Libros de Cátedra

Recursos y planificación forrajera

Parte II

Bárbara Heguy - Federico Ezequiel Fernández
(coordinadores)

naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

edulp
EDITORIAL DE LA UNLP

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

RECURSOS Y PLANIFICACIÓN FORRAJERA

PARTE II

Bárbara Heguy
Federico Ezequiel Fernández
(coordinadores)

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

edulp
EDITORIAL DE LA UNLP

Índice

Prólogo _____ 4

Capítulo 1
Morfofisiología y ecología de leguminosas forrajeras _____ 5
Víctor Raúl Ariel Bolaños y Bárbara Heguy

Capítulo 2
Verdeos de invierno y verano para pastoreo _____ 21
Bárbara Heguy y Lorena Mendicino

Capítulo 3
Implantación de recursos forrajeros _____ 36
Gastón Hernán Jalil, Adrián Rodriguez Guiñazú y Luciano Nahuel Lamarche

Capítulo 4
Forrajes conservados _____ 72
Federico Ezequiel Fernández, Federico Tarnonsky, Juan Manuel Fernández y Pablo Javier Sarandón

Capítulo 5
Ecología del pastoreo e interacción pastura animal _____ 114
María Lorena Agnelli y Federico Ezequiel Fernández

Autores _____ 145

Introducción

Tras la publicación del libro de cátedra "Recursos y Planificación Forrajera en agroecosistemas ganaderos pampeanos", presentamos esta segunda entrega, concebida como parte integral del material de estudio del Curso de Forrajicultura de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. La primera edición sentó las bases, abordando desde la morfofisiología de gramíneas hasta la planificación forrajera, e incorporando nuevos enfoques sobre pastizales naturales de la Pampa Deprimida y mezclas forrajeras. Con esta segunda parte, avanzamos hacia una profundización y actualización de otros temas centrales para la capacitación de futuros ingenieros e ingenieras agrónomas en la producción ganadera basada en forrajes. Nuestro propósito es brindarles una comprensión sistémica que les permita intervenir de manera sustentable en los sistemas ganaderos pastoriles.

El primer capítulo aborda la morfofisiología de las leguminosas y complementa lo expuesto en la primera edición sobre gramíneas. Este marco facilita la comprensión teórica y de las relaciones ecológicas de las dos familias botánicas más relevantes en la producción forrajera de los sistemas pastoriles de Argentina, base fundamental para su correcto manejo. El segundo capítulo describe los caracteres agronómicos de los verdeos de invierno y de verano destinados al pastoreo. Los verdeos actúan como una herramienta estratégica para cubrir las caídas de producción invernales o estivales de las pasturas perennes, garantizando así una oferta forrajera estable durante todo el año. El tercer capítulo profundiza en la implantación de los recursos forrajeros, donde se resalta la importancia de la planificación de esta tarea y los principales ítems a considerar para obtener pasturas y verdeos que cumplan el objetivo de los sistemas pastoriles sustentables. El cuarto capítulo tiene como objetivo reconocer las formas de conservación de forrajes y su impacto en la producción animal. Por último, el quinto capítulo describe la ecología del pastoreo, disciplina que estudia las complejas interacciones entre los animales herbívoros y las pasturas, considerando tanto los efectos del pastoreo sobre la vegetación como las respuestas de los animales a las características del forraje disponible. Todos estos temas completan e integran los conocimientos necesarios para realizar una planificación forrajera sustentable de los sistemas ganaderos pastoriles.

CAPÍTULO 1
Morfofisiología y Ecología de Leguminosas Forrajeras

Víctor Raúl Ariel Bolaños y Bárbara Heguy

Introducción

Este capítulo brinda a los estudiantes de Forrajicultura y Praticultura (FCAyF, UNLP) un material de estudio sobre las principales leguminosas forrajeras de la región pampeana. Se aborda la morfología, fisiología y ecología de estos recursos forrajeros. En particular, se describirán las especies naturalizadas o implantadas más representativas en la región: *Trifolium repens* (trébol blanco), *Trifolium pratense* (trébol rojo), *Lotus tenuis*, *Lotus corniculatus*, *Medicago sativa* (alfalfa) y *Melilotus* spp. Aunque el trébol rojo es una especie que crece de otoño a primavera, en este texto se abordarán los cultivares de comportamiento primavera-estival más difundidos en Argentina.

Leguminosas forrajeras

La familia de las leguminosas (orden Fabales) reúne árboles, arbustos y hierbas, tanto perennes como anuales. Caracterizada por sus hojas compuestas y su fruto en legumbre, es una familia de distribución cosmopolita que ocupa el tercer lugar en riqueza de especies. Junto con los cereales, constituye la base de la alimentación humana y la principal fuente de proteína para los herbívoros. Desde el punto de vista nutricional, se destaca por sus altos valores de digestibilidad, proteína bruta y minerales (ver Capítulo 3 del Tomo I). Un rasgo distintivo del grupo es la simbiosis radical con bacterias fijadoras de nitrógeno. Estas ingresan a través de los pelos radicales y se multiplican en el tejido cortical para formar nódulos, donde transforman el nitrógeno atmosférico en una forma inmediatamente disponible para la planta, con una contribución de entre el 50 % y el 60 % de sus requerimientos totales en estado adulto.

Morfología

Hábito de crecimiento

Por su hábito de crecimiento las leguminosas pueden agruparse en dos subgrupos:

- Leguminosas tipo trébol blanco de porte rastrero: trébol blanco.
- Leguminosas tipo alfalfa de porte semierecto a erecto: alfalfa, trébol rojo, *Lotus spp.* y *Melilotus spp*.

Alfalfa y el trébol rojo presentan crecimiento cíclico y forman corona. *Lotus* y *Melilotus,* no tienen crecimiento cíclico, pero *Lotus* forma corona (Figura 1.1).

Figura.1 1.

Clasificación según: porte y tipo de crecimiento.



Nota. Se muestra las principales familias forrajeras cultivadas (A y B) y dentro de las leguminosas se clasifican según: porte de planta adulta (1 y 2) y tipo de crecimiento (i y ii).

Sistema radical

El sistema radical embrionario de alfalfa, trébol rojo, *Lotus* y *Melilotus* adquiere generalmente un gran desarrollo. Poseen raíz pivotante que puede profundizar en alfalfa hasta los 8 m, *Melilotus* de 2 a 3 m, Lotus de 1 a 1,5 m y trébol rojo entre 0,9 a 1,2 m. En el caso del trébol blanco, la raíz principal también es pivotante, pero de menor longitud (10 a 30 cm) y, de las yemas que se encuentran en los nudos de los estolones, se forman raíces adventicias en forma de cabellera.

Tallos, hojas e inflorescencias

El tallo principal está formado por un meristema apical, entrenudos y nudos donde se encuentran yemas. Dichas yemas pueden dar origen a hojas, tallos secundarios o inflorescencias.

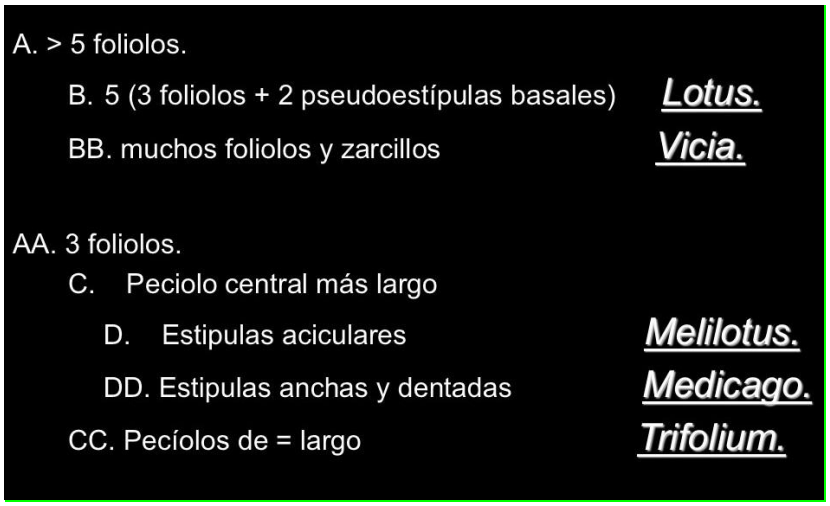
La primera hoja verdadera es una hoja simple (con excepción del género *Lotus*) y a continuación emergen las hojas compuestas que son diferentes según el género: (Figura 1.2 y 1.4)

-Pinado-trifoliadas: constan de tres folíolos, cada uno con pequeños peciolulos, insertos en un pecíolo común. En la base de este pecíolo pueden encontrarse un par de brácteas denominadas estípulas, cuya forma, tamaño y color permite identificar y diferenciar géneros y especies. Ej.: *Trifolium spp, Medicago spp y Melilotus spp.*

-Pinado-imparipinada: poseen cinco o más folíolos a ambos lados del raquis rematando en un folíolo, razón por la cual el número de éstos es impar. Ej.: *Vicia sp*. En el caso de *Lotus s*on tres folíolos con dos pseudoestípulas.

Figura.1.2.

Clave para la identificación de géneros.

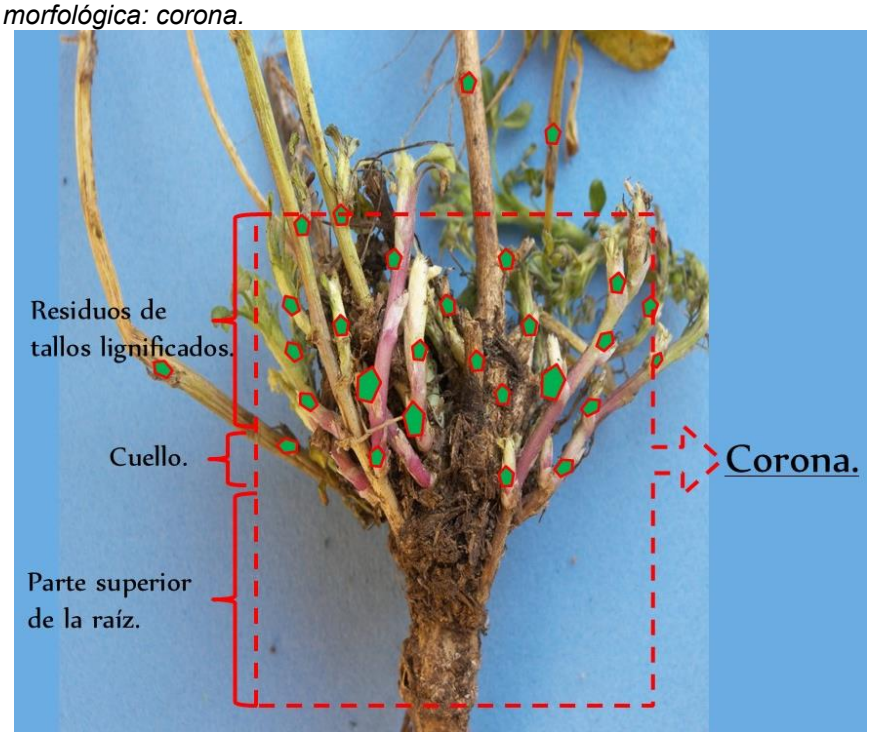


Los tallos secundarios de alfalfa, trébol rojo y *Lotus* durante el primer año de crecimiento se originan de las yemas ubicadas en los nudos del tercio inferior del tallo. A partir del segundo año, los rebrotes emergen en su mayoría de las yemas ubicadas en la corona (Figura 1.3).

La corona es una estructura formada por la base de los tallos que se han lignificado y la porción superior de la raíz (Figura 1.3). Su función es acumular sustancias hidrocarbonadas y posee yemas a partir de las cuales se producirán nuevos tallos secundarios (rebrotes).

Figura.1.3.

Estructura morfológica: corona.

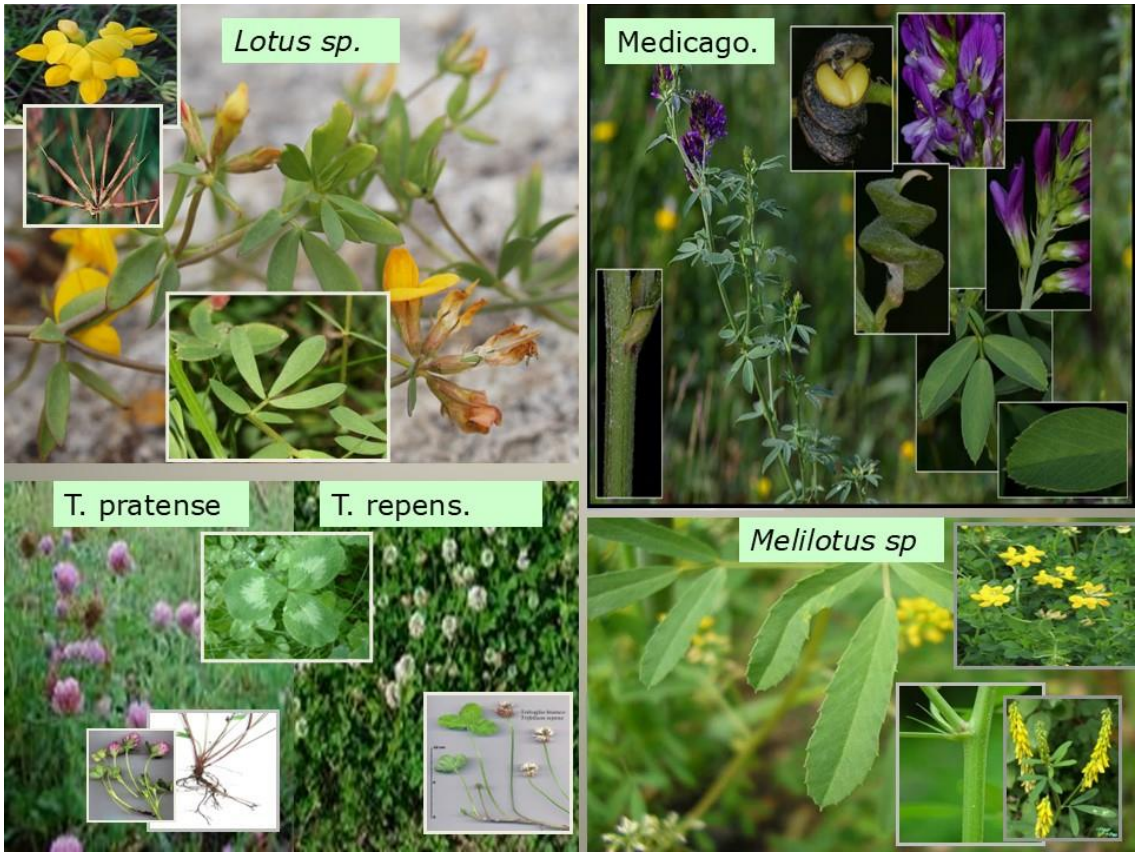


Nota: recuadro de línea punteada roja marca la corona, integrada por: la parte basal de tallos lignificados y parte superior de la raíz. En color verde se señalan las yemas.

En alfalfa las inflorescencias se originan de las yemas que se encuentran en los nudos del tercio medio superior del tallo y en trébol rojo de las yemas del tercio superior. Las flores se disponen en inflorescencias tipo racimo en alfalfa y *Melilotus*, capítulo en trébol blanco y trébol rojo y umbela en *Lotus* (Figura 1.4).

Figura.1 4.

Fotos con detalle de hojas, flores y frutos de las principales leguminosas forrajeras



Crecimiento y desarrollo

Estacionalidad

El crecimiento y desarrollo anual de una planta abarca un período compuesto por estaciones de crecimiento, durante las cuales se suceden los estados vegetativo y reproductivo. Esta secuencia estacional no coincide con el calendario, porque el desarrollo responde a la acumulación de grados día y al fotoperíodo. Por lo general, el período de crecimiento comprende tres estaciones en las que se completan las fases fenológicas, mientras que en la estación restante la planta permanece en reposo o latencia. Según la estacionalidad de este ciclo, las leguminosas forrajeras se clasifican en especies de crecimiento otoño-invierno-primaveral (OIP) y de crecimiento primavera-estivo-otoñal (PVO) (Tabla 1.1).

Tabla 1.1.

Clasificación según la estacionalidad del periodo de crecimiento.

Leguminosas forrajeras	
OIP	**PVO**
Trébol blanco	Alfalfa
Melilotus spp	Trébol rojo (cultivares con comportamiento estival)
	Lotus spp

Nota. Leguminosas forrajeras cultivadas agrupadas según las estaciones de crecimiento: otoño-invierno-primavera (OIP) o primavera-verano-otoño (PVO).

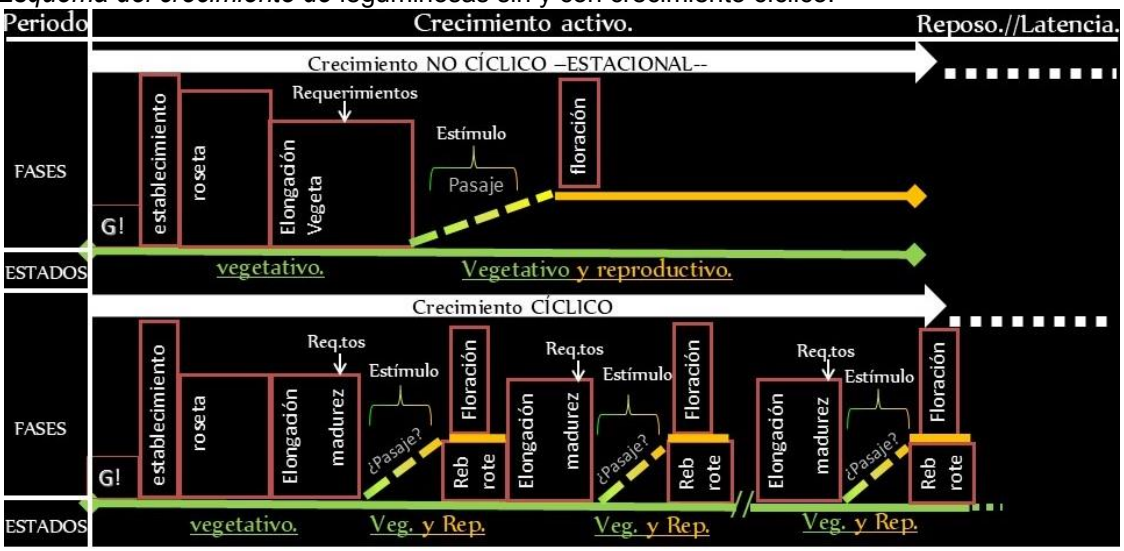
Crecimiento cíclico

Las especies con crecimiento cíclico son alfalfa y trébol rojo. Durante el periodo de crecimiento la planta emite, periódicamente, ondas de tallos secundarios que se denominan rebrotes o nueva onda. Cada ciclo está formado por las siguientes etapas: elongación de los entrenudos de los tallos, madurez fisiológica del tallo, rebrote o nueva onda y floración (si el fotoperíodo es mayor a 14 hs de luz) (Figura 1.5). Aunque estos ciclos se repiten durante todo el periodo de crecimiento, su velocidad depende de la tasa de crecimiento diaria (kg MS/ha/día), la cual está determinada por las condiciones ambientales si no existen limitantes nutricionales. En la estación en que no presentan crecimiento entran en reposo o latencia.

El trébol blanco, *Lotus* y *Melilotus* no presentan crecimiento cíclico Durante el período de crecimiento, las plantas atraviesan las fases de desarrollo vegetativo y al recibir el estímulo del fotoperíodo y de la temperatura, pasan al estado reproductivo, pero también continúan produciendo órganos vegetativos. En la estación en que no presentan crecimiento entran en reposo o latencia (Figura 1.5).

Figura 1.5.

Esquema del crecimiento de leguminosas sin y con crecimiento cíclico.



Nota. El diagrama muestra la sucesión de fases de trébol blanco, *Lotus* y *Melilotus* (diagrama superior) y alfalfa y trébol rojo (diagrama inferior) durante el periodo de crecimiento (línea engrosada blanca superior) y el periodo de reposo o latencia (línea punteada blanca superior). **Cajas en recuadro rojo** indican la fase fenológica. **Línea color tramo verde // naranja** representa ambos estados: vegetativo (tramo verde) y reproductivo (naranja).

El número de ciclos de crecimiento anual varía según tres factores: el grado de latencia o reposo invernal (genético, característico en alfalfa), la temperatura y la disponibilidad de agua y nutrientes.

Grado de reposo invernal en alfalfa

La adaptación de la alfalfa a las bajas temperaturas y a la menor longitud del día durante los meses invernales definen una característica importante de la especie: el grado de reposo invernal (GRI), que combina resistencia al frío, crecimiento (rebrote) otoñal y latencia invernal. El Instituto Nacional de Semilla (INASE) es el órgano encargado de inscribir los cultivares certificados y clasifica los grupos de alfalfa (Figura 1.6). El GRI se determina por medio de pruebas estandarizadas que emplean variedades preestablecidas como testigos y que clasifican las variedades de acuerdo con una escala que va desde 1 (reposo invernal extremadamente largo) a 11 (extremadamente sin reposo invernal). En Argentina se utilizan por lo general alfalfas de GRI 4 a 10, que a los fines prácticos se agrupan en tres Grupos de Reposo Invernal bien definidos:

Con reposo invernal (CRI): incluye variedades de GRI 4 y 5. En líneas generales estas variedades se aconsejan para la Región Pampeana Sur y la Región Patagónica.

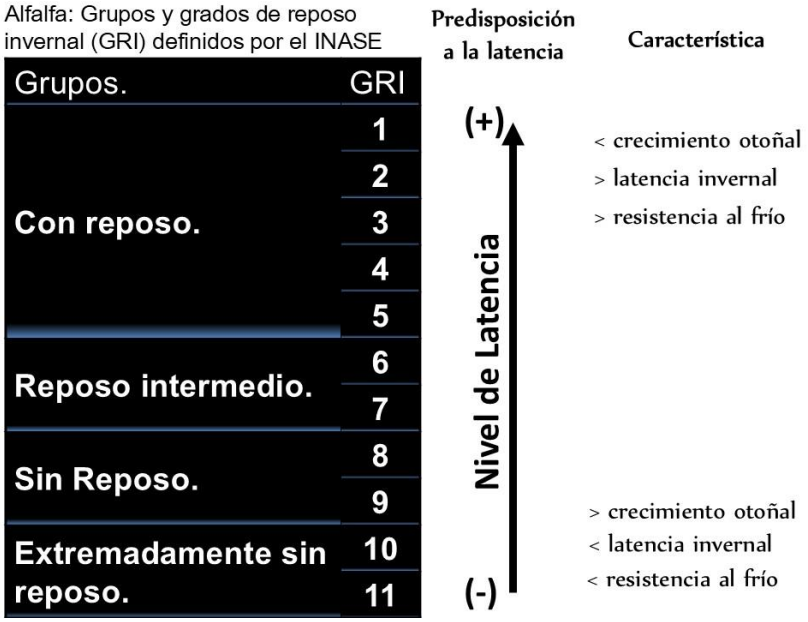
Con reposo invernal moderado (CRIM): abarca a las variedades de GRI 6 y 7. Se recomiendan para toda la Región Pampeana y para algunas zonas de la Región Patagónica.

Sin reposo invernal (SRI): Incluye a las variedades 8, 9 y 10, recomendadas para el NOA, Cuyo y toda la Región Pampeana.

.

Figura 1.6.

Grupos de cultivares de alfalfa según su Grado de Reposo Invernal.



La distribución de la producción biomasa de alfalfa varía según su grado de reposo invernal. Las variedades SRI comienzan a rebrotar hacia fines del invierno principio de primavera y vegetan hasta bien entrado el otoño. Presentan un marcado pico de producción en primavera y es menor durante el verano. Por el contrario, las CRIM tienen su producción de forraje más concentrada desde la primavera hasta mediados de otoño, con una mayor producción estival que las SRI. Las CRI, que se recomiendan para zonas más frías, tienen un ciclo productivo más corto y por ende más concentrada la producción de forraje.

Secuencia de los ciclos en alfalfa sin y con latencia

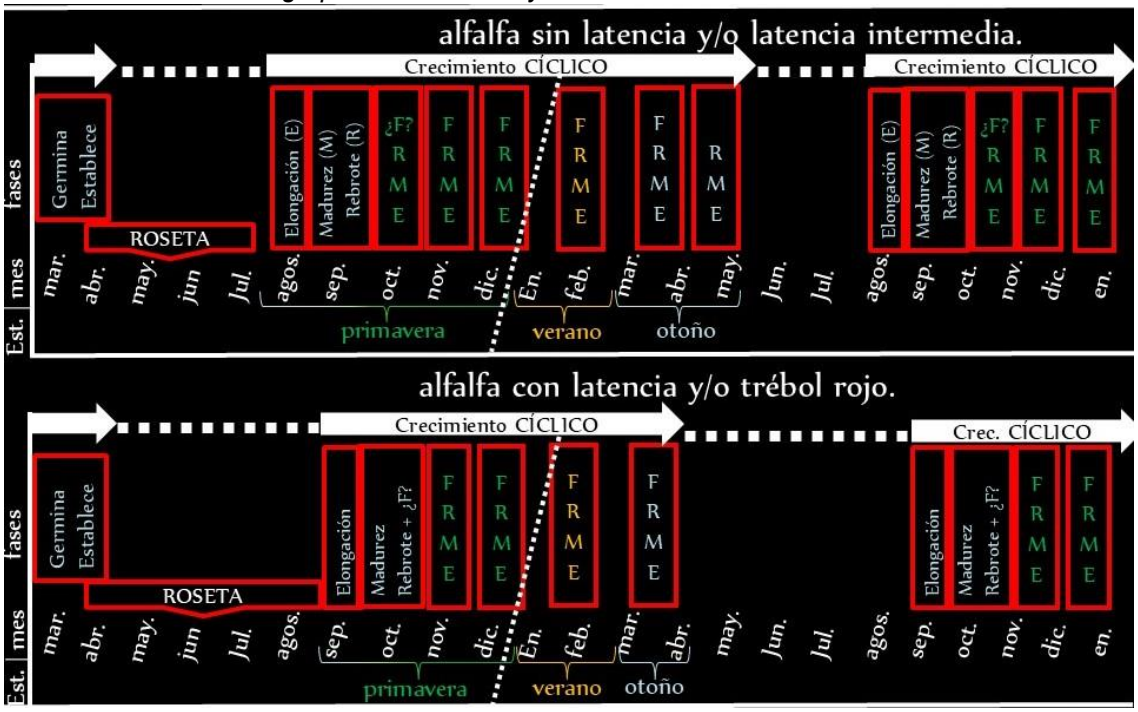
En la región Pampeana bonaerense y sin limitantes edáficas, el comportamiento fenológico del grupo de alfalfas con latencia intermedia (GRI 6 y 7) es similar a las sin latencia (GRI 8 y 9); asimismo, el de las alfalfas con latencia invernal (GRI < 6) es similar al trébol rojo (Figura 1.7).

Durante el primer año, desde la siembra en mazo y hasta diciembre, una variedad de alfalfa del grupo sin reposo o reposo intermedio puede esperarse desarrolle cuatro ciclos; asimismo, variedades del grupo con reposo y el trébol rojo pueden esperarse el desarrollo de tres ciclos (Figura 1.8).

Durante el segundo año, considerando de enero a diciembre, una variedad de alfalfa del grupo sin reposo o reposo intermedio puede esperarse desarrolle siete ciclos; en tanto, variedades del grupo con reposo y el trébol rojo pueden esperarse el desarrollo de cinco ciclos de crecimiento (Figura 1.7).

Figura 1.7.

Secuencia de ciclos en grupos de alfalfa sin y con latencia.



Nota. El diagrama muestra los sucesivos ciclos de crecimientos de una leguminosa forrajera con crecimiento cíclico durante su primer y segundo año de implantación en condiciones normales en la región Pampeana bonaerense. Cultivar sin latencia o latencia intermedia (diagrama superior) y con latencia y trébol rojo (diagrama inferior). En la base del diagrama: los meses desde marzo a diciembre (primer año) y desde enero a diciembre (segundo año). Línea engrosada blanca indica el periodo de crecimiento activo y desarrollo de fases fenológicas. Línea punteada blanca superior indica el período de reposo o latencia.

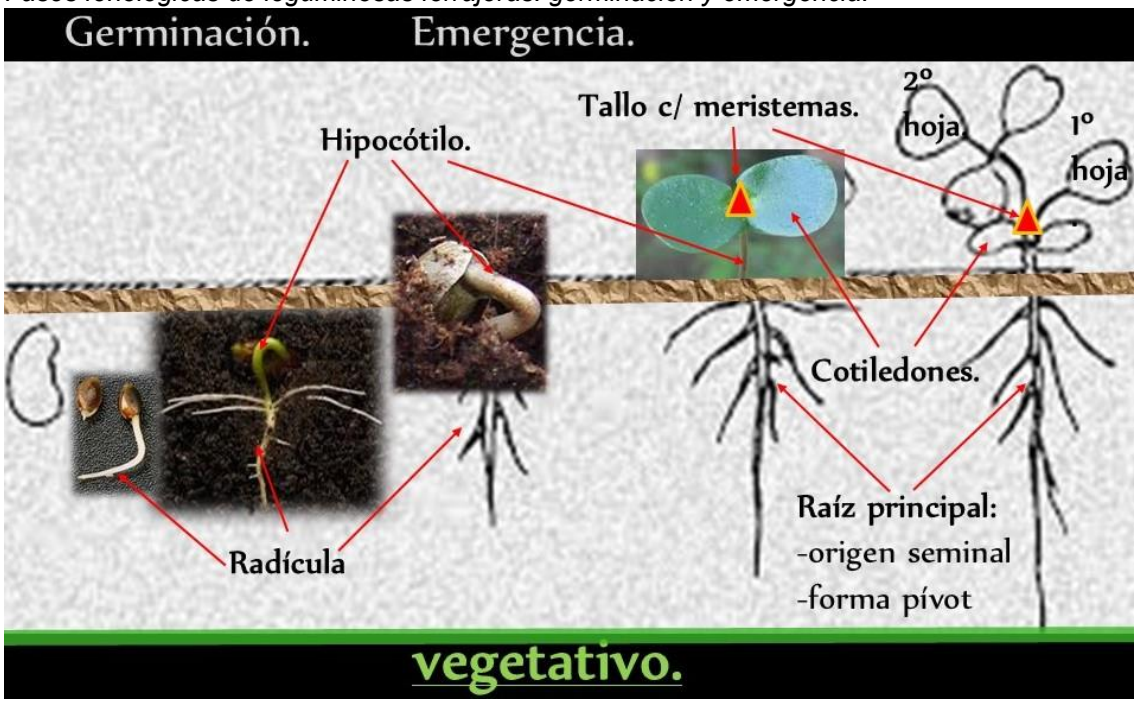
Fases del desarrollo

Germinación y emergencia

Las primeras fases del estado vegetativo son: la germinación y emergencia. Las semillas, una vez sembradas, entran en contacto con la humedad del suelo y, con las condiciones adecuadas para cada especie, comienzan la actividad enzimática que desencadenan el funcionamiento del embrión y la emergencia de la radícula (Figura 1.8). La radícula es el sistema radical embrionario y suele ser el primer indicador visual de la germinación. En las leguminosas la germinación es epigea, se produce la elongación del hipocótilo quien eleva al epicótilo y a los cotiledones por encima del nivel del suelo. Los cotiledones son hojas modificadas de origen embrionarias; y cuya función principal, es: ser órgano de reserva y, a través de la fotosíntesis, producen las sustancias hidrocarbonadas utilizadas como fuente de energía para para la producción de las primeras hojas verdaderas de la plántula. El epicótilo se ubica entre los cotiledones y posee los meristemas desde donde desarrolla el tallo principal de la plántula. El tallo principal está formado por un meristema apical, nudos, entrenudos y en los nudos se encuentran yemas de donde va a emerger la primera hoja verdadera (generalmente unifoliada) y luego las hojas compuestas. Una vez que se desdoblan las hojas verdaderas y comienza la fotosíntesis, generalmente al cabo de 4 a 6 días, la plántula se hace independiente de las reservas almacenadas en los cotiledones y éstos senescen y caen.

Figura 1.8.

Fases fenológicas de leguminosas forrajeras: germinación y emergencia.



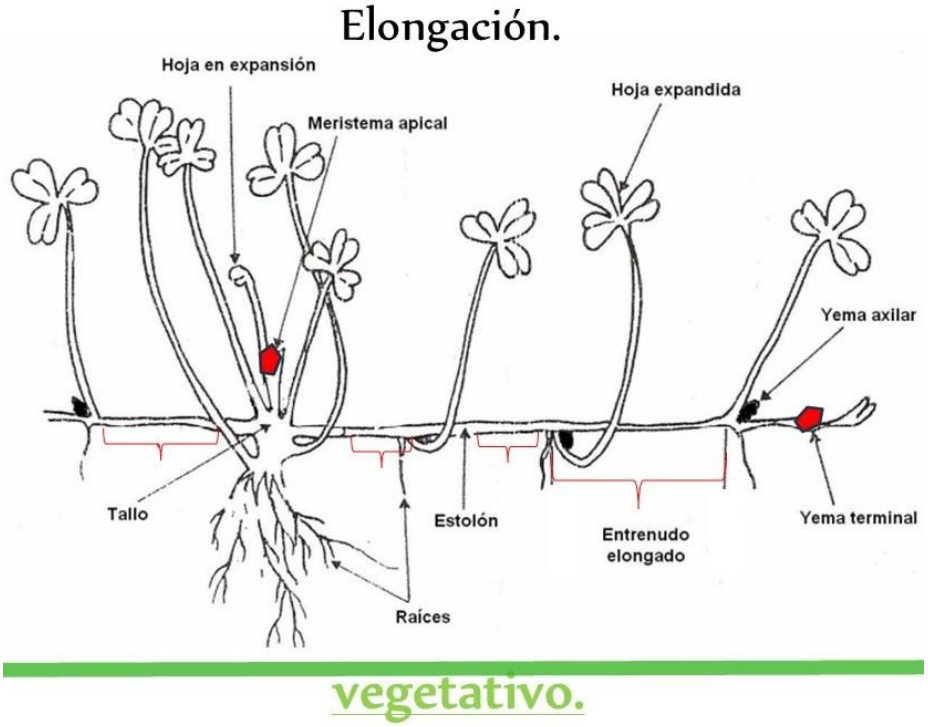
Desarrollo de fases y crecimiento en trébol blanco

El trébol blanco posee un hábito de crecimiento indeterminado; es decir, aún en estado reproductivo, produce órganos vegetativos, aspecto que favorece a mantener una buena de la

calidad nutricional durante todo su ciclo. Luego de la germinación y emergencia de las hojas, las yemas ubicadas en los nudos del tallo principal también comienzan a emitir tallos secundarios o estolones. Estos tienen la misma estructura que el tallo principal: un meristema apical, entrenudos, nudos y yemas (Figura 1.9). Los entrenudos no elongados de los estolones hacen que la planta adopte aspecto arrosetado. Pero con el aumento de la temperatura se activa el crecimiento, se elongan los entrenudos y la planta adopta porte rastrero. Los estolones son tallos secundarios rastreros del trébol blanco que elongan sus entrenudos y mantienen el meristema apical al ras del suelo. Característica particular que le confiere cierta habilidad para evadir el pastoreo. En cada nudo de los estolones hay yemas que producen raíces adventicias, hojas, nuevos estolones o una inflorescencia. Los estolones enraizados pueden independizarse de la planta original, comportándose como nuevas plantas que se multiplicarán en forma similar. Ésta es la forma de propagación vegetativa que es equivalente al macollaje en Gramíneas

Figura 1.9.

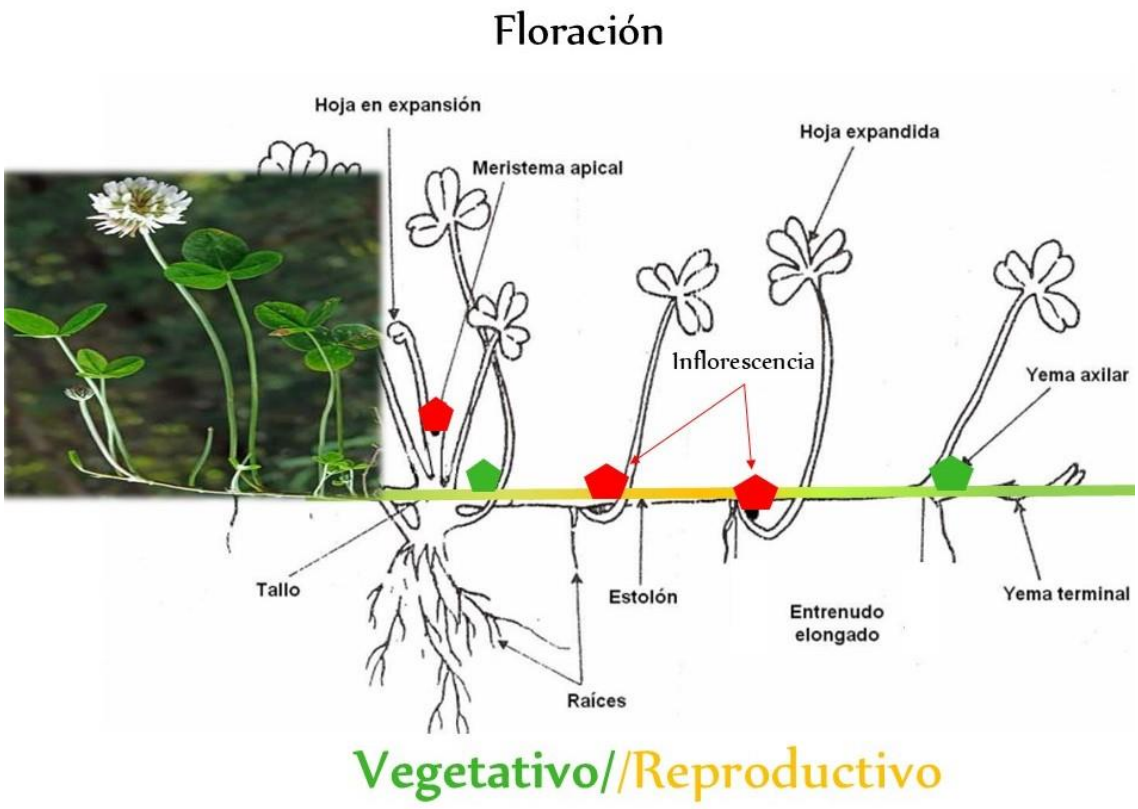
Estado vegetativo



El trébol blanco, como casi todas las leguminosas forrajeras, son especies a días largo, es decir el fotoperíodo positivo es el estímulo para el pasaje al estado reprductivo (Figura. 1.10). La respuesta es de tipo cuantitativa; es decir, a mayor duración del día la inducción mayor es emisión de inflorescencias. Algunos clones de trébol blanco requieren primero el estímulo de la vernalización para luego responder al estímulo del fotoperíodo.

Figura 1.10

Esquema del trébol blanco.



Desarrollo de fases y crecimiento de: alfalfa y trébol rojo

Roseta

Luego de la germinación de las semillas de alfalfa y trébol rojo, emergen sucesivamente hojas de las yemas ubicadas en los nudos del tallo principal aún no elongado y la planta adquiere una configuración característica denominada roseta, debido a la disposición radial de sus hojas. En la región Pampeana, si se siembra a principios de marzo en condiciones normales y sin limitaciones, esta fase se extiende hasta fines de julio o principios de agosto en alfalfas sin latencia o con latencia intermedia y a principios de septiembre en las alfalfas con latencia y el trébol rojo. En pasturas ya establecidas, el rebrote otoñal detiene su crecimiento con la llegada de las bajas temperaturas y la planta adquiere nuevamente un aspecto arrosetado. Las alfalfas sin latencia o con latencia intermedia cesen su crecimiento en mayo (con las primeras heladas), mientras que las con latencia y el trébol rojo lo hacen hacia fines de marzo o abril (Figura 1.11).

Figura 1.11.

Diagrama: secuencia del desarrollo de la fase de roseta.

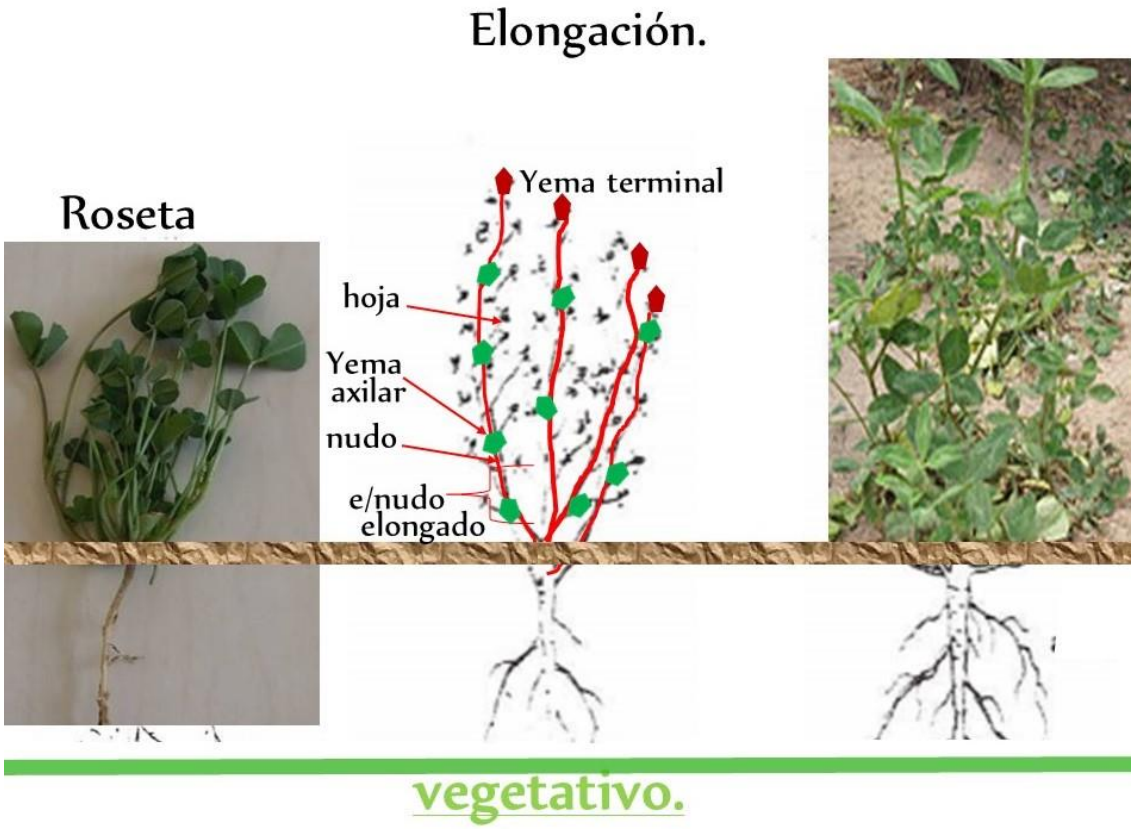


Elongación

En esta fase, el incremento de la temperatura activa los meristemas intercalares y ocurre la elongación de los entrenudos de los tallos (Figura 1.12). En la región pampeana, este proceso se inicia a fines de julio o principios de agosto en alfalfas sin latencia o de latencia intermedia, y a principios de septiembre en cultivares con latencia y trébol rojo. La duración de la elongación determina principalmente el tiempo necesario para completar cada ciclo, estando directamente vinculada a la tasa de crecimiento diaria (kg MS/ha/día). Así, durante el periodo de crecimiento (PVO), las mayores tasas y los ciclos más rápidos ocurren en primavera, seguidos por el otoño, mientras que en verano se registran los valores más bajos.

Figura 1.12

Fase de elongación de alfalfa y trébol rojo

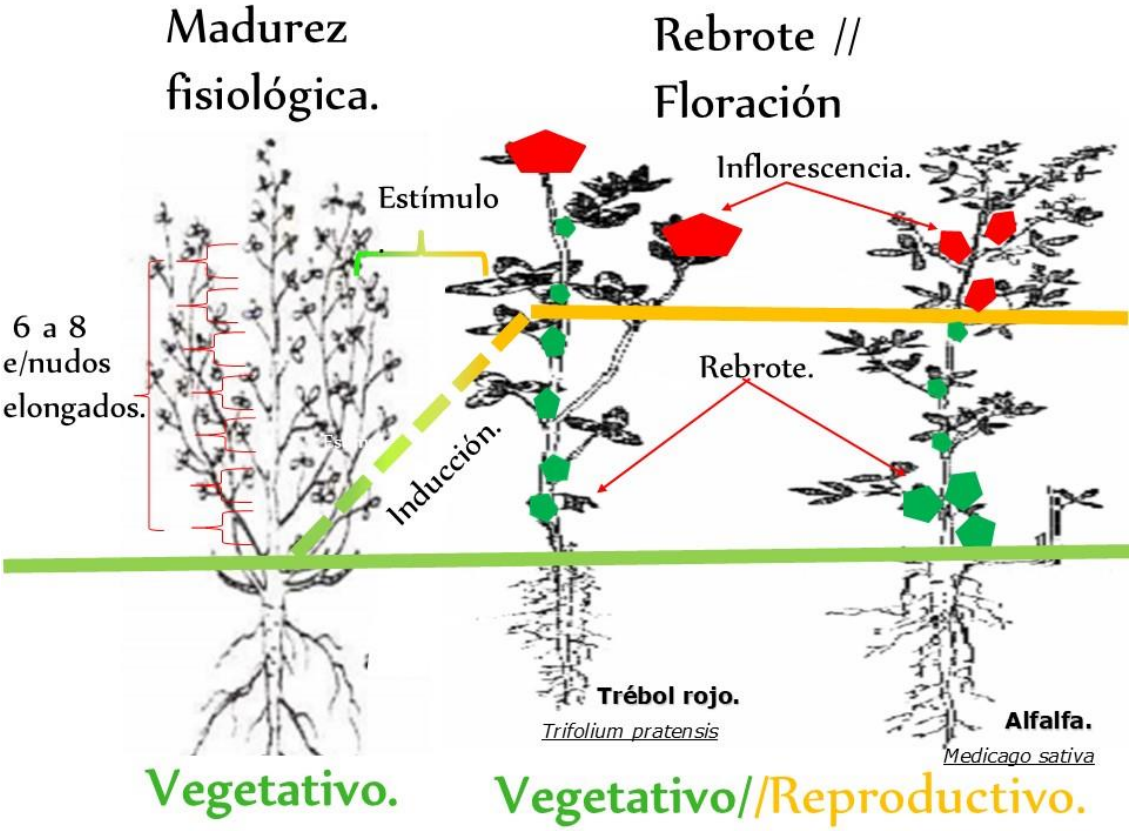


Madurez fisiológica, rebrote y floración

Los tallos de alfalfa y trébol rojo alcanzan la madurez fisiológica al elongar, según el cultivar, entre 6 y 8 entrenudos. Esta madurez implica que el tallo puede emitir una nueva onda de tallos o rebrotes a partir de las yemas ubicadas en los nudos basales de los tallos durante el primer año. A partir del segundo, este rebrote se origina principalmente de las yemas ubicadas la corona. En cuanto al requerimiento de fotoperíodo para la floración, la alfalfa exige al menos 14 horas de luz diaria y el trébol rojo 12 horas, umbrales que en la región pampeana bonaerense se alcanzan a mediados-fines de octubre y de septiembre, respectivamente. Independientemente de si la planta florece, el ciclo finaliza siempre con la emisión de una nueva onda de tallos que da inicio al siguiente ciclo de crecimiento (Figura 1.13)

Figura 1.13

Fases fenológicas de alfalfa: madurez fisiológica, rebrote y floración.



Fisiología y ecología

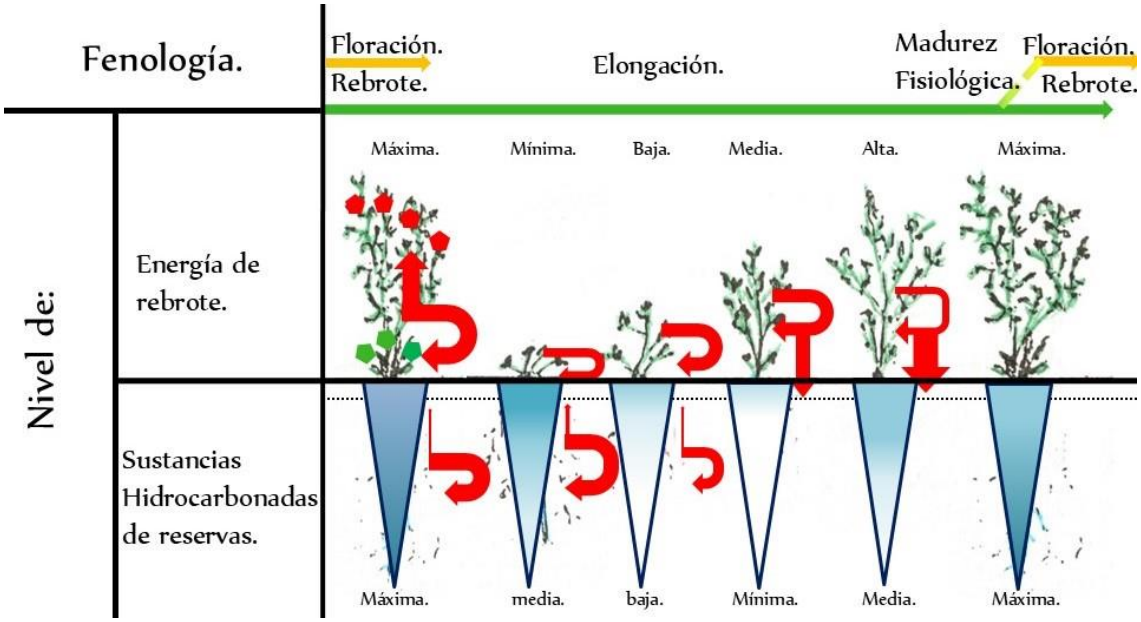
La utilización de pasturas con especies con crecimiento cíclico exige entender la dinámica de sus reservas de carbohidratos. Estas se almacenan en la corona, desarrollada al segundo año por lignificación de tallos y engrosamiento de la raíz, la cual alcanza su mayor importancia fisiológica en alfalfa y un menor tamaño en *Lotus*. Dado que durante el primer año (marzo a diciembre) las plantas carecen de una corona funcional, resulta indispensable conservar un área foliar remanente fotosintéticamente activa tras la defoliación.

La acumulación de reservas ocurre en cada ciclo de crecimiento (Figura 1.14). En consecuencia, la planta atraviesa períodos de almacenamiento y consumo de reservas. Para almacenar reservas en la corona, la planta debe generar un caudal de foto asimilados (fuente) que compense todos los gastos (destinos) y cuyo balance de como resultado un excedente que pueda ser asignado a reservas. El área fotosintéticamente activa de la parte aérea de la planta es la única fuente de fotoasimilados, en tanto dicha área sea lo suficientemente importante y las condiciones ambientales sean favorables, la planta podrá acumular reservas. Los destinos de fotoasimilados son: la respiración de mantenimiento de todos los órganos (aéreo y subterráneos) y, en menor medida, producción y crecimiento de órganos vegetativos y reproductivos. Debe considerarse que en el caso de la alfalfa la relación parte: aérea/subterránea, es de las más bajas

entre las distintas forrajeras. Ello indica que es una especie con sistema radical muy potente y sumado a ello tiene una gran corona; desde el punto de vista energético; resulta en un costo energético de mantenimiento muy alto para la planta. Está demostrado que la planta utiliza las reservas acumuladas en la corona para subsidiar la respiración de la raíz y la corona y en menor medida a subsidiar el crecimiento inicial del rebrote.

Figura 1.14

Dinámica de las reservas de la corona a lo largo del ciclo.



Nota. El diagrama muestra la dinámica de las sustancias hidrocarbonadas La línea gruesa horizontal divide ambas partes de la planta: fotosintética (superior) y la corona que abarca base de los tallos, cuello y raíz de la planta (inferior). La línea punteada indica la superficie del suelo. Las flechas rojas indican la dinámica de los fotoasimilados. El grosor de la flecha roja, indica el caudal de los fotoasimilados: El relleno azul del cono indica el nivel de las sustancias hidrocarbonadas en la corona: lleno (todo azul) y casi sin reservas (casi todo blanco).

Consideraciones finales

Las leguminosas forrajeras son un componente esencial en la estructura forrajera de los sistemas pastoriles de la región pampeana. Conocer y comprender la morfología (estructura), fisiología (funcionamiento) y ecología (interacción individuo-ambiente) de la planta forrajera es fundamental para una correcta utilización y conservación de los recursos forrajeros de los agroecosistemas ganaderos.

Referencias

Avise, JC., Ourry, A., Lemaire, G. y Boucaud, J. (1996). Nitrogen and Carbon flow estimated by 15N and 13C pulse-chase labelin during regrowth of alfalfa. *Plant Physiology*. 112. 281-290. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC157947/

Burkart, A., y Parodi, L. R. (1943). *Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas*. Acme Agency. http://biblio.economicas.uba.ar/Record/11453

Cabrera, A. (l967). *Flora de la Provincia de Buenos Aires. Parte III. Piperáceas y Leguminosas*. Colección Científica del INTA. http://meran.fcv.unlp.edu.ar/meran/opac-detail.pl?id1=1328

Carambula, M. (1977). *Producción y manejo de pasturas sembradas*. Hemisferio Sur. http://meran.fcv.unlp.edu.ar/meran/opac-detail.pl?id1=1236

Gardner, A. (1982). *Producción y utilización de pasturas*. INTA. E. E. R. A. Balcarce.

Larrea, D. (1981). *Producción y utilización de pasturas*. Serie didáctica Nº 1. INTA. E. E. A. Bordenave.

Lemaire, G y Chapman, D. (1996). Tissue flows in grazed plant communities. En Hogdson, J. y LLius .AW. (Eds.). *The ecology and management of grazing system*. CAB International. London.

Manzur, ME. Grimoldi AA., Insausti, P., Striker, GG. (2009). Escape from water or remain quiescent? Lotus tenuis changes its strategy depending on depth of submergence. *Annals of Botany*. *104*, 1163-1169.

Muslera PE. y Ratera GC. (1984). *Praderas y forrajes: producción y aprovechamiento*. Madrid: Mundi-prensa. http://meran.fcv.unlp.edu.ar/meran/opac-detail.pl?id1=7625

Parodi, L. (1959). *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. ACME. https://archive.org/details/enciclopediaargentinadeagriculturayjardinerialparodimdimitriacme1972/page/n15/mode/2up

Thompson L. y Harper, J.L (1988). The effect of grasses on the quality of transmitted radiation and its influence on the growth of white clover (*Trifolium repens*). *Oecologia 75.* 343-347. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28312680/

Van Assche, JA., Debucquoy, KL. y Rommens, WA. (2003). Seasonal cycles in the germination capacity of buried seeds of same Leguminosae (Fabaceae). *New phitologist. 158*. 315-323. https://www.academia.edu/8293031/Seasonal_cycles_in_the_germination_capacity_of_buried_seeds_of_some_Leguminosae_Fabaceae

Viglizzo, EF. (1981). *Dinámica de los sistemas pastoriles de producción lechera*. Hemisferio Sur. http://meran.fcv.unlp.edu.ar/meran/opac-detail.pl?id1=612

CAPÍTULO 2
Verdeos de invierno y verano para pastoreo

Bárbara Heguy y Lorena Mendicino

Introducción

En los sistemas pastoriles de alta demanda animal, el objetivo es lograr una producción forrajera constante a lo largo del año. Si bien las pasturas perennes constituyen el componente principal, su productividad invernal suele ser baja y, dependiendo de la especie base de la pastura, también puede decrecer en verano. Para mitigar estos déficits y asegurar una cadena de pastoreo estable anualmente, se requiere la integración de verdeos de invierno y/o de verano para el pastoreo. Estos cultivos anuales se destacan por su elevada productividad, aunque limitada a un periodo específico. Esto implica un mayor costo de producción por kilogramo de materia seca en relación con su tiempo de utilización.

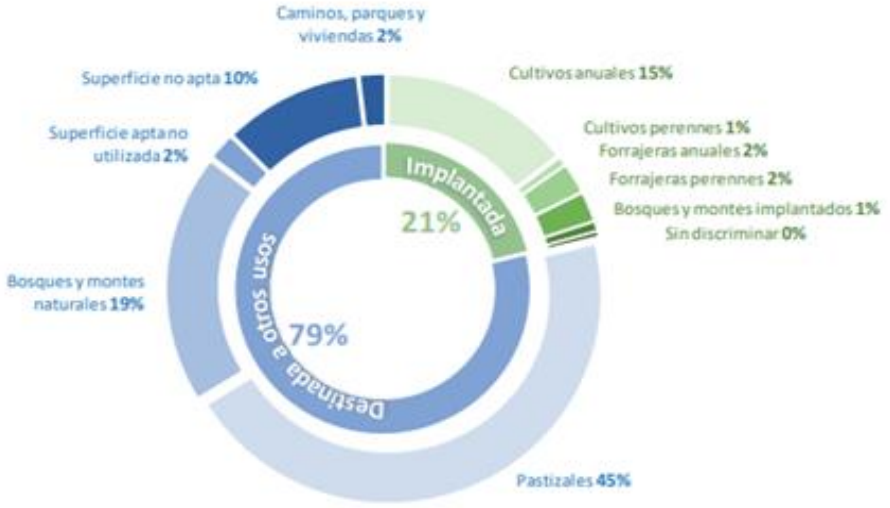
En la elección de una especie o cultivar no sólo se debe tener en cuenta su producción total de forraje, sino también, las condiciones edafoclimáticas, los requerimientos nutricionales de los animales y la distribución del crecimiento de los otros componentes de la estructura forrajera. Asimismo, es importante evaluar en cada opción la curva de producción, la estabilidad del rendimiento a través de los años y el comportamiento ante plagas, enfermedades y adversidades climáticas

El objetivo de este capítulo es describir los verdeos de invierno y de verano para pastoreo, conocer sus caracteres agronómicos y determinar las principales pautas para su utilización.

Según el Censo Nacional Agropecuario del año 2018 (INDEC), del total de la superficie destinada a la producción agropecuaria en Argentina (33.182.640 ha) las forrajeras anuales participan en un 2% de la superficie (Figura 2.1).

Figura 2.1.

Superficie de las parcelas censadas por uso de la tierra. Total del país del 1 de julio de 2017 al 30 de junio de 2018.

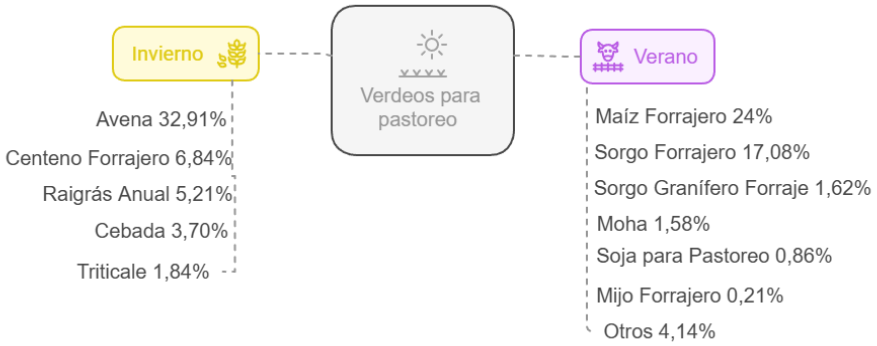


Nota. Fuente INDEC. Censo Nacional Agropecuario 2018.

Los principales cultivos utilizados en el país y en particular en la región pampeana son, dentro de los invernales: *Avena sativa* (avena blanca) y *A. byzantina* (avena amarilla); *Lolium multiflorum Lam (*raigrás anual), *Secale cereale L*. (centeno), *Hordeum vulgare L.* (cebada) y, en menor proporción el *Triticum aestivum* L. (trigo) y *xTriticosecale* Wittmack (tritcale). Dentro de los verdeos de verano se utilizan *Zea mays* L. (maíz), *Sorghum bicolor* L. Moench. (sorgo), *Glycine max L. Merr*. (soja) y en menor cantidad *Setaria itálica* (moha) y *Panicum miliaceum* (mijo) (Censo 2018, Indec). (Figura 2.2).

Figura 2.2.

Superficie, expresada en porcentaje, sembrada con verdeos de invierno y verano para pastoreo en Argentina.



Nota. Fuente: Censo 2018 (INDEC).

Verdeos de invierno

Descripción y requerimientos ambientales

En la subregión de la pampa húmeda los verdeos invernales más utilizados para pastoreo son: avena y raigrás anual y en la subregión subhúmeda: avena, centeno y cebada (Tabla 2.1).

Tabla 2.1.

Principales caracteres morfológicos de raigrás anual, avena, centeno y cebada.

Característica	Raigrás anual	Avena	Centeno	Cebada forrajera
Sistema radical	Muy ramificado, abundante, poco profundo	En cabellera, semiprofundo	Bien desarrollado, profundo	Superficial
Prefoliación	convolutada	convolutada	convolutada	convolutada
Lígula	Poco desarrollada	Muy desarrollada, borde aserrado	Dentada	Membranosa
Aurículas	Muy desarrolladas, glabras	No posee	Muy poco desarrolladas, glabras	Muy desarrolladas, abrazadoras
Lámina foliar	Muy brillosa (envés), surcos (haz), glabras	Nervaduras poco marcadas, pilosidad en borde (variable)	Nervaduras poco marcadas, envés no brillante, glaucas	Nervaduras poco marcadas, envés no brillante, glaucas
Inflorescencia	Espiga dística, lemmas con aristas	Panoja laxa	Espiga	Espiga

Raigrás anual

Es una especie de clima templado-húmedo. Exigente en humedad, precipitaciones anuales mayores a los 600 mm, no tolera altas temperaturas (óptima entre 18º a 20ºC). Requiere suelos fértiles, de textura franco a franco arcilloso, profundos y con buen drenaje. Posee una calidad forrajera excelente. No tolera el déficit hídrico, por su sistema radical superficial y a muy bajas temperaturas, por lo que no es segura su utilización en las regiones subhúmeda y semiárida pampeanas.

Existen variedades de raigrás de tipo diploide y tetraploide. La diferencia genética entre ambos determina que morfológicamente sean distintos. El raigrás anual es naturalmente una especie diploide, lo que implica que cada una de sus células contiene dos juegos de cromosomas (2n = 2X = 14). Los cultivares tetraploides (4n) se obtienen mediante la duplicación artificial del número cromosómico natural de la especie. Esta variabilidad es resultado de la base genética de los cultivares, las condiciones ambientales en las que fueron mejorados y su adaptación diferencial a diversos ambientes y sistemas de producción. Los cultivares diploides y tetraploides presentan características productivas distintas, lo que permite satisfacer diferentes objetivos de producción en diversos ambientes y sistemas.

Cultivares tetraploides:

- Implantación: mayor velocidad debido al mayor tamaño de la semilla y una tasa inicial de aparición de hojas superior. El mayor peso de 1000 semillas implica un menor número de semillas por unidad de superficie a una misma densidad de siembra, por lo que se recomienda aumentar la densidad de siembra en un 30 a 50 % (20 a 35 kg/ha) respecto a los cultivares diploides.
- Morfología: plantas más grandes y erectas, con menor número de hojas y macollos, pero de mayor tamaño y peso. Hojas más anchas y gruesas, con una mayor relación lámina/vaina.
- Valor nutritivo: es mayor, especialmente después de los primeros pastoreos cuando aumenta el contenido de materia seca. Poseen células de mayor tamaño con mayor contenido celular y paredes más finas, resultando en menor contenido de fibra y mayor concentración de carbohidratos solubles, lo que incrementa la digestibilidad.
- Requerimientos ambientales: expresan su máximo potencial productivo en ambientes sin limitantes, con suelos fértiles y con mayor capacidad de almacenamiento de agua.
- Eficiencia nutricional: mayor eficiencia en la utilización del nitrógeno aplicado.

Cultivares diploides:

- Morfología: para una misma fecha de siembra y condiciones de manejo similares, presentan un mayor número de macollos con hojas más finas que los tetraploides.
- Valor nutritivo: producen forraje de composición nutricional balanceada durante todo su ciclo. Mayor porcentaje de materia seca en los pastoreos iniciales.
- Requerimientos ambientales: se adaptan mejor a ambientes con restricciones de suelo y clima, toleran menor fertilidad, menor disponibilidad hídrica, anegamiento de corta duración y tienen mayor tolerancia a las bajas temperaturas que los materiales tetraploides.

Avena

Prospera bien en climas templados y templado fríos pero húmedos. Necesita un régimen hídrico de 700 - 800 mm o más. Temperaturas invernales extremas disminuyen o detienen el crecimiento. Se adapta a suelos francos, franco-arcillosos o franco-limosos, neutros a ligeramente ácidos, no resultándole favorable los suelos sueltos ni los arcillosos mal drenados.

Cebada

Produce bien en suelos con drenaje limitado temporalmente y se comporta mejor que la avena en suelos con texturas más arenosas. Los valores óptimos de pH fluctúan alrededor de la neutralidad, El cultivo no tolera suelos ácidos, aunque muestra una tolerancia moderada a suelos ligeramente alcalinos.

Centeno

Tolera climas fríos y templados-fríos. En estado vegetativo, soporta temperaturas de -15 a -25 °C. La mayoría de los cultivares responden al fotoperíodo y a la temperatura, acelerando su transición de la fase vegetativa a la reproductiva ante el incremento térmico y la mayor oferta de

horas de luz. Presenta un requerimiento hídrico menor al de otros verdeos; esta tolerancia al estrés hídrico le permite alcanzar elevados rendimientos en zonas donde la avena, la cebada o el raigrás no prosperan. Se adapta a suelos con texturas con mayor contenido de arena y de fertilidad media, aunque no tolera el mal drenaje. Respecto al pH, muestra un amplio rango de adaptación, obteniendo los mejores resultados en suelos ligeramente ácidos. Esta plasticidad convierte al centeno en el verdeo de mayor rusticidad, con la ventaja adicional de presentar una mayor tolerancia al ataque del pulgón verde de los cereales.

Tabla 2.2.

Requerimientos ambientales de raigrás anual, avena, centeno y cebada.

Especie	Textura	Drenaje	pH	Fertilidad	Sequía	Encharcamiento
Raigrás anual	Franco	Bueno	Neutro a ligeramente ácido	Alta	No tolera	No toleran
Avena	Franco. Franco arcillosa Franco limosa		Neutro a ligeramente ácido	Alta	No tolera	
Cebada	Franco		Neutro a ligeramente alcalino	Media a alta	No tolera períodos prolongados	
Centeno	Franco		Neutro a ligeramente ácido	Media	Tolerancia media a baja	

Productividad

La planificación forrajera en sistemas ganaderos pastoriles contempla la inclusión de verdeos invernales como una estrategia para incrementar la productividad forrajera desde el otoño hasta el inicio de la primavera. La selección de la especie adecuada requiere la consideración integrada de las variables edafoclimáticas, los requerimientos nutricionales del rodeo y la productividad del verdeo (Figura 2.3 y la Tabla 2.3). Este enfoque asegura que los verdeos invernales, junto con prácticas agronómicas apropiadas (implantación, fertilización, manejo de adversidades) y una utilización adecuada, mitiguen eficazmente los déficits de producción de las pasturas perennes.

Figura 2. 3.

Curvas de crecimiento de los principales verdeos de inviernos utilizados en región pampeana.

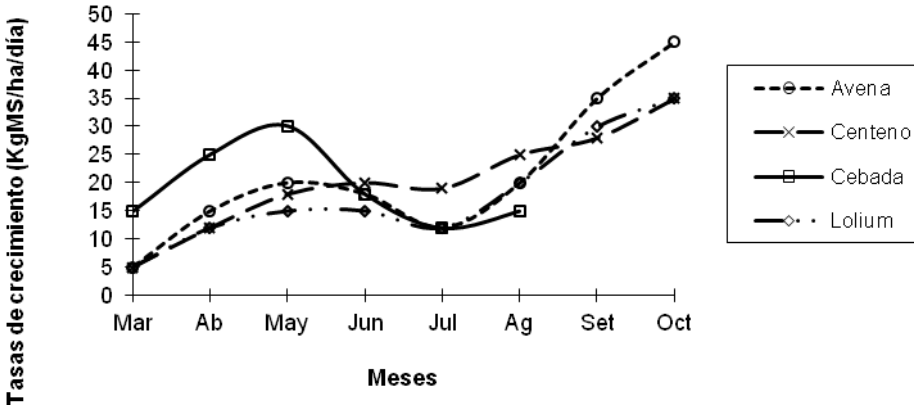


Tabla 2.3

Tasas de crecimiento diarias (kgMS.ha^{-1}.día$^{-1)}$ de raigrás anual, avena, cebada y centeno.

	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Raigrás anual	5	12	15	15	12	20	30	35
Avena	5	15	20	18	12	20	35	45
Cebada	15	25	30	18	12	15		
Centeno	5	12	18	20	19	25	28	35

El potencial productivo de cada especie/variedad es alto, gracias al mejoramiento genético, pero la producción a campo por lo general alcanza entre el 40-50% de ese potencial en algunas regiónes (Tomaso, 2009). La producción promedio acumulada varía entre 2000 a 12000 kg MS.ha^{-1}. Esta diferencia se debe principalmente al manejo que se aplica: fecha de siembra (ver capítulo 3 en este libro), fertilización, método de pastoreo y a las condiciones edafoclimáticas. Sin embargo, se puede considerar algunos valores promedios, como así también el número de pastoreos probables durante el ciclo de crecimiento (Tabla 2.4).

Tabla 2.4

Producción de materia seca, expresada en kilogramos de materia seca por hectárea y cantidad de pastoreos por ciclo de raigrás anual, avena, cebada y centeno.

Especie	Productividad Kg MS.ha^{-1}.año^{-1}	Cantidad de pastoreos
Raigrás anual	3000 a 6000	3 a 5
Avena	3000 a 6000	3 a 5
Cebada	2500 a 4000	2 a 4
Centeno	2000 a 5000	2 a 3

Por ejemplo, Spara y Vernengo (2023) registraron valores de producción de avena entre 3245

y 6580 kg MS.ha^{-1} y de raigrás entre 5066 y 10230 kg MS.ha^{-1}. Tomaso (2009) en el INTA Bordenave, registró producción de biomasa en condiciones experimentales, de 15519, 12981 y 10617 kg MS.ha^{-1} de avena, cebada forrajera y trigo, respectivamente. En Uruguay, se obtuvieron 6636 kg MS.ha^{-1} de avena y 9206 kg MS.ha^{-1} de raigrás anual (García, 2003).

La producción de biomasa de los verdeos de invierno depende críticamente de la disponibilidad de agua y nitrógeno, así como de la eficiencia de uso de ambos recursos (EUA y EUN). La nutrición mineral ejerce un control directo sobre la EUA, lo cual impacta tanto en el rendimiento de materia seca (MS) como en su calidad forrajera. En la Región Pampeana Húmeda, la EUA promedio oscila cerca de los 20 kg MS mm^{-1}. Para la zona de Luján, Spara y Vernengo (2023) determinaron un requerimiento hídrico de 500 mm entre marzo y septiembre para alcanzar producciones de 10.000 kg MS ha^{-1}. Asimismo, los autores reportaron que la EUA aumentó de 4,9 kg MS mm^{-1} en el testigo sin fertilización hasta 39 kg MS mm^{-1} con una dosis de 200 kg N ha^{-1}, lo que evidencia la fuerte interacción entre la nutrición nitrogenada y la eficiencia hídrica.

En la región semiárida pampeana, los verdeos de invierno tienen requerimientos promedio de agua, entre fines de marzo y agosto, cercanos a 240 mm (con valores máximos de 320 mm), siendo la eficiencia del uso del agua (EUA) promedio de 11 kg MS.mm^{-1}. En la región semiárida, fueron registrados incrementos en la eficiencia en el uso del agua de 10,6 kg MS.mm^{-1} (testigo) a 21,8 kg MS.mm^{-1} (tratamiento de máxima fertilización).

La respuesta a la aplicación de fertilizantes nitrogenados de los verdeos de invierno es alta, puede presentar elevadas eficiencias de uso del nitrógeno (EUN). En la Región Pampeana se registraron EUN promedio de 15, 23, 17, 15 y 30 kg MS.kg N^{-1} en Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y Santa Fe, respectivamente (Spara y Vernengo, 2023).

Raigrás

Una ventaja diferencial del raigrás es que, incluso en siembras tempranas, no pasa al estado reproductivo durante el otoño. A diferencia de otros verdeos, que bajo temperaturas elevadas y fotoperíodos prolongados diferencian y encañan de forma prematura, este cultivo mantiene su desarrollo vegetativo. En la zona de la Depresión del Salado, el primer pastoreo se puede efectuar entre los 50 y 60 días posteriores a la siembra.

Avena

Bajo condiciones óptimas de humedad y temperatura, la germinación ocurre entre los 8 y 14 días posteriores a la siembra. Presenta un ritmo de crecimiento inicial menor que el de la cebada, por lo que el primer pastoreo suele realizarse a los 60 días. Sin embargo, en siembras de fecha oportuna con adecuada humedad y temperatura en la Depresión del Salado, este plazo se puede adelantar a los 45 días. Su tasa de crecimiento resulta más uniforme que la de la cebada, si bien experimenta una merma sensible durante los meses de invierno, en especial bajo condiciones de frío y sequía.

Esta especie es susceptible al ataque del pulgón verde de los cereales, el cual reduce la densidad del stand de plantas, y a enfermedades foliares como la roya de la hoja y del tallo, las

cuales comprometen tanto el rendimiento como la calidad forrajera. Por ello, es necesario el curado de la semilla a la siembra y la selección de cultivares con tolerancia a estas plagas y patógenos.

Cebada

Es el verdeo de invierno con la mayor tasa de crecimiento inicial. Se destaca por su alta producción de forraje durante el otoño, característica deseable para lograr un rápido aprovechamiento, alrededor de 50 días o menos desde la implantación. Sin embargo, durante el invierno prácticamente detiene su crecimiento, debido a su sensibilidad a las bajas temperaturas. No brinda más forraje hasta la primavera donde rápidamente pasa al estado reproductivo perdiendo calidad y aceptabilidad.

Centeno

Con buena humedad y temperatura germina a los 6 o 7 días de la siembra. Su ritmo de crecimiento inicial es algo más lento que el de la avena, su primer pastoreo se obtiene a los 60-70 días de la siembra. Hay una marcada diferencia varietal en esta especie, existen variedades de ciclo corto, intermedio y largo, lo que determina diferentes curvas de crecimiento con una distribución variable de la oferta en el tiempo. Los cultivares de ciclo corto diferencian y encañan rápidamente a fines de agosto, principios de septiembre, la digestibilidad disminuye, y la aparición de las espigas determina que el animal no lo consuma. Los cultivares de ciclo intermedio a largo permiten un aprovechamiento del forraje hasta el mes de octubre. Gracias a su excelente rendimiento en los meses de mayor escasez de forraje y en condiciones climáticas poco favorables, este verdeo es ideal para el oeste y sudoeste de la provincia de Buenos Aires, este de La Pampa y San Luis.

Valor nutritivo

Los verdeos de invierno pueden definirse como alimentos de muy buen valor nutritivo principalmente durante la fase de macollaje (Tabla 2.5). Sin embargo, pueden presentar limitantes al consumo, al tener, principalmente en el inicio de su ciclo, bajo porcentaje de materia seca, fibra, desbalance energético-proteico y déficit de ciertos minerales.

Tabla 2.5

Composición nutricional: porcentaje de materia seca (%MS), porcentaje de proteína bruta (%PB), porcentaje de digestibilidad (%) y energía metabolizable (EM) expresada en megacalorías por kilogramo de materia seca (Mcal.kgMS^{-1}) de raigrás, avena, cebada y centeno.

	% MS	% PB	% digestibilidad	EM (Mcal.kgMS^{-1})
Raigrás anual	14-18	13-18	70-85	2,5-3
Avena	14-20	15-18	70-80	2,5-2,8

Cebada	15-18	15-24	70-75	2,2-2,6
Centeno	15-18	12	60-75	2,16-2,7

Tanto la avena como el raigrás anual poseen muy buen valor nutritivo. El raigrás presenta una mejor estructura de planta y mayor cantidad de hidratos de carbono solubles. La avena, al pasar al estado reproductivo no disminuye su aceptabilidad, los animales la consumen durante todos sus estadios. En inviernos húmedos, las avenas pueden presentar un desbalance nutricional y causar en el animal hipomagnesemia y/o hipocalcemia (mal de los avenales). En esta época el suelo puede sufrir un desequilibrio entre el potasio y magnesio intercambiable, que afectaría la asimilación de estos nutrientes a la planta. La hipomagnesemia es una enfermedad metabólica que se caracteriza por poseer bajos niveles de magnesio en sangre, causando en los animales agresividad, marcha tambaleante, pérdida de apetito, aislamiento y muerte.

La calidad forrajera de la cebada y el centeno es buena durante el estado vegetativo, pero disminuye marcadamente al pasar al estado reproductivo. En la cebada esto sucede temprano en el invierno. El centeno es rechazado por los animales en este estadio debido al tipo de inflorescencia que posee.

Utilización de los verdeos de invierno

Los verdeos de invierno pueden producir forraje de calidad y en cantidad suficiente para permitir ganancias diarias de peso vivo de 600 a 900 g en animales de invernada. Para alcanzar estos resultados, se requiere un manejo integral que incluye:

- Método de pastoreo rotativo.
- Ingreso al potrero en el momento óptimo (disponibilidad: 1500 kg MS.ha^{-1}).
- Alta carga animal instantánea para disminuir la selección.
- Tiempo de permanencia no superior a 5 días para evitar el consumo del rebrote.
- Intensidad de pastoreo: dejar área foliar remanente de 10-12 cm para tener área fotosintéticamente activa que produzca la energía suficiente para el rebrote.
- Frecuencia de pastoreo ajustada a la tasa de crecimiento del verdeo.
- Determinación del momento óptimo de pastoreo (métodos visuales): ante la dificultad de estimar la disponibilidad, se pueden utilizar indicadores prácticos como:
- Desaparición de las líneas de siembra (en siembras a 15-20 cm) debido al entrecruzamiento de las hojas.
- Altura del verdeo entre 25 y 30 cm (con hojas en posición vertical).
- Facilidad de corte de las hojas al tirar de ellas, sin desarraigar la planta.
- Manejo adicional:
- Ingreso de animales con buen piso en el potrero.
- Encierres nocturnos para proteger el recurso y complementar la dieta animal con forraje fibroso de calidad (heno, silaje). Esto contrarresta el bajo porcentaje de materia seca del verdeo, previniendo diarreas y, en días húmedos y nublados, la hipomagnesemia (mal de los avenales), para lo cual también se puede suplementar con correctores de magnesio.

Verdeos de verano para pastoreo

En la Planificación forrajera de los sistemas ganaderos pastoriles de la región pampeana se incluyen verdeos de verano para pastoreo cuando la estructura forrajera está formada por pasturas perennes que no poseen alfalfa en su composición. Estos verdeos anuales cubren la merma de producción y calidad durante el verano de las pasturas, están adaptados a las altas temperaturas estivales y poseen elevadas tasas de crecimiento. Los más utilizados son el maíz, sorgo, soja y, en menor cantidad, moha y mijo (Tabla 2.6).

Tabla 2.6.

Requerimientos ambientales de soja, sorgo, maíz, moha y mijo.

Especie	Textura	Drenaje	pH	Fertilidad	Sequía	Encharcamiento
Soja	Franco	Bueno	Neutro a ligeramente ácido	Media a alta	Tolera	No toleran
Sorgo	F. Arenosa F. Arcillosa Arcillosa					
Maíz	Franco		Neutro Óptimo 6,5 a 7,5	Alta	No tolera	
Moha	Franco F. arcillosa		Neutro a ligeramente ácido	Media a alta	Tolera moderada	
Mijo	Franco F. arenosa			Media	Tolera sequía	

Descripción y requerimientos ambientales

Maíz

El maíz destaca como la gramínea de mayor potencial de producción de biomasa por unidad de superficie, gracias a su eficiente vía fotosintética (C4) y a su arquitectura foliar. Sin embargo, su elevada dependencia hídrica reduce la estabilidad productiva entre ciclos y ambientes en comparación con otros verdeos de verano. Para completar su ciclo requiere un período libre de heladas de al menos 120 días, aunque este requerimiento térmico se reduce si el destino es el pastoreo. Su temperatura óptima de crecimiento oscila entre 23 °C y 29 °C. Si bien la demanda hídrica es baja en las etapas vegetativas iniciales, esta se incrementa de forma crítica desde unos 10 días antes de la aparición de la panoja. Para evitar el estrés hídrico, al cual es altamente sensible, requiere entre 400 y 500 mm durante el ciclo dentro de un régimen anual de 700 a 1000 mm. En cuanto a los requerimientos edáficos, prospera en suelos profundos, de textura franca y bien drenados; no tolera el encharcamiento ni el mal drenaje. Su rango de adaptación de pH

abarca de 5 a 8, con un valor óptimo entre 6,5 y 7,5. Asimismo, es una especie de alta exigencia nutricional, con requerimientos elevados de nitrógeno y fósforo. Al planificar su utilización, debe considerarse que la planta de maíz no rebrota luego de la defoliación.

Sorgo

Los sorgos presentan requerimientos edafoclimáticos específicos para un óptimo desarrollo. Son sensibles a las bajas temperaturas, necesitan un período libre de heladas de 90 a 160 días y una temperatura del suelo superior a 15 °C para la siembra, con un óptimo entre 18 y 20 °C para una rápida germinación y crecimiento. Se adaptan a regiones con regímenes de lluvia anual entre 500 y 1000 mm. Prosperan en diversos tipos de suelos, desde franco arenosos hasta arcillosos, requiere buena fertilidad y buen drenaje, posee cierta tolerancia a sales solubles, pero no a la alcalinidad. Su rusticidad les confiere adaptación a diferentes ambientes, permitiendo una mayor estabilidad de rendimiento ante variaciones climáticas. Además, exhiben mecanismos de resistencia a la sequía, como la interrupción del crecimiento con recuperación tras la lluvia, un extenso sistema radical, plegamiento foliar por células motoras, cerosidad foliar y estomas pequeños que reducen la transpiración.

La versatilidad del sorgo se manifiesta en la disponibilidad de diversos tipos con características particulares, lo que permite su uso en planteos productivos con diferentes requerimientos nutricionales. Esta versatilidad se basa en su alta capacidad de rebrote y macollaje, superior a la del maíz, y en su elevada variabilidad genética. En el mercado actual, además de los sorgos forrajeros tradicionales tipo Sudán (de crecimiento inicial rápido, aunque pierden calidad al pasar al estado reproductivo), existen materiales mejorados. Entre ellos se encuentran los sorgos azucarados, los fotosensitivos (que en estas latitudes prolongan su ciclo vegetativo, ofreciendo mayor flexibilidad en el pastoreo al mantenerse con mejor digestibilidad), y los de nervadura marrón o BMR (con menor contenido de lignina y mayor digestibilidad). También se dispone de sorgos graníferos, con y sin taninos condensados, ampliando las opciones de uso del cultivo para grano, ensilaje, pastoreo directo o diferido, incluso bajo esquemas de doble propósito.

Soja

Originaria del Extremo Oriente, la soja es una herbácea anual de ciclo primavera-verano, que alcanza entre 40 y 100 cm de altura, presenta pubescencia y tallos rígidos y erectos, generalmente ramificados. Su sistema radical pivotante suele alcanzar una profundidad de 40-50 cm, y sus hojas alternas y compuestas (trifoliadas) se tornan amarillas en la madurez. La soja es una leguminosa estival con potencial forrajero para pastoreo directo, heno y ensilaje, ofreciendo alta disponibilidad de forraje de buen valor nutritivo, comparable a la alfalfa. Su plasticidad y calidad forrajera la hacen valiosa en planteos de altos requerimientos especialmente en zonas con limitaciones para la alfalfa.

La soja presenta requerimientos edafoclimáticos específicos para su desarrollo: exige temperaturas de siembra entre 15 y 18 °C y una temperatura óptima de crecimiento cercana a los 30 °C, con un requerimiento hídrico aproximado de 300 mm durante el ciclo. Aunque exhibe

plasticidad frente al tipo de suelo, responde mejor en ambientes neutros a ligeramente ácidos (pH 6,0 a 7,0) y resulta altamente sensible al encharcamiento. Para uso forrajero, si bien existen variaciones de producción entre variedades, los cultivares de ciclo largo (7-8) y hábito de crecimiento indeterminado son los más adecuados, porque priorizan la acumulación de biomasa vegetativa sobre el rendimiento de grano. La siembra se efectúa durante el mes de octubre, con un distanciamiento entre hileras de 35 cm y una densidad de 65 a 80 kg ha^{-1} (400.000 a 450.000 plantas ha^{-1}), lo que representa un incremento del 20% respecto a los esquemas orientados a la producción de grano.

Moha

Originaria de Europa, la moha es un cultivo anual de doble propósito que destaca por su gran precocidad. Su capacidad de rebrote es limitada, por lo que su uso principal es la henificación. La moha requiere suelos francos a franco-arcillosos con buen drenaje y pH neutro, con una fertilidad de media a alta. No tolera el encharcamiento ni las heladas. Es una gramínea tolerante a elevadas temperaturas y ambientes secos debido a su ciclo corto, aunque déficits hídricos prolongados pueden afectar su productividad debido a su sistema radical poco profundo.

El inicio del panojamiento es el momento óptimo para obtener una considerable producción de forraje con buena relación hoja/tallo/panoja y valores aceptables de proteína bruta y digestibilidad. En su pleno desarrollo alcanza una altura de 60-70 cm, y a los 25-30 días puede ser pastoreada. Su corto ciclo permite combinar altos rendimientos con un bajo tiempo de ocupación del lote. En Chascomús se han reportado rendimientos de materia seca de 6000 a 7000 $kgMS.ha^{-1}$ (Cichchino y Otondo, 2019).

Mijo

El mijo se adapta a suelos francos o franco arenosos que cuenten con buen drenaje, pH neutro y una fertilidad de media a alta. No tolera el encharcamiento, pero se destaca por su alta resistencia a la sequía y a las altas temperaturas, siendo sensible a las heladas. La siembra se realiza entre noviembre y diciembre, con una densidad de 15-20 $kg.ha^{-1}$. Se han reportado producciones de forraje de 7200 $kgMS.ha^{-1}$ de materia seca. Su palatabilidad es media y es aceptado por el ganado cuando se encuentra granado.

Un análisis comparativo entre el mijo y la moha realizado por la INTA EEA Bordenave (2004) determinó que el mijo fertilizado superó a la moha en la producción acumulada de forraje a lo largo de cortes sucesivos. Sin embargo, la moha fertilizada presentó un mayor contenido de proteína bruta en la mayoría de los estadios de corte, igualando los valores del mijo únicamente en etapas de madurez avanzada y en la última defoliación. Respecto a la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS), la fertilización no generó diferencias significativas en la moha, mientras que en el mijo mejoró este parámetro durante los primeros cortes; asimismo, la moha mantuvo valores de DIVMS superiores al mijo hasta el cuarto corte. Complementariamente, Bolletta (2005) destaca a ambas especies como alternativas de valor para la región de Bordenave por su rápido establecimiento, su tolerancia al estrés hídrico y térmico, y la precocidad en el aprovechamiento. Aunque la moha ofrece una mayor producción total de materia seca y una

calidad nutritiva superior, el mijo evidencia una mayor palatabilidad y aceptación por parte del ganado a partir del panojamiento.

Caracteres agronómicos y utilización de maíz, sorgo y soja para pastoreo

Maíz

El maíz se distingue entre los verdeos de verano por su siembra temprana, con resultados favorables desde fines de septiembre. Su período de utilización para pastoreo se extiende desde mediados de diciembre hasta febrero, iniciándose cuando la planta alcanza 1 metro de altura. Presenta una tasa de crecimiento de 60 a 100 kg de materia seca por hectárea por día, llegando a una disponibilidad de 5000 a 6000 kgMS/ha^{-1} en prefloración. En estado de grano lechoso-pastoso, la disponibilidad de materia seca puede alcanzar valores significativamente mayores, entre 16000 y 20000 kgMS.ha^{-1}. Sin embargo, al pastorear en estados más avanzados, la calidad es inferior y las pérdidas aumentan debido al menor consumo de los tallos por parte de los animales. El maíz para pastoreo ofrece una digestibilidad alrededor del 75% y una energía metabolizable (EM) de 2,4 a 2,7 Mcal.kgMS^{-1}, aunque su valor proteico es bajo. Una característica importante a considerar es que el maíz no posee capacidad de rebrote luego del pastoreo.

Sorgo

El sorgo para pastoreo aporta una cantidad significativa de forraje y se pueden obtener, en sistemas de invernada o recría, adecuadas ganancias de peso animal o en los tambos buena producción de leche durante el verano, dependiendo de factores como las condiciones de crecimiento, la carga animal, el tipo de animal, la suplementación y el manejo del pastoreo.

Tradicionalmente, los sorgos tipo Sudán han sido los más utilizados para pastoreo directo debido a su precocidad, permitiendo un primer pastoreo a los 40-45 días de la siembra. Sin embargo, estos materiales pierden calidad rápidamente al pasar al estado reproductivo. Actualmente, existen sorgos mejorados que superan en calidad a los tipos Sudán clásicos:

Sorgos forrajeros nervadura marrón (BMR): Presentan una menor concentración de lignina (fracción indigestible), lo que incrementa la digestibilidad del forraje en un rango del 5 al 50%, dependiendo del gen BMR específico.

Sorgos forrajeros fotosensitivos: requieren días cortos para inducir la floración. Sembrados en estas latitudes, prolongan su ciclo vegetativo y no florecen o lo hacen tardíamente,con baja producción de grano Esta característica permite un manejo más flexible del pastoreo, utilizando plantas con menor proporción de tallo y hoja, y por lo tanto, mayor digestibilidad.

La época de utilización del sorgo para pastoreo abarca de 2 a 4 meses durante el verano. El crecimiento inicial del sorgo es muy rápido, con tasas de 100 a 120 kg de materia seca por hectárea por día. El crecimiento foliar máximo ocurre antes de alcanzar los 70-75 cm de altura, luego el desarrollo se centra principalmente en los tallos. Los rendimientos potenciales en plena madurez pueden llegar a 20.000 - 25.000 kgMS.ha^{-1}. Sin embargo, para pastoreo directo, el rendimiento total disminuye a valores entre 6.000 y 10.000 kgMS.ha^{-1}, debido a que el

aprovechamiento se realiza a los 50-70 cm de altura (macollaje) y a las pérdidas por pisoteo y deyecciones.

Estudios en sorgos forrajeros tipo Sudán mostraron un contenido de proteína bruta (PB) en láminas de hojas entre 12 y 19%, y en el pseudotallo entre 6 y 13%. La digestibilidad de la materia seca (DMS) varió entre 50 y 65% para lámina y entre 55 y 70% para pseudotallo, con los valores más altos de PB y DMS asociados a una altura del cultivo inferior a 75 cm (Bruno et al., 1988).

Para un manejo adecuado del sorgo mediante pastoreo, se recomienda emplear el método rotativo. La siembra se realiza durante los meses de octubre y noviembre, permitiendo de 2 a 4 pastoreos, e incluso hasta 6 según la variedad y la región, con un período de utilización que abarca desde mediados de diciembre hasta febrero. El ingreso de los animales al potrero debe ocurrir cuando el sorgo alcanza una altura de 60-70 cm, siendo el primer pastoreo alrededor de los 45-50 días posteriores a la siembra. En este primer aprovechamiento, se consume entre el 45 y el 50% de la productividad total del cultivo, que presenta aproximadamente un 18% de materia seca (MS), un 14% de proteína bruta (PB) y 2.15 Mcal de energía metabolizable (EM). Es importante para un mejor rebrote dejar un remanente de pastoreo de 12-15 cm de altura. Para minimizar la selección por parte de los animales, se sugiere utilizar una carga animal instantánea alta. Los pastoreos subsiguientes se efectúan cada 20-30 días, representando generalmente el 25-30% de la productividad total, seguido de un tercer pastoreo con el 15-20% de la oferta y un último aprovechamiento del 10%. En este último pastoreo, el sorgo puede contener entre un 23 y un 25% de MS, 9,7% de PB y 2.0 Mcal de EM. Es fundamental tener en cuenta la posible toxicidad que pueden presentar algunas variedades de sorgo al realizar el primer pastoreo, por lo que se deben tomar las precauciones necesarias.

Soja

Para un adecuado manejo del pastoreo de soja, se recomienda iniciar cuando las plantas alcanzan una altura de 40-50 cm, procurando que el ganado consuma principalmente las hojas para preservar los tallos, donde se ubican las yemas responsables del rebrote. Por el mismo motivo, es importante evitar la desmalezadora tras el pastoreo. Este manejo permite realizar de 3 a 4 pastoreos durante su período de utilización, que se extiende desde mediados de diciembre hasta febrero. La soja mantiene niveles de proteína entre el 16 y el 22% durante todo el período de aprovechamiento, con una buena digestibilidad in vitro del orden del 70-75% y una energía metabolizable (EM) de aproximadamente 2,5 Mcal.kgMS^{-1}.

Ensayos comparativos en Chascomús (Cicchino y Otondo, 2019) mostraron que, si bien el sorgo produjo más forraje (especialmente a partir del segundo pastoreo, duplicando a la soja), la ganancia de peso animal fue superior con soja a partir del segundo pastoreo (0,850 kg.cab^{-1}.día^{-1} contra 0,720 kg.cab^{-1}.día^{-1} del sorgo). Esto se debe a que el sorgo al pasar el estado reproductivo disminuye su calidad con los sucesivos pastoreos, mientras que la soja mantiene su estructura vegetativa y calidad proteica.

Consideraciones finales

En los sistemas pastoriles de la región pampeana, los verdeos de invierno y verano para pastoreo representan recursos estratégicos valiosos. Su inclusión en la planificación forrajera del sistema ganadero debe ser una decisión que considere su elevado costo y corto período de utilización, pero como un valioso aporte de forraje en momentos críticos. Se debe seleccionar cuidadosamente las especies y variedades adecuadas en función de las condiciones edafoclimáticas locales y los requerimientos nutricionales de los animales. Para alcanzar los objetivos de producción de manera sostenible, resulta imprescindible además asegurar una correcta implantación, tener en cuenta la presencia de enfermedades y plagas y una utilización eficiente de estos recursos forrajeros.

Referencias

Bolletta, A. (2005). Pastos de verano: entre la moha y el mijo. *Desafío 21*, *11*(26). http://www.produccion-animal.com.ar

Cicchino, M. y Otondo, J. (2019). *Utilización de verdeos de verano para pastoreo o reservas forrajeras en la Cuenca del Salado*. Editorial INTA. AER Chascomús EEA Cuenca del Salado Centro Regional Buenos Aires Sur. Material didáctico.

Gallarino, H. E. (2008). Manejo de sorgos forrajeros, su aprovechamiento. *Marca Líquida Agropecuaria*, *18*(180), 52-54.

Quiroga, A., Fernández, R. y Saks, M. (2007). *Verdeos de invierno: requerimientos de agua y nutrientes y experiencias de fertilización en la región semiárida pampeana*. E.E.A. INTA Anguil, Anguil, La Pampa, Argentina.

Spara, A. F. y Vernengo, E. A. (2023). *Especies invernales utilizadas como verdeos de invierno: generalidades y datos de producción para la zona de influencia de la UNLu* (1a ed.). EdUNLu. [Archivo Digital: descarga y online] ISBN 978-631-6582-01-0.

Tomaso, J. C. (2009). Cereales forrajeros de invierno: producción de materia seca, manejo del cultivo, cadenas de verdeos. *Producir XXI*, *17*(208), 37-46.

CAPÍTULO 3
Implantación de recursos forrajeros

Gastón H. Jalil, Adrián Rodríguez Guiñazú y Luciano N. Lamarche

Introducción

La correcta implantación de los recursos forrajeros es fundamental para alcanzar los objetivos planteados en la planificación de los sistemas ganaderos pastoriles. Una implantación exitosa asegura un adecuado stand de plantas con un buen ritmo de crecimiento inicial, lo que facilita una rápida cobertura del suelo, la competencia con malezas y el uso eficiente de los recursos disponibles (agua, luz y nutrientes).

La implantación consiste en el conjunto de operaciones destinadas a ubicar las semillas en condiciones óptimas para su germinación y emergencia. Esto exige el conocimiento y la coordinación de tecnologías de proceso (rotación, elección de especies y cultivares, antecesores) e insumos (maquinaria, semilla, fertilizantes, herbicidas).

El objetivo de este capítulo es sistematizar el conjunto de operaciones y los conocimientos necesarios para una implantación exitosa de los recursos forrajeros.

Implantación de pasturas perennes

La correcta implantación de pasturas perennes requiere una programación ordenada de las tareas que se pueden agrupar en tres etapas: antes, durante y después del momento de la siembra. A continuación, se detallan las consideraciones que hay que tener en cada una:

1. Antes de la implantación:

- Secuencia de cultivos y cultivo antecesor
- Época de siembra
- Análisis de suelos
- Elección de especies y variedades
- Presupuesto y compra de insumos
- Análisis de semillas
- Cálculo de la densidad de siembra
- Programación de uso de maquinaria

- Preparación de la cama de siembra
- Métodos de siembra

2. Durante la implantación:

- Tratamiento de semillas
- Fertilización
- Calibración de la sembradora

3. Después de la implantación:

- Control de malezas
- Control de plagas y enfermedades
- Eficiencia de implantación
- Fertilización

Antes de la implantación

Secuencia de cultivos

En la planificación forrajera de los sistemas ganaderos pastoriles una de las primeras acciones es determinar la secuencia de cultivos. La elección de los cultivos que la integran se realiza en función de los requerimientos de los animales y de la fecha de ocupación (siembra) y desocupación del lote por parte de los cultivos de cosecha, pastoreo o corte.

Cultivo antecesor

El cultivo antecesor de cada uno de los componentes en la secuencia de cultivos definirá: la duración del barbecho, la época de siembra, la cobertura en superficie, dotación de agua y nutrientes y la preparación de la cama de siembra. El cultivo antecesor ideal debe ser aquel que una vez finalizado, permita acumular agua y nutrientes en el perfil del suelo al momento de la siembra, deje un rastrojo poco voluminoso, facilite el control de insectos del suelo y malezas, ya sea en forma mecánica o química, para que la pastura tenga el menor daño o competencia posible en el momento de su implantación.

Existen diversas posibilidades de cultivos antecesores, pero los más comunes se pueden agrupar de la siguiente manera:

Verdeos de invierno: centeno, avena, raigrás: dejan un volumen reducido de rastrojo de fácil descomposición, pero tienen como desventaja que desocupan el lote excesivamente temprano (agosto a septiembre) por lo cual, no se los considera aptos como antecesores.

Cosecha fina: los rastrojos de avena, cebada, trigo y centeno se descomponen sin problemas en un lapso de 40 a 60 días, siempre que la temperatura y la humedad sean adecuadas. Sin embargo, estos cultivos pueden generar grandes volúmenes de rastrojo si los rendimientos son altos, lo que dificulta el contacto óptimo entre el suelo y la semilla cuando la siembra se realiza en directa. Esto puede solucionarse con un rolo picador de rastrojos o enrollando el residuo de cosecha. En zonas mixtas, suelen ser los antecesores más comunes debido a la facilidad para llegar a la cosecha con lotes libres de malezas y porque permiten realizar un barbecho adecuado.

Un caso especial es el lino que si bien desocupa el lote en un momento adecuado (fines de diciembre), deja un rastrojo abundante y difícil de descomponer, por lo que puede ser necesario la quema o enrollado de rastrojo antes de llevar a cabo las distintas labores para la implantación. **Cosecha gruesa**: maíz, sorgo y soja: no se recomiendan ya que desocupan tarde el lote. En el caso de maíz y sorgo dejan además abundante rastrojo de difícil descomposición.

Girasol: si bien desocupa el lote antes que los anteriores cultivos de verano, deja poco tiempo para realizar un barbecho adecuado, sobre todo para acumular humedad en zonas con escasas precipitaciones. En caso de utilizarlo deberá ser un cultivar de ciclo corto, con un buen control de malezas y se debe conocer los herbicidas utilizados ya que algunos presentan residualidad.
Verdeos de verano:

Moha: es buen antecesor si se utiliza para henificación porque deja escaso volumen de rastrojo y no hay compactación superficial por pisoteo. Sembrado en fecha (noviembre) libera el lote a mediados/fines de enero, permitiendo 30 días o más de barbecho. Como desventaja presenta pocas opciones para el control de malezas ya que no se pueden utilizar herbicidas residuales, ni controlar gramíneas en post emergencia.

Maíz para silaje (grano pastoso): sembrado temprano, entre finales de septiembre y principios de octubre, permite entregar el lote a fines de enero. Si el picado se realiza a baja altura, las cañas no representan un problema para la siembra; caso contrario puede ser necesario el uso de un rolo picador de rastrojo. Actualmente el maíz permite utilizar diversos principios activos en pre y post emergencia para el control de malezas.

Maíz para pastoreo: se trata de una posibilidad siempre que el maíz se haya sembrado en fecha temprana y se lo consuma previo a la floración (diciembre, enero). En caso de ser granado (lechoso o pastoso) desocupa en enero-febrero, dejando menor tiempo para acumular humedad. Al igual que los maíces destinados a silaje, permite un adecuado control de malezas. Según cantidad y altura de las cañas remanentes, puede ser necesario la utilización de rolo picador de rastrojo.

Sorgo forrajero: no se recomienda debido a su desocupación tardía del lote (marzo/abril), la dificultad en la descomposición de sus tallos y el control deficiente de malezas.

Soja para pastoreo: permite controlar malezas, deja poco volumen de rastrojo de difícil descomposición (sin afectar la siembra), el lote se libera a principios de marzo.

Pastizal: cuando el productor determine la necesidad de implantar una pastura deberá considerar que está alterando el funcionamiento de un recurso forrajero natural adaptado a un ambiente ecológico (suelo, clima). La implantación de una pastura debe ser lo suficientemente segura y justificada en términos de estabilidad, cantidad y calidad.

Por condiciones de fertilidad podría considerarse como excelente antecesor, pero contiene una gran cantidad de semillas de malezas preparadas para germinar en cuanto se presenten las condiciones, así como insectos de suelo que pueden atacar las semillas o las raíces de la pastura implantada. En caso de que el lote presente estas características convendrá hacer un barbecho muy largo, de no menos de 5 meses, realizar las primeras labores aproximadamente en septiembre y con controles periódicos de las malezas.

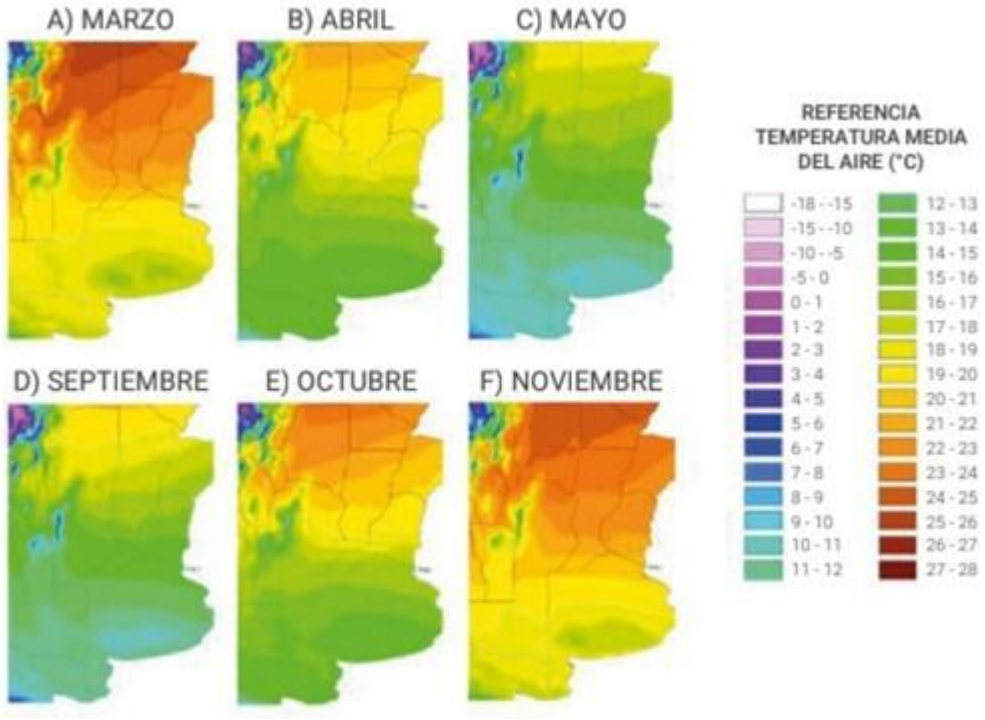
Otros cultivos: pueden existir otros cultivos no tradicionales que se deseen utilizar como antecesores de una pastura. En ese caso se deberá considerar correctamente el momento de desocupación, malezas a controlar y material a descomponer para considerarlos buenos, regulares o malos antecesores.

Época de siembra

En la región pampeana, la siembra de pasturas y verdeos de invierno se realiza durante el mes de marzo. En esta época, la temperatura del suelo a los 2 cm de profundidad es relativamente alta, lo que posibilita que, si el nivel de humedad del suelo es adecuado, se logre el necesario desarrollo radical y en el caso de las pasturas perennes, que pueda sobrellevar durante el primer verano del cultivo probables condiciones estrés hídrico y temperaturas elevadas. Sin embargo, hay que evitar el calor excesivo, porque puede secar la capa superficial del suelo y dañar las plántulas que aún no desarrollaron sus raíces. Por ello, es importante asegurar una buena cama de siembra con adecuada humedad y buscar una ventana de temperaturas moderadas para lograr un rápido arraigo antes de las heladas.

Figura 3. 1

Temperaturas mensuales en la región central de la República Argentina durante los meses de siembras otoñales de alfalfa: A) marzo, B) abril, y C) mayo; y durante los meses de siembras primaverales: D) septiembre, E) octubre y F) noviembre.



Nota. Adaptado de Bianchi y Cravero (2010). INTA Ediciones 2022. Investigación, producción e industrialización de la alfalfa en Argentina. Capítulo 5 pág.151.

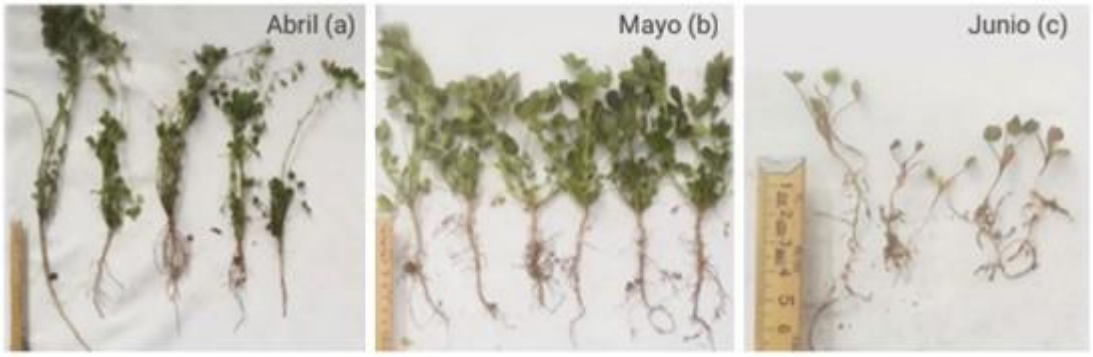
Las siembras durante la primavera presentan ciertos aspectos desfavorables. Por un lado, durante el mes de septiembre la mayor parte de los suelos de la región Pampeana se encuentran por debajo de las temperaturas óptimas y solo a medida que la estación avanza se van alcanzando los valores óptimos. Por otro lado, a medida que el verano se aproxima existen

mayores probabilidades de que se produzcan deficiencias hídricas por mayor demanda de evapotranspiración y variabilidad en las precipitaciones, lo que haría exponer las plántulas a un estrés hídrico durante el establecimiento. Sumado a ello, la presión que ejerce la competencia de las malezas aumenta considerablemente en la primavera y dificulta aún más un adecuado establecimiento del cultivo.

En un ensayo conducido en INTA Manfredi, durante 2019 se sembró una pastura de alfalfa sin reposo invernal y en condición de secano. Las siembras se realizaron en los meses abril (a), mayo (b) y junio (c) y los muestreos de plántulas en el mes de julio, es decir, a los 90, 60 y 30 días desde la siembra. El largo promedio de las raíces fue de 15-20 cm (a), 10 cm (b) y 3-5 cm (c); y mostraron que las siembras realizadas durante los meses de mayo y junio implicaron respectivamente reducciones del 30 % y 70 % en la producción de biomasa radical en relación con el obtenido con la siembra de abril.

Figura 3. 2

Desarrollo radical de un cultivo de alfalfa sin reposo invernal y en condición de secano sembradas en los meses *de abril (a), mayo (b) y junio (c).*



Nota. Fuente. INTA Manfredi (2019).

Independientemente de la latitud en que se decida implantar el cultivo, la fecha de siembra óptima será aquella en que las condiciones de humedad, temperatura, radiación y competencia de malezas le permitan establecerse adecuadamente, acumulando la biomasa radical necesaria para lograr el potencial productivo del recurso. .

Análisis de suelo

Las principales determinaciones que se deben realizar son: materia orgánica (MO), nitrógeno total (N total), nitratos (N), fósforo (P), azufre (S), pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na). En función de los resultados del análisis de suelo se pueden corregir las deficiencias en base a los requerimientos de las especies a utilizar. A continuación, se presenta en la Tabla 3.1 los valores de referencia para interpretar los distintos parámetros de análisis.

Tabla 3. 1

***P**arámetros químicos, unidades y niveles de referencia para interpretar el análisis de suelo.*

Parámetro Químico	Unidad	Muy Bajo	Bajo	Adecuado	Alto
M.O. (Walker & Black micro)	%	<2,0	2,0 - 2,5	2,6 - 3,2	3,3 - 4,0
Nitrógeno total (Nt)	%	< a 0,11	0,11 - 0,13	0,14 - 0,15	0,16 - 0,18
N-Nitratos (Harper mod.)	ppm	< a 10	10 - 15	16 - 20	21 - 30
Fósforo (Bray y Kurtz 1)	ppm	< a 10	10 - 17	18 - 30	31 - 50
S-Sulfatos (Turb.)	ppm	< a 6	6 - 10	10 - 15	16 - 20
pH actual (1:2,5)		< a 5,5	5,5 - 6,5	6,6 - 7,2	7,3 - 8,5
Conductividad eléctrica	mmhos/cm	< a 1	< a 2	< a 4	< a 8
C.I.C. o valor T	meq/100g	< a 8	8 - 12	13 - 20	21 - 30
Calcio	% valor C.I.C.	< a 50	50 - 60	61 - 75	76 - 80
Magnesio	% valor C.I.C.	< a 5	6 - 8	9 - 10	11 - 13
Potasio	% valor C.I.C.	< a 1	1 - 2	3 - 5	5 - 8
Sodio	% valor C.I.C.	< a 1	1 - 5	6 - 10	> a 15

Nota. Fuente: Gambaudo y Fontanetto (2019).

Elección de especies y variedades

Las pautas para la correcta elección de especies, están estrechamente relacionadas con las condiciones de suelo y clima del lote a implantar. Una vez elegidas las especies que se adaptan a las condiciones edafo-climáticas se debe analizar cuáles de ellas permiten cubrir los requerimientos de los animales, objetivos del sistema de producción y, en el caso de realizar siembras de pasturas con dos o más especies, se debe evaluar la compatibilidad entre las distintas especies (ver pautas para la elección de especies en capítulo 3 del libro Recursos y planificación forrajera).

Variedades o cultivares: las variables a tener en cuenta en la elección de cultivares de especies forrajeras son: la productividad, ya sea en términos de producción total y/o distribución estacional, la persistencia, la calidad del forraje y la resistencia a factores bióticos y abióticos.

En Argentina, el INTA ha sido la principal fuente de cultivares forrajeros nacionales. Si bien la evolución del mercado de variedades forrajeras fue afectada por la disminución de la demanda de semillas debido a los procesos de expansión agrícola, en la actualidad la introducción de variedades desarrolladas en el exterior se incrementó notablemente. Las tendencias a futuro contemplan el aumento de la actividad de mejoramiento genético nacional, una mayor proporción de variedades protegidas a nivel del mercado y una mejora de la producción de semillas.

Presupuesto y compra de insumos

En el presupuesto de la implantación de los recursos forrajeros se debe considerar según el sistema utilizado, los insumos (herbicidas, aditivos, semillas, fertilizantes) y las labores (pulverización, pasaje de implementos y siembra). En la tabla 3.2 se muestra, a modo de ejemplo, un presupuesto de costos para implantar una pastura perenne con siembra directa.

Tabla 3. 2

Ejemplo de presupuesto (en U$S) para implantar una pastura base Trébol rojo en el año 2025.

	Lote:							
	Praderas a implantar 2025	**Base Tr. Rojo**	**Hectareas totales**		**1**	Produccion de mat seca / ha	22500	
		UNID/HA	**u$s/UNID**	**u$s/HA**	**u$s TOTALES**	**unidades totales**		
Barbecho	Glifosato	3	5,6	16,8	16,8	**3**		
	2,4 D ester	0,4	6,7	2,7	2,7	**0,4**		
	Corrector de agua	0,03	42,4	1,3	1,3	**0,03**		
	Adherente	0,075	48,4	3,6	3,6	**0,1**		
	Labor de pulverización	1	10,0	10,0	10,0	**1**		
Preemergente	Flumetsulam	0,45	35,1	15,8	15,8	**0,5**		
	Glifosato	1,5	5,6	8,4	8,4	**2**		
	Corrector de agua	0,03	42,4	1,3	1,3	**0,03**		
	Labor de pulverización	1	10,0	10,0	10,0	**1**		
Siembra	Labor de siembra	1	45,0	45,0	45,0	**1**		
	SEMILLA de Cebadilla	4	2,3	9,2	9,2	**4**		
	SEMILLA de Trébol rojo QQ	6	6,4	38,4	38,4	**6**		
	SEMILLA de Trébol blanco	1	8,1	8,1	8,1	**1**		
	SEMILLA de Festuca	15	7,3	109,5	109,5	**15**		
	SEMILLA de Lotus corniculatus	4	9,1	36,4	36,4	**4**		
	Fertilizante Fosfato Diamónico	100	0,9	90,0	90,0	**100**		
							u$s/ Ha	u$s/Kgs MS
	TOTAL				**406,4**		**406**	**0,018**

Análisis de las semillas

La calidad de la semilla es un concepto basado en las siguientes características:

a. Ser de la especie y cultivar que se necesite.
b. No contener impurezas (malezas u otras especies cultivadas).
c. Poseer un buen valor cultural.

Estas condiciones las cumplen normalmente las semillas certificadas, no obstante, siempre debe realizarse un análisis de pureza y poder germinativo, considerando que el valor de un análisis no influye significativamente en el costo de implantación de la pastura. Asimismo, si la semilla se compra con anticipación a la siembra, se la debe guardar en un lugar seco y fresco.

La calidad de las semillas forrajeras es un factor crucial para el éxito de la implantación y la productividad de las pasturas. Una semilla de alta calidad asegura un buen establecimiento, plantas vigorosas y un rendimiento óptimo del forraje. La calidad de las semillas forrajeras se evalúa mediante varios parámetros:

1. Análisis de pureza. La pureza se refiere al porcentaje en peso de la semilla de la especie deseada en relación con el peso total de la muestra. Un alto porcentaje de pureza asegura que se está sembrando la especie correcta y minimiza la presencia de semillas de malezas, otras especies no deseadas y material inerte (tierra, restos vegetales, etc.). La pureza se expresa en porcentaje (%).

2. Pruebas de Germinación**.** Se considera como semilla germinada cuando desarrolla una plántula normal bajo condiciones ambientales óptimas. Se mide como el porcentaje de semillas puras que germinan en un tiempo determinado y bajo condiciones controladas en un laboratorio. Un alto porcentaje de germinación indica un mayor potencial de establecimiento de la pastura. La germinación se expresa en porcentaje (%). El vigor de la plántula se refiere a la capacidad de la semilla para germinar rápidamente y producir plántulas fuertes y saludables, incluso en condiciones subóptimas. No se mide con una unidad estándar, sino que se evalúa a través de diversas pruebas que miden características como la velocidad de germinación, la uniformidad de emergencia, el crecimiento de la plántula (longitud y peso), y la respuesta a pruebas de estrés (ej. envejecimiento acelerado, frío). Un alto vigor se traduce en una emergencia más rápida y uniforme en el campo, lo que confiere a las plántulas una ventaja competitiva contra las malezas y les permite establecerse más rápidamente.

3. Análisis sanitario. La sanidad se refiere a la ausencia de patógenos (hongos, bacterias, virus) y plagas (insectos, nematodos) en la semilla. Las semillas infectadas o infestadas pueden comprometer el establecimiento de la pastura y diseminar enfermedades o plagas al campo. La sanidad se evalúa mediante inspección visual y pruebas de laboratorio específicas.

4. Peso de mil semillas (PMS): es el peso en gramos de 1.000 semillas puras de una determinada especie o cultivar. Este parámetro es útil para calcular la densidad de siembra adecuada para alcanzar la población de plantas deseada por unidad de superficie.

Utilizar semillas forrajeras de alta calidad es fundamental porque asegura una mayor probabilidad de éxito en la siembra y un establecimiento uniforme de la pastura. Promueve un crecimiento inicial vigoroso de las plántulas, haciéndolas más competitivas y contribuye a una mayor producción y calidad del forraje. Asimismo, reduce el riesgo de introducción de malezas, plagas y enfermedades al potrero y optimiza la inversión en la siembra al asegurar una mejor utilización de las semillas.

Cálculo de la densidad de siembra

Para calcular la densidad de siembra (kg/ha) se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad (kg/ha)} = \frac{\text{(Plantas objetivo/m}^2 * \text{Peso de mil semillas (g)} * 100)}{\text{(Pureza (\%)} * \text{Germinación (\%)} * \text{Coeficiente de logro (\%))}}$$

Donde:

- Plantas objetivo/m²: Es el número deseado de plantas establecidas por metro cuadrado. Este valor varía según la especie y el objetivo de la pastura.
- Peso de mil semillas (PMS): Es el peso en gramos de 1.000 semillas puras.
- Pureza (%): Es el porcentaje de semilla de la especie deseada en la muestra.
- Germinación (%): Es el porcentaje de semillas puras que se espera que germinen.
- Coeficiente de logro (%): Es el porcentaje estimado de semillas viables que se establecerán como plántulas.

La relación entre los kg/ha de semillas sembradas y la cantidad de plantas logradas no siempre es la misma. Los aspectos que la modifican son las características propias de las semillas, es decir, el poder germinativo, la pureza y el peso de mil semillas. Si bien se

recomienda, la utilización de semilla peleteada o pildorada (que incluya inoculante, fungicida e insecticida), es importante considerar que el peleteado incrementa el peso de mil semillas entre un 30 a un 40%, con resultados variables conforme a cómo se haya hecho el proceso. En consecuencia, se hace necesario tener en cuenta este hecho para calcular la correcta densidad para sembrar (Odorizzi et al., 2017b).

Programación de uso de maquinaria

Se refiere al proceso de planificación y organización de cómo, cuándo y dónde se utilizará la maquinaria disponible. En esta etapa hay que hacer un relevamiento de la maquinaria disponible en la zona, acorde a las necesidades de siembra y labores inherentes a la implantación de pasturas y verdeos. Contactar con anticipación al contratista que realizará las labores correspondientes a fin de poder realizarlo en tiempo y forma de acuerdo a lo planificado.

Preparación de la cama de siembra

Método convencional

La preparación convencional de la cama de siembra está determinada por una serie de labores sucesivas sobre el suelo con el objetivo de prepararlo convenientemente para recibir las semillas forrajeras. Normalmente las semillas forrajeras son muy pequeñas, lo que exige una esmerada preparación y refinado del suelo. Las labores que se realizan tienden no solo a dejar el suelo fino, firme y en condiciones de recibir la semilla, sino también a aumentar la fertilidad y las posibilidades de retención de agua y eliminación de malezas.

El barbecho es una técnica que se realiza antes de la siembra, y cuyo objetivo es la mineralización de la materia orgánica, acumular agua en el perfil y controlar malezas. La duración del barbecho estará limitada por la época de siembra y la desocupación del lote del cultivo antecesor, es aconsejable que dure entre 45 - 60 días. Estos valores son orientativos y dependen de varios factores como la cantidad de materia orgánica a descomponer, la temperatura (cuanto más elevada sea, más rápida será la descomposición del material), la fertilidad del lote y la humedad. Cuando la humedad es óptima, el proceso de descomposición del material es más rápido; mientras que un exceso o un déficit hídrico, retrasan el proceso de descomposición.

El hecho de remover el suelo y entremezclarlo con la materia orgánica, favorece la aireación y por lo tanto la mineralización del nitrógeno orgánico. En una primera etapa, la incorporación de materia orgánica produce una disminución importante del nitrógeno disponible en el suelo, debido a que las bacterias nitritadoras lo utilizan. Una vez realizada la transformación de la materia orgánica en inorgánica, el valor del nitrógeno disponible se elevará por encima del nivel original. Este proceso se acelera bajo condiciones óptimas de temperatura (25 °C a 32 °C), alta humedad y abundante aireación en el perfil del suelo. Por lo tanto, la descomposición y la consecuente mineralización del nitrógeno son más rápidas en suelos sueltos o arenosos que en los pesados o arcillosos. Asimismo, los barbechos de invierno resultan desfavorables para este ciclo biológico.

La remoción del suelo aumentará el espacio entre los componentes del mismo y esos espacios serán ocupados por aire y agua en los momentos de lluvia. Esta acumulación de humedad será la que estará disponible para la semilla y la plántula en sus primeros estadios. Una buena acumulación de agua en el perfil permite en cierta medida asegurar un buen crecimiento inicial y por lo tanto un óptimo establecimiento de la pastura.

El control de malezas es una de las principales razones del barbecho, pero merece una consideración especial. El barbecho puede realizarse con distinta maquinaria, convencional o de corte vertical, y su función de mineralizar la materia orgánica o acumular humedad será igualmente eficiente. No ocurre de igual manera con la eliminación de malezas; la labranza convencional que entremezcla el pan de tierra, es mucho más efectiva en cuanto a la eliminación de las mismas comparada con la labranza vertical. En algunas ocasiones el control químico puede resultar más eficiente y económico que el mecánico (ejemplo: control de gramilla (*Cynodon dactylon)*), pero ello dependerá fundamentalmente del tipo de maleza que esté presente al momento de realizar la preparación de la cama de siembra, teniendo en cuenta que últimamente se está evidenciando malezas tolerantes/resistentes a diferentes principios activos.

En síntesis, un correcto manejo del barbecho es aquel que entregue un suelo con buena acumulación de agua y nutrientes en el perfil y libre de malezas tanto anuales como perennes.

Laboreo del suelo

Para cualquier zona se aconseja hacer las labores con suficiente anticipación para conseguir los objetivos del barbecho, principalmente en la zona subhúmeda o semiárida donde la acumulación de agua en el perfil es de vital importancia para lograr una buena implantación de la pastura. El suelo debe estar firme y libre de malezas. Con la temperatura normal de otoño y buena humedad se logra una rápida implantación.

A continuación, se mencionan posibles secuencias de labores; tener en cuenta que no son recetas y solo son orientativas:

Antecesor cosecha fina: es importante que la cosechadora tenga picador y desparramador de paja para no dejar andana y permitir una distribución homogénea del rastrojo. Las secuencias de labores son diferentes en función del tipo de suelo o zona. En la zona húmeda (norte, centro y sudeste de la provincia de Buenos Aires), luego de la cosecha, se pasa un disco doble acción a profundidad intermedia (diciembre), con la finalidad de entremezclar los residuos del cultivo con la tierra y favorecer así su mineralización. Cuando aparecen las malezas se pasa un disco profundo (enero/febrero) y finalmente un disco poco profundo con rastra de dientes y rolo como antecesor a la siembra. En zona subhúmeda, donde los suelos son de textura más gruesa con peligro de erosión eólica, se debe realizar una combinación de rastras de discos con herbicida total. Posterior a la cosecha se realiza una pasada de rastras de disco a profundidad intermedia con rolo, esto permite el sellado del perfil, para luego mantenerlo limpio con herbicida total hasta el momento de la siembra.

Antecesor maíz o sorgo granífero, ambos para silaje de planta entera: deja un rastrojo bastante fácil de manejar y debe estar libre de malezas. Las secuencias de labores pueden ser: disco doble acción profunda, y luego otro disco doble acción con rastra de dientes y rolo para

luego realizar la siembra (zona húmeda). Cuando los suelos son de textura más gruesa con peligro de erosión eólica, sólo se realizará una única pasada de rastra de disco doble acción y posterior siembra, si fuera necesario se aplicará herbicida total previo a la siembra. La excesiva roturación del suelo, con herramientas como rastra de dientes, rolo o rabasto puede provocar el "planchado" de los mismos ante lluvias más o menos intensas y en otros casos "voladuras" de campos por efectos de vientos fuertes.

Siembra directa

La siembra directa (SD) es un sistema de labranza, que se basa en el control químico de las malezas y la no remoción de suelo, excepto en la franja donde se deposita la semilla. Se ha observado que la densidad aparente del suelo aumenta en SD respecto a los otros sistemas de labranza, con diferencias mayores en las capas más superficiales. Este aumento de la densidad aparente tiene su correlato directo en la disminución de la porosidad total (%) sobre todo en los primeros 10 cm. Es posible que las raíces de los cultivos y la actividad biológica permitan que se desarrollen y mantengan poros y canales verticales que pueden, en algunas situaciones, garantizar una dinámica del agua y un flujo de gases adecuados a pesar de no existir una porosidad total importante.

La cantidad de nitratos a la siembra, en toda la capa arable es siempre mayor en la labranza convencional que en SD. Sin embargo, en esta última la materia orgánica aumenta en los primeros centímetros del suelo, no así en profundidad. No se podría hablar, entonces, de una ganancia neta de materia orgánica en el tiempo debido simplemente a la SD.

Para llevar a cabo una SD se deben respetar cuatro aspectos fundamentales:

Cobertura: es la base del sistema, ya que a partir de ella se genera el ambiente adecuado para el nacimiento e implantación de las especies invernales.

Humedad: está muy ligada a lo anterior ya que la cobertura y las lluvias otoñales permiten la conservación y posterior abastecimiento de agua durante el invierno.

Control de malezas: es necesario un adecuado control químico de malezas previo y posterior a la siembra.

Fertilización: es importante para el desarrollo inicial de las especies debido a la falta de nitrificación del suelo al no haber remoción del mismo con labranza y debería utilizarse la dosis de N y P adecuada al resultado del análisis de suelo.

La siembra directa permite:

- Controlar las malezas perennes (gramilla, cebollín, sorgo de alepo) en el momento óptimo, ya que la implantación de especies forrajeras coincide en su mayoría con la época del año en que estas especies son más sensibles al tratamiento.
- En suelos con capacidad de uso III y IV pueden ser incorporados a la producción, incrementando la superficie útil del sistema.
- Posibilidad de sembrar más temprano a fines de verano, debido a la menor temperatura del suelo y al uso más eficiente del agua.
- Mejor arraigo de las plantas permitiendo la utilización de pasturas implantadas más tempranas. A su vez, mejoran las condiciones de piso en el primer pastoreo.

Hay que tener en cuenta que la falta de remoción del suelo, si se mantiene en superficie una cobertura de rastrojos, incrementa la supervivencia de insectos del suelo, malezas y estructuras de resistencia de hongos. Además, ante cualquier atraso en la fecha de siembra, la menor temperatura del suelo puede generar reducción en la eficiencia de implantación

La cobertura del suelo con algún tipo de rastrojo mejora la infiltración y retención de agua, evitando la ocurrencia de procesos erosivos de gran magnitud. A pesar del importante beneficio que representa el suelo cubierto, las características del rastrojo pueden limitar la emergencia y desarrollo de plántulas, en especial de aquellas provenientes de semillas de pequeño tamaño. Esto, que puede resultar un beneficio en cultivos de cosecha por disminuir la presencia de ciertas malezas, se transforma en un problema para el logro de un stand adecuado de especies forrajeras. Por lo tanto, hay que prestar principal atención en la uniformidad, cantidad y disposición del residuo.

Los planteos de SD continua son más exitosos cuando se inician en lotes con pocos años de agricultura tras un período de pastura porque el suelo posee una condición física favorable. Por el contrario, las probabilidades de éxito disminuyen en suelos que muestran una marcada degradación física y química debido al uso agrícola prolongado. En este caso, se debe examinar el perfil del suelo y al detectar signos marcados de compactación (por ejemplo, pisos de arado), proceder a la fragmentación de las zonas densificadas, previo al inicio del ciclo en SD. Además, se debe planificar la rotación incluyendo cultivos que produzcan una importante cantidad de rastrojos, factor fundamental para que la SD manifieste sus ventajas con respecto a la conservación del suelo y del agua. En el mediano plazo, el alto aporte de rastrojo tendrá también un efecto favorable sobre el balance de la materia orgánica del suelo.

Las labores a realizar en la etapa de barbecho consisten en la aplicación de herbicidas con el fin de controlar las diferentes malezas presentes, y de esta manera implantar el cultivo libre de malezas.

Siembra directa de pasturas

Las pasturas deben sembrarse después de una secuencia mínima de cultivos anuales. Según el sistema de producción y zona pueden variar, algunos ejemplos son avena/moha, avena/maíz o sorgo granífero para silaje, trigo/girasol, soja/trigo o avena/soja de pastoreo. Ello permite llegar a la siembra de la pastura con una mejor situación en varios aspectos: suelos más uniformes, mejor control de malezas y abastecimiento de nutrientes más equilibrados debido a las fertilizaciones previas y a la descomposición de los distintos rastrojos.

Siembra directa en suelos alcalinos

En los últimos años se realizaron una serie de experiencias de SD de agropiro (*Thinopyron ponticum*) en varios potreros de la Depresión del Salado y la Depresión de Laprida. Estas experiencias se realizan en suelos bajos y alcalinos (Natracualf típico) con presencia de sodio y/o sal en superficie (clase VI y VII) donde el agua permanece unos pocos días. En estas condiciones, los mejores resultados se alcanzan con la implementación de un barbecho químico, realizando aplicaciones con herbicida total sistémico, distanciado entre 40 a 60 días. En líneas

generales, la primera aplicación, en la Depresión del Salado, se debería realizar durante el mes de enero con buenas condiciones de humedad en el suelo, mientras que para la zona de Laprida podría adelantarse unos quince días. Estas aplicaciones responden a los siguientes objetivos: mejor control de malezas, tanto gramilla como *Distichlis spp.* (pelo de chancho), ya que ambas presentan estrategias similares de control. También se busca la descomposición aérea y radical del tapiz existente, lo que permite una liberación de nutrientes, acumulación de humedad y lograr así una mejor condición física para la implantación.

Métodos de siembra

Los métodos de siembra son al voleo y en líneas; este último es más eficiente incluso si ambos se ejecutan en condiciones óptimas. La siembra al voleo consiste en esparcir la semilla sobre la superficie del suelo de la manera más uniforme posible, para luego cubrirla mediante el uso de rastras de dientes, ramas, cadenas o alambres. Aunque con este método es poco probable que el cultivo fracase por un enterrado demasiado profundo, existe el riesgo de que el material quede expuesto, lo que impide su germinación ante la falta de humedad o favorece la depredación por aves.

Siembra en líneas

La siembra en líneas consiste en la colocación de la semilla en un surco y su posterior tapado por un órgano especial. Se deben extremar las precauciones con respecto a la profundidad de siembra; una profundidad excesiva puede resultar en una menor emergencia de plántulas.

Las máquinas usadas son las sembradoras de grano fino, las cuales pueden traer o no adosadas cajón de siembra para leguminosas (cajón alfalfero), lo que permite hacer una dosificación mucho más exacta de la siembra. En algunos casos se puede agregar un segundo cajón especialmente adaptado para la siembra de gramíneas forrajeras. Si la máquina posee cajón alfalfero, en él se colocarán las semillas de leguminosas y el falaris. Si tiene cajón para gramíneas, en el mismo se colocarán las semillas de las gramíneas forrajeras que correspondan.

La semilla al salir por los dosificadores, es transportada hasta el surco por mangueras o tubos telescópicos. El órgano surcador puede ser variable: disco con zapata, o doble disco y será el encargado de abrir el surco para depositar en él la semilla; posteriormente este surco será tapado por distintos métodos: eslabones, cadenas, azadones, etc. La mejor siembra se logrará si sobre la semilla en el fondo del surco, antes de su tapado, pasa una rueda compactadora que la ponga en íntimo contacto con el suelo y luego se tapa con tierra suelta.

La correcta profundidad de siembra en las sembradoras que poseen como órgano surcador discos, puede hacerse colocando un suncho alrededor de cada disco. Estos discos sunchados impedirán que el disco se entierre más allá de lo que los mismos lo permiten.

Las sembradoras diseñadas especialmente para la siembra de pasturas tienen como ventaja una exacta regulación de la profundidad de siembra y muy buena dosificación de la semilla. Si el productor tiene grandes superficies a sembrar con pasturas, la economía en semillas puede ser muy importante y seguramente justifique el hecho de adquirir una sembradora de alta precisión.

Durante la implantación

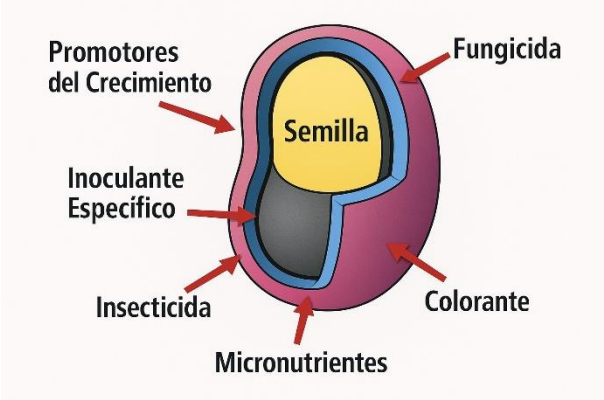
Durante el proceso de implantación, es fundamental considerar una serie de factores que, si se abordan adecuadamente, pueden incrementar significativamente el número de plantas establecidas, mejorando así la eficiencia de implantación del cultivo. En esta sección se abordarán los siguientes aspectos clave: tratamiento de semillas, fertilización y calibración de la sembradora.

Tratamiento de semillas

Las semillas de las especies forrajeras son sometidas a diferentes tratamientos como: incorporación de fungicidas e insecticidas, distintos tipos de nutrientes y materiales de recubrimiento (Figura 3.3). En la actualidad estos tratamientos se desarrollan básicamente en etapas pre comerciales por parte de empresas especializadas que prestan servicios a las semilleras.

Figura 3. 3

Esquema de semilla y distintos tratamientos.



Nota. Fuente: Mayans Pasarello et al., (2023).

Inoculación

Las leguminosas, a través de la simbiosis con los *rizobios* específicos, tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. Si la inoculación es eficiente, estos microorganismos pueden fijar valores de 100 kg/ha/año o incluso más. Este proceso es importante para mejorar la fertilidad del suelo y reducir la necesidad de fertilizantes nitrogenados. Actualmente, el mercado ofrece inoculantes desarrollados específicamente para gramíneas forrajeras, elaborados a partir de cultivos de *Pseudomonas sp., Azospirillum sp.,* micorrizas, entre otros microorganismos. Estos productos actúan a través de diversos mecanismos que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Existen distintas presentaciones de inoculantes, aunque la más comúnmente utilizada es la formulada a base de turba. Independientemente del tipo de formulación, es posible aplicar el inoculante mediante diversos métodos de inoculación.

- Método seco: en un mezclador o sobre un suelo limpio se mezcla la dosis de inoculante con la semilla. Es poco eficaz ya que se logra poca adherencia del inoculante con la semilla.
- Slurry: se humedece ligeramente la semilla y se agrega el inoculante, mezclando todo. Muy usado y bastante eficaz.
- Método húmedo: se disuelve el inoculante con leche o agua agregando luego la semilla y mezclando, muy usado y eficaz.
- Preinoculado: se mezcla el inoculante con goma arábiga o solución comercial adherente y luego se le agrega la semilla mezclando bien.

El proceso de inoculación debe realizarse pocas horas antes de la siembra, evitando la exposición directa a la luz solar, ya que los *rizobios.* son sensibles a la radiación y pueden perder viabilidad.

Peleteado

El peleteado consiste en recubrir la semilla con un inoculante específico, así como fungicidas, insecticidas, una fina capa de polvo y una sustancia aglutinante que mantiene unida la mezcla y le proporciona consistencia, formando un pellet. Los materiales empleados para este revestimiento pueden incluir carbonato de calcio, superfosfato, hiperfosfato, entre otros. Este tratamiento tiene como principales objetivos proteger los rizobios, favorecer la uniformidad de siembra y aumentar la eficiencia de implantación.

En el caso de semillas peleteadas e inoculadas, la viabilidad de los rizobios puede mantenerse durante varios días. No obstante, este tipo de tratamiento no debe realizarse con más de 90 días de anticipación a la siembra, para asegurar un alto número de bacterias viables. Esto será posible siempre que se hayan mantenido adecuadas condiciones de almacenamiento: un lugar fresco, seco y protegido de la luz solar directa.

Además, el uso de fungicidas brinda protección a la plántula contra enfermedades provocadas por hongos del suelo, mientras que los insecticidas otorgan protección temporal contra insectos del suelo, pulgones y trips, plagas que pueden ocasionar daños severos en las etapas de emergencia e implantación del cultivo (Aragón & Inwinkelried, 2007).

Como se mencionó anteriormente, un aspecto a considerar es que el peleteado influye directamente en la definición de la densidad de siembra, ya que incrementa el peso de mil semillas, este aumento puede oscilar entre 30% y 50% dependiendo el tipo y proporción del recubrimiento. Por ello, es fundamental ajustar la densidad de siembra en función del porcentaje de peleteado de la semilla adquirida.

Fertilización

En la actualidad, un alto porcentaje de las pasturas y verdeos implantados reciben fertilización, con los siguientes objetivos principales:

- Mejorar la implantación.

- Aumentar la producción de materia seca por unidad de superficie y tiempo, mediante mayores tasas de crecimiento.
- Mejorar la eficiencia en el uso del agua y la radiación.
- Favorecer una mayor persistencia.

Las especies forrajeras presentan diferentes requerimientos de macro y micronutrientes que deben ser cubiertos para la expresión de todo el potencial productivo (Tabla 3.3).

Tabla 3. 3

Requerimiento de macro y micronutrientes de distintas especies forrajeras expresado como kg/ton MS macronutrientes y g/ton MS micronutrientes.

Especie	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre
	Kg/ton MS					
Alfalfa	25-30	2,2-3,3	18-25	11-12,5	2-3,7	2,5-5
Trébol Rojo	22	2,7-3,2	27			5-6
Trébol Blanco	35	3,4	19			
Pasto Ovillo	25	3,6	23-25			
Festuca	19	3,5-4	24-28	4,6	2	2
Raigrás	20-35	2,4-3,7	24-28	5-6	2	2-3
Sorgo forrajero	8	3,1	11,7		1,2	
Gramilla	8,6	2	9,6		0,6	1
Especie	Boro	Cobre	Hierro	Manganeso	Molibdeno	Zinc
	g/ton MS					
Alfalfa	25-30	7	30-50	25	0,1-1	15
Trébol Rojo	21-45	10-12			0,45	
Festuca		14		62	0,7	26
Gramíneas	10-50	5-12			0,2-0,7	

Nota. Fuente: García et al., (2002)

La planificación de la fertilización debe basarse en información proveniente de un análisis de suelo. Esto permite ajustar tanto el tipo como la dosis de fertilizante de manera precisa.

Elección del fertilizante

La elección del fertilizante debe considerar algunos factores fundamentales:

Condiciones del suelo:

- Deficiencia principal: identificar qué nutrientes son limitantes.
- pH del suelo: especialmente relevante para la aplicación de fósforo (P), ya que determina el tipo de fertilizante (soluble o poco soluble) a utilizar, en función de la velocidad de reacción y la fijación del P en el suelo. El pH también influye en el comportamiento de fertilizantes nitrogenados y potásicos.
- Capacidad de fijación del suelo: clave al aplicar fertilizantes fosforados y potásicos, ya que puede limitar la disponibilidad de los nutrientes para la planta.

Requerimientos del cultivo:

- Según su ciclo (anual o perenne).
- Por su composición: gramíneas, leguminosas o mezclas, lo cual influye en la respuesta a la fertilización.
- En función del destino del cultivo: pastoreo, henificación o producción de semilla. Esto define la prioridad de los nutrientes.

Fitotoxicidad

El efecto salino es una característica que debe ser tenida en cuenta cuando el fertilizante es aplicado a la siembra en contacto con la semilla, ya que pueden provocar aumentos importantes de la presión osmótica en la zona cercana a la semilla determinando problemas en la germinación. La liberación de amoniaco (NH_3) se produce cuando se aplican fertilizantes amoniacales de reacción alcalina como es el caso de la urea y fosfato diamónico. La urea y el fosfato diamónico incrementan el pH en la zona de reacción con el suelo a valores de hasta 9.5 y 8.5, respectivamente. A estos niveles de pH, el NH_4 del fertilizante pasa a NH_3. El NH_3 tiene efectos directos sobre las membranas celulares y una alta afinidad por el agua, lo que lleva a una desecación de las semillas y/o raíces seminales de las plántulas.

Costo del fertilizante

Es importante evaluar la viabilidad económica de esta práctica teniendo en cuenta el impacto en el sistema, principalmente si va a repercutir en un aumento en la producción de forraje, en la producción de carne o leche o aumento de la persistencia de la pastura.

En la tabla 3.4 se describen los fertilizantes comúnmente utilizados en la implantación de pasturas y verdeos en la Región Pampeana Argentina.

Tabla 3. 4

Composición de fertilizantes utilizados para la siembra de pasturas y verdeos.

Principales fertilizantes utilizados en la siembra de pasturas y verdeos

Fertilizante	Contenido de nutrientes (%)				Solubilidad
	N	P205	Ca	S	
Superfosfato triple o SPT	-	46	14		88
Superfosfato simple o SPS	-	21		12	90
Fosfato diamónico o DAP	18-21	46-53			95-100
Fosfato monoamónico o MAP	11-12	48-53			100

Nota. Fuente: Adaptado de Casanova y Barbazan, (2002).

Efecto de las leguminosas

La inclusión de leguminosas en la pastura tiene un impacto positivo sobre las gramíneas asociadas, debido a la fijación biológica de nitrógeno (N) por acción de los rizobios (Tabla 3.5).

Tabla 3. 5

Cantidades de N fijado anualmente, N transferido por leguminosas a gramíneas y porcentaje del N absorbido por gramíneas por transferencia. Valores separados por coma indican el año de implantación y el posterior, respectivamente, y los separados por guión indican el rango medio del ensayo.

Mezcla gramínea - leguminosa	N_2 Fijado	N Transferido	N absorbido por gramínea
	Kg/ha	Kg/ha	%
Alfalfa - pasto ovillo	15-136	s/d	5-34
Alfalfa - falaris	80-225	8	67
Lotus - pasto ovillo	90-138	4-42	8-46
Lotus - falaris	30-90	14	9-47
Lotus - festuca	70-170	16-34	25-41
Trébol rojo - pasto ovillo	73-159	17-58	44-70
Trébol rojo - falaris	10-145	14	13-33
Trébol rojo - festuca	103-254	17-28	26-46
Trébol blanco - raigrás perenne	114-228	24-50	19-56
Trébol blanco - falaris	1-20	20	10-32
Trébol blanco - festuca	86-164	20-41	26-49

Nota. Fuente: West y Mallarino, 1996.

Métodos de fertilización en la implantación

- Fertilización con cobertura total presiembra: se aplica la dosis completa de fertilizante sobre todo el lote y se incorpora al suelo mediante una rastra de discos o herramienta similar. Desventaja: el fertilizante se distribuye uniformemente, por lo que no se concentra en la línea de siembra, favoreciendo también a las malezas.
- Fertilización en banda durante la siembra: requiere una sembradora equipada con cajón fertilizante y abresurcos especiales. El fertilizante se coloca por debajo y ligeramente al costado de la semilla, generando una zona de alta concentración de nutrientes cerca de la raíz en crecimiento. Ventajas: mayor eficiencia en el uso del fertilizante, reducción de dosis y costos y menor competencia con malezas.

Calibración de la sembradora

Para obtener altas tasas de implantación es importante trabajar en tres aspectos básicos durante la siembra: ajustar la dosis de semillas y fertilizante, definir la profundidad y velocidad de siembra.

Ajuste de la dosis de siembra

Las sembradoras más utilizadas para la siembra de pasturas y verdeos son las sembradoras de granos finos a chorrillo, algunas de estas máquinas poseen modificaciones como la

incorporación de un cajón alfalfero otorgando mayor precisión en la siembra de leguminosas (Figura 3.4).

Figura 3. 4

Principales componentes de una sembradora de granos finos con cajón alfalfero.



Nota. Fuente: Scaramuzza y Olivo (2023).

Los sistemas de dosificación de semillas más comunes con los que vienen equipadas las sembradoras en la actualidad son dosificadores de capacidad constante y velocidad variable como: roldanas y chevrones, semillas grandes, rodillos helicoidales leguminosas y semillas pequeñas. La densidad de siembra se ajusta modificando la velocidad a la que estos giran, mediante combinaciones de engranajes o en máquinas modernas, cambiando las marchas en cajas de cambios.

Calibración de la densidad de siembra en sembradoras de granos fino. Se deben tomar datos como la distancia entre líneas (entre un abresurco y el contiguo) y el número de líneas (abresurcos). Con estos datos obtenemos el ancho operativo (AO) de la sembradora al multiplicarlos (siempre usando las mismas unidades, metros, centímetros, milímetros, etc.):

- Ancho operativo o ancho de trabajo = (Distancia entre líneas) x (Número de líneas)

Antes de comenzar la regulación se deben definir dosis de semilla y fertilizante por hectárea. Para poder medir el gasto de semilla o la tasa de aplicación que tiene la máquina se probará en un área reducida pero que represente a la hectárea, por lo que se mide una distancia lineal de 100 metros. Esta distancia es la que la sembradora va a recorrer en posición de trabajo, así se medirá el gasto y luego se traslada éste a la hectárea. De este último punto se obtiene el área que cubre la máquina al recorrer 100 metros lineales, a esta área la llamaremos área de prueba, que es igual al resultado de multiplicar el ancho operativo por los metros recorridos para la regulación.

- AP (área de prueba) = 100 m X AO (ancho operativo)

Para realizar la prueba de regulación se debe contar con un equipamiento mínimo, que consiste en:

- Bolsitas de polietileno (como mínimo la misma cantidad de bolsitas que de bocas de salida de fertilizante y semilla). Es conveniente tener varias de repuesto.
- Bandas elásticas, gomas del tipo de apretar billetes (una por bolsita).
- Balanza de precisión que pese un mínimo de 1 gramo (balanza de cocina).

Si se tiene seguridad que todos los dosificadores aplican la misma dosis de semilla o por lo menos no hay una variación en alguno de ellos de más o menos 10% del promedio, se puede realizar la prueba tomando algunas de las líneas o bocas de salida de semilla. Se retiran algunos de los caños de bajada de las cajas de dosificadores y a estas se les coloca las bolsitas apretadas por la goma; como mínimo hacemos esto a un cuarto de las bocas de semilla.

Ejemplo:

Dosis recomendada: 15 kg/ha de festuca y 100 kg/ha de fertilizante. La sembradora es de 19 líneas con una distancia entre ellas de 17,5 cm. Los datos necesarios para poder regular la sembradora son:

AO = 19 x 0,175 = 3,325 m

AP = 3,325 m x 100 m

AP = 332,5 m2

Si en la hectárea (10.000 m^2) deben sembrarse 15 kg de semilla, ¿Cuántos kilos debe entregar la máquina en 332,5 m^2? Para conocer esto se realiza el siguiente cálculo:

15 kg en _____ 10.000 m2

X kg en _____ 332,5 m2

La cuenta es la siguiente:

Kg que aplica en 332,5 m2 = (332,5 m2 x 15 kg) / 10.000 m2

Por lo tanto, al recorrer 100 metros la máquina debe descargar 0,5 kg de semilla en la totalidad de las líneas, o sea en las bocas de salida.

Para saber cuántos gramos de semilla debe salir por cada línea al recorrer los 100 metros, se divide el total de gramos o kg que se obtuvo entre el número de líneas.

Kg/línea = 0,5/19 = 0,026 kg, como son pesos bajos conviene trabajar con gramos 26 g

Si se hace la prueba con 5 bocas (5 bolsitas colocadas en 5 bocas), se debe hacer la suma de estas (siempre controlando que no haya gran variación entre la bajada a las bocas en cuanto al peso de las bolsitas) y calcular el promedio, éste debe aproximarse a los 26 g.

El mismo procedimiento con las mismas cuentas se debe realizar para la regulación del fertilizante, ésta se hace simultáneamente a la regulación de la semilla, se aprovechan las pasadas por los 100 metros para regular las dos cosas a la vez.

Profundidad y velocidad de siembra

Las semillas forrajeras son de tamaño muy pequeño, se debe extremar la precaución para lograr la correcta profundidad de siembra. Como regla general se puede establecer que cuanta

más pequeña es la semilla, tanto menor deberá ser la profundidad de siembra. El conocido precepto de que la semilla debe ir a una profundidad no mayor de 1 a 2 veces su diámetro es válido, salvo que el suelo sea excesivamente arenoso.

Dentro de ciertos límites, el tipo de suelo determina la profundidad de siembra. Los suelos más pesados requieren menores profundidades de siembra (1,5-2 cm), los suelos francos entre 2 y 4 cm y los arenosos pueden justificar siembras de hasta 5 cm de profundidad sobre todo teniendo en cuenta que en ellos se busca llegar con la semilla a lugares donde exista una apropiada humedad para la germinación.

Dada las características de las semillas, la siembra debe hacerse superficial lo cual en muchas ocasiones las condiciones de humedad son críticas. Las ruedas tapadoras del tren de siembra pueden aumentar la profundidad real de siembra de forma excesiva para las semillas forrajeras (Figura 3.5). Una alternativa es sacar las ruedas tapadoras del tren de siembra y utilizar afirmadores de grano tipo “colitas de castor", que logra hacer un surco profundo (profundidad aparente) y colocar las semillas en buenas condiciones de humedad (Figura 3.6). La profundidad real de la semilla queda definida por la tierra que se desmorona por encima de la misma la cual queda en contacto por la utilización de los implementos anteriormente mencionados (Scaramuzza & Olivo, 2023).

Figura 3. 5

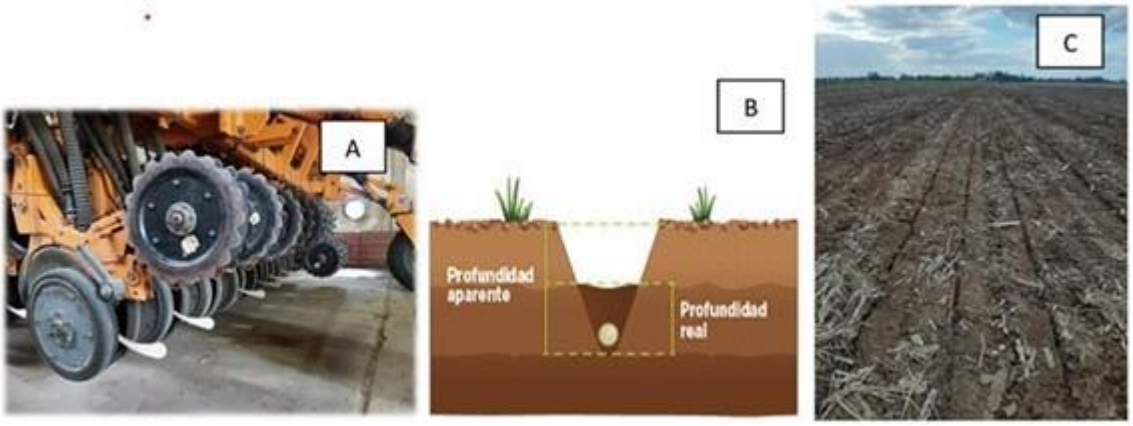
Efecto de las ruedas tapadoras en la profundidad de siembra



Nota. Fuente: Scaramuzza y Olivo (2023).

Figura 3. 6

Siembra sin ruedas tapadoras. A) retirado de ruedas tapadoras B) profundidad real y aparente de siembra C) surco abierto sin efecto de las ruedas tapadoras.



Nota. Fuente: Scaramuzza y Olivo. (2023).

En los casos donde sea muy difícil regular la profundidad de siembra será preferible una siembra superficial a una profunda. En la Figura 3.7 se muestran los efectos del raleo en el stand de plantas causado por una profundidad de siembra excesiva.

Figura 3. 7

Izquierda imagen de siembra superficial de festuca. Derecha siembra profunda de festuca

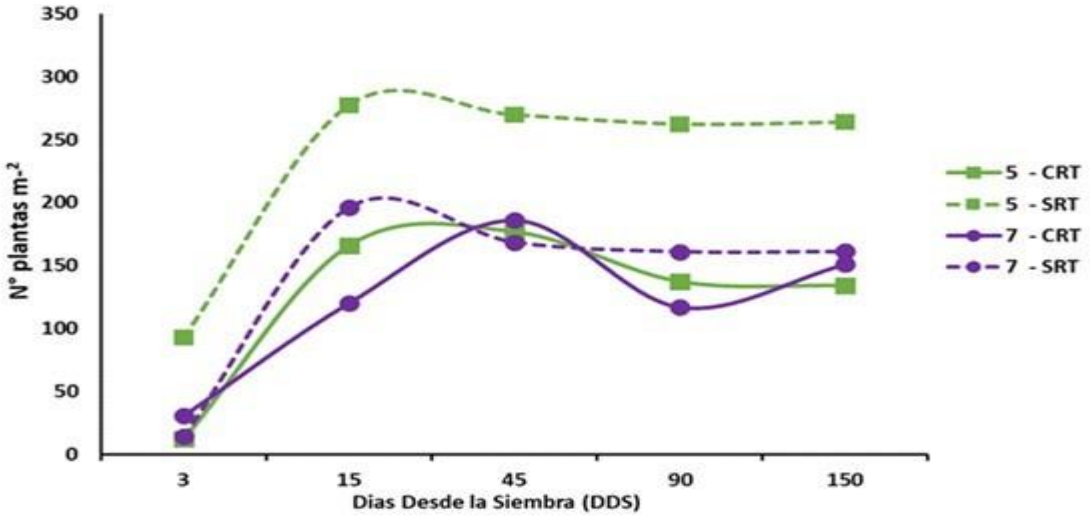


Nota. Fuente: Borrajo, (2025).

La velocidad de siembra debe mantenerse entre 5 y 6 km/h para garantizar un adecuado copiado del terreno por todo el tren de siembra de la sembradora. Mantener estas velocidades contribuye al aumento de plantas logradas por unidad de superficie (Figura 3.8), debido a una mayor uniformidad en la profundidad de siembra. Además, permite conservar una capacidad de trabajo acorde a la labor realizada.

Figura 3. 8

Conteo del número de plantas/m2 en función a Días Desde la Siembra (DDS) con dos velocidades de siembra: 5 y7 km/h y forma de tapado de surco: Con y Sin Rueda Tapadora (SRT/CRT). EEA INTA Manfredi.



Nota. Fuente: Scaramuzza y Olivo (2023).

Un error en la velocidad y/o en la profundidad de siembra, problema bastante común por otra parte, una desviación aparentemente pequeña (pocos cm), puede llegar a malograr totalmente una pastura.

Después de la implantación

Una vez sembrado el cultivo, es fundamental protegerlo durante sus primeras etapas de crecimiento, ya que las plántulas son altamente sensibles a la competencia por malezas y al ataque de plagas y/o enfermedades.

Control de malezas

El manejo de malezas comienza en los cultivos antecesores, prestando especial atención a especies de difícil control como el gramón o gramilla (*Cynodon dactylon*). Posteriormente, durante el barbecho, se debe lograr un lote limpio al momento de la siembra.

Las gramíneas y leguminosas perennes templadas son particularmente susceptibles a la competencia con las malezas debido a su menor tasa de crecimiento inicial (agresividad). Para lograr una implantación exitosa, es importante reducir esta competencia durante el período crítico (30 a 100 días posteriores a la siembra), porque, incluso bajas infestaciones, pueden reducir significativamente el número de plantas logradas, la perennidad de la pastura y su productividad. En este sentido, la aplicación de flumetsulam como herbicida residual en pre-emergencia es una estrategia útil durante esta etapa.

El control químico pos-temergente en pasturas conformadas por gramíneas y leguminosas presenta mayores limitaciones que en cultivos puros, porque exige el uso de principios activos selectivos que no afecten a ninguna a las especies de las dos familias. Además, dado que la tolerancia a los herbicidas varía según la especie de leguminosa, se debe extremar el cuidado al elegir el producto (Tabla 3.6).

Tabla 3. 6

Selectividad de los principales principios activos y formulaciones utilizados para el control pos-emergente de malezas de hoja ancha en leguminosas.

	2,4DB éster	2,4DB amina	Flumetsulam	Diflufenican	Bromoxynil	MCPA	Bentazón	Clopyralid
Alfalfa c/latencia	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	No
Alfalfa s/latencia	No	Si	Si	Si	Si	No	Si	No
Trébol rojo	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No
Trébol blanco	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Retrasa crecimiento
Lotus sp.	Si	Si	Si	Si	No	Afecta levemente	No	Si
Melilotus sp.	No	No	Si	No	No	No	No	No

Nota. Fuente. Frane (2005).

En gramíneas, el momento óptimo para la aplicación de estos herbicidas es durante el macollaje, desde la aparición del primer macollo hasta el inicio de la diferenciación. En leguminosas, el uso de fenoxiderivados (2,4-DB y MCPA) presenta las mayores restricciones, presentando máxima tolerancia a partir de la 4ª- 6ª hoja trifoliada.

Asimismo, resulta fundamental evaluar las condiciones de humedad y temperatura previas al tratamiento. Ante situaciones de estrés hídrico o heladas persistentes, se recomienda posponer la aplicación para prevenir fitotoxicidad en la pastura (especialmente al usar fenoxiderivados) y garantizar un control eficaz sobre malezas en activo crecimiento.

Control de plagas y enfermedades

Los pulgones y los trips figuran entre las plagas más frecuentes. Los primeros afectan tanto a gramíneas como a leguminosas, mientras que los trips cobran especial importancia en estas últimas. En las etapas iniciales, ambos grupos de insectos pueden causar la muerte de las plántulas, por lo que el curado de semillas con insecticidas resulta fundamental para proteger el cultivo durante este período crítico. Sin embargo, se requiere un monitoreo constante, porque la efectividad de estos tratamientos no siempre es total y puede demandar un control postemergente. En plantas establecidas, el daño de estas plagas provoca pérdida de vigor y detención del crecimiento, lo que impacta negativamente en la producción de forraje.

Por su parte, el daño causado por insectos de suelo —de gran relevancia durante la implantación— se previene mediante el tratamiento del suelo o curando la semilla con insecticidas. Sus poblaciones se ven favorecidas en sistemas de siembra directa y en pasturas perennes.

Asimismo, pueden presentarse ataques de isocas (lepidópteros) específicas de cada cultivo, cuyo control se justificará según el nivel de daño. En todos los casos, antes de decidir una aplicación postemergente de insecticidas, se deben evaluar las condiciones ambientales y el nivel de daño económico.

Finalmente, durante la germinación, los ataques de hongos pueden inutilizar una proporción significativa de las semillas. Ante condiciones de alta temperatura y humedad, el complejo de hongos causante del damping-off puede generar pérdidas severas; estos ataques se previenen eficazmente mediante el tratamiento con fungicida de la semilla.

Eficiencia de implantación

La eficiencia de implantación se define como la relación entre el número de plantas establecidas y la cantidad de semillas viables sembradas, evaluada entre los 45 y 60 días posteriores a la siembra. Esta evaluación permite analizar el éxito del proceso y detectar inconvenientes para optimizar siembras futuras.

En Argentina, las siembras de pasturas suelen alcanzar eficiencias del 15% al 40%, aunque es posible lograr valores del 50% al 60%.

La metodología para medir la eficiencia de implantación consiste en contabilizar el número de plantas en una superficie conocida y relacionarlo con la cantidad de semillas viables sembradas. En siembras en línea, se toma una distancia equivalente a 1 m^2; por ejemplo, para distanciamientos entre surcos de 15 cm o 17,5 cm, el recuento se realiza sobre 6,67 m o 5,71 m lineales, respectivamente. Para calcular la cantidad de semillas viables, se multiplica la densidad de siembra por el valor cultural (VC).

Ejemplo de cálculo:

Se realiza una siembra de alfalfa con una densidad de 10 kg/ha, un valor cultural del 85 %, un peso de $500.000 semillas/kg y un logro de 190 plantas/m^2.

Semillas sembradas: 10 kg/ha = 500 semillas/m^2

Semillas viables: 500 semillas/m^2 x 0,85 (VC) = 425 semillas viables/m^2

Eficiencia de implantación:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{190 \text{ plantas/m}^2 \times 100}{425 \text{ semillas viables/m}^2} = 44{,}7\%$$

Refertilización

La refertilización de pasturas se realiza generalmente en otoño o a fines de invierno mediante equipos de cobertura total. En argentina tanto los fertilizantes sólidos como líquidos se aplican principalmente en superficie sin incorporación.

En la región pampeana, los nutrientes más utilizados son el nitrógeno y el fosforo:

Nitrógeno: Se aplica para incrementar la productividad y persistencia de las gramíneas. No es recomdable su uso en leguminosas debido a que estas satisfacen sus requerimientos mediante la fijación biológica de nitrógeno.

Fósforo: Puede aplicarse en refertilización de pasturas perennes, aunque su eficiencia de uso es menor y su incorporación al suelo resulta más lenta en comparación con la fertilización efectuada a la siembra.

Implantación de verdeos de invierno (avena, raigrás y centeno)

Los verdeos de invierno y de verano se utilizan principalmente para cubrir los déficits de crecimiento que se generan durante esas estaciones del año en las pasturas perennes. Se deben considerar las mismas etapas que para la implantación de las pasturas perennes.

Antes de la implantación

Cultivo antecesor

Los cultivos antecesores son los mencionados para pasturas perennes y se sumarían las pasturas degradadas que se caracterizan por dejar el suelo con fertilidad nitrogenada y materia orgánica. Las distintas labores deben realizarse temprano (diciembre) para controlar insectos del suelo y de malezas que aparecen en grandes cantidades después de varios años. Actualmente, es el más utilizado.

Análisis de suelos

Se deben tener las mismas consideraciones que con las pasturas perennes.

Elección de especies y variedades

Uno de los factores que influye en el éxito del verdeo es la correcta elección de la semilla: variedad adecuada y sobre la misma efectuar los análisis de calidad: pureza, energía germinativa y poder germinativo. Será asimismo importante el curado de la semilla tanto con fungicidas como con insecticidas, se debe recordar que en general los tratamientos de semillas son muy poco onerosos comparados con los inconvenientes que puede traer aparejado el hecho de no hacerlo.

Análisis de semillas. Presupuesto y compra de insumos

Se deben tener las mismas consideraciones que con las pasturas perennes.

Preparación de la cama de siembra. Programación de uso de maquinaria.

Si el antecesor es una pastura degradada y se utiliza el método de siembra convencional, lo más común es, en diciembre, pasar un disco doble acción poco profundo (3- 5 cm) y otro a mayor profundidad (10-12 cm) para trozar y entremezclar el material. Cuando germinan las malezas, a los 30-40 días, otro disco poco profundo o aplicar herbicida (Glifosato) sobre todo si hay gramón

(Cynodon dactylon). A los 30 días un disco a profundidad intermedia (7-8 cm) con rolo y siembra. En caso de existir compactación, después del segundo disco, pasar un cincel.

Durante la implantación

Época de siembra

La época de siembra es fines de febrero, principios de marzo, esto permite iniciar antes el pastoreo y obtener un tiempo más prolongado del mismo. Las siembras tardías (con menores temperaturas), desaprovechan los estímulos ambientales y lleva a un menor desarrollo radical. Las siembras demasiado temprano (principios a mediados de febrero) también se pueden malograr por las altas temperaturas, déficit hídrico, ataques de insectos y la posibilidad del pasaje temprano al estado reproductivo, principalmente la avena.

Densidad de siembra

De acuerdo a las precipitaciones varían las plantas por m2 a lograr (Tablas 3.7 y 3.8).

Tabla 3.7:

Datos generales sobre densidad de siembra expresadas en pl/m2 y en kg/ha, según precipitaciones promedio.

Precipitaciones	Plantas por m^2
500 a 600 mm	100 a 120
600 a 800 mm	120 a 200
800 mm o más	200 a 300

Tabla 3.8: Datos de 1.000 semillas y kg/ha de principales cultivos anuales de invierno.

Especie	Peso de 1.000 semillas	kg/ha
Avena	20 a 27 gr	80 a 120
Cebada	28 a 35 gr	50 a 100
Centeno	12 a 25 gr	40 a 80
Trigo	25 a 30 gr	80 a 100
Raigrás	2 a 4 gr	20 a 25

Velocidad y profundidad de siembra

Se deben tener las mismas consideraciones que con las pasturas perennes.

Método de siembra

Las siembras se realizan en líneas con una distancia entre surcos de 17,5 cm - 21 cm según la sembradora.

Maquinaria para la siembra:

- Sembradora de grano fino: Es la más difundida, puede controlarse la densidad y en algunos casos la profundidad de siembra. A estas sembradoras se le pueden adaptar ruedas reguladoras de profundidad, sunchos en los discos (con el mismo fin) y también ruedas compactadoras o empaquetadoras. El tapado de la semilla se hace por medio de azadones o cadenas.
- Rastras de discos con cajón sembrador: Cada vez menos usada, la densidad se puede ajustar, pero no hay posibilidad de regular la profundidad de siembra con exactitud.

Fertilización

Se deben tener las mismas consideraciones que con las pasturas perennes.

Los verdeos de invierno exhiben una respuesta directa a la fertilidad, por esta razón es que debe prestarse atención al orden de la rotación de manera de aprovechar el beneficio otorgado por las leguminosas y las praderas plurianuales como cultivo antecesor. En caso de carencias se refleja en el cultivo, en determinadas áreas o en todo el terreno, plantas con falta de vigor y amarillamiento de las láminas.

Después de la implantación

Eficiencia de implantación

La medición de la eficiencia de implantación se realiza con el mismo método que las pasturas perennes.

Control de malezas

En verdeos de invierno son comunes las de crecimiento otoño- invernal, malezas en general no muy agresivas y normalmente fáciles de combatir con tratamientos en base a los herbicidas hormonales más comunes. Es de destacar que para evitar el enmalezamiento lo más eficaz es el barbecho bien realizado.

Control de plagas y enfermedades

Plagas

En los verdeos de invierno se destacan el pulgón verde de los cereales y el amarillo de la avena. Producen graves daños en avena, manifestándose primero con un amarillamiento localizado y pérdida de vigor, culminando con la muerte de la planta. El orden decreciente de ataque de pulgón es el siguiente: avena, trigo, cebada, centeno y raigrás.

Entre las formas de contrarrestar el ataque de pulgones está la de utilizar variedades resistentes a los mismos o tratamientos contra estos insectos en las semillas, previo a la siembra, que ofrecen una protección a la plántula en sus primeros estadios, que es cuando existe mayor

peligro de muerte de plantas. Una vez logrado el cultivo se pueden hacer tratamientos cada vez que el grado de infestación así lo requiera.

El daño causado por los diversos insectos del suelo es importante cuando se hacen verdeos sobre lotes que provienen de campo natural o de pasturas degradadas, o cuando las siembras se hacen muy tempranas.

Enfermedades

En el centeno, en la zona semiárida, no se manifiestan enfermedades que produzcan reducciones importantes en el volumen de forraje, aunque en períodos de temporales y temperaturas más elevadas que las que corresponden a la época, se pueden observar ataques de roya de la hoja, del tallo y escaldaduras.

En la avena, los perjuicios causados por la roya del tallo y la hoja son los más importantes y, con inviernos cálidos, la roya anaranjada puede disminuir considerablemente el rendimiento del cultivo.

En el caso de raigrás anual la incidencia de royas y manchas foliares son las enfermedades más comunes de encontrar, pero no las únicas. Estas afectan la producción y calidad del forraje.

Varían para la cebada el tipo de enfermedades ya que es más perjudicada por la mancha reticulada, escaldadura y carbones, esta última es importante solo para los cultivos destinados a cosecha de semilla. Para el trigo no hay mayores problemas al estado de macollaje, aunque algunos años pueden registrarse ataques de royas, oidios, septoriosis, etc.

Enfermedades metabólicas

Los verdeos pastoreados cuando la relación nitrógeno no proteico / hidratos de carbono es alta (verdeo no sazonado), producen con frecuencia diarreas que se intensifican con condiciones climáticas como días nublados y húmedos. El problema varía asimismo de acuerdo al área de cultivo y nivel de fertilidad del suelo.

Otro problema puede presentarse, no sólo en verdeos, sino también en pasturas sobre todo de gramíneas, es el de hipomagnesemia o tetania hipomagnesémica o "mal de los avenales". Es una enfermedad metabólica que ocurre en ambos sexos, todas las edades y diferentes condiciones nutricionales y de manejo. Se presenta cuando la concentración plasmática de Mg es baja, debido a que el aporte en la dieta es bajo y/o la absorción se encuentra disminuida. El esquema que sigue ilustra cómo se produce esta enfermedad (Tabla 3.9).

Tabla 3.9

Condiciones y efectos de la hipomagnesemia.

Bajo Mg en pasto (menor de 0,2% MS)	Baja MS e Hidratos de C Alto N no proteico Alto K y bajo Na	Frío Días nublados
Baja disponibilidad de Mg Menor consumo de alimentos	**HIPOMAGNESEMIA**	Stress Caída de pH ruminal Reducción de AGV

Dado la complejidad multicausal que presenta esta patología, las medidas preventivas no son excluyentes sino complementarias.

- Mantener el balance gramíneas/ leguminosas.
- En gramíneas puras (por ejemplo: verdeos), suplementar con alimentos ricos en fibra y almidones solubles (grano, heno).
- Uso de correctores estacionales para asegurar un aporte de Mg a través del año. El óxido de Mg, tenores mayores al 3-5% producirán baja aceptabilidad de la mezcla, suplementar con ClNa o saborizantes.
- Reparos en invierno. Evitar encierres o ayunos prolongados, arreos violentos u otras situaciones estresantes.

Refertilización:

El nitrógeno promueve el crecimiento a través de una mayor utilización de los carbohidratos producidos por fotosíntesis, destinándolos a la formación de proteínas, con el consiguiente aumento de la biomasa. En general, este proceso va seguido de cambios en la composición química del forraje. La nutrición nitrogenada es un factor determinante de la productividad de forraje de cereales forrajeros invernales cuando la disponibilidad de agua y otros nutrientes, especialmente fósforo, no son limitantes. En verdeos de invierno, la forma más eficiente de utilización del nitrógeno es a través de la fertilización en forma fraccionada.

Los momentos más adecuados son: en la siembra, macollaje, luego de cada pastoreo, y encañazón si lo destinamos a grano. La respuesta es casi lineal; por cada kg de N agregado se logra producir entre 10 –30 kg de materia seca.

Verdeos de verano (sorgo, maíz, moha, mijo y soja)

Implantación de sorgo

La deficiente preparación del suelo junto con una mala siembra son los principales factores que reducen la futura producción de forraje. La siembra de cultivos para pastoreo requiere la misma preparación del suelo y precisión de siembra que los cultivos para cosecha de grano.

Cultivo antecesor

Verdeos de invierno (para pastoreo directo): todos los verdeos de invierno son aptos y la desocupación será en setiembre.

Otros cultivos antecesores pueden ser: cultivos de verano que tienen el inconveniente de tener mucho tiempo desocupado el lote.

Preparación de la cama de siembra.

Se deben tener las mismas consideraciones que con las pasturas perennes.

Época de siembra

La temperatura del suelo es el factor más importante, se necesita una mínima de 18 ºC a 5-10 cm de profundidad del suelo durante 3 días seguidos, entre las 9 y 10 hs. Con temperaturas inferiores a 15 ºC la semilla no solo no germina, sino que puede absorber agua, se pudre o pierde su poder germinativo, a 21 ºC se obtiene una rápida germinación. Esta temperatura óptima se logra, según las distintas zonas, entre el 15 de octubre y el 15 de noviembre.

La emergencia de las plántulas ocurre entre los 3 y 10 días de sembrado. Las siembras tempranas, implican riesgos por heladas tardías, el suelo está frío y húmedo, y aun cuando la semilla haya sido tratada con fungicidas, las enfermedades se multiplican rápidamente y en consecuencia se logra un menor número de plantas, desuniformidad de emergencia y presencia de malezas que pueden ejercer gran competencia al cultivo. El pastoreo se adelantará solo 3-4 días. Las siembras tardías, implican un acortamiento del período de aprovechamiento. No se recomiendan las siembras escalonadas.

Densidad y profundidad de siembra

La cantidad correcta de plantas a obtener por hectárea, está directamente relacionada con las lluvias que caracterizan a las diferentes regiones del país, con el destino que se le dará, el método de siembra y el tamaño de la semilla. Asimismo, una germinación del 100 % en laboratorio puede disminuir en condiciones favorables de campo a un 60 %.

Para saber los kg/ha a sembrar, se debe conocer el peso de 1.000 semillas, que en el caso de los sorgos es muy variable. Por ejemplo, el sorgo Funk's G 191 F pesa 24,9 gr y el Funk's G 192 F 31,6 gr.

Densidades de siembra de Sorgos Forrajeros para pastoreo. Guía Práctica de Sorgo Forrajero. Funk's Híbridos (Tablas 3.10 y 3.11).

Tabla 3.10

Zonas, plantas a lograr y semillas de sorgo a sembrar por hectárea

ZONAS	Plantas a lograr/ha	Semillas a sembrar/ha
Semiárida	150.000 a 200.000	300.000 a 400.000
Húmeda	250.000 a 300.000	500.000 a 600.000

Hay que tener precauciones con la profundidad de siembra, debido a que el embrión es muy pequeño y podría tener dificultades para emerger. Se deben sembrar a un máximo de 3,5-4 cm y de acuerdo con las condiciones de humedad del suelo.

Tabla 3.11.

Semillas de sorgo a sembrar por metro de surco en la zona húmeda con distintas distancias entre líneas.

ZONA	0,15 m	0,30 m	0,45 m	0,60 m	0,70 m
Húmeda	8 a 9	15 a 18	23 a 27	30 a 36	35 a 42

Distancia entre líneas

De acuerdo con el objetivo y la maquinaria disponible se pueden utilizar diferentes distanciamientos para sorgos utilizados en pastoreo directo. Si se utilizan sembradoras de grano fino se podrá optar entre distanciamientos de entre 15 / 17,5 cm a 60 / 70 cm. Entresurcos de 15 cm o 17,5 cm permiten lograr cultivos densos, con tallos más finos y que cubren rápidamente el suelo mejorando la competencia con malezas. A medida que se eligen distanciamientos mayores, puede tener como ventaja la mejor circulación de los animales, reduciendo el número de plantas volcadas, cuando estas presenten alturas importantes (parcelas pasadas). Si se eligieran distanciamientos de 52 o 70 cm es recomendable utilizar sembradoras de grano grueso, ya que remueven menos el suelo, reduciendo la perdida de humedad superficial y afectando menos el efecto de herbicidas residuales (atrazina).

El distanciamiento entre surcos para sorgos de pastoreo directo se varía según los objetivos productivos y la maquinaria disponible. Al utilizar sembradoras de grano fino, se pueden adoptar distanciamientos desde 15/17,5 cm hasta 60/70 cm. Menores distanciamientos (15 o 17,5 cm) generan cultivos densos con tallos finos y una rápida cobertura del suelo, mejorando la competencia con malezas. Por su parte, los distanciamientos mayores facilitan la circulación del ganado y reducen el vuelco de plantas en parcelas pasadas. Finalmente, para planteos de 52 o 70 cm se recomienda el uso de sembradoras de grano grueso, ya que al remover menos el suelo conservan la humedad superficial y no alteran la eficacia de los herbicidas residuales como la atrazina.

Toxicidad en sorgos

Está determinada por un glucósido cianogenético denominado durrhina que abunda en las partes tiernas, en activo crecimiento, y su contenido disminuye a medida que la planta madura y no se encuentra en los granos. La hidrólisis del glucósido se produce por acción de una enzima: diastasa, presente en la misma planta, pero en células separadas de las que contienen durrhