pdf>.

- Ministerio de agricultura, ganadería y pesca (MAGyP). (2016). Informe de cebada. Recuperado de: <https://www.magyp.gob.ar/new/0-0/programas/dma/granos/Informe-de-cebada.pdf>.
- Miralles, D.J. González, F.G. Abeledo, L.G. Serrago, R.A. Alzueta, I. García, G.A. De San Caledonio, R.P. & Lo Valvo, P. (2014). *Manual de trigo y cebada para el cono sur procesos fisiológicos y bases de manejo*. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora.
- Moreyra, F. & Abbate, P. E. (2020). Rendimiento y estabilidad de los cultivares de cebada en Argentina. Ediciones INTA. 11pp. ISBN 978-987-8333-41-0 (digital).
- Ron, M. M. y Loewy T. (1996). Análisis de la respuesta de cebada cervecera a nitrógeno y fósforo en tres suelos del sudoeste bonaerense (Argentina). *Ciencia del Suelo*, 14, 47-49.
- Sainz Rozas H.R; H.E. Echeverría & H.P. Angelini. (2011). Niveles de carbono orgánico y pH en suelos agrícolas de las regiones pampeanas y extra pampeana argentina. *Ciencia del Suelo*, 29, 29-37.
- Vigna, M. (2013). *Manejo de malezas en el cultivo de cebada cervecera*. 4º Congreso Latinoamericano de Cebada, Bahía Blanca.
- Vigna, M.R. Gigón, R. & López, R.L. (2011a). *Resistencia de Lolium multiflorum L. a diclofopmetil en el SO de Buenos Aires, Argentina*. XX Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Malezas (ALAM).
- Vigna, M.R., Gigón, R. & López, R.L. (2011b). *Presencia de poblaciones de Avena fatua L. resistente a herbicidas en Argentina*. XX Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM).
- Yannicari, M., Istitart, C. & Giménez, D. (2009). *Evaluación de la resistencia a glifosato de una población de Lolium perenne del sur de la Pcia. de Buenos Aires*. XIX Congreso de ALAM, II Congreso Iberoamericano de Ciencias de la Maleza, Lisboa. 2: 521-524.
- Zingaretti, O., R. Steffanazzi, M. A. Fernández. (2016). Producción de diferentes cultivos invernales en la región semiárida pampeana. Semiárida, *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 26, 19-24.

CAPÍTULO 19

Cebada cervecera: calidad

Ana Carolina Castro

La calidad de la cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) está definida por el genotipo, el ambiente y la interacción genotipo- ambiente (Moreyra, 2016). Una misma variedad puede comportarse de diferente forma según el ambiente de cultivo y el manejo agronómico dado. Los granos de cebada germinados, secados y tostados dan como resultado la malta que es el principal insumo para la elaboración de la cerveza y otras bebidas tales como el whisky y el vinagre de malta. La malta se produce en industrias llamadas malterías. En Argentina tres grandes empresas concentran el 90% de su producción (Gimenez, 2017). Brasil es el principal comprador de malta argentina con más de 400.000 t (Ministerio de Agroindustria, 2020), seguido por Chile y Paraguay.

Características de calidad que debe reunir el grano de cebada

Las malterías requieren un elevado porcentaje de granos con gran tamaño (calibre alto), debido a que los granos grandes tienen más almidón. Requieren también un porcentaje de germinación alto (98%), ya que este proceso es una condición esencial para el malteado y un porcentaje de proteína entre 10 y 11%, con una tolerancia de recibo hasta 12%. Un alto porcentaje de proteína conduce a un menor contenido de almidón por la relación almidón/proteína en el endosperma, pérdida de extracto por descomposición insuficiente del almidón, afectación de la estabilidad coloidal y las características organolépticas (Mac Gregor, 1996; Kunze, 2006). Por el contrario, un bajo porcentaje de proteína produce escasa formación de espuma, aromas y sabores desagradables dado por la presencia de sustancias que reemplazan los aminoácidos que sustentan la nutrición de las levaduras (Hough, 1990). Las características de calidad comercial se encuentran detalladas en la Norma de Comercialización de Cebada (Norma V Resolución 27/2013) y se describen en el capítulo 20 “Cebada cervecera: usos y comercialización” de este libro.

La humedad es otro parámetro de gran importancia. La norma de comercialización fija un valor de 12,0% con una tolerancia de 12,5%. Una humedad elevada favorece la presencia de hongos productores de micotoxinas. Durante el malteado y elaboración de cerveza suelen eliminarse, pero se debe considerar que su presencia afecta la calidad y causa la expulsión vio-

lenta de la espuma al abrir las botellas (“gushing”) (Laitila *et al.*, 2007). El grano de cebada debe poseer un color amarillo pajizo y cierto brillo. Esta característica es un indicativo del estado sanitario del grano ya que si presenta coloraciones oscuras en la base pueden deberse a la presencia de hongos (*Bipolaris sorokiniana*, *Drechslera teres* y *Alternaria* spp.) que deprecian la calidad del malteado y la germinación. El brillo indica buena maduración y que ha sido almacenado correctamente. El olor debe ser típico del cereal, no debe presentar olores “a humedad” (Arias, 1991) (Fig. 19.1).



Fig. 19.1. Granos de cebada cervecera.
Foto propia.

El porcentaje de las cáscaras (glumelas) y la forma del grano influyen en el rendimiento de la malta. Es deseable un bajo porcentaje de cáscaras (7 a 9%) ya que las sustancias secas que se solubilizan en el mosto otorgan gustos desagradables y disminuyen la estabilidad de la cerveza. Las cáscaras deben ser finas, elásticas y estar adheridas al grano. Esto sucede en la maduración cuando el grano pierde humedad y las cáscaras se adhieren reduciendo el volumen. Se aprecia en forma visual en la parte dorsal del grano (Arias, 1991). La forma del grano es una característica relevante para la calidad industrial. Cuanto más redondeado y homogéneo mejor será la distribución de enzimas y así la transformación del endosperma será pareja (Savin & Aguinaga, 2011).

La industrialización del grano de cebada: elaboración de malta

En la elaboración de malta se distinguen cinco fases: selección de la materia prima, remojo, germinación, secado, desbrote y limpieza. El **remojo** tiene como finalidad aumentar

la humedad de los granos desde un 12% hasta 40-42% en un período de 18 a 36 h. Para lograr una germinación homogénea se realizan inmersiones en cubas y descansos de aire. Durante la inmersión, el grano se cubre de agua con una temperatura entre 15 y 18°C y se le inyecta oxígeno o se remueve el conjunto para su aireación. Los descansos de aire consisten en la eliminación del agua y la extracción del dióxido de carbono generado (Savin & Aguinaga, 2011). En cada maltería se utilizan diferentes tipos de cuba, tiempos de inmersión y descanso y temperaturas que variarán según la variedad de cebada utilizada, las características del grano, la época del año, etc. (Savin & Aguinaga, 2011). Finalizada esta etapa se obtiene la “malta verde” que es transferida a las cajas de germinación. Las cajas de germinación reciben el nombre de saladines y existen diferentes tipos: caja (Fig. 19.2) o circular (Fig. 19.3).



*Fig. 19.2. Caja de germinación.
(Foto gentileza Luis Alberto Dimotta).*



*Fig. 19.3. Caja de germinación circular.
(Foto gentileza Luis Alberto Dimotta).*

La **germinación** de los granos implica la síntesis y liberación de enzimas hidrolíticas y disolución de la estructura física del endosperma. En la fase de remojo, el agua ingresa a los granos a través de las glumelas y pericarpio, luego por la micrópila. Así, se activa el transporte de giberelinas desde el embrión hacia la capa de aleurona (único tejido vivo del endosperma) donde se activa la síntesis y movimiento de enzimas (amilasas, glucanasas y proteasas) hacia el endosperma (Fincher & Stone, 1978) (Fig.19.4). Hay dos vías de provisión de enzimas: escutelo y aleurona (Narziss, 1976) y se agregan la beta-amilasa generada durante la germinación (Hejgaard, 1978). Las paredes celulares y la matriz proteica son disueltas enzimáticamente durante la germinación, exponiendo los gránulos de almidón. Esto se denomina modificación del endosperma (Fig. 19.5).

El almidón es transformado a azúcares simples. En el malteado, la proporción de los azúcares debe ser bajo para garantizar el metabolismo embrionario. En la cervecería se completará esta etapa degradando el almidón hasta dextrinas y azúcares fermentables en la etapa de maceración o cocimiento (Bamforth & Barclay, 1993). El crecimiento de las raíces y del coleoptile (llamado acróspiro en la industria) debe ser escaso para evitar pérdidas de materia seca.



*Fig. 19. 4. Granos de cebada en remojo.
(Foto gentileza Luis Alberto Dimotta)*



*Fig. 19.5. Granos de cebada germinados.
(Foto gentileza Luis Alberto Dimotta)*

El **secado** tiene como objetivo disminuir el contenido de humedad logrado en la germinación desde 45-46% a 4,5% a través de proporcionar caudales de aire controlados. Inicialmente se utilizan temperaturas que varían entre 35 a 50°C para llegar a temperaturas de 82°C a 85°C. El ascenso de temperatura es gradual y debe conservar la actividad biológica de las enzimas sin desnaturalizarlas (Savin & Aguinaga, 2011). Existen distintos tipos de secado que proporciona-

rán distintos tipos de malta según el tipo de cerveza que se desee elaborar (Gimenez, 2017). Por último, se realiza el **desbrotado** que consiste en la remoción de las raicillas y estructuras que exceden la longitud de los granos y la **limpieza** que elimina restos de raíces, acróspiros (coleóptile) y polvo. Luego la malta es almacenada en silos para su estabilización y *blending* (mezclas que homogeneizan la calidad).

La elaboración de cerveza tiene tres etapas malteado, cocimiento y fermentación (Narziss, 1976; Kunze, 2006). El cocimiento es la fase en la cual la malta es molida y mezclada con agua caliente, así un 75% de su contenido es disuelto por enzimas (Bamforth & Barclay, 1993). Luego se utiliza la filtración para separar el extracto acuoso (mosto) de la parte insoluble (orujo). Al mosto se le agrega lúpulo que otorga amargor y aromas. A continuación, la mezcla obtenida es llevada a cocción, posterior enfriado y agregado de levaduras (Gimenez, 2017). Durante la fermentación, las levaduras transforman los azúcares del almidón degradado en alcohol y dióxido de carbono. La cerveza deberá pasar un tiempo de reposo donde se madurará y definirá su gusto. Por último, se filtra y envasa para su destino final.

La evaluación de la calidad industrial

La European Brewery Convention (EBC) establece normas y métodos de medición de calidad para los países europeos que son miembros. Así mismo, Argentina, Brasil y Uruguay adhieren a estas normas. Hay muchos parámetros que hacen a la calidad de la malta y la cerveza y su importancia es relativa según el tipo, las características y la calidad de cerveza que se desea producir.

Porcentaje de friabilidad

Cuantifica el grado de desagregación del endosperma. El endosperma se modifica por acción de enzimas citolíticas que degradan la pared celular y proteolíticas que degradan la matriz proteica. Es una condición de calidad en la malta. Se determina moliendo el grano con rodillos de goma y separando la fracción friable (harina) de la no friable (partículas de endosperma que permanecen cohesionadas). Se expresa en %. Se considera buena friabilidad a valores que superan el 80%-85% (Gimenez, 2017) (Fig. 19.6). Otra forma de medir la desagregación del endosperma es a través del Farinógrafo de Brabender, el cual registra el esfuerzo de molienda denominado “dureza de malta”. Las maltas que han sido correctamente modificadas requieren un esfuerzo menor que aquellas que han sido transformadas parcialmente. La dureza de malta se relaciona estrechamente con el porcentaje de proteína (Savin & Aguinaga, 2011).



Fig. 19.6. Determinación de friabilidad en malta con Friabilímetro. Laboratorio de Calidad de Cebada y Malta. Mejoramiento y Calidad Vegetal- INTA Estación Experimental Agropecuaria Bordenave. Foto gentileza Dra. Ing. Agr. Verónica Conti.

Índice de Kolbach

El índice de Kolbach expresa el porcentaje del nitrógeno de la malta que se solubiliza en el mosto y también se denomina índice de disolución del nitrógeno. Dependiendo del tenor proteico, una mayor o menor disolución dará valores muy diversos de nitrógeno soluble (Arias, 1991). Las cervecerías requieren valores máximos de 42%. Los valores elevados indican proteólisis y como consecuencia se afecta la calidad de la espuma y el sabor (Savin & Aguinaga, 2011).

Alfa-amilasa

Determina la descomposición del almidón a dextrina por la actividad enzimática (Savin & Aguinaga, 2011). Cuanto más elevado sea el contenido de alfa-amilasa, será mejor la transformación del almidón (Arias, 1991). Puede evaluarse por espectrofotometría o ASBC (EBC, 1998).

Poder diastásico

Representa la capacidad total de la malta para degradar el almidón hasta azúcares reductores a través de la alfa y beta amilasa y otras enzimas relacionadas (Savin & Aguinaga, 2011). Se correlaciona positivamente con el porcentaje de proteína y negativamente con el extracto (Arias, 1991).

Porcentaje extracto congreso y el índice de Hartong a 45°C

Estos parámetros se determinan en el mosto. El mosto es la suspensión obtenida de la malta molida en agua, mediante una maceración con tiempos y temperatura controlada en un macerador (Fig 19.7). El extracto es el total de sustancias solubles de malta (en porcentaje s/s) obtenidas a partir de la maceración. Se relaciona con la cantidad de cerveza que es posible elaborar a partir de una malta (Gimenez, 2017). El extracto está formado por hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, vitaminas y sales, que han sido solubilizados durante la maceración y está negativamente relacionado con el contenido proteínas de los granos (Cattivelli *et al.*, 1994). Posteriormente se filtra y se separan las sustancias insolubles quedando el líquido o mosto (Fig. 19.8) (Savin & Aguinaga, 2011). El índice de Hartong (Vz 45°C) es un parámetro que indica la intensidad potencial de acción de las enzimas proteolíticas desarrolladas durante el proceso de malteo. Se realiza una maceración a 45°C, (temperatura óptima para las enzimas proteolíticas), durante 1 hora (mosto Hartong). Por ese motivo, el extracto generado en tales condiciones (en porcentaje s/s) está compuesto fundamentalmente por sustancias nitrogenadas como producto de la disolución de proteínas complejas (Gimenez, 2017).



Fig. 19.7. Maceración de la malta molida. Laboratorio de Calidad de Cebada y Malta. Mejoramiento y Calidad Vegetal- INTA Estación Experimental Agropecuaria Bordenave.
Foto gentileza Dra. Ing. Agr. Verónica Conti.



Fig. 19.8. Filtrado del mosto. Laboratorio de Calidad de Cebada y Malta. Mejoramiento y Calidad Vegetal-INTA Estación Experimental Agropecuaria Bordenave. Foto gentileza Dra. Ing. Agr. Verónica Conti

Porcentaje de Proteína en malta (total y soluble)

El porcentaje de proteína en malta es 0,1 a 0,5 % inferior al porcentaje de proteína en grano ya que las raicillas tienen un elevado contenido proteico (20-22%) y son removidas una vez finalizada la germinación (Arias, 1991).

Nitrógeno soluble en el mosto

Es una determinación que se realiza en el mosto para saber el nitrógeno soluble hallado y se expresa en mg/100 g de malta sustancia seca (Arias, 1991).

FAN estimado (*free amino nitrogen*) o Compuestos amino nitrogenados

En el grupo de sustancias de bajo peso molecular, se puede determinar el formol-nitrógeno y el alfa-amino nitrógeno, también conocido como FAN (Free Amino Nitrogen) (compuestos amino nitrogenados libres) que debe ser superior a 140 mg/100 g. Estas dos fracciones de

nitrógeno de bajo peso molecular deben estar debidamente representadas para que se desarrolle normalmente la fermentación primaria, la secundaria y para que se encuentren en menor proporción cuanto más elevado sea el nitrógeno soluble (Arias, 1991).

Tiempo de sacarificación (min)

Las enzimas alfa y beta amilasas degradan el almidón a maltosa y dextrinas durante la germinación. Esta prueba es una medida aproximada de la hidrolización del almidón. El tiempo de sacarificación se mide durante la realización del método del congreso. Cuando se alcanzan los 70 °C, se prueba, cada cinco minutos, una gota de la solución con una solución de yodo (2,5 g de yodo + 5 g de yoduro de potasio en 1 l de agua). Actualmente esta determinación no se considera de mucha relevancia en relación con la práctica cervecera. La mayoría de las maltas tienen de 10 a 15 minutos. Solamente una malta muy mal modificada tendrá una sacarificación superior a veinte minutos (Arias, 1991).

Tiempo de filtración (min)

Un tiempo de filtración elevado predice dificultades por modificación incompleta o betaglucanos parcialmente degradados. Una elevada concentración de betaglucanos indica descomposición parcial y afecta la filtración. Por esto mismo, la cuantificación de **betaglucanos** y la determinación de la **viscosidad** son parámetros de calidad relevantes (Savin & Aguinaga, 2011).

Atenuación límite aparente

Es el porcentaje de azúcares fermentables en el mosto, relacionado con la actividad amilolítica y el tipo de almidón. Las levaduras pueden utilizar la glucosa, maltosa y triosa. Las dextrinas no son fermentables (Savin & Aguinaga, 2011).

Factores que influyen en la calidad de la cebada cervecera

Cada genotipo posee características particulares de calidad que se manifiestan desde el inicio del proceso de producción por ejemplo en la absorción de agua durante el remojo. Cada lote de variedades tendrá ciertas características que obligarán a adecuar los esquemas de producción en cuanto a tiempos, temperatura y humedad. En este sentido, es importante conservar la pureza varietal, no mezclar lotes y realizar una adecuada limpieza. Es común que las

malterías o cervecerías establezcan contratos con los productores para la siembra de determinadas variedades que garantizan cualidades buscadas en la industria.

Además de las características genotípicas, influyen el ambiente (condiciones ambientales de las localidades durante el cultivo y especialmente en el desarrollo del grano) y el manejo realizado (fecha de siembra). También existen interacciones genotipo-ambiente. Algunas características como la estructura del endosperma está influenciada por el genotipo y el porcentaje de proteína por el ambiente (Aguinaga, 2004).

Con respecto a la **temperatura**, es sabido que acelera la tasa de desarrollo ontogénico. A mayor temperatura, más corto es el ciclo de cultivo. Esto reduce la acumulación de biomasa ya que el cultivo tiene menos tiempo para aprovechar los recursos de radiación y dióxido de carbono. Esto ocasiona una menor fuente de nitrógeno para ser redistribuido entre los granos. Es probable que el número de granos sea menor por la menor acumulación de biomasa en la menor duración del ciclo. El porcentaje de proteína no se altera o lo hace en forma no significativa. Al revés sucede con el rendimiento que si se ve reducido (Savin & Aguinaga, 2011).

El aumento de temperatura (de 15 a 30°C) durante el llenado del grano afecta la composición del grano incrementando el porcentaje de proteína. La causa de esto radica en que el aumento de temperatura genera una disminución del almidón acumulada. Inclusive el almidón se reduce relativamente más que la proteína (Jenner *et al.*, 1991). Esto se debe a que la acumulación de carbohidratos está limitada por los destinos (Slafer & Savin, 1994) que se reducen con la alta temperatura y la acumulación de proteínas por la fuente de nitrógeno (Dreccer *et al.*, 1997; Savin *et al.*, 2006). En esta situación, el rendimiento disminuye (por menor peso de granos) y el exceso de proteína perjudica la calidad de la malta (Savin *et al.*, 2004). Además, las altas temperaturas durante el llenado del grano acortan el período de crecimiento, obteniéndose mayor proporción de almidón “tipo B” asociado con hordeínas y betaglucanos. Esto genera un endosperma cerrado que dificulta el movimiento enzimático y así la disolución de la estructura del endosperma (Savin & Aguinaga, 2011).

Otro aspecto de gran interés lo constituye la **disponibilidad de nitrógeno**. En pre-floración los carbohidratos o fotoasimilados son usados para crecimiento y mantenimiento de hojas, tallos y estructuras de la espiga no granarias. La absorción de nitrógeno también es activa y el nitrógeno forma estructuras en las hojas. Cuando las hojas senescen, esos compuestos nitrogenados se remobilizan al grano. En post-floración, al inicio del llenado de grano, continúa suministrando carbohidratos al grano en crecimiento que es el órgano prioritario y acumulando reservas. Una pequeña proporción de carbohidratos se usa para el mantenimiento del cultivo. Sin embargo, hay dos cuestiones para considerar. Por un lado, el suelo suele estar seco por la demanda atmosférica de la época y por otro, la oferta de nitrógeno del suelo es baja con lo cual la absorción es escasa con respecto a la demanda de los granos. La demanda de los granos se cubre con la removilización de reservas (Savin & Aguinaga, 2011).

Durante la última fase del llenado de grano la absorción de nitrógeno es nula pero la planta utiliza las reservas acumuladas en etapas previas para satisfacer las demandas de los granos que están creciendo. Las hojas han senescido y ya no se producen fotoasimilados, sin embargo, se remobilizan las reservas hidrocarbonadas. Las variaciones en el contenido de proteína

(%) de los granos dependen de la cantidad de nitrógeno absorbido por el cultivo y es independiente de la dinámica de carbohidratos del grano. La calidad maltera depende del tipo de proteína de reserva que se genere. Condiciones favorables para la absorción de nitrógeno, promueven la síntesis del tipo de proteína hordeína-D que disminuye la calidad maltera (Peltonen *et al.*, 1994) mientras que bajos niveles de nitrógeno en los granos y baja fracción de hordeínas D/B, aumentarían la calidad maltera (Peltonen *et al.*, 1994). Esto explica la diferente calidad maltera que puede obtenerse con un mismo porcentaje de proteína en distintos ambientes de cultivo (Savin & Aguinaga, 2011).

La **disponibilidad hídrica** es otro factor fundamental en la producción de granos. Según el momento en el que sea escaso, la repercusión será en la fuente, en el destino de carbohidrato o proteína. La falta de agua dificulta la absorción de nitrógeno y la cantidad total removilizada a los granos (Savin *et al.*, 1996). Si se produce estrés hídrico en el inicio del llenado de grano se reduce el tamaño potencial del grano y con eso la demanda de carbohidratos se ve reducida. En ensayos experimentales llevados a cabo en invernadero, cámara de crecimiento y campo se observó una disminución de betaglucanos (relacionado con la viscosidad del mosto) en condición de estrés severo (Coles *et al.*, 1991; MacNicol *et al.*, 1993; Savin & Nicolas, 1996; 1999; Stuart *et al.*, 1998,).

Referencias

- Aguinaga, A.A. (2004). *Análisis de las relaciones entre proteínas de reserva, calidad maltera y ambiente de cultivo en cebada cervecera*. Tesis Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur. Recuperado de <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/>
- Arias, G. (1991). *Calidad industrial de la cebada cervecera*. Serie técnica 18. Montevideo, Unidad de difusión e información. INIA.
- Cattivelli, L., Delogu, G., Terzi, V. & Stanca A M. (1994). Progress in barley breeder. En G.A. Slafer (Ed.), *Genetic Improvement of Field Crops* (95-161). New York, Marcel Dekker Press.
- Coles, G.D., Jamieson, P.D & Haslemore, R.M. (1991). Effect of moisture stress on malting quality in Triumph barley. *Journal of Cereal Science*, 14, 161-177.
- Dreccer, M.F., Grashoff, C & Rabbinge, R. (1997). Source sink ratio in barley (*Hordeum vulgare* L.) during grain filling: effects on senescence and grain protein concentration. *Field Crops Research* 49, 269-277.
- European Brewery Convention. (1998). *Analytica*. EBC, 5ta ed. Verlag Hans Carl, Getränke Fachverlag.
- Fincher, G.B. & Stone, B.A. (1993). Physiology and biochemistry of germination in barley. En A. Mac Gregor & R. Bhatti (Eds.), *Barley chemistry and technology*. (247-295). USA: American Association Cereal Chemists.
- Gimenez, F. (2017). *Ganancia Genética en Cebada Cervecera (Hordeum vulgare L.) en Argentina durante el período 1931-2007*. Tesis doctoral. Recuperado de <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/3973>

- Hough, J. (1990). *Biología de la cerveza y de la malta*. Zaragoza: Acibia S.A.
- Jenner, C.F., Ugalde, D.T & Aspinall, D. (1991). The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 18, 211-226.
- Kunze, W. (2006). *Tecnología para cerveceros y malteros*. Berlín, VLB.
- Laitila, A., Sarlin, T., Kotaviita, E., Huttunen, T., Horne, S. & Wilhelmson, A. (2007). Yeast isolated from industrial maltings can suppress *Fusarium* growth and formation of gushing factors. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 34, 701-713.
- Mac Gregor, A. (1996). Biochemistry of malting. The way forward. Proceeding of VII International Barley Genetic Symposium. University of Saskatchewan, Canada, 1-6.
- MacNicol, P.K., Jacobsen, J.V., Keys, M.M. & Stuart, I.M. (1993). Effects of heat and water stress on malt quality and grain parameters of Schooner barley grown in cabinets. *Journal of Cereal Science*, 18, 61-68.
- Ministerio de Agroindustrias. (2020). Recuperado de www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/
- Moreyra, F. (2016). Atributos de calidad en la red nacional de cebada cervecera. Simposio 3. VIII Congreso Nacional de Trigo. VI Simposio de Cereales de siembra otoño-invernal. II Reunión del Mercosur.
- Narziss, L. (1976). *Die Bierbrauerei*. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag.
- Peltonen, J., Rita, H., Aikasalo, R. & Home, S. (1994). Hordein and malting quality in Northern barleys. *Hereditas*, 120, 231-239.
- Savin, R., Dreccer, M.F. & Slafer, G.A. (1996). Trigo y cebada. Calidad de los granos, influencia de factores durante el llenado de los granos. *Revista CREA*, 187, 60-64.
- Savin, R., Passarella, V.S. & Molina-Cano, J.L. (2004). The malting quality of barley. En: R.L. Benech-Arnold y R.A. Sanchez, (Eds.), *Handbook of seed physiology* (429-456). New York: Food Product Press.
- Savin, R., Prystupa, P & Araus, J.L. (2006). Hordein composition as affected by post- anthesis source-sink ratio under different nitrogen availabilities. *Journal of Cereal Science*, 44, 113-116.
- Savin, R & Nicolas, M.E. (1996). Effects of short periods of drought and high temperature on grain growth and starch accumulation of two malting barley cultivars. *Australian Journal of Plant Physiology*, 23, 201-210.
- Savin, R. & Nicolas, M.E. (1999). Effects of timing of heat stress and drought on grain growth and malting quality of barley. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50, 357-364.
- Savin, R. & Aguinaga, A.A. (2011). Los requerimientos de la industria. En D. Miralles, R.L. Benech Arnold & G. Abeledo (Eds.), *Cebada Cervecera* (206-240). Buenos Aires, FAUBA.
- Slafer, G.A. & Savin, R. (1994). Source-sink relationships and grain mass at different positions within the spike in wheat. *Field Crop Research*, 37, 39-49.
- Stuart, I.M., Loi, L. & Fincher, G.B. (1998). Varietal and environmental variations in (1,3, 1,4)-glucan levels and (1,3 1,4) glucanase potential in barley: relationships to malting quality. *Journal of Cereal Science*, 7, 61-71.

CAPÍTULO 20

Cebada: usos y comercialización

Eugenia Esquisabel

Introducción

Las cebadas cultivadas pertenecen a dos especies, *Hordeum hexastichon* L. (de seis hileras), generalmente nombrada como *Hordeum vulgare* L o como *Hordeum vulgare* var. *hexastichon* (L.) Asch (todos son sinónimos) y *Hordeum distichum* L. (de dos hileras) y a su vez a ambas se las agrupa en *Hordeum vulgare* var. *vulgare* L. Normalmente, la cebada de espigas de seis hileras tiene una mayor concentración de proteínas en el grano que la de dos hileras, aunque eso depende en gran medida del manejo del cultivo. Si bien ambos cultivos son aptos para el malteado y la elaboración de cerveza, tradicionalmente, la cebada de dos hileras ha sido usada para el malteado en Europa, Australia y Sudamérica, mientras que la de seis hileras es más frecuentemente usada en EUA (Savin *et al.*, 2012). En Argentina, la cebada comúnmente empleada en la elaboración de cerveza es *Hordeum distichum* L., que incluye a las variedades de espigas de dos hileras en tanto que la de espigas con seis hileras, *Hordeum hexastichon* L. son empleadas para la alimentación animal. Las de dos hileras que no cumplen con los estándares para la elaboración de cerveza pueden destinarse a un uso forrajero. La cebada ocupa el cuarto lugar en relevancia entre los cereales, siguiendo al trigo, al maíz y al arroz. De los 680 millones de hectáreas cultivadas con cereales, alrededor de 47 millones corresponden a cebada (FAOSTAT, 2019). Si bien podría ser una fuente de alimento para millones de personas, hoy en día es principalmente utilizada para alimentación animal y producción de cerveza (Tricase *et al.*, 2018). Mundialmente representa dos tercios de los granos forrajeros demandados, y solo el 25 % del total producido globalmente tiene como destino la fabricación de cerveza (MAGyP, 2020). En promedio, la producción anual de cebada es de más de 140 millones de toneladas, obtenidas de alrededor de 50 millones de hectáreas cultivadas.

La cebada es uno de los cereales más versátiles que se conocen, y es conocida su capacidad de adaptación a diferentes climas gracias a su evolución genética. De hecho, es una especie que crece en regiones donde otros cereales no lo lograrían, como en zonas del ártico y subártico o zonas subtropicales (Tricase *et al.*, 2018). En diversas regiones del mundo, la cebada es cultivada como forraje donde otros cultivos tales como el maíz no

pueden ser cultivados por sus cortos ciclos de crecimiento, primaveras frías, falta de precipitaciones o alta demanda evapotranspirativa de la atmósfera (Miralles *et al.*, 2021). Según datos de la FAO (2019) hoy en día, aproximadamente el 70% del cultivo de cebada es usado como forraje, 21% se destina al malteado, elaboración de cerveza e industria de destilería, y menos del 6% es consumido como alimento humano. Sin lugar a duda, la cebada presenta la posibilidad de asumir la función de un alimento de gran importancia en la dieta humana; prueba de ello es la existencia de investigaciones que señalan que, como consecuencia de sus propiedades nutricionales, posee numerosos beneficios sobre el organismo humano (Sakellariou & Mylona, 2020).

Si bien, hoy en día, los usos más importantes de la cebada a nivel mundial son como forraje y para el malteado (Edney, 2010), desde épocas muy remotas la cebada se constituyó en un alimento para los hombres en distintas regiones del mundo (Baik & Ullrich, 2008), pero se convirtió en forraje o materia prima para la elaboración de cerveza debido a que el trigo y el arroz ganaron importancia (Newman & Newman, 2006). Aún en la actualidad, dado su valor nutricional, este cereal es consumido como un alimento básico en algunas zonas de África (al norte y al sur del Sahara), Asia central, y al sudoeste de Asia, como así también en la región andina de Ecuador, Perú y Bolivia (Kumar *et al.*, 2020; Miralles *et al.*, 2021). Estudios recientes han demostrado que la cebada tiene una calidad nutricional excelente para la salud del hombre y de los animales (Wood, 2007; Arcidiacono *et al.*, 2019). Por ello, hay un interés renovado en EUA, Canadá y Europa por los usos alimenticios del grano de cebada (Baik & Ullrich, 2008). Por otro lado, el interés creciente en las energías renovables ha traído aparejado un uso modesto del grano de cebada para la producción de biocombustibles (Tricase *et al.*, 2018).

Previo a la domesticación de la cebada (*Hordeum vulgare* ssp. *vulgare*), los recolectores-cazadores usaban la forma silvestre ancestral (*Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*) como fuente de alimento humano. Tanto la cebada silvestre como la domesticada fueron halladas en sitios arqueológicos en la medialuna fértil entre los ríos Eufrates y Tigris, datando de más de 10000 años de antigüedad, época en que se cree que se comenzó la domesticación de la cebada (Sato, 2020). Existen fuertes evidencias que indican el papel de este cereal como fuente de alimento a lo largo de la evolución del hombre. De hecho, era uno de los cultivos de grano más importantes en el mundo antiguo. Además, bebidas alcohólicas de varios tipos y alimentos fermentados elaborados a base de cebada son mencionados en la literatura antigua. A medida que otros cereales se hicieron más populares, la cebada quedó relegada a ser el “pan de los pobres”. Sin embargo, el actual interés de los consumidores por la salud y la nutrición pueden ayudar a recuperar el estatus de la cebada en la alimentación humana (Newton & Newton, 2006). Textos antiguos de varias culturas de Asia, África y Europa hacen referencia a este cereal como un componente importante de la dieta. Los restos de cebada más antiguos hasta ahora encontrados fueron descubiertos en sitios arqueológicos de Irán y Siria y datan del 8000 a.C. Desde épocas antiguas, ha sido usada como alimento o en la producción de bebidas. Por ejemplo, era consumida por los gladiadores romanos (quienes también eran llamados “*hordearii*”, que

significa “comedores de cebada”) debido a su alto contenido en fibra y energía rápidamente disponible (Andrew, 2008). Así, es probable que en el pasado su primer uso haya sido como alimento, evolucionando luego hacia el malteado y elaboración de cerveza, y sus usos han ido cambiando a lo largo de la historia. En la actualidad, es utilizada en los países industrializados principalmente como forraje y en los países en vías de desarrollo como materia prima. De todas formas, el uso más significativo desde un punto de vista económico está representado por la malta y la cerveza (Tricase *et al.*, 2018).

Los principales países productores de cebada pertenecen a la Unión Europea, y concentran el 40% de la producción mundial. Entre ellos, encontramos a Irlanda, Austria y Lituania. De acuerdo con datos del Consejo Internacional de Granos (IGC, 2020), para la campaña 2019/2020, la producción total de cebada de la Unión Europea fue estimada en 63,4 millones de toneladas. Rusia es el segundo gran productor de cebada luego de la Unión Europea, seguida por Australia y Canadá, Argentina se encuentra en 7^{mo} lugar, con un 3% de la producción mundial (USDA, 2021).

En cuanto a las importaciones de cebada, China y Arabia Saudita son los principales importadores, con 8,1 millones de toneladas de cebada importadas cada uno. Más del 80% del volumen de cebada importada por Arabia Saudita, es usada como forraje, principalmente para ovejas, camellos y cabras. Además, la cebada también es usada para preparar platos tradicionales durante la festividad del Ramadán (Tricase *et al.*, 2018).

A diferencia de lo que sucede a nivel mundial, donde el principal destino del grano de cebada es la alimentación del ganado, la tendencia en Argentina es destinar la cebada principalmente a la industria cervecera. Para la campaña 2020/21, la superficie de cebada cervecera estimada de Argentina ronda las 850.000 hectáreas, que ha sido en algunos años superior a 1.200.000 ha. De esta superficie se desprende una estimación de producción de entre 3,5 y 3,8 millones de toneladas (www.cebadacervecera.com.ar). Del total de la cebada producida en Argentina, entre el 50 y el 60% se destina a la exportación. De esta manera, Argentina se posiciona como el principal proveedor de malta de América del Sur, siendo Brasil el principal destino de las exportaciones de cebada cervecera argentina. En orden de importancia, le siguen Colombia, Perú, Uruguay y Chile. Por su parte, la cebada forrajera argentina se destina principalmente a Arabia Saudita seguida por otros países del Medio Oriente como Jordania, los Emiratos Árabes, Túnez, Irán y Argelia. Del total de cebada producido, alrededor del 25% es destinado al mercado interno para el malteo, y el 75% restante se exporta como grano cervecero, forrajero o como malta.

Usos

La malta cervecera

La malta de cebada resulta de un proceso durante el cual grano es humedecido logrando su germinación, luego es secado rápidamente y tostado. Este proceso se lleva adelante

en las instalaciones industriales de las malterías. El malteado consiste, entonces, en un proceso de germinación controlado en el cual, bajo condiciones adecuadas de humedad y temperatura, se sintetizan las enzimas responsables de la degradación de las paredes celulares y la matriz proteica para facilitar el acceso de las enzimas amilolíticas de las levaduras al almidón. Durante esta etapa, los componentes del grano son transformados en azúcares solubles. La elaboración de cerveza consiste en producir un mosto azucarado que, en presencia de las levaduras, sufre una fermentación alcohólica de los azúcares solubles (Edney, 2010).

La malta se utiliza en la elaboración de bebidas tales como el whisky, la cerveza y el vinagre de malta. Los granos malteados desarrollan las enzimas que convierten el almidón del grano en azúcar. Dado su elevado contenido de enzimas, la cebada es el cereal más ampliamente usado para llevar a cabo el proceso de malteado. En Argentina la producción de cebada se destina principalmente a la fabricación de malta para abastecer la industria cervecera local y la exportación. La industria maltera exige que la cebada cumpla con ciertas características: un porcentaje alto de granos grandes (calibre alto), un porcentaje de germinación por encima del 98% y un porcentaje óptimo de proteína entre 9.5 y 13%, aunque la preferencia suele ser de hasta el 12%. En los últimos años, del total de la producción de malta, se destina aproximadamente un 25 % al mercado interno y un 75 % a la exportación. Si bien la malta de cebada es utilizada principalmente en la elaboración de cerveza, también es posible obtener de ella otras bebidas sin contenido de alcohol o con muy poca graduación alcohólica, como el Kvas, bebida cuya graduación más alta ronda los 2,2% y es muy popular en Rusia, Ucrania y otros países del este de Europa. También existe una versión de esta bebida sin alcohol. Otro uso de la malta es la extracción de un endulzante natural conocido como azúcar o jalea de malta. Existe también la posibilidad de realizar infusiones de malta, resultando en una bebida energizante muy recomendada para deportistas de alto rendimiento (MAGyP, 2015).

Las propiedades químicas, bioquímicas y físicas del grano de cebada, afectan en gran medida al proceso de malteado y la calidad de la cerveza. Las características físicas del grano como el crecimiento del embrión, la madurez, el porcentaje de germinación, el tamaño, el daño por heladas y la presencia de patógenos de la semilla, son factores que influyen en el proceso. La cantidad de proteína, β -glucanos y almidón en el grano y sus interacciones durante el período de llenado, tienen gran influencia sobre la dureza del grano, y el rendimiento del extracto de malta (Psota *et al.*, 2007). Otro factor que define la cantidad de extracto de malta es el nivel de alfa-amilasa. Las variedades de cebada suaves son generalmente preferidas para el malteado (Gupta *et al.*, 2010), con contenidos de proteína que van entre el 10,5 al 13,0% en las variedades de seis hileras, y entre 10,5 a 12,5% en las variedades de dos hileras a nivel mundial (Kumar *et al.*, 2020). Los cultivares de cebada con mayor concentración de proteínas (>15%), no son recomendables para el malteado porque necesitan mayor tiempo de remojo, producen extractos de malta de menor rendimiento y tienen una germinación errática (Swanston & Molina-Cano, 2001).

La cebada como forraje

Como ya fuera mencionado, entre un 75-80% de la producción global de cebada es destinada a la alimentación animal, 20-25% al malteado, 2-5% para la alimentación humana y el porcentaje restante para la industria de biocombustibles (producción de bioetanol). La cebada para alimentación animal puede ser tanto la utilizada como forrajera, que se destina principalmente para pastoreo como la cebada cervecera que no ha alcanzado los estándares establecidos para la comercialización. En el 2017, la Unión Europea fue el principal consumidor de cebada como forraje, seguida por Rusia, Canadá, Turquía y Arabia Saudita. La razón de su amplio uso en la industria forrajera es su gran adaptabilidad a una amplia variedad de condiciones ambientales, haciendo posible su cultivo donde otros cereales no pueden establecerse, y su valor nutricional. Para los rumiantes, la cebada es el tercer cereal de rápida digestión, después del trigo y de la avena (Kumar, 2020). Los principales productos usados en las dietas animales a base de cebada son:

- El grano entero o con un mínimo procesamiento
- El pastoreo de la planta entera
- Subproductos de bebidas alcohólicas a base de malta
- Productos de molienda

La cebada como alimento

La cebada es un alimento de conocida versatilidad para la alimentación del hombre. Si bien se ha mantenido como una fuente principal de alimento para algunas áreas, se puede considerar que está subutilizada, en relación con su uso potencial como ingrediente en alimentos procesados para el consumo humano. La cantidad de cebada usada en la alimentación (excluyendo al sector de las bebidas), es muy pequeña si consideramos su alto valor nutricional: bajo contenido en grasas, hidratos de carbono complejos, niveles balanceados de proteínas, buena presencia de vitaminas, minerales, antioxidantes y fibra soluble e insoluble. Si bien su uso ha sido desplazado por la gran difusión del trigo en la producción de pan y otros productos panaderos, recientemente la cebada se ha revalorizado por sus importantes beneficios para la salud, tales como la disminución del colesterol, el control del azúcar en sangre y la salud del colon. En la industria alimenticia, la cebada suele mezclarse con los ingredientes de varios productos, agregando textura, sabor, aroma y valor nutricional. Mientras que para la alimentación animal se utiliza principalmente el grano entero, para alimentación humana, se usa principalmente el grano sin cáscaras (Tricase *et al.*, 2018).

Existe también el uso en panadería de la harina de cebada para la elaboración de lo que se conoce a veces como “pan negro”. Se trata de panes con altos contenidos de fibra e hidratos de carbono complejos. Por otro lado, en el mercado existen presentaciones de cebada entera o cebada perlada, que posee un alto contenido nutricional, y por su bajo

índice glucémico está indicada para el consumo por parte de pacientes diabéticos. También es posible consumir la cebada como “café de malta”, que consiste en el grano de cebada tostado y molido, resultando en una bebida de cuerpo liviano y suave. Este producto no contiene cafeína y por ello es buscado como sustituto por quienes acostumbran a consumir grandes volúmenes de café. Dado a los componentes bioactivos de la cebada, la harina de cebada ha ganado mayor atención en los últimos años. Diferentes tipos de harina de cebada, tales como harina de grano entero, perlada, de grano crudo y de grano entero tostado, son utilizadas en la elaboración de pan, cereales para el desayuno y productos de panadería, o en mezclas para mejorar la calidad de productos de trigo (Sakellariou & Mylona, 2020).

La cebada es también una fuente importante de vitaminas como niacina y la tiamina y de minerales como el selenio, el magnesio, el zinc, el hierro, fósforo y cobre. El contenido de minerales del grano varía entre 2 y 3% dependiendo del genotipo. Los minerales presentes en el grano se encuentran principalmente en la aleurona, el embrión, y el pericarpio (Marconi et al., 2000).

Otros usos de la cebada

Tanto en los Estados Unidos como en la Unión Europea, el grano de cebada ha comenzado a utilizarse en la producción de bioetanol cuando las fuentes de almidón más económicas, tales como el trigo o el maíz, no están disponibles o se registra un excedente en la producción de cebada (Nghiem *et al.*, 2017). De todas formas, la posibilidad de usar los residuos del cultivo de cebada o de productos derivados de la misma para abastecer la industria de la bio-energía, aún está siendo estudiada (Tricase *et al.*, 2018). También existe un interés creciente enfocado en el uso de la paja de cebada como un material alternativo en la industria del papel y pulpa de papel. El papel hecho con estos residuos agrícolas presenta un gran potencial en términos de calidad de las hojas, en comparación con las especies madereras más comúnmente usadas tales como *Pinus sylvestris* y *Eucalyptus camaldulensis* (Gonzalo, 2017; Vargas, 2015). Además, la alta concentración de biocompuestos en el grano de cebada y en subproductos de la destilería y la elaboración de cerveza (tales como compuestos fenólicos, vitamina E, β -glucanos, esteroides, ácidos grasos y péptidos bioactivos) hacen que la cebada sea una fuente potencial de materia prima en la industria farmacéutica y cosmética. Por otro lado, el ácido láctico, xilitol y enzimas microbianas son productos que es posible obtener de la cebada y útiles en diferentes sectores de la industria (Nigam, 2017). Por ejemplo, el colágeno de la cebada es considerado como una buena fuente de colágeno vegetal para la industria cosmética (Avila *et al.*, 2018), y el almidón de este cereal presenta aptitudes para ser modificado, convirtiéndose en una materia prima adecuada para numerosas aplicaciones farmacéuticas o en la producción de materiales biodegradables para la industria del packaging de alimentos (Bello-Pérez *et al.*, 2010; Halal et al., 2015). Por último, existe un uso interesante de la paja de cebada como inhibidor del

crecimiento de algas para preservar a las fuentes hídricas de la proliferación de estas (Josep *et al.*, 2003; Huallacháin *et al.*, 2010). Esta nueva tecnología podría ayudar a sustituir productos químicos, contribuyendo así a reducir el impacto ambiental de los procesos de tratamiento de las aguas (Tricase *et al.*, 2018).

Comercialización de cebada

La comercialización de cebada en Argentina se rige por la Norma V de la Resolución N° 27/2013 del MAGyP, redactada luego de la modificación de la Norma V de Calidad y Comercialización de Cebada de la Resolución N° 1075 del 12 de diciembre de 1994 de la ex-SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA y su modificatoria N° 446 del 7 de diciembre de 2007 de la ex-SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, PESCA Y ALIMENTOS, de la siguiente forma:

“NORMA V - CEBADA”

ANEXO A - CEBADA CERVECERA

1. Se entiende por cebada cervecera, a los efectos de la presente reglamentación, a los granos de la especie “*Hordeum vulgare L.*” destinados a la obtención de malta.

2. BASE DE COMERCIALIZACION:

La compra-venta de cebada cervecera estará sujeta a la siguiente base de comercialización:

2.1. Capacidad germinativa: mínimo NOVENTA Y OCHO POR CIENTO (98%).

2.2. Materias extrañas: máximo CERO COMA CINCO POR CIENTO (0,5%).

2.3. Granos dañados: máximo CERO COMA CINCO POR CIENTO (0,5%).

2.4. Granos quebrados y/o pelados: máximo UNO COMA CINCO POR CIENTO (1,5%)

2.5. Calibre sobre zaranda de DOS COMA CINCO MILIMETROS (2,5 mm): mínimo OCHENTA Y CINCO POR CIENTO (85%).

2.6. Humedad: máximo DOCE POR CIENTO (12%).

3. TOLERANCIA DE RECIBO:

Las entregas de cebada cervecera quedarán sujetas a la tolerancia de recibo que a continuación se establece:

3.1. Capacidad germinativa: mínimo NOVENTA Y CINCO POR CIENTO (95%).

3.2. Materias extrañas: máximo UNO POR CIENTO (1%).

3.3. Granos dañados: máximo UNO COMA CINCO POR CIENTO (1,5%).

3.4. Granos quebrados y/o pelados: máximo CUATRO POR CIENTO (4%).

3.5. Granos con carbón: máximo CERO COMA DOS POR CIENTO (0,2%).

3.6. Granos picados: máximo CERO COMA CINCO POR CIENTO (0,5%).

3.7. Material bajo zaranda de DOS COMA DOS MILIMETROS (2,2 mm): máximo CUATRO POR CIENTO (4%).

3.8. Calibre sobre zaranda de DOS COMA CINCO MILIMETROS (2,5 mm): mínimo OCHENTA POR CIENTO (80%).

3.9. Proteína Mínima (S.S.S.): mínimo NUEVE COMA CINCO POR CIENTO (9,5%).

3.10. Proteína Máxima (S.S.S.): máximo TRECE POR CIENTO (13%).

3.11. Humedad: máximo DOCE COMA CINCO POR CIENTO (12,5%).

3.12. Libre de insectos y/o arácnidos vivos.

4. La cebada cervecera que exceda las tolerancias establecidas de recibo, que presente niveles de contaminantes por sobre la reglamentación vigente, olores comercialmente objetables o que por cualquier otra causa sea de calidad inferior que impida su uso para el fin específico, se considerará fuera de la presente normativa.

5. BONIFICACIONES:

La comercialización de cebada cervecera quedará sujeta a las siguientes bonificaciones:

5.1. Granos dañados: para valores inferiores al CERO COMA CINCO POR CIENTO (0,5%) se bonificará a razón del UNO POR CIENTO (1%) por cada por ciento o fracción proporcional.

5.2. Granos quebrados y/o pelados: para valores inferiores al UNO COMA CINCO POR CIENTO (1,5%) se bonificará a razón del UNO POR CIENTO (1%) por cada por ciento o fracción proporcional.

5.3. Material bajo zaranda de DOS COMA DOS MILIMETROS (2,2 mm): Para valores inferiores al CUATRO POR CIENTO (4%) se bonificará a razón del UNO POR CIENTO (1%) por cada por ciento o fracción proporcional.

5.4. Humedad: para valores inferiores al DOCE POR CIENTO (12%) se bonificará a razón del UNO COMA DOS POR CIENTO (1,2%) por cada por ciento o fracción proporcional.

6. REBAJAS:

La comercialización de cebada cervecera quedará sujeta a las siguientes rebajas:

6.1. Capacidad germinativa: para valores inferiores al NOVENTA Y OCHO POR CIENTO (98%) y hasta NOVENTA Y CINCO POR CIENTO (95%), se rebajará a razón del CERO COMA CINCO POR CIENTO (0,5%) por cada por ciento.

6.2. Materias extrañas: para valores superiores al CERO COMA CINCO POR CIENTO (0,5%) y hasta el UNO POR CIENTO (1%) se rebajará a razón del UNO POR CIENTO (1%) por cada por ciento o fracción proporcional.

6.3. Granos dañados: para valores superiores al CERO COMA CINCO POR CIENTO (0,5%) y hasta el UNO COMA CINCO POR CIENTO (1,5%) se rebajará a razón del CERO COMA CINCO POR CIENTO (0,5%) por cada por ciento o fracción proporcional.

6.4. Granos quebrados y/o pelados: para valores superiores al UNO COMA CINCO POR CIENTO (1,5%) y hasta el CUATRO POR CIENTO (4%), se rebajará a razón del CERO COMA CINCO POR CIENTO (0,5%), por cada por ciento o fracción proporcional.

6.5. Granos con carbón: para valores superiores al CERO COMA DOS POR CIENTO (0,2%) se rebajará a razón del UNO POR CIENTO (1%) por cada por ciento o fracción proporcional.

6.6. Granos picados: Para valores superiores al CERO COMA CINCO POR CIENTO (0,5%) se rebajará a razón del UNO POR CIENTO (1%) por cada por ciento o fracción proporcional.

6.7. Material bajo zaranda de DOS COMA DOS MILIMETROS (2,2 mm): Para valores superiores al CUATRO POR CIENTO (4%) se rebajará a razón del UNO POR CIENTO (1%) por cada por ciento o fracción proporcional.

6.8. Calibre: para valores inferiores al OCHENTA Y CINCO POR CIENTO (85%) y hasta el OCHENTA POR CIENTO (80%), se rebajará al CERO COMA CINCO POR CIENTO (0,5%) por cada por ciento.

6.9. Humedad: para mercadería que exceda el DOCE COMA CINCO POR CIENTO (12,5%) se aplicará una merma, conforme a la fórmula siguiente:

$$\text{Merma (\%)} = \frac{(H_i - H_f) \times 100}{100 - H_f}$$

H_i = Humedad inicial

H_f = Humedad final (12 %).

Merma por manipuleo: adicionar CERO COMA VEINTE POR CIENTO (0,20%).

7. DEFINICIONES Y ESPECIFICACIONES:

7.1. Calibre: es el valor expresado en por ciento en peso de la muestra, obtenido en las condiciones del ensayo que se indican en el punto 9.1. del presente Anexo, a través del cual se aprecia el tamaño y la uniformidad de los granos.

7.2. Materias extrañas: son aquellos granos o pedazos de granos y/o semillas que no sean cebada y toda partícula o resto de origen animal, mineral o vegetal.

7.3. Granos quebrados: es toda porción de grano de cebada cualquiera sea su tamaño.

7.4. Granos pelados: son los granos de cebada que presentan un tercio o más del tegumento removido, o que haya desaparecido, total o parcialmente sobre el germen.

7.5. Granos dañados: son aquellos granos o pedazos de granos que presentan una alteración sustancial en su constitución. Se consideran como tales a los ardidos y/o dañados por calor, granos verdes, brotados, calcinados, roídos por isoca y roídos en su germen.

7.5.1. Granos ardidos y/o dañados por calor: son aquellos granos o pedazos de granos que presentan un oscurecimiento en su tonalidad natural, debido a un proceso fermentativo o a la acción de elevadas temperaturas.

7.5.2. Granos verdes: son aquellos que presentan una coloración verde intensa debido a inmadurez fisiológica.

7.5.3. Granos brotados: son aquellos en los que se ha iniciado el proceso de germinación. Tal hecho se manifiesta por la visualización del brote y/o raicillas.

7.5.4. Granos calcinados: son los que presentan una coloración blanquecina o amarillenta, a veces con zonas de color rosado, cuyo endosperma presenta aspecto yesoso.

7.5.5. Granos roídos por isoca: son aquellos carcomidos por larvas de insectos que atacan al cereal en planta y cuya parte afectada se presenta negruzca o sucia.

7.5.6. Granos roídos en su germen: son aquellos cuyo germen ha sido destruido o roído manifiestamente por acción de larvas.

7.6. Granos picados: son aquellos que presentan perforaciones causadas por el ataque de insectos.

7.7. Carbón: es toda fracción de espiga, afectada por hongos del género *Ustilago*.

7.8. Material bajo zaranda de DOS COMA DOS MILIMETROS (2,2 mm): todo material que haya atravesado la zaranda de DOS COMA DOS MILIMETROS (2,2 mm).

7.9. Proteína: es el valor de nitrógeno, expresado en por ciento al décimo sobre sustancia seca, utilizándose como factor de cálculo, SEIS COMA VEINTICINCO (6,25), obtenido en las condiciones del ensayo indicadas en el punto 9.4. del presente Anexo o por cualquier otro método que dé resultados equivalentes.

7.10. Capacidad germinativa: es el valor que indica la cantidad de semillas viables, obtenido en las condiciones del ensayo indicadas en el punto 9.3. del presente Anexo o por cualquier otro método que dé resultados equivalentes.

7.11. Humedad: es el contenido de agua, expresado en por ciento al décimo sobre muestra tal cual.

7.12. Insectos y/o arácnidos vivos: se consideran los que atacan a los granos almacenados (gorgojos, carcomas, etcétera).

8. MECANICA OPERATIVA PARA EL RECIBO DE LA MERCADERIA:

Una vez extraída la muestra representativa del lote a entregar, de acuerdo a lo especificado en la Norma XXII de la Resolución N° 1075 del 12 de diciembre de 1994 de la ex SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA (muestreo en granos) o la que en el futuro la reemplace, se procederá en forma correlativa a efectuar las siguientes determinaciones:

8.1. Presencia de insectos y/o arácnidos vivos: se determinará por simple apreciación visual mediante el uso de una zaranda apropiada para tal fin. La aparición de un insecto y/o arácnido vivo o más en la muestra será motivo de rechazo.

8.2. Humedad: se determinará de acuerdo a la Norma ISO 712, 3° edición 1998 12 - 15 o por cualquier otro método que dé resultados equivalentes.

8.3. Calidad: sin perjuicio del análisis que oportunamente deba realizarse, se determinarán por visteo, a efectos del recibo, los rubros de calidad de apreciación visual, a fin de acordar si la mercadería se encuentra dentro de las tolerancias de recibo.

9. MECANICA OPERATIVA PARA LA DETERMINACION DE LA CALIDAD:

Previo homogeneización y división de la muestra lacrada, se la someterá al siguiente procedimiento:

9.1. Calibre: se determinará mediante un equipo que reúna las siguientes características: medidas de las zarandas: el equipo se conforma de TRES (3) zarandas superpuestas, separadas cada una de

DOCE a VEINTICINCO MILIMETROS (12 a 25 mm) y de una altura total de OCHO a DIEZ CENTIMETROS (8 a 10 cm). Las zarandas son de CUARENTA Y TRES CENTIMETROS (43 cm) de largo y QUINCE CENTIMETROS (15 cm) de ancho, construidas en latón de un espesor de UNO COMA TRES MAS MENOS CERO COMA UN MILIMETROS (1,3 mm +/- 0,1

mm). Los orificios son realizados con una tolerancia de MAS MENOS CERO COMA CERO TRES MILIMETROS (+/- 0,03 mm) sobre el ancho, siendo el largo de VEINTICINCO MILIMETROS (25 mm) en la parte superior y VEINTIDOS MILIMETROS (22 mm) en la parte inferior. El ancho es: zaranda I: DOS COMA OCHO MILIMETROS (2,8 mm); zaranda II: DOS COMA CINCO MILIMETROS (2,5 mm) y zaranda III: DOS COMA DOS MILIMETROS (2,2 mm). La zaranda I contiene VEINTIOCHO POR TRECE (28 x 13) orificios, la zaranda II TREINTA POR TRECE (30 x 13) orificios, y la zaranda III TREINTA Y DOS POR TRECE (32 x 13) orificios. La velocidad del movimiento será de TRESCIENTAS (300) a TRESCIENTAS VEINTE (320) revoluciones por minuto, y su amplitud de oscilación de DIECIOCHO a VEINTIDOS MILIMETROS (18 a 22 mm). La superficie de las zarandas debe ser perfectamente horizontal en ambas direcciones y el ancho de los orificios debe ser frecuentemente controlado. Se colocan CIEN GRAMOS MAS MENOS DOS GRAMOS (100 gr +/- 2 gr) de muestra tal cual, y se zarandean durante CINCO (5) minutos.

9.1.1. Los granos retenidos por las DOS (2) primeras zarandas se reúnen y su peso, una vez separados los granos pelados y quebrados, dañados, materias extrañas, granos con carbón y granos picados, se expresará en por ciento entero. Las determinaciones se realizarán por duplicado y el promedio no deberá diferir en más del UNO POR CIENTO (1%) de los valores parciales obtenidos.

9.1.2. Del mismo modo, se pesará la fracción no retenida por la zaranda III de DOS COMA DOS MILIMETROS (2,2 mm), y los resultados se expresarán al décimo. En este caso el promedio no deberá diferir en más del DIEZ POR CIENTO (10%) de los valores parciales obtenidos, dando por resultado el porcentaje de material bajo zaranda.

9.2. Las determinaciones de los rubros: quebrados y pelados; dañados; materias extrañas; las fracciones de espigas con carbón y los granos picados se efectuarán por separación en forma manual de las fracciones retenidas por las zarandas, y se pesarán antes de efectuar el pesaje para la determinación de calibre. Esta operación se realizará por duplicado. Los resultados se expresarán al décimo.

9.3. Capacidad germinativa: Se realiza sobre las fracciones retenidas sobre las TRES (3) zarandas, una vez separados los defectos. Su determinación se efectuará utilizando el aparato "Vitascope" o similar, que se basa en la capacidad de tinción de los gérmenes viables. La metodología a utilizar será la indicada en la Norma XXVI de la Resolución N° 1075 del 12 de diciembre de 1994 de la exSECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA (metodologías varias), o por cualquier otro método que dé resultados equivalentes.

9.4. Proteína: se realizará según el Método AOAC Official Method 2001.11: 2005 Protein (Crude) in Animal Feed, Forage (Plant Tissue), Grain, and Oilseeds, 1: Kjeldahl Method, o la que en el futuro la reemplace.

Tabla 20.1 “NORMA V-CEBADA” ANEXO A – CEBADA CERVECERA

RUBROS	BASE (%)	TOLERANCIA (%)	BONIFICACIONES (%)	REBAJAS (%)
CAPACIDAD GERMINATIVA (mínimo)	98	95	_____	Para valores inferiores al 98% y hasta el 95% a razón del 0,5% por cada por ciento
MATERIAS EXTRAÑAS (máximo)	0,5	1,0	_____	Para valores superiores al 0,5% y hasta el 1% a razón del 1% por cada por ciento o fracción proporcional
GRANOS DAÑADOS (máximo)	0,5	1,5	Para valores inferiores al 0,5% a razón del 1% por cada ciento o fracción proporcional	Para valores superiores al 0,5% y hasta el 1,5% a razón del 0,5% por cada por ciento o fracción proporcional
GRANOS QUEBRADOS y/o PELADOS (máximo)	1,5	4,0	Para valores inferiores al 1,5% a razón del 1% por cada por ciento o fracción proporcional	Para valores superiores al 1,5% y hasta el 4% a razón del 0,5% por cada por ciento o fracción proporcional
CARBÓN (máximo)	_____	0,2	_____	Para valores superiores al 0,2% a razón del 1% por cada por ciento o fracción proporcional
GRANOS PICADOS (máximo)	_____	0,5	_____	Para valores superiores al 0,5% a razón del 1% por cada por ciento o fracción proporcional
BAJO ZARANDA DE DOS COMA DOS MILÍMETROS (2,2 mm) (máximo)	_____	4,0	Para valores inferiores al 4% a razón del 1% por cada por ciento o fracción proporcional	Para valores superiores al 4% a razón del 1% por cada por ciento o fracción proporcional
CALIBRE SOBRE ZARANDA DE DOS COMA CINCO MILÍMETROS (2,5 mm) (mínimo)	85	80,0	_____	Para valores inferiores al 85% y hasta el 80% a razón del 0,5% por cada por ciento.
PROTEÍNA MÍNIMA S S.S	_____	9,5	_____	
PROTEÍNA MÁXIMA S S.S	_____	13,0	_____	
HUMEDAD (máxima)	12	12,5	Para valores inferiores al 12,0% a razón del 1,2% por cada por ciento o fracción proporcional	Para mercadería que exceda el 12,5% se aplicará una merma conforme a la siguiente fórmula: Merma (%) = $(H_i - H_f) / (100 - H_f) \times 100$ H_i = Humedad inicial H_f = Humedad final (12%) Merma por manipuleo: 0,20%

La proteína no tiene descuentos en el estándar, usualmente cada empresa utiliza bonificaciones o rebajas o determina un rango dentro del que el precio es mayor. Como se indicó, aquellos granos que no cumplan los estándares de cebada cervecera se comercializan en base al estándar de cebada forrajera, que se basa en grados como se indica y rubros de condición que no determinan grado (humedad, picados, manchados, insectos vivos, olores objetables). La comercialización es similar a los cereales cuyo estándar presenta grados como el trigo (el precio se establece para grado 2 y se bonifica el 1,5% cuando está en grado 1 o se rebaja el 1,5 cuando está en grado 3). Y se establecen descuentos para los rubros que no determinan grado. Una mercadería es fuera de estándar cuando excede las tolerancias del grado 3 o de los rubros que no determinan grado.

“NORMA V - CEBADA”

ANEXO B. Cebada forrajera.

1. Se entiende por cebada forrajera, a los efectos de la presente reglamentación, a los granos de *Hordeum vulgare* L.

2. TOLERANCIAS PARA CADA GRADO:

En base a los rubros de calidad comercial tomados en consideración, la cebada forrajera se clasificará en TRES (3) grados, de acuerdo a las siguientes especificaciones:

Tabla 20.2 Clasificación de la cebada forrajera en grados en base a rubros de calidad comercial

GRADO	PESO HECTOLITRICO (Mínimo) Kg/Hl	MATERIAS EXTRAÑAS (Máximo) %	GRANOS DAÑADOS (Máximo) %	GRANOS QUEBRADOS y/o PELADOS (Máximo) %	GRANOS C/CARBON (Máximo) %
1	62,00	1,00	1,50	4,00	0,10
2	59,00	1,50	2,00	6,00	0,20
3	56,00	2,00	3,00	8,00	0,30

Y luego especifica los rubros de condición.

Referencias

- Andrew, C. (2008). The gladiator diet, how to eat, exercise, and die a violent death. *Archaeology Magazine*, 61, 28–30.
- Arcidiacono, M. V., Carrillo-López, N., Panizo, S., Castro-Grattoni, A. L., Valcheva, P., Ulloa, C., & Dusso, A.S. (2019). Barley- β -glucans reduce systemic inflammation, renal injury and aortic calcification through ADAM17 and neutral-sphingomyelinase2 inhibition. *Scientific reports*, 9, 1-14.
- Avila Rodríguez, M.I., Rodríguez Barroso, L.G., Sánchez & Collagen, M. L. (2018) A review on its sources and potential cosmetic applications. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 17, 20-26.
- Baik, B.K., & Ullrich, S. E. (2008). Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of cereal science*, 48, 233-242.
- Bello-Pérez, L.A., Agama-Acevedo, E., Zamudio-Flores, P.B., Mendez-Montealvo, G. & Rodríguez-Ambríz, S.L. (2010). Effect of low and high acetylation degree in the morphological, physicochemical and structural characteristics of barley starch. *LWT—Food Science and Technology*, 43, 1434-1440
- Bolsa de comercio de Rosario (BCR) (2021). Recuperado de: <https://bcr.com.ar/es/mercados/gea/estimaciones-nacionales-de-produccion/estimaciones>.
- Edney, M. J. (2010). Barley: characteristics and quality requirements. En *Cereal Grains*, 141-162. Woodhead Publishing.
- FAOSTAT (2019). Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/es/>.
- Gonzalo A., Bimbela F., Sánchez J.L., Labidi J., Marín F. & Arauzo J. (2017). Evaluation of different agricultural residues as raw materials for pulp and paper production using a semi-chemical process. *Journal of Cleaner Production*, 156, 184-193.
- Gupta M., Abu-Ghannam N. & Gallagher E. (2010). Barley for brewing: characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 318–328.
- Halal, S.L.M.E., Colussi, R., Pinto, V.Z., Bartz, J., Radunz, M., Carreno, N.L.V., Guerra Dias, A.R. & da Rosa Zavareze, E. (2015). Structure, morphology and functionality of acetylated and oxidised barley starches. *Food Chemistry*, 168, 247-256.
- Huallacháin, D.Ó. & Fenton, O. (2010). Barley (*Hordeum vulgare*)-induced growth inhibition of algae: A review. *Journal of Applied Phycology*, 22, 651-658.
- International Grain Council (IGC) (2020). *Barley Supply and Demand Statistics*. Recuperado de: <https://www.igc.int>.
- Joseph, D., Boylan, D.J. & Morris, J.E. (2003). Limited effects of barley Straw on algae and zooplankton in a Midwestern pond. *Lake and Reservoir Management*, 19, 265-271.
- Kumar, S., Patial, M., & Sharma, R. (2020). Efficient Barley Breeding. En *Accelerated Plant Breeding, Volume 1*, 309-364. Springer, Cham.
- Larsen M., Lund P., Weisbjerg, M.R. & Hvelplund, T. (2009). Digestion site of starch from cereals and legumes in lactating dairy cows. *Animal Feed Science Technology*, 153, 236–248.
- MAGyP (2015). Pérdidas y desperdicio de alimentos en la Argentina, un ejercicio de estimación. En *Alimentos Argentinos*, 65, 26-31.

- MAGyP (2020). *Perfil de la cebada*. Recuperado de: [https:// www.magyp.gob.ar](https://www.magyp.gob.ar).
- Marconi E., Graziano, M. & Cubadda, R. (2000a). Composition and utilization of barley pearling by-products for making functional pastas rich in dietary fiber and β -glucans. *Cereal Chemistry*, 77, 133–139.
- Miralles, D. J., Abeledo, L. G., Prado, S. A., Chenu, K., Serrago, R. A., & Savin, R. (2021). Barley. En *Crop Physiology Case Histories for Major Crops*, 164-195. Academic Press.
- Newman, C. W., & Newman, R. K. (2006). A brief history of barley foods. *Cereal foods world*, 51, 4-7.
- Nghiem, N.P., Brooks W.S., Griffey, C.A. & Toht M.J. (2017). Production of ethanol from newly developed and improved winter barley cultivars. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 182, 400-410.
- Nigam, P.S (2017). An overview: Recycling of solid barley waste generated as a by-product in distillery and brewery. *Waste Management*, 62, 255-261.
- Psota V., Vejrazka, K., Famera, O & Hrcka, M. (2007). Relationship between grain hardness and malting quality of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of the Institute of Brewing*, 113, 80–86.
- Sakellariou, M., & Mylona, P. V. (2020). New Uses for Traditional Crops: The Case of Barley Biofortification. *Agronomy*, 10, 1964.
- Sato, K. (2020). History and future perspectives of barley genomics. *DNA Research*, 27, dsaa023.
- Savin, R., Slafer, G. A. & Albrizio, R. (2012). Barley. En: Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. & Raes, D. (Eds), *Crop Yield Response to Water. Irrigation and Drainage Paper*, 66, 134-141, Rome: FAO.
- Swanston J.S. & Molina-Cano, J.L. (2001). β -amylase activity and thermostability in two mutants derived from the malting barley cv. Triumph. *Journal of Cereal Science*, 33, 155-161.
- Tricase, C., Amicarelli, V., Lamonaca, E., & Rana, R. L. (2018). Economic analysis of the barley market and related uses. En *Grasses as food and feed*. IntechOpen.
- USDA (2021). Geospatial data, Crop explorer, Barley explorer, World production. Recuperado de: <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0430000>
- Vargas F., González, Z., Rojas, O.J., Garrote, G. & Rodríguez, A. (2015). Barley straw (*Hordeum vulgare*) as a supplementary raw material for Eucalyptus camaldulensis and Pinus sylvestris Kraft pulp in the paper industry. *Bio Resources*, 10, 3682-3693.
- Wood, P. J. (2007). Cereal β -glucans in diet and health. *Journal of cereal science*, 230-238.

CAPÍTULO 21

Cebada: mejoramiento

Silvina Inés Golik

Mejoramiento de la cebada a nivel mundial

La cebada cultivada (*Hordeum vulgare* L.) es el cuarto cultivo anual importante de los cereales de la familia de las Poaceae después del trigo, el arroz, el maíz y se consume como forraje para el ganado, como alimento humano (Gujral & Gaur, 2005) y, lo que es más importante, también se utiliza para elaborar maltas. La cebada es una de las primeras plantas de cultivo domesticadas y más importantes del mundo (Shewry, 1992). Es un diploide autopolinizante con $2X=14$ cromosomas. Además, tiene tipos de dos y seis hileras, según la morfología de las espigas (von Bothmer, 1992). La facilidad de crecimiento en condiciones de laboratorio y los cultivos de tejidos facilitan el desarrollo de tecnologías de transferencia y edición de genes, aunque la investigación sobre el genoma de la cebada y la biología del sistema aún se encuentra en progreso.

La cebada se cultiva desde hace más de 10.000 años (Salamini *et al.*, 2002). En tiempos pasados, las culturas sumeria y babilónica utilizaban granos de cebada como moneda. Es un grano de maduración temprana con un alto potencial de rendimiento y se puede encontrar en entornos muy variados, desde las márgenes de desiertos y estepas a elevadas alturas en los trópicos, recibiendo una cantidad modesta o nula de insumos (Harlan, 1976). La amplia variación genética de la cebada ha generado cultivares que son tolerantes a ambientes con estreses como el frío, la salinidad, la sequía y el suelo alcalino (Poehlman, 1985). Esta diversidad genética adaptativa contra el estrés abiótico y también contra el estrés biótico indica el potencial de la cebada para desarrollar cultivares resistentes a los mismos (Zhang *et al.*, 2001). El principal objetivo de los programas de mejoramiento de la cebada es incrementar el rendimiento y la calidad del grano, como asimismo seguir incrementando su resistencia al estrés biótico (patógenos, hongos, virus y otros organismos) y abiótico como los citados precedentemente (Dunwell, 1986).

La cebada es una planta de cultivo de importancia económica, el cuarto cereal en el mundo en términos de área de siembra, utilizado casi el 60% como alimento para animales, alrededor del 30% para la producción de malta, el 7% para la producción de semillas y solo el 3% para la alimentación humana (Baik & Ullrich, 2008; Dawson *et al.*, 2015). En los últimos años, la malta derivada de la cebada germinada es el material clave para el malteado de la cerveza (Bond *et al.*, 2015). El mejoramiento de los cultivares de cebada para el malteado puede ser el enfoque

más económico para mejorar la calidad de la malta. Como resultado, identificar y comprender la base genética de la cebada resulta fundamental para desarrollar nuevas variedades con mejores propiedades (Lan *et al.*, 2016). También en la actualidad, la cebada tiene numerosas ventajas en la industria alimentaria debido a su alto contenido en compuestos bioactivos como β -d-glucano, tocoferoles, tocotrienoles y fenólicos como derivados del ácido benzoico y cinámico, proantocianidinas, quinonas, flavonoles, calconas y flavonas (Holtekjolen *et al.*, 2008; Baba *et al.*, 2014). Los estudios demostraron que el β -d-glucano presenta una función importante en la prevención de diversas enfermedades como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, la hipertensión y otras (Ahmad *et al.*, 2016).

La cebada es uno de los cereales con mayor diversidad genética que se clasifica como tipos de primavera o invierno, de dos hileras o de seis hileras, con o sin cáscara por la presencia o ausencia de cáscara adherida firmemente al grano, y para el malteado o como alimento por su uso. Por lo tanto, los programas de mejoramiento cuentan con un alto nivel de diversidad genética, lo que brinda una oportunidad significativa para lograr importantes avances. Se pueden introducir rasgos específicos en estudios de **retrocruzamiento mediante hibridaciones** entre cultivares de alto rendimiento y cebada silvestre en programas de mejoramiento convencionales (Nevo, 1992). Sin embargo, el mejoramiento por **mutación** también es importante para ampliar la variación y desarrollar nuevos cultivares. Tanto la **radiación** como la mutagénesis química se han utilizado por separado para aumentar el número de cultivares de cebada con características deseables. La cebada maltera más popular, fue producida por mutagénesis por radiación (Technical Brochure, 1970).

La mejora de la cebada se ha ido realizando a través de diferentes mecanismos, entre ellos: mutaciones, marcadores moleculares, cultivo de tejidos, transferencias de genes, estudios genómicos, edición de genes, transposones, estudios epigenéticos y biología de sistemas (Gozukirmizi & Karlik, 2017).

Marcadores moleculares de cebada

Los planes de mejoramiento han venido usando características fenotípicas para la selección de rasgos deseables de hábitos, resistencia a enfermedades, rendimiento o calidad en el desarrollo de nuevos cultivares. Se han utilizado dos estrategias principales para seleccionar rasgos deseables que son el mejoramiento clásico y el mejoramiento molecular. El desarrollo y uso de marcadores moleculares para la detección y explotación del polimorfismo han jugado un papel importante en los estudios de fitomejoramiento. El fitomejoramiento molecular utiliza dos enfoques principales, la **selección asistida por marcadores (MAS)** y la **transformación genética**, para producir nuevas variedades con características deseables (Moose, 2008; Rajib *et al.*, 2013). MAS es un proceso que utiliza marcadores moleculares **para aumentar el rendimiento, la calidad y la tolerancia de los cultivos al estrés biótico o abiótico** (Foolad & Sharma, 2005). En las últimas dos décadas, marcadores moleculares como el polimorfismo de longitud de fragmento restringido (*RFLP*), ADN polimórfico amplificado aleatoriamente (*RAPD*), polimor-

fismos de longitud de fragmento amplificado (*AFLP*), repeticiones de secuencia simple (*SSR*), repeticiones de secuencia interempresarial (*ISSR*), etiquetas de secuencia expresada (*EST*) y polimorfismos de un solo nucleótido (*SNP*), los marcadores basados en transposones (*IRAP*, *iPBS*) se han utilizado como marcadores genéticos para medir las diferencias genéticas existentes en los genomas (Heun *et al.*, 1997; Gozukirmizi *et al.*, 2016). El desarrollo de tecnologías de secuenciación de próxima generación abrió nuevas oportunidades para el desarrollo de marcadores basados en secuencias. Hoy en día, tenemos nuevos marcadores que no se basan en fragmentos, sino en secuencias. Hay disponibles matrices de densidad media y alta para la cebada. La elección de los métodos de marcadores utilizados se ha desplazado de los marcadores de primera y segunda generación, como *RFLP*, *RAPD*, microsatélites y *AFLP*, a marcadores de tercera y cuarta generación, incluidos *DArT*, *TAM*, *RAD* y *CNV / PAV* (Gupta *et al.*, 2008; Belo *et al.*, 2010). El sistema de marcadores de polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción (*RFLP*) se ha utilizado como una medida de la diversidad genética para estudios de mapeo en cebada (Graner *et al.*, 1991; Stein *et al.*, 2007).

Cultivos de tejido de cebada y sistemas de transferencia de genes

El cultivo de tejidos vegetales, que proporciona comodidad para la propagación y manipulación de las plantas, se basa en el cultivo de células, tejidos u órganos vegetales aislados de la planta madre, en medios artificiales (George, 2008). Se requiere para regenerar *in vitro* plantas transgénicas completas mediante el uso de células, tejidos o una sola célula cultivada en un medio nutritivo en un ambiente estéril (Cardoza, 2008). La capacidad de regeneración de la cebada depende del material vegetal donante, el genotipo, el medio y el medio ambiente (Dahleen, 1999; Sharma *et al.*, 2005). Una limitación importante de la transformación de la cebada sigue siendo el escaso potencial de regeneración de los cultivares modernos. Sin embargo, se han realizado varios estudios para mejorar las técnicas de cultivo de tejidos y aumentar las tasas de regeneración (Temel & Gözükirmizi, 2011). Desde el pasado hasta la actualidad, se han desarrollado varios protocolos de cultivo de tejidos utilizando embriones inmaduros (Breiman, 1985; Rikiishi, 2008), embriones maduros (Gozukirmizi *et al.*; 1990; Temel *et al.*, 2008), meristemas apicales (Cheng & Smith, 1975; Weigel, 1985; Ganeshan *et al.*, 2003), anteras (Huang & Sunderland, 1982; Bednarek & Orlowska, 2007), microesporas (Kohler & Wenzel, 1985; Obert, 2008), ovarios (Castillo & Cistue, 1993; Holme, 2008), suspensiones celulares (Kott & Kasha, 1984; Luhrs & Nielsen, 1992), protoplastos (Lazzeri, 1991), tejido coleóptilo (Sahrawat & Chand, 2004) y segmentos de la base de la hoja (Li *et al.*, 2009).

El uso de embriones maduros tiene una gran ventaja en comparación con otros sistemas como protoplastos y suspensiones celulares. Para el cultivo de tejido de cebada, los embriones maduros representan el sistema ideal debido a las mayores tasas de germinación y regeneración por embriogénesis somática de embriones maduros cultivados de cebada (Gozukirmizi, 1990). Las fitohormonas también son cruciales para establecer las condiciones óptimas de cultivo de tejidos para producir tejido de callo indiferenciado a partir de tejidos diferenciados,

como un embrión (Jiang *et al.*, 1998). La formación de callos, que es una desdiferenciación de células individuales o explantes de tejido, ofrece gran oportunidad para la investigación de *in vitro* producción de selección de variaciones genéticas (Espinasse & Lay, 1989; Nasircilara *et al.*, 2006). La regeneración de plantas a partir de callos de cebada tiene un gran potencial para producir nuevas líneas en el mejoramiento de cultivares de cebada mejorados (Ward & Jordan, 2001; Fahmy & El-Shihy, 2006). El tipo de auxina, ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), es el regulador de crecimiento más utilizado para la inducción de callos (Ozawa & Komamine, 1989; Denchev; Conger, 1994). Sin embargo, la calidad del callo depende de los genotipos de la cebada (Ward & Jordan, 2001; Hanzel *et al.*, 1985).

Los embriones inmaduros tienen un gran potencial para producir embriones somáticos a través de callos embriogénicos (von Arnold *et al.*, 2002). La embriogénesis somática, que se define como un proceso por el cual las células somáticas haploides o diploides se desarrollan en una estructura que se asemeja al embrión cigótico, es una herramienta importante para la propagación vegetativa a gran escala. Los embriones somáticos son estructuras bipolares sin ninguna conexión vascular con el tejido parental y estas estructuras pueden diferenciarse directamente de los explantes sin una fase de callo intermedio o indirectamente después de una fase de callo.

Desde la década de 1990, la ingeniería genética de plantas es una poderosa herramienta de investigación para el descubrimiento de genes con el objetivo de introducir rasgos agrónomicamente útiles. El primer informe sobre la transformación estable de cebada mediante métodos de **transferencia directa de ADN** ha sido elaborado por Lazzeri *et al.* (1991). Desde entonces, se han desarrollado numerosos protocolos para la transformación de la cebada con el aporte de mejoras técnicas basadas en embriones inmaduros o cultivos de polen androgenético u óvulos aislados como dianas de transferencia génica (Matthews *et al.*, 2001; Kumlehn *et al.*, 2006; Holme *et al.*, 2008).

Estudios genómicos sobre cebada

La revolución genética de la última década ha mejorado enormemente la comprensión de las relaciones entre la diversidad genética y fenotípica con una detallada resolución. El desarrollo de tecnologías de secuenciación de próxima generación (NGS) ha aumentado la precisión y reducido los costos. La secuenciación o re-secuenciación de genomas de referencia y también nuevas variedades permiten la identificación de numerosos marcadores, diversidades alélicas y han cambiado la percepción de la organización y evolución del genoma. La secuenciación de los genomas de los cultivos proporcionó evidencias del origen y la evolución de las plantas, duplicaciones, reordenamientos del genoma, adaptaciones y modulaciones funcionales (Barabaschi *et al.*, 2011). La secuencia completa del genoma es esencial para proporcionar conocimientos para comprender las variaciones genéticas naturales y el desarrollo de los programas de reproducción.

Recientemente, nuevas estrategias de **secuenciación de alto rendimiento** han revelado la estructura del genoma de la cebada (Mayer *et al.*, 2011; Mayer *et al.*, 2012). La existencia de 26159 genes de cebada fue confirmada por un análisis de sintenia sistemática con especies modelo de la familia Poaceae (arroz, maíz, sorgo) que ya han tenido anotación de sus genomas. Además, hasta el 80% del genoma de 5,1 Gb de la cebada contiene ADN repetitivo, lo que complica la secuenciación completa (The International Barley Genome Sequencing Consortium, 2012). El genoma mitocondrial de la cebada consta de 33 genes que codifican proteínas, tres ARN ribosomales, 16 ARN de transferencia, 188 nuevos ORF, seis secuencias repetidas principales y varios tipos de elementos transponibles. Se ha descubierto que los genomas mitocondriales de estas líneas de cebada silvestre y cultivada son casi idénticos en términos de secuencia de nucleótidos y estructura del genoma, sólo se han detectado tres SNP entre los haplotipos (Hisano *et al.*, 2016).

Varias técnicas, incluido el **mapeo de ligamiento (o mapeo QTL)**, **mapeo de asociación (GWAS)** y **técnicas ómicas de alto rendimiento, como transcriptómica, ionómica, proteómica y análisis metabolómico**, se han utilizado para identificar un solo gen o múltiples genes correspondientes al gen redes de regulación del desarrollo, floración, vernalización y condiciones de estrés biótico y abiótico (Urano *et al.*, 2010). Los enfoques de secuenciación de próxima generación (por ejemplo, RNA-Seq) se llevaron a cabo en cinco años y ampliaron el conocimiento sobre las redes de regulación genética de las condiciones de estrés. Durante los últimos años, se ha caracterizado un número creciente de estos genes y su función en condiciones de sequía se ha demostrado mediante el análisis de mutantes con pérdida de función o líneas de sobreexpresión.

El **perfil del transcriptoma** de la cebada en condiciones de bajo contenido de nitrógeno (LN) se ha determinado mediante el método RNA-seq. Se identificaron 1469 genes expresados diferencialmente entre variedades de cebada tolerante y sensible bajo LN. Las diferencias entre genotipos tolerantes y sensibles involucraban transportadores, factores de transcripción, quinasas, estrés antioxidante y genes relacionados con la señalización hormonal. Sin embargo, los DEG se clasificaron en metabolismo de aminoácidos, metabolismo de almidón y sacarosa, metabolismo secundario (Quan *et al.*, 2016). Se han realizado numerosos estudios para comprender los mecanismos de tolerancia al estrés biótico y abiótico. Además, **los análisis fisiológicos y bioquímicos** han proporcionado información valiosa sobre un mecanismo molecular integrado novedoso de los mecanismos de tolerancia al estrés en la cebada. Se realizó un análisis del transcriptoma de todo el genoma para identificar los mecanismos de tolerancia al cadmio (Cd) en dos genotipos de cebada con distinta tolerancia al Cd mediante el uso de un enfoque de **microarrays**. El perfil de expresión de microarrays reveló que los genes nuevos pueden desempeñar funciones importantes en la tolerancia al Cd. Otro estudio para comprender el estrés abiótico fue la secuenciación de ARN de hojas jóvenes de cebada silvestre tratadas con sal (NaCl 500 mM) en cuatro intervalos de tiempo diferentes. La cebada sin cáscara, también llamada cebada desnuda, a menudo sufría estrés por sequía durante el crecimiento y desarrollo. Por tanto, Zeng *et al.* (2016) han investigado los patrones de expresión de ARNm coregulados bajo agua de pozo temprano, luego bajo déficit de agua y finalmente los tratamientos

de recuperación de agua, y para identificar ARNm específicos para las condiciones limitantes del agua. Los resultados mostraron que se determinaron 853 DEG y se categorizaron en nueve grupos. Sin embargo, el análisis del transcriptoma reveló que los genes más afectados estaban relacionados con la unión de tetrapirrol, el fotosistema y la membrana fotosintética en condiciones de estrés por sequía.

El enfoque **proteómico** también juega un papel importante para comprender las alteraciones en el contexto de las respuestas fisiológicas y morfológicas al estrés biótico y abiótico en la cebada. Rollins *et al.* (2013) han investigado las proteínas reguladas diferencialmente en respuesta a la sequía, las altas temperaturas o una combinación de ambos tratamientos mediante el uso de **electroforesis diferencial en gel y espectrometría de masas**. El estudio mostró que el tratamiento de sequía indujo fuertes reducciones de biomasa y rendimiento, pero no provocó alteraciones significativas en el rendimiento fotosintético y el proteoma. Por el contrario, el tratamiento térmico y la combinación de calor y sequía provocaron la reducción del rendimiento fotosintético y cambios del proteoma de la hoja. Se identificaron 14 proteínas entre 99 manchas de proteína como una forma específica de genotipo en respuesta al tratamiento térmico. El análisis indicó que las proteínas reguladas diferencialmente estaban relacionadas con la fotosíntesis, la desintoxicación, el metabolismo energético y la biosíntesis de proteínas.

Edición del genoma

La edición del genoma ha surgido recientemente como un nuevo método transgénico para mejorar las plantas de cultivo que tiene grandes oportunidades sobre las técnicas convencionales dirigidas a genes. La ventaja más importante de la edición de genes es la modificación de los genes específicos dirigidos en el lugar. La edición del genoma utiliza nucleasas programables como las nucleasas con dedos de zinc (ZFN), nucleasas efectoras de TAL (TALEN) o endonucleasas asociadas con repetición palindrómica corta espaciadas regularmente (CRISPR) agrupadas, también se puede utilizar para introducir inserciones de genes, reemplazos de genes (Sprink *et al.*, 2015). La edición del genoma es una herramienta clave para avanzar en el conocimiento de la función de los genes, así como para permitir la mutagénesis dirigida con alta eficiencia en plantas, incluida la cebada (Wendt *et al.*, 2013; Gurushidze *et al.*, 2014).

Transposones, estudios epigenéticos

Los transposones, son segmentos de ADN que se mueven a una nueva ubicación en un cromosoma o a otro cromosoma o célula. Fueron identificados por primera vez en el maíz por McClintock (1984). Varios estudios han revelado que los transposones afectan la estructura genética, las regulaciones epigenéticas y la dinámica del genoma de casi todos los organismos vivos (Gozukirmizi *et al.*, 2016). Los transposones alteran la estructura del genoma existente

que puede conducir a cambios significativos como pérdidas y/o inserciones. Los porcentajes y tipos de transposones pueden variar entre las especies (Feschotte & Pritham, 2007). Los genomas procarióticos contienen entre un 1% y un 3% de transposones, en cambio, su porcentaje puede alcanzar el 85% o más en genomas eucariotas, especialmente en plantas (Feschotte & Pritham, 2009). La cebada, debido a que tiene un genoma grande, tiene un mayor contenido de ADN derivado de hasta un 85% de transposones (Wicker *et al.*, 2015).

La modificación epigenética de la cromatina se define como cambios hereditarios en la expresión génica que no se producen por alteraciones en las secuencias de nucleótidos del ADN. La metilación del ADN y las modificaciones de la cola N-terminal de la histona covalente se consideran principalmente modificaciones de la cromatina que pueden cambiarse en las plantas durante el ciclo celular (Jasencakova *et al.*, 2001; Jasencakova *et al.*, 2003), el desarrollo de la planta (Santamaría *et al.*, 2009; Meijón *et al.*, 2010) o en la respuesta al estrés (Luo *et al.*, 2012). Los mecanismos epigenéticos mantienen un gen o genes activos o en estados represivos (Finnegan *et al.*, 1998; Cheung & Lau, 2005). Braszewska-Zalewska & Hasterok (2013) investigaron las diferencias de modificación epigenética entre los tejidos meristemáticos de la raíz de la cebada. El estudio indicó que los niveles de modificaciones epigenéticas variaban entre los tejidos RAM. Los estudios sobre el estrés ambiental mostraron que tanto la metilación del ADN como las modificaciones de histonas están involucradas en la respuesta al daño del ADN.

Mejoramiento de la cebada en Argentina

Del total de cebada que se cosecha en la Argentina, a excepción de las variedades forrajeras que tienen como objetivo la exportación, el principal destino lo constituye la industria cervecera. En cambio, a nivel mundial solo el 25% tiene como destino la fabricación de cerveza, siendo el principal destino del grano de cebada, el forrajero y en un lugar secundario la industria alimenticia. La producción en nuestro país alcanzada durante la campaña 2018/2019 fue superior a los 5 millones de t., siendo el segundo mejor volumen en lo que va de este siglo, además de ser un 35% superior si se lo compara con los valores del año precedente. No cabe duda, que, a nivel local, el aumento de la demanda de malta fue lo que impulsó la producción de cebada cervecera en los últimos años, estimulando a los productores para que los cultivares evolucionen (De Bernardi, 2019). Independientemente de las nuevas semillas inscriptas, tanto las variedades Andreia como Shakira son las que predominan actualmente en Argentina. Anteriormente fue la variedad Scarlett, cultivar que llegó a cubrir más del 90% de la superficie del país.

En base a la sostenida demanda, la cebada ha ido evolucionando, ganando zonas de mayor aptitud agrícola. Y tanto los avances de la ciencia como de la tecnología están contribuyendo a dicha expansión. El incremento de los rendimientos del cultivo de cebada cervecera se debe a las mejoras en las ganancias genéticas de los cultivares desarrollados, a las mejoras en las técnicas de manejo y a la mayor aplicación de insumos como fertilizantes y agroquímicos, que

permiten un control relativamente eficiente de malezas, plagas y enfermedades (Slafer *et al.*, 1994). Conocer el efecto del mejoramiento genético sobre la sanidad, el rendimiento y sus principales componentes y la calidad comercial e industrial del grano permitirá valorar y aumentar la eficiencia de los programas de desarrollo de cultivares. La obtención de nuevos cultivares con alta calidad maltera, con parámetros estables de calidad comercial (tamaño de granos y porcentaje de proteínas) y rendimientos altos y estables aseguran la competitividad y la sustentabilidad de la cadena agroindustrial.

Desde el punto de vista forrajero, la cebada forrajera presenta algunas ventajas respecto al resto de los cereales invernales, como el de tener un mayor nivel de energía, utilizándose habitualmente como verdeo invernal y ensilajes de planta entera. Como verdeo de invierno, presenta un destacado volumen de pasto de calidad superior que alcanza aproximadamente un 15% más de forraje, en comparación con la mayoría de los cultivares cerveceros.

A pesar de que los beneficios para la salud son numerosos, su uso en Argentina está primeramente focalizado en la elaboración de cerveza. Esto lo demuestra el hecho de que en la campaña 2018/19 se destinaron al mercado interno 1.050.000 t que terminan representando 840.000 t/malta, unas 400.000 t. para alimentos y aproximadamente 120.000 t se reservaron para semillas. Del total de lo que Argentina produce aproximadamente entre el 50% al 60% es destinado a la exportación. El volumen de exportaciones alcanzó los 2,7 millones de t., de ello el total exportado como cebada forrajera alcanzó unas 1.534.100 toneladas, el resto fue como grano para cerveza y malta. Argentina es el principal proveedor de malta de América del Sur, siendo Brasil el principal lugar de destino (De Bernardi, 2019). Durante el año 2018 se exportaron 469 mil t. La demanda de malta está en aumento por un mayor consumo mundial de cerveza, impulsando el crecimiento de la superficie sembrada en Argentina, aún a áreas donde no se dispone de información del comportamiento de este cultivo. En este contexto, el desafío de los programas de mejoramiento es desarrollar cebadas cerveceras con buena sanidad, de alto y estable rendimiento, con calidad diferenciada, que mejoren la competitividad y contribuyan a la diversificación y sustentabilidad de los sistemas productivos, generando asimismo información de los materiales existentes y novedosos con el fin de que las nuevas tecnologías se difundan correctamente. Para ello, es fundamental obtener líneas experimentales de cebada cervecera tratando de acortar al máximo los tiempos necesarios para su generación. El INTA, con sede en la EEA Bordenave (Pcia. de Buenos Aires, Argentina), es el único ente estatal que lleva adelante programas de mejoramiento genético de cebada cervecera. La metodología tradicional de mejoramiento llevada a cabo por el INTA Bordenave comienza con la generación de variabilidad genética a través de cruzamientos dirigidos entre padres selectos, que dan origen a plantas F1, las cuales continúan su ciclo como material de cría F2 a F6 mediante los métodos: masal modificado, genealógico y SSD, según las características y objetivo de la población. Posteriormente a la evaluación y selección de las líneas puras obtenidas en F6, se inicia una etapa de ensayos comparativos de rendimiento, en parcelas experimentales comparadas con testigos comerciales, paralelamente se procede con la multiplicación de la semilla a diferentes escalas, para ir incrementando la cantidad de semilla disponible de cada material selecto. Estos ensayos se inician con una repetición en un ambiente y van aumentando el número de repeti-

ciones y ambientes progresivamente de generación en generación. La presión de selección aplicada durante todo el proceso depende de los caracteres de interés evaluados en cada etapa (Conti *et al.*, 2012). Todo programa de mejoramiento tiene tres objetivos fundamentales: **mejora de la calidad, sanidad y rendimiento.**

La selección en las filiales tempranas se basa en caracteres cuali y cuantitativos de fácil observación y rasgos de aptitud agronómica, por ejemplo: producción de forraje, rendimiento en granos, altura, porte, respuesta al vuelco, ciclo de crecimiento y comportamiento sanitario en general. A medida que se va avanzando en las generaciones el número de materiales selectos se va reduciendo y la cantidad de semilla de cada uno se va incrementando, con lo cual es posible realizar otras evaluaciones, como caracteres de calidad comercial e industrial del grano y calidad de forraje. Además, se continúa con las mediciones de las características antes mencionadas para filiales tempranas, pero se aumenta el grado de precisión de las observaciones y el número de repeticiones y tamaño de las muestras. En las etapas finales de los ensayos comparativos se realizan análisis de adaptabilidad y estabilidad mediante el estudio de la interacción genotipo-ambiente. Las líneas que superan todas las instancias de selección y poseen un comportamiento destacado son inscriptas como cultivares, debiéndose realizar los incrementos de semilla pura y mantenimiento de núcleos de pureza de la nueva variedad. Tanto los ensayos como las multiplicaciones donde participan las líneas avanzadas del programa son declarados ante el INASE, cumpliendo con los requisitos necesarios para la confección del legajo de inscripción y posterior resguardo de la propiedad intelectual del material genético. Todo este proceso completo implica aproximadamente 10 años, lo que resulta excesivamente prolongado. Por esto, en la actualidad la biotecnología constituye una herramienta fundamental para complementar las metodologías convencionales, acortando los tiempos requeridos para la obtención de las variedades y maximizando la eficiencia de uso de los recursos (Conti *et al.*, 2012). En el INTA se ha logrado, a través de sus programas de mejoramiento:

a) el **adelanto de generaciones de autofecundación**: como ya se dijo, el tiempo requerido para estabilizar el material segregante es una de las limitantes más importantes, previo a su inclusión en ensayos comparativos. Y si bien con cultivos a campo en contraestación en ambientes que lo permiten, o en invernáculo, este período puede acortarse, la capacidad de este tipo de técnicas es limitada y sólo permite ahorrar una generación por año. El adelanto de generaciones mediante **rescate de embriones inmaduros y su posterior cultivo in vitro** posibilita realizar tres generaciones en el año. Esta técnica se aplica sobre poblaciones segregantes F2 selectas y priorizadas por su performance y su perfil molecular. Se inicia con la obtención de plantas donantes de embriones en macetas en condiciones de invernáculo. Cuando los embriones llegan a un determinado estado (1,5 a 2 mm, embriones inmaduros), se realiza su extracción para ser cultivados in vitro. Las plántulas regeneradas son posteriormente rusticadas y mantenidas en condiciones de invernáculo hasta la cosecha. Las semillas obtenidas continúan sus procesos de selección, evaluación y multiplicación.

b) debido a la falta de información de las enfermedades más comunes de la cebada en nuestro país, se planteó la **identificación, aislamiento y estudio de la variabilidad** del agente causal de mancha en red (*Drechslera teres*) y escaldadura (*Rynchosporium secalis*).

Las muestras de patógenos recolectadas en diferentes ambientes del país son identificadas en laboratorio. Una vez identificados se procede a realizar cultivos monospóricos, con el propósito de separar las distintas razas, si es que existen con el objetivo de contar con cultivos puros del patógeno, que podrán ser utilizados para la inoculación de materiales y posterior evaluación de la enfermedad. También se prueban diferentes protocolos de inoculación a campo e invernáculo para determinar el más adecuado a ser utilizado en cada caso. También es posible **realizar una evaluación molecular del patógeno aplicando marcadores moleculares tipo SSR o AFLP**,

c) en los últimos años se han liberado nuevas variedades que intentan abastecer nuevos mercados en el ámbito nacional e internacional, lo que trajo aparejado la necesidad de un **sistema de identificación varietal** que permita discriminarlas y así asegurar la identidad del grano cosechado, imprescindible para la industria maltera y las exportaciones de cebada cervecera (Conti *et al.*, 2012). En el INTA Bordenave la identificación varietal en cebada se realizaba usando isoenzimas y el patrón de expresión de proteínas de reserva del grano (hordeínas). Sin embargo, estos marcadores bioquímicos no son ideales, ya que suelen presentar patrones de difícil interpretación y la presencia de mezclas no sólo puede pasar desapercibida, sino que es casi imposible cuantificar el porcentaje de pureza genética. Para intentar resolver este problema se desarrolló un sistema de identificación varietal utilizando marcadores moleculares tipo microsatélites (SSRs). De esta manera se analizaron las variedades comerciales más difundidas de cebada de origen certificado y se seleccionaron los marcadores *Bmag120*, *HvM54*, *HvM03* y *Bmag223* por tener patrones claros de amplificación y alto polimorfismo entre las variedades. Con este procedimiento se pudo obtener el perfil genético de las variedades comerciales en Argentina y también podría usarse para la identificación varietal de muestras incógnitas. Esta técnica, además de ser fundamental en el mantenimiento de la pureza varietal en toda la cadena agroindustrial de la cebada, constituye un mecanismo muy importante en el seguimiento de la genealogía de las poblaciones, principalmente para identificar falsos cruzamientos por autofecundación (Conti *et al.*, 2012),

d) **selección asistida por marcadores moleculares**. La selección de nuevas líneas mejoradas, en los programas tradicionales de mejoramiento, se basa en evaluaciones y mediciones directas de las características agronómicas de interés. Estas mediciones pueden ser simples en algunos caracteres, como la altura, por ejemplo, pero en la mayoría de los caracteres asociados a la calidad y sanidad la selección requiere de análisis de laboratorio y ensayos que demoran y encarecen el lanzamiento de nuevas variedades. La selección asistida por marcadores moleculares es una herramienta de gran utilidad puesto que la selección se independiza del ambiente, las determinaciones se llevan a cabo en etapas muy tempranas del cultivo y las técnicas utilizadas son fáciles de aplicar, con resultados rápidos y objetivos. No obstante, en cultivos que no han sido objeto de una minuciosa investigación al respecto, existen pocos marcadores disponibles para aplicarlos directamente y, por lo tanto, en la mayoría de los casos es necesario validar los marcadores moleculares existentes en la bibliografía para poder usarlos en un programa de mejoramiento. Una herramienta de gran valor para esta etapa son los recursos genéticos conservados en los bancos de germoplasma (Conti *et al.*, 2012).

Los caracteres de interés en los que se vienen trabajando en el INTA Bordenave son:

- **Resistencia a roya de la hoja** (*Puccinia hordei*) en cebada: que es una enfermedad de gran relevancia en el mundo entero y también en Argentina. En la literatura se han descrito por lo menos 16 genes mayores de resistencia a esta enfermedad (*Rph*), no obstante, sólo unos pocos han sido mapeados correctamente. El Gen *Rph7* fue uno de los primeros caracterizados a partir del cultivar “Cebada Capa” y provee efectiva resistencia a esta enfermedad tanto en Europa como en Sud-América. Asociado al gen *Rph7* existe un marcador codominante CAPS (cleaved amplified polymorphic sequence), que permite identificar los alelos de resistencia o susceptibilidad en diferentes variedades de Cebada (Conti *et al.*, 2012). En el laboratorio de Biotecnología de INTA Bordenave, se emplea este marcador para la caracterización de distintos cultivares en cuanto a la presencia o ausencia de alelos de resistencia para el gen *Rph7*. Hasta el momento, se realizó una caracterización molecular de las variedades comerciales en Argentina, donde se utilizaron como control 10 materiales de la colección de cebada de la EEA Bordenave del INTA, que poseían alelos favorables para los genes de interés. Las variedades comerciales analizadas no presentaron alelos favorables para los genes *Rph7*. Pero si presentaron alelos de resistencia a roya de la hoja los materiales Hendly, Heris, Henrike y Delta de la colección. En este marco, se realizaron cruzamientos entre materiales dadores de dicho gen y genotipos elite, obteniéndose poblaciones segregantes para este carácter que son seleccionadas mediante esta herramienta.

- **Resistencia a mancha en red** (*Dreschlera teres*) en cebada: tanto la mancha en red como la escaldadura son dos de las enfermedades más importantes en el cultivo de cebada en nuestro país y en otras partes del mundo. En los últimos años estas enfermedades se han expandido debido a varios motivos, entre ellos la amplia distribución del cultivo, la incorrecta rotación dentro de los lotes de producción y la inclusión de nuevos cultivares susceptibles. La mancha en red presenta dos tipos de síntomas asociados: la forma en red (net-form) provocada por *P. teres* f. *teres* y la forma de mancha (spot-form) causada por *P. teres* f. *maculata* K (Khan & Tekauz, 1982). Se ha desarrollado un QTL para la resistencia a mancha en red (*QRpt6*), este fragmento tiene asociado un marcador molecular microsatélite (*HvM74*). Asimismo, existe un QTL para la resistencia a la forma de mancha de esta enfermedad (*QRpts4*) y el microsatélite asociado (*HvM03*). Estos marcadores fueron validados en diferentes poblaciones de cebada generadas sobre genotipos elite en Canadá. Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren que estos marcadores pueden utilizarse en la selección asistida para el carácter resistencia a mancha en red en sus dos formas (Tajinder *et al.*, 2010), aunque estos marcadores no fueron validados en los materiales argentinos. Teniendo en cuenta la dependencia del ambiente de los QTLs, se propuso validar los marcadores *HvM74* y *HvM03* en materiales argentinos de alto potencial agronómico como las variedades Andreia y Shakira. Para tal fin se comenzó a desarrollar una población de 200 individuos RILs en la Estación Experimental Agropecuaria Bordenave, que será caracterizada fenotípicamente en al menos tres ambientes y genotípicamente con estos microsatélites. De esta manera se busca la asociación entre la enfermedad y la presencia de los alelos específicos. Además de validar estos marcadores en genotipos adaptados a las condiciones de cultivo de Argentina, estos resultados servirán para utilizarlos en

selección asistida dentro del programa de mejoramiento de INTA Bordenave, con el fin de introgresar estos QTLs en nuevos fondos genéticos de alto potencial agrícola/industrial.

- **Resistencia a escaldadura** (*Rinchosporium secalis*) en cebada: existen varios genes de resistencia para esta enfermedad (*Rrs*) y también, existen marcadores tipo CAPS asociados a los genes de resistencia *Rrs2* y *Rrs15*. En una primera instancia se caracterizaron molecularmente las variedades comerciales en Argentina, de este modo las variedades Shakira y Traveler presentaron alelos de resistencia para el gen *Rrs2*. Con estos materiales se generaron poblaciones segregantes, las cuales son seleccionadas mediante este marcador (Conti *et al.*, 2012).

Calidad

El primer objetivo de calidad de la malta es una adecuada disolución enzimática de la estructura física de los granos a la cual se denomina modificación del endosperma. Se produce por la acción conjunta de enzimas citolíticas (que disuelven las paredes celulares) y proteolíticas (que disuelven fundamentalmente la matriz proteica). Para cuantificar el grado de degradación del endosperma se usa el parámetro denominado **friabilidad**. La friabilidad es la medida de la intensidad de desagregación, expresada en porcentaje (Gimenez, 2017). Se determina por la acción física de molienda con rodillos de goma y la posterior separación de la fracción friable (harina) de la no friable (partículas del endosperma que permanecen cohesionadas). Se considera que los granos de cebada tienen una buena friabilidad cuando presentan valores mayores del 80%. La mayoría de las determinaciones para determinar la calidad industrial de la malta relacionada con su comportamiento en las cervecerías, se realizan sobre el mosto. Se denomina mosto cervecero a la suspensión obtenida de malta molida en agua, a través de una maceración con tiempos y temperaturas controladas, durante la cual las enzimas degradan los polímeros formados en el grano a compuestos más simples y solubles (Gimenez, 2017). **El extracto y el índice de Hartong (VZ 45)** son dos parámetros importantes que se miden a partir del mosto. El extracto es el principal carácter de tipo económico, puesto que está íntimamente relacionado con la cantidad de cerveza que es posible elaborar a partir de una malta. Se expresa en porcentaje y se determina a partir de una maceración en un tiempo y temperatura determinados. El extracto está formado por hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, vitaminas y sales, que fueron solubilizados durante la maceración y se encuentra inversamente relacionado con el contenido proteínas de los granos (Cattivelli *et al.*, 1994). El índice de Hartong (Vz 45°C) es un parámetro que indica la intensidad potencial de acción de las enzimas proteolíticas desarrolladas durante el proceso de malteo. Se realiza una maceración a 45°C, que es la temperatura óptima para las enzimas proteolíticas, durante 1 hora (mosto Hartong). El extracto generado en tales condiciones (en porcentaje) está compuesto fundamentalmente por sustancias nitrogenadas como producto de la disolución de proteínas complejas (Gimenez, 2017). En el INTA Bordenave se analiza la **Termoestabilidad de β -Amilasa** (enzima de degradación del almidón durante el macerado de la malta) en cebada: La β -amilasa es una enzima esencial en el proceso de malteado, ya que está involucrada en la degradación del almidón.

En cebada existen cuatro formas alélicas distintas para esta enzima, cada una de las cuales presenta diferente tasa de inactivación térmica o termoestabilidad. El nivel de termoestabilidad influye en la degradación del almidón, el cuál determina el rendimiento de los azúcares fermentables para la producción de alcohol durante el macerado. De estos cuatro alelos, dos codifican para enzimas de baja termoestabilidad mientras que los otros dos codifican para enzimas de alta termoestabilidad (alelos favorables) (Conti *et al.*, 2012). Paris *et al.* (2002) identificaron un SNP (single nucleotide polymorphism) entre los alelos de alta y baja termoestabilidad de la β -amilasa. Además, desarrollaron un marcador tipo CAPS que permite diferenciar los alelos favorables (alta termoestabilidad) de los no favorables. Este tipo de marcadores tiene la ventaja de ser codominantes y relativamente fáciles de aplicar en selección asistida. Esta técnica ha permitido, en el laboratorio de Biotecnología de la EEA Bordenave, seleccionar materiales portando alelos favorables para la β -amilasa. Estos materiales se seleccionaron sobre poblaciones segregantes F2 provenientes de cruzamientos entre materiales que portan alelos termoestables (como las variedades: Ayuna Nijo, Delta y Rika) y materiales que portan características agronómicas de interés y alto potencial de producción (Scarlett, Shakira y Andreia). Con los materiales identificados se realizaron retrocruzas y nuevos cruzamientos con el fin de incorporar los alelos termoestables de la β -amilasa en fondos genéticos de alto potencial, tratando de mejorar la calidad industrial de estas variedades (Conti *et al.*, 2012).

Ganancia Genética para el rendimiento: es posible separar la contribución relativa del mejoramiento genético y del manejo (tecnologías de manejo, aplicación de insumos y mejora en la maquinaria) a la mejora de un cultivo a través del tiempo (Slafer *et al.*, 1994; Duvick & Cassman, 1999). La ganancia genética puede ser estimada comparando un conjunto de cultivares liberados en diferentes años en condiciones y manejo homogéneo o bien a través de la comparación de datos de redes de evaluación de cultivares o datos de los mismos programas de mejoramiento (Bell *et al.*, 1995). La primera opción puede tener como inconveniente que las prácticas agronómicas y la incidencia de plagas y enfermedades a través del tiempo incidan en el rendimiento de los cultivares más antiguos, ya que las actuales condiciones son diferentes a las condiciones en que estos cultivares tuvieron su máximo uso. Otro inconveniente es que en Argentina no se tienen documentados los datos de ensayos de las viejas redes de evaluación en el cultivo de cebada cervecera. La evaluación del impacto del mejoramiento genético sobre los caracteres que determinan el rendimiento en granos de cebada puede ayudar a identificar características, ya sea potenciales o limitantes, para el futuro mejoramiento genético de este cultivo (Abeledo, *et al.*, 2003a; Sadras & Lawson, 2011). La tasa de la ganancia genética del rendimiento depende de los cultivares, del ambiente y del intervalo de tiempo bajo estudio, y usualmente es baja en ambientes de menor potencial (Austin *et al.* 1989; Slafer *et al.* 1994). Específicamente, en la cebada, los estudios relacionados con la ganancia genética son pocos y en su mayoría se han realizado en América del Norte y Europa (Riggs, *et al.*, 1981; Wych & Rasmusson, 1983; Martiniello *et al.*, 1987; Boukerrou & Rasmusson, 1990; Bulman *et al.*, 1993; Jedel & Helm, 1994; Muñoz *et al.*, 1998; Ortiz *et al.*, 2002; Pstota, *et al.*, 2009). La mayoría de dichos autores coinciden en que el mejoramiento genético aumentó el rendimiento a través de un incremento en el número de granos.unidad de superficie⁻¹ y en el índice de cosecha. En

trigo el mejoramiento genético ha elevado los rendimientos en ambientes de alto y bajo potencial de rendimiento (Reynolds & Borlaug, 2006), con y sin la aplicación de fungicidas en cultivos de diferentes ciclos (Bainotti *et al.*, 2005). Similarmente, en cebada cervecera, el mejoramiento genético aumentó el rendimiento de los cultivares modernos a través de un amplio rango de dosis de fertilización nitrogenada (Albeledo *et al.*, 2003b). En Argentina, se dispone de un sólo trabajo que estudió la ganancia genética para el rendimiento en el cultivo de cebada cervecera. En dicho trabajo, Albeledo *et al.* (2003a) evaluaron el rendimiento potencial de ocho cultivares liberados entre 1944 y 1998 en un solo ambiente, concluyendo que el rendimiento potencial de la cebada se mantuvo constante hasta el año 1970 y luego creció a una tasa de 41 kg ha⁻¹ año⁻¹ hasta el año 1998. Además, encontraron que el período de crecimiento de la espiga se incrementó con el año de inscripción del cultivar, sin embargo, la duración total del ciclo del cultivo no fue modificada. La biomasa total y la biomasa vegetativa a madurez también aumentaron con el año de liberación del cultivar a una tasa de 45 y 19 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. El índice de cosecha y la altura de los tallos no fueron modificados. Por otro lado, determinaron que un tercio del aumento logrado por los agricultores en ese período es por el aporte del mejoramiento genético al rendimiento potencial. Si bien, la información generada en este trabajo resulta importante, es incompleta, debido a que se estudió un escaso número de cultivares en un solo ambiente ubicado fuera de las regiones de producción. A su vez, debe tenerse en cuenta que después del año 1998 hubo un fuerte recambio de cultivares que continúa aún en el presente. Por lo que resulta necesario generar más información acerca de la ganancia genética de cultivares de cebada cervecera en Argentina, evaluados en varios ambientes en las regiones de producción de cebada.

Respecto a la ganancia genética de la **calidad maltera y cervecera** en cebada existen muy pocos estudios a nivel mundial debido a que han sido consideradas variables secundarias respecto del rendimiento (Bulman *et al.*, 1993). El contenido de proteínas (o nitrógeno) de los granos de cebada fue uno de los caracteres de calidad del grano más evaluados en estudios de ganancia genética (Wych & Rasmusson, 1983; Bulman *et al.*, 1993; Passarella *et al.*, 2003; Albeledo *et al.*, 2008). Wych & Rasmusson (1983) en Estados Unidos y Bulman *et al.* (1993) en Canadá indicaron que los cultivares modernos de cebada muestran mayor cantidad de nitrógeno en los granos que sus predecesores, sin variar el índice de cosecha de nitrógeno. A su vez, Albeledo *et al.* (2008), en Argentina, hallaron que los cultivares modernos tienen mayor cantidad de nitrógeno en grano por hectárea, mayor respuesta a la fertilización nitrogenada y un mayor índice de cosecha del nitrógeno. Hay pocos estudios a nivel mundial que evalúen el efecto del mejoramiento genético sobre estos caracteres de calidad en el grano de cebada y en la malta. Pstota *et al.* (2009) determinaron el progreso de la calidad maltera de cebadas cultivadas en la República Checa, el aumento del rendimiento en 53 kg ha⁻¹ año⁻¹, y del peso de los granos, en 0,177 gramos año⁻¹, una disminución en el contenido de proteínas y un aumento del 4% en el contenido de extracto comparando las variedades liberadas a principio del siglo 21 con las liberadas a mediados de la década de 1950. También detectaron un incremento en los valores de VZ 45 de 0,0645 % para el periodo analizado.

En Argentina, Passarella *et al.* (2003) determinaron la ganancia genética en parámetros de **calidad** para cultivares liberados entre los años 1944 y 1988, sembrados durante dos años en una sola localidad, hallando que la concentración de proteínas decreció en los cultivares más modernos, debido a la disminución de la fracción C de hordeínas y el aumento de la fracción B y un incremento en el nivel de extracto de 0,054% año⁻¹. A su vez, no hallaron relación entre el peso de los granos, el tamaño de los granos y la friabilidad con el año de liberación de los cultivares. Desde el año 2000 hubo un importante recambio de cultivares, donde el cultivar introducido Scarlett, llegó a ocupar más del 80% de la superficie del cultivo, debido a su alto potencial de rendimiento como a su excelente calidad, reconocida a nivel internacional. Esto provocó que los cultivares de origen nacional se dejaran de lado, por lo que actualmente la mayor parte de la superficie sembrada corresponde a cultivares introducidos.

Gimenez (2017) evaluó en 25 cultivares de cebada, en la región de producción de Argentina entre los años 1931 y 2007, la ganancia genética del carácter rendimiento y calidad de los granos, y sus respectivos componentes. Gimenez (2017) concluyó que el mejoramiento genético aumentó el rendimiento en grano del cultivo de cebada cervecera en Argentina con una ganancia de 27,5 kilogramos de grano ha⁻¹ año⁻¹. Esta ganancia no fue constante a través del tiempo, puesto que en los primeros 35 años fue similar al promedio de la serie total de años, en los siguientes 19 años no hubo ganancia genética significativa y si aumentó considerablemente en los últimos 17 años. Los cultivares de ciclo largo presentaron mayor ganancia genética para el rendimiento en grano que los cultivares de ciclo corto. Comprobó además que el mejoramiento genético aumentó el rendimiento a través de un incremento en el número de granos, mientras que el peso de los granos se mantuvo constante. Este incremento se debió principalmente a una mejora en el número de espigas por unidad de superficie. No obstante, debido a la variabilidad genética en todos los componentes del rendimiento analizados, se puede decir que el mejoramiento genético en cebada tiene margen para seguir aumentando el rendimiento en grano (Gimenez, 2017). Hasta el presente, es importante considerar que el mejoramiento genético ha sido capaz de incrementar el rendimiento en grano en el cultivo de cebada cervecera sin perjuicios sobre la calidad y además ha logrado aumentar simultáneamente ambas variables en los cultivares de ciclo largo. En trigo pan en cambio el mejoramiento genético aumentó el número de granos, pero bajó el peso de los mismos y en general disminuyó la calidad de los granos. La calidad industrial de la malta de cebada cervecera en Argentina fue aumentada a través del tiempo. El mejoramiento genético ha incrementado el contenido de extracto de malta lo que produjo una mejora en la competitividad de la malta generada, aumentando la eficiencia de los procesos de industrialización, ya que este carácter se encuentra relacionado directamente con la cantidad de cerveza que produce una malta. También ha aumentado la actividad enzimática de la malta (índice de Hartong) y la friabilidad de la misma. De igual manera que para el rendimiento Gimenez (2017), halló una amplia variabilidad en los caracteres de la calidad industrial de la malta evaluada, por lo cual el mejoramiento genético también presenta una beta en este sentido para avanzar en la obtención de mejores combinaciones de estos parámetros (Gimenez, 2017).

A futuro se espera que las herramientas biotecnológicas logren una piramidalización de los genes de interés agronómico, aportando por un lado resistencia a las principales enfermedades presentes en la cebada, además de contribuir a aumentar la durabilidad de la misma y por otro la inclusión de genes que aporten una mejora en la calidad. Desde el punto de vista ambiental, la inclusión de resistencia genética en los nuevos cultivares resulta en un gran aporte a la sustentabilidad del sistema, por la reducción del uso de agroquímicos utilizados para controlar enfermedades, además de reducir los costos para el productor.

Referencias

- Abeledo, G., Calderini, D. F. & Slafer, G. A. (2003a). Genetic improvement of barley yield potential and its physiological determinants in Argentina (1944 – 1998). *Euphytica*, 130, 325-334.
- Abeledo, G., Calderini, D. F. & Slafer, G. A. (2003b). Genetic improvement of barley responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. *Euphytica*, 133, 291-298.
- Abeledo, G., Calderini, D. F. & Slafer, G. A. 2008. Nitrogen economy in old and modern malting barleys. *Field Crops Research*, 106, 171-178.
- Ahmad, M., Gani, A., Shah, A., Gani, A. & Masoodi, F.A. (2016). Germination and microwave processing of barley (*Hordeum vulgare* L.) changes the structural and physicochemical properties of β -d-glucan & enhances its antioxidant potential. *Carbohydrate Polymers*, 153, 696-702.
- Alter, S., Bader, C., Spannagl, M., Wang, Y., Bauer, E., Schön, C.C. & Mayer, K.F. (2015). DroughtDB: An expert-curated compilation of plant drought stress genes and their homologs in nine species. Database (Oxford). 2015: bav046.
- Austin, R.B., Ford, M.A. & Morgan, C.L. (1989) Genetic improvement of Winter wheat: a further evaluation. *The Journal of Agricultural Science*, 112, 295 – 301.
- Baba WN, Rashid I, Shah A, Ahmad M, Gani A, & Masoodi FA. (2014). Effect of microwave roasting on antioxidant and anti-cancerous activities of barley flour. *Journal Saudi Society of Agricultural Sciences*, 27, 143-154.
- Baik, B.K. & Ullrich, S.E. (2008). Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*, 48, 233-242.
- Bainotti, C., Frascina, J., Salines, J., Masiero, B., Formica, M., Nisi, J., Alberione, E. & Gómez, D. (2005). Yield increase of argentine wheat cultivars released from 1930 to 2000. 7th International Wheat Conference, Nov 27 – Dec 2, 2005, Mar del Plata – Argentina. Abstracts pp 285.
- Barabaschi, D., Guerra, D., Lacrima, K., Laino, P., Michelotti, V., Urso, S., Valè, G. & Cattivelli, L. (2011). Emerging Knowledge from genome sequencing of crop species. *Molecular Biotechnology*, 50, 50-266.
- Bednarek, P.T., Orłowska, R., Koebner, R.M.D. & Zimny, J. (2007). Quantification of the tissue-culture induced variation in barley (*Hordeum vulgare* L.). *BMC Plant Biology*, 7,10.

- Bell, M.A., Fischer, R. A., Byerlee, D. & Sayre, K. (1995). Genetic and agronomic contributions to yield gains: a case study for weath. *Field Crops Research*, *44*, 55- 65.
- Belo, A., Beatty, M.K., Hondred, D., Fengler, K.A., Li, B. & Rafalski, A. (2010). Allelic genome structural variations in maize detected by array comparative genome hybridization. *Theoretical and Applied Genetics*, *120*, 355-367
- Bond, J., Capehart, T., Allen, E. & Kim, G. (2015). Boutique brews, barley, and the balance sheet: Changes in malt barley industrial use require an updated forecasting approach. *Economic Research Division, United States Department of Agriculture*, 8-23
- Boukerrou, L. & Rasmusson, D.D. (1990). Breeding for high biomass yield in spring barley. *Crop Science* *30*, 31-35.
- Braszewska-Zalewska, A. & Hasterok, R. (2013). Epigenetic modifications of nuclei differ between root meristematic tissues of *Hordeum vulgare*. *Plant Signal Behavior*, *8*, e26711.
- Breiman, A. (1985). Plant regeneration from *Hordeum spontaneum* and *Hordeum bulbosum* immature embryo derived calli. *Plant Cell Reports*, *4*, 70-73.
- Bulman, P., Mather, D.E. & Smith, D.L. (1993). Genetic improvement of spring barley cultivars grown in eastern Canada from 1910 to 1998. *Euphytica*, *71*, 35-48.
- Cardoza, V. (2008). Tissue culture: The manipulation of plant development. En Jr C.N. Stewart (Ed.), *Plant Biotechnology and Genetics: Principles, Techniques and Applications* (112-134). 1st ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons.
- Castillo, A.M. & Cistue, L. (1993). Production of gynogenic haploids of *Hordeum vulgare* L. *Plant Cell Reports*, *12*, 139-143.
- Cattivelli, L., Delogu, G., Terzi, V. & Stanca A. M. (1994). Progress in barley breeder. En G.A. Slafer (Ed.), *Genetic Improvement of Field Crops* (95-161). New York.: Marcel Dekker Press.
- Cheng, T.Y. & Smith, H.H. (1975). Organogenesis from callus culture of *Hordeum vulgare*. *Planta*, *123*, 307-310.
- Cheung, P. & Lau, P. (2005). Epigenetic regulation by histone methylation and histone variants. *Molecular Endocrinology*, *19*, 563-573.
- Conti, V., Moreyra, F., González, G., Vallati, A. & Giménez, F. (2012). Biotecnología aplicada al mejoramiento de cereales menores en Argentina, Área de Mejoramiento y Calidad Vegetal – EEA Bordenave- INTA, Argentina. Recuperado de [file:///D:/libro%20cereales%20inv2021/script-tmp-inta-biotecnologia_aplicada_al_mejoramiento_cereales_%20\(1\).pdf](file:///D:/libro%20cereales%20inv2021/script-tmp-inta-biotecnologia_aplicada_al_mejoramiento_cereales_%20(1).pdf)
- Dahleen, L.S. (1999). Donor-plant environment effects on regeneration from barley embryo-derived callus. *Crop Science*, *39*, 682-685.
- Dawson, I.K., Russell, J., Powell, W., Steffenson, B., Thomas, W.T. & Waugh, R. (2015). Barley: a translational model for adaptation to climate change. *New Phytologist*, *206*, 913-31
- De Bernardi, L.A. (2019). Perfil de la cebada. MAGyP. Recuperado de <file:///D:/libro%20cereales%20inv2021/perfil-de-cebada-2019.pdf>
- Denchev, P.O. & Conger, B.V. (1994). Plant regeneration from callus cultures of switchgrass. *Crop Science*, *34*, 1623-1627.

- Dunwell, J.M. (1986). Barley. En D.A. Evans, R. Sharp, P.V. Ammirato (Eds.), *Handbook of Plant Cell Culture, Vol. 4.* (339-369), 1st ed. London: MacMillan and Co.
- Duvich, D. N. & Cassman, K.G. (1999). Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the north-central United States. *Crop Science*, 39, 1622-1630.
- Espinasse, A. & Lay, C. (1989). Shoot regeneration of callus derived from globular to torpedo embryos from 59 sunflower genotypes. *Crop Science*, 29, 201-205.
- Fahmy, A.H. & El-Shihy, O. (2006). Improvement of plant regeneration from long term callus cultures of two Egyptian wheat cultivars. *Arabian Journal of Biotechnology*, 8, 177-188.
- Feschotte, C. & Pritham, E.J. (2007). DNA transposons and the evolution of eukaryotic genomes. *Annual Review Genetics*, 41, 331-368.
- Feschotte, C. & Pritham, M.A. (2009). The impact of retrotransposons on human genome evolution. *Nature Review Genetics*, 10, 691-703.
- Finnegan, E.J., Genger, R.K., Peacock, W.J. & Dennis, E.S. (1998). DNA methylation in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49, 223-247.
- Foolad, M.R. & Sharma, A. (2005). Molecular markers as selection tools in tomato breeding. *Acta Horticulturae*, 95, 225-240.
- Ganeshan, S., Baga, M., Harwey, B.L., Rosnagel, B.G., Scoles, G.J., Chibbar, R.N. (2003). Production of multiple shoots from thiadiazuron-treated mature embryos and leaf-base/apical meristems of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 73, 57-64.
- George, E.F. (2008). Plant Tissue Culture Procedure – Background, En E.F. George, M.A. Hall, G.J. De Klerk (Eds.), *Plant Propagation by Tissue Culture* (1-28). 3rd ed. Dordrecht, the Netherlands: Springer.
- Gimenez, F.J. (2017). “Ganancia Genética en Cebada Cervecera (*Hordeum vulgare* L.) en Argentina durante el período 1931-2007”. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur. Recuperada de <file:///D:/libro%20cereales%20inv2021/Tesis%20doctorado%20Fernando%20Gimenez.PDF>
- Gozukirmizi, N. & Karlik, E. (2017). Barley (*Hordeum vulgare* L.) Improvement Past, Present and Future. In: Brewing Technology. Recuperado de <https://www.intechopen.com/books/brewing-technology/barley-hordeum-vulgare-l-improvement-past-present-and-future>
- Gozukirmizi, N., Ari, S., Oraler, G., Okatan, Y. & Palavan, N. (1990). Callus induction, plant regeneration and chromosomal variations in barley. *Acta Botanica Neerlandica*, 39, 379-387.
- Gozukirmizi, N., Temel, A., Marakli, S. & Yilmaz, S. (2016). Transposon activity in plant genomes. En K.R. Hakeem, H. Tombuloglu (Eds.), *Plant Omics: Trends and Applications* (83-108). London/Berlin, Switzerland: Springer.
- Graner, A., Jahoor, A. Schondelmaier, J., Siedler, H., Pillen, K., Fischbeck, G., Wenzel, G. & Herrmann, R.G. (1991). Construction of an RFLP map of barley. *Theoretical and Applied Genetics*, 83, 250-256.
- Gujral, H.S. & Gaur, S. (2005). Instrumental texture of chapati as affected by barley flour, glycerol monostearate and sodium chloride. *International Journal of Food Properties*, 8, 377-385

- Gupta, P.K., Rustgi S. & Mir, R.R. (2008). Array-based high-throughput DNA markers for crop improvement. *Heredity (Edinb)*, 101, 5-18.
- Gurushidze, M., Hensel, G., Hiekel, S., Schedel, S., Valkov, V. & Kumlehn, J. (2014). True-breeding targeted gene knock-out in barley using designer TALE-nuclease in haploid cells. *PLoS ONE*, 9, e92046.
- Hanzel, J.J., Miller, J.P., Brinkman, M.A. & Fendos, E. (1985). Genotype and media effects on callus formation and regeneration in barley. *Crop Science*, 25, 27-31.
- Harlan, J.R. (1976). Barley, *Hordeum vulgare* (Gramineae--Triticinae). En N.W. Simmonds (Ed.), *Evolution in Crop Plants* (93-98). London: Longman.
- Heun, M., Schäfer-Pregl, R., Klawan, D., Castagna, R., Accerbi, M., Borghi, B. & Salamini, F. (1997). Site of einkorn wheat domestication identified by DNA fingerprinting. *Science*, 278, 1312-1314.
- Hisano, H., Matsuura, T., Mori, I.C., Yamane, M. & Sato, K. (2016). Endogenous hormone levels affect the regeneration ability of callus derived from different organs in barley. *Plant Physiology and Biochemistry*, 99, 66-72.
- Holme, I.B., Brinch-Pedersen, H., Lange, M. & Holm, P.B. (2008). Transformation of different barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars by *Agrobacterium tumefaciens* infection of in vitro cultured ovules. *Plant Cell Reports*, 27, 1833-1840.
- Holtkjolen, A.K., Baevere, A.B., Rodbotten, M., Berg, H. & Knutsen, S.H. (2008). Antioxidant properties and sensory profiles of breads containing barley flour. *Food Chemistry*, 110, 414-421.
- Huang, B. & Sunderland, N. (1982). Temperature-stress pretreatment in barley anther culture. *Annals of Botany*, 49, 77-88.
- Jasencakova, Z., Meister, A. & Schubert, I. (2001). Chromatin organization and its relation to replication and histone acetylation during the cell cycle in barley. *Chromosoma*, 110, 83-92.
- Jasencakova, Z., Soppe, W.J., Meister, A., Gernand, D., Turner, B.M. & Schubert, I. (2003). Histone modifications in Arabidopsis—high methylation of H3 lysine 9 is dispensable for constitutive heterochromatin. *Plant Journal*, 33, 471-480.
- Jedel, P. & Helm, J.H. (1994). Assessment of western Canadian barleys of historical interest: I. Yield and agronomic traits. *Crop Science*, 34, 922-927.
- Jiang, W., Cho M.J. & Lemaux, P.G. (1998). Improved callus quality and prolonged regenerability in model and recalcitrant barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Plant Biotechnology*, 15, 63-69.
- Kohler, F. & Wenzel, G. (1985). Regeneration of isolated barley microspores in conditioned media and trials to characterize the responsible factor. *Journal of Plant Physiology*, 121, 181-191.
- Kott, L.S. & Kasha, K.J. (1984). Initiation and morphological development of somatic embryoids from barley cell cultures. *Canadian Journal of Botany*, 62, 1245-1249.
- Kumlehn, J. & Serazetdinova, L., Hensel, G., Becker, D. & Loerz, H. (2006). Genetic transformation of barley (*Hordeum vulgare* L.) via infection of androgenetic pollen cultures with *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Biotechnology Journal*, 4, 251-261.

- Lan, W., Wang, W., Yu, Z., Qin, Y., Luan, J. & Li, X. (2016). Enhanced germination of barley (*Hordeum vulgare* L.) using chitooligosaccharide as an elicitor in seed priming to improve malt quality. *Biotechnology Letters*, 38, 1935-1940.
- Lazzeri, P.A., Brettschneider, R., Luhrs, R. & Lorz, H. (1991). Stable transformation of barley via PEG-induced direct DNA uptake into protoplasts. *Theoretical and Applied Genetics*, 81, 437-444.
- Li, H.P., Huang, T., Wang, C.X., Liao & Y.C. (2009). An efficient regeneration system of barley cultivars from leaf base segments. *Biology Plantarum*, 53, 733-736.
- Luhrs, R. & Nielsen, K. (1992). Microspore cultures as donor tissue for the initiation of embryogenic cell suspensions in barley. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 31, 169-178.
- Luo, M., Liu, X., Singh, P., Cui, Y., Zimmerli, L. & Wu, K. (2012). Chromatin modifications and remodeling in plant abiotic stress responses. *Biochimistry and Biophysics Acta*, 1819, 129-136.
- Martiniello, P.G., Deloug, G., Oboard, M., Boggini, G. & Stanca, A.M. (1987). Breeding progress in grain yield and selected agronomic characters of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) over the last quarter of the century. *Plant Breeder*, 99, 289-294.
- Matthews, P.R., Wang, M.B., Waterhouse, P.M., Thornton, S., Fieg, S.J., Gubler, F. & Jacobsen, J.V. (2001). Marker gene elimination from transgenic barley, using co-transformation with adjacent 'twin T-DNAs' on a standard *Agrobacterium* transformation vector. *Molecular Breeding*, 7, 195-202.
- Mayer, K.F.X., Martis, M., Hedley, P.E., Simkova, H., Liu, H. & Morris, J.A. (2011). Unlocking the barley genome by chromosomal and comparative genomics. *Plant Cell*, 23, 1249.
- Mayer, K.F.X., Waugh, R., Langridge, P., Close, T.J., Wise, R.P. & Graner, A. (2012). A physical, genetic and functional sequence assembly of the barley genome. *Nature*, 491, 711.
- McClintock, B. (1984). The significance of responses of the genome to challenge. *Science*, 4, 792-801.
- Meijón, M., Feito, I., Valledor, L., Rodríguez, R. & Cañal, M.J. (2010). Dynamics of DNA methylation and Histone H4 acetylation during floral bud differentiation in azalea. *Plant Biology*, 10, 10.
- Moose, S.P. & Mumm, R.H. (2008). Molecular plant breeding as the foundation for 21 century crop improvement. *Plant Physiology*, 147, 969-977.
- Muñoz, P., Voltas, J., Arauz J.L., Igartua, E. & Romagosa, I. (1998). Changes over time in the adaptation of barley release in north-eastern Spain. *Plant Breeder*, 117, 531-535.
- Nasircilara, G., Kenan, T. & Callan, F. (2006). Callus induction and plant regeneration from mature embryos of different wheat genotypes. *Pakistan Journal of Botany*, 38, 637-645.
- Nevo, E. (1992). Origin, evolution, population genetics and resources for breeding of wild barley, *Hordeum spontaneum*, in the Fertile Crescent. En P. Shewry (Ed.), *Barley: Genetics, Molecular Biology and Biotechnology* (19-43). U.K: C.A.B. International; Wallingford.
- Obert, B., Middlefell-Williams, J. & Millam, S. (2008). Genetic transformation of barley microspores using anther bombardment. *Biotechnology Letters*, 30, 945-949.

- Ortiz, R., Mohamed, S.F., Madsen, S., Weibull, J. & Christianse, J.L. (2002). Assessment of phenotypic variation in winter barley in Scandinavia. *Soil and Plant Science*, 51, 6-13.
- Ozawa, K. & Komamine, A. (1989). Establishment of a system of high-frequency embryogenesis from long-term cell suspension cultures of rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical Applied Genetic*, 77, 205-211.
- Passarella, V.S., Savin, R., Abeledo G.L. & Slafer G. (2003). Malting quality as affected by barley breeding (1944-1988) in Argentina. *Euphitica*, 134, 161-167.
- Poehlman, J.M. (1985). Adaptation and distribution. En D.C. Rasmusson (Ed.), *Barley* (1-17). Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc.
- Psota, V., Hartmann, J., Sejkorova, S., Loucková T. & Vejrazka K. (2009). 50 years of Progress in Quality of Malting Barley Grown in the Czech Republic. Publication N° G-2009-1112-1017. The Institute of Brewing & Distilling.
- Quan, X., Zeng, J., Ye, L., Chen, G., Han, Z., Shah, J.M. & Zhang, G. (2016). Transcriptome profiling analysis for two Tibetan wild barley genotypes in responses to low nitrogen. *Plant Biology*, 16.
- Rajib, R., Abdelmoumen, T., Hakeem, K.R., Mohamed, R.A.G. & Tah, J. (2013). Molecular marker-assisted technologies for crop improvement. En R. Roychowdhury (Ed.), *Crop improvement in the era of climate change*. (241-258). Delhi, India: I.K. International Publication House Pvt. Ltd.
- Reynolds, M.P. & Borlaug, N.E. (2006) International Collaborative Wheat Improvement: Impacts and Future Prospects. *Journal of Agricultural Science*, 144, 3-17.
- Riggs, T.J., Hanson, P.R., Start, N.D., Miles, D.M., Morgan, C.L. & Ford, M.A. (1981). Comparison of spring barley varieties grown in England and Wales between 1880 and 1980. *Journal Agricultural Science*, 97, 599-610.
- Rikiishi, K., Matsuura, T., Maekawa, M. & Takeda, K. (2008). Light control of shoot regeneration in callus cultures derived from barley (*Hordeum vulgare* L.) immature embryos. *Breeding Science*, 58, 129-135.
- Rollins, J.A., Habte, E., Templer, S.E., Colby, T., Schmidt, J. & von Korff, M. (2013). Leaf proteome alterations in the context of physiological and morphological responses to drought and heat stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Experimental Botany*, 64, 3201-3212.
- Sadras, V.O. & Lawson, Ch. (2011). Genetic gain in yield and associated changes in phenotype, trait plasticity and competitive ability of South Australian Wheat varieties released between 1958 and 2007. *Crop & Pasture Science*, 62, 533 – 549.
- Sahrawat, A.K. & Chand, S. (2004). High frequency plant regeneration from coleoptile tissue of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Science*, 167, 27-34.
- Salamini, F., Özkan, H., Brandolini, A., Schäfer-Pregl, R. & Martin, W. (2002). Genetics and geography of wild cereal domestication in the near east. *Nature Reviews Genetics*, 3, 429-441.
- Santamaría, M.E., Hasbún, R., Valera, M.J., Meijón, M., Valledor, L., Rodríguez, J.L., Toorop, P.E., Cañal, M.J. & Rodríguez, R. (2009). Acetylated H4 histone and genomic DNA methyla-

- tion patterns during bud set and bud burst in *Castanea sativa*. *Journal of Plant Physiology*, 166, 1360-1369.
- Sharma, V.K., Hansch, R., Mendel, R.R. & Schulze, J. (2005.) Mature embryo axis-based high frequency somatic embryogenesis and plant regeneration from multiple cultivars of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Experimental Botany*, 56, 1913-1922.
- Shewry, P.R. (1992) *Barley: genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology*. Wallingford: C.A.B International.
- Slafer, G.A., Satorre, H.H., & Andrade, F.H. (1994). Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. En G.A. Slafer (Ed.), *Genetic improvement of field crops* (1 -68). New York: Marcel Dekker.
- Sprink, T., Metje, J. & Hartung, F. (2015). Plant genome editing by novel tools: TALEN and other sequence specific nucleases. *Current Opinion in Biotechnology*, 32, 47-53.
- Stein, N., Prasad, M., Scholz, U., Thiel, T., Zhang, H., Wolf, M., Kota, R., Varshney, R.K., Perovic, D., Grosse, I. & Graner, A. (2007). A 1,000-loci transcript map of the barley genome: New anchoring points for integrative grass genomics. *Theoretical and Applied Genetics*, 114, 823-839.
- Technical Brochure (1970). Milne Marsters Company.
- Temel, A. & Gözükmızı, N. (2011). Advances in barley biotechnology: Tissue culture and molecular markers. En S.B. Elfson (Ed.), *Barley: Production, Cultivation and Uses* (129-159). Ottawa: Nova Science Publishers.
- Temel, A., Kartal, G. & Gozukirmizi, N. (2008). Genetic and epigenetic variations in barley calli cultures. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 22, 911-914.
- The International Barley Genome Sequencing Consortium. 2012. A physical, genetic and functional sequence assembly of the barley genome. *Nature*, 491, 711-716.
- Urano, K., Kurihara, Y., Seki, M. & Shinozaki, K. (2010). Omics' analyses of regulatory networks in plant abiotic stress responses. *Current Opinion of Plant Biology*, 13, 132-138.
- von Arnold, S., Sabala, I., Bozhkov, P., Dyachok J. & Filonova, L. 2002. Development pathways of somatic embryogenesis. *Plant Cell Tissue Organ Culture*, 69, 233-249.
- von Bothmer, R. (1992). The wild species of *Hordeum*: Relationships and potential use for improvement of cultivated barley. In: P.R. Swewry (Ed.), *Barley: Genetics, Biochemistry, Molecular Biology and Biotechnology* (3-18). Willingford, Oxon: C.A.B International.
- Ward, K.A. & Jordan, M.C. (2001). Callus formation and plant regeneration from immature and mature embryos of rye (*Secale cereale* L.). *In vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*, 37, 361-268.
- Weigel, R.C. & Hughes KW. (1985). Long term regeneration by somatic embryogenesis in barley (*Hordeum vulgare* L.) tissue cultures derived from apical meristem explants. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 5, 151-162.
- Wendt, T., Holm, P.B., Starker, C.G., Christian, M., Voytas, D.F., Brinch-Pedersen, H. & Holme, I.B. (2013). TAL effector nucleases induce mutations at a pre-selected location in the genome of primary barley transformants. *Plant Molecular Biology*, 83, 279-285.
- Wicker, T., Zimmermann, W., Perovic, D., Paterson, A.H., Ganai, M., Graner, A. & Stein, N. (2015). A detailed look at 7 million years of genome evolution in a 439-kb contiguous se-

- quence at the barley Hv-eIF4E locus: recombination, rearrangements and repeats. *Plant Journal*, *41*, 184-194.
- Wych, R.D., & Rasmusson, D.C. (1983). Genetic improvement in malting barley cultivars since 1920. *Crop Science*, *23*, 1037–1040.
- Zeng, X., Bai, L., Wei, Z., Hongjun, Y., Wang, Y., Xu, Q., Tang, Y. & Nyima, T. (2016). Transcriptome analysis revealed the drought-responsive genes in Tibetan hulless barley. *BMC Genomics*, *17*, 386.
- Zhang, J., Zheng, H.G., Aarti, A., Pantuwan, G., Nguyen, T.T., Tripathy, J.N., Sarial, A.K., Robin, S., Babu, R.C., Nguyen, B.D., Sarkarung, S., Blum, A. & Nguyen, H.T. (2001). Location genomic regions associated with components of drought resistance in rice: Comparative mapping within and across species. *Theoretical and Applied Genetics*, *103*, 19-29.

Los autores

Coordinadoras

Simón, María Rosa

Ing. Agrónoma FCAyF, UNLP, MSc. Wageningen University (WAU), PhD WAU. Profesora Titular Cerealicultura, FCAyF y de Posgrado. Investigadora Principal CONICET y categoría I, UNLP. Directora Maestría y Especialización en Protección Vegetal, FCAyF. Mas de 100 trabajos en revistas científicas, 7 libros, 20 capítulos y numerosas presentaciones en Congresos. Director de proyectos de investigación/extensión de ANPCyT, CONICET, CIC y UNLP y dirección de numerosas tesis de posgrado en cereales. Obtentor de cultivares de avena. Premio a la labor científica y tecnológica de la UNLP. Fungal Wheat Diseases: Etiology, Breeding, and Integrated Management. Ebook Front. Plant Sci., 2021. How foliar fungal diseases affect nitrogen dynamics, milling and end-use quality of wheat. Front.Plant Sci., 2021. Dynamics of nitrogen accumulation in grains, remobilization and post-anthesis absorption under tan spot and leaf rust infections in wheat. Field Crops Res., 2019.

Golik, Silvina Inés

Doctora. Ing.Agrónoma FCAyF, UNLP Profesora Adjunta Cerealicultura y JTP Sistemática Vegetal, (FCAyF, UNLP).Categoría II, UNLP. Directora Proyecto Incentivos A348 (UNLP). Integrante responsable PICT-2019-02440, FONCYT. Integrante PITS. Integrante base de datos de la UNESCO-IESALC (Instituto Internacional para la educación superior en Aca Latina y el Caribe). Integrante banco de evaluadores del CIN, especialista del Sigeva, UNLP. Miembro del consejo editorial International J. Sustainable and Green Energy. Nitrogen accumulation in grains, remobilization and post-anthesis uptake under tan spot and leaf rust infections in wheat, Field Crops Res., 2019. How leaf rust disease and its control with fungicides affect dough properties, gluten quality and loaf volume under different N rates in wheat, J.of Cereal Sc. 2018. Análisis de diferentes secuencias de cultivos: aportes al sistema productivo. RIA, 2018.

Autores

Castro, Ana Carolina

Doctora e Ingeniera Agrónoma de la Facultad de Cs Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (FCAyF-UNLP). Especialista docente en enseñanza de Cs. Naturales

(ISFD 17). Ayudante diplomada en Cerealicultura (FCAYF-UNLP); Docente en Instituto Ntra Sra de la Misericordia. Socia fundadora, capacitadora y asesora en Agromolinería en calidad de trigo. Evaluation of different fungicides and N rates on grain yield and bread-making quality in wheat affected by STB and YS, J. Cereal Sci, 2018. The impact of STB in bread-making quality among Argentinean wheat cultivars, J. Cereal Sci, 2017. Effect of tolerance to SLB on grain yield, its components and grain quality in Argentinean wheat cultivars, Crop Prot. 2016. Fue becaria doctoral y postdoctoral en la CICBA y en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Integrante del proyecto FONCYT 2019-02440 (UNLP).

Da Silva, Laura Victoria

Ingeniera Agrónoma de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (FCAYF-UNLP). Docente de la Dirección General de Cultura y Educación (DGCyE) de la Provincia de Buenos Aires. Becaria Doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en la Estación Experimental Agropecuaria Bordenave-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (EEA INTA Bordenave). Desempeña su actividad en el tema “Atributos ecofisiológicos asociados a la tolerancia a la roya de la hoja en avena. Caracterización de la población de razas de royas (*Puccinia striiformis*; *Puccinia triticina*; *Puccinia graminis*) en trigo y avena”.

Dietz, Juan Ignacio

Doctor e Ing. Agrónomo de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (FCAYF-UNLP). Magister Scientae en Protección Vegetal (FCAYF- UNLP). Docente de “Complementos de Cerealicultura” (FCAYF-UNLP). Becario posdoctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), en EEA INTA Bordenave. Impact of foliar diseases and its interaction with nitrogen fertilization and fungicides mixtures on green leaf area dynamics and yield in oat genotypes with different resistance, 2019. Aplicación de fungicidas y fertilización nitrogenada en avena: Efectos sobre la generación de biomasa aérea y rendimiento, 2015. Integrante de proyectos CONICET, CIC y UNLP. Actualmente, estudia la resistencia de genotipos de trigo y avena frente a royas y caracterización de razas de roya. Determinación del periodo crítico y de requerimientos de vernalización y fotoperiodo en avena.

Esquisabel, Eugenia

Ingeniera Agrónoma de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata (FCAYF, UNLP). Docente adscripta en Cerealicultura, (FCAYF, UNLP). Becaria doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Impacto de enfermedades del trigo en la fertilidad de la espiga y número de granos en diferentes posiciones de la espiga: variabilidad genotípica y localización molecular, 2019. Impact of foliar diseases on wheat fruiting efficiency, 2020. Impacto de enfermedades foliares del trigo en la fertilidad de la espiga, 2020. Integra el Proyecto PICT-2019- 02440, Tecnología Agraria y Forestal, FCAYF, UNLP. Distinguida al mejor promedio de la carrera de Inge-

niera Agronómica de la Promoción 2016 y al premio “Joaquín V. González” entregado por la Municipalidad de La Plata (2018).

Fleitas, María Constanza

Doctora e Ingeniera Agrónoma de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (FCAyF-UNLP). Postdoctoral Fellow en el grupo de Cereal and Flax Pathology, Department of Plant Sciences, University of Saskatchewan (U of S), Canadá. How foliar fungal diseases affect nitrogen dynamics, milling, and end-use quality of wheat. *Front. P. Sci.*, 2020; The interrelationships between wheat quality, composition, and dough rheology for a range of Western Canadian wheat cultivars. *Cereal Chem.*, 2020; Identification of wheat genotypes tolerant to yield and quality loss of CIMMYT spring bread wheat germplasm under heat stress environments, *J. Cereal Sci.*, 2020. Codirige e integra proyectos de investigación sobre el estriado bacteriano en trigo y cebada, roya estriada en cebada, roya del tallo y de la corona en avena, y fusariosis de la espiga en trigo pan, trigo fideo y cebada (U of S). Fue becaria doctoral y postdoctoral de CONICET), ayudante diplomada en Cerealicultura (FCAyF-UNLP) y realizó su estancia postdoctoral en el CIMMYT, México.

Larran, Silvina

Doctora e Ingeniera Agrónoma de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, (FCAyF, UNLP). Especialista en Docencia Universitaria, (UNLP). Docente-investigadora en CIDEFI UNLP-CIC. Ayudante Diplomado en Fitopatología y Cerealicultura, (FCAyF, UNLP). Editor Asociado Revista Facultad de Agronomía, UNLP. Coordinación Carrera Ingeniería Agronómica, FCAyF (2004-2010). Coautora Manual para el reconocimiento de enfermedades: Tomate y Pimiento. Cinturón Hortícola del Gran Buenos Aires, Ed. UNLP (2008). *Fusarium sudanense*, endophytic fungus causing typical symptoms of seedling blight and seed rot on wheat in Argentina, J. King Saud, 2018. *In vitro* antagonistic activity of *Trichoderma harzianum* against *Fusarium sudanense* causing seedling blight and seed rot on wheat, ACS OMEGA, 2020. Integrante proyectos de Extensión e Investigación. Codirección Proyecto I+D (2020): Hongos fitopatógenos y benéficos. Su interacción con cultivos de importancia agroforestal.

Uranga, Juan Pablo

Doctor e Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (FCAyF-UNLP). Ayudante diplomado en Cerealicultura, (FCAyF, UNLP). Localization of QTL for resistance to *Pyrenophora teres* f. *maculata*, a new wheat pathogen, 2020. Caracterización y variación patogénica de *Pyrenophora* spp. y localización de la resistencia en trigo, 2019. Resistencia a la mancha de la hoja en cultivares argentinos de trigo en comparación con líneas diferenciales de resistencia al patógeno, 2013. Integrante del proyecto “Impacto de las enfermedades foliares del trigo en variables asociadas con el rendimiento, composición de proteínas y calidad panadera: variabilidad fenotípica y localización molecular” (UNLP). Fue becario doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Voisin, Axel

Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (FCAyF-UNLP). Jefe de trabajos prácticos, en Cerealicultura (FCAyF-UNLP). Becario doctoral por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA). Doctorando de la FCAyF-UNLP. Análisis de diferentes secuencias de cultivos: aportes al sistema productivo, 2018. Aportes a la sustentabilidad de los sistemas productivos extensivos: utilización de cultivos de cobertura y compost en diferentes secuencias de cultivos, 2019. Integra el proyecto de investigación Aportes para la sustentabilidad de los sistemas agrícolas extensivos en el área de influencia de la FCAyF-UNLP. Distinguido por la Municipalidad de La Plata con el premio “Joaquín V. González” a los diez mejores promedios de la FCAyF-UNLP (2016). Fue becario de entrenamiento por la CICPBA (2015 – 2016).

Weber, Christian

Dr. e Ing. Agrónomo FCAyF- UNLP. Especialista en Gestión de la Educación Superior, FOLP-UNLP. JTP, Cerealicultura, (FCAyF- UNLP); docente de cursos de posgrado. Investigador adjunto CIC-PBA, Categoría III SPU. Finalista concurso nacional INNOVAR. Mención de honor a la innovación UNLP 2013. Premio a la labor en investigación UNLP (2014). Director de proyectos de la SPU, ANPCyT-MiNCyT. Secretario de Investigaciones Científicas y Tecnológicas y Secretario Académico FCAyF-UNLP. Prosecretario de Vinculación Tecnológica UNLP. Advances in technologies for propagation and domestication of plants of economic and environmental interest in Argentina, *Bionatura*, 2021. Maximum discrimination index: a tool for land cover identification. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 2020. Remote sensing of Nitrogen status in wheat by radiometric response of its canopy, *J. of Plant Nut.*, 2017.

Cereales de invierno / María Rosa Simón... [et al.] ; coordinación general de María Rosa Simón ; Silvina Inés Golik.- 1a ed.- La Plata : Universidad Nacional de La Plata ; EDULP, 2022.

Libro digital, PDF - (Libros de cátedra)

Archivo Digital: descarga
ISBN 978-950-34-2203-8

1. Cereal. 2. Cultivo de Invierno. 3. Cultivos. I. Simón, María Rosa, coord. II. Golik, Silvina Inés, coord.
CDD 633.104

Diseño de tapa: Dirección de Comunicación Visual de la UNLP

Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata
48 N.º 551-599 / La Plata B1900AMX / Buenos Aires, Argentina
+54 221 644 7150
edulp.editorial@gmail.com
www.editorial.unlp.edu.ar

Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN)

Primera edición, 2023
ISBN 978-950-34-2203-8
© 2023 - Edulp

n
naturales


Edulp
EDITORIAL DE LA UNLP



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA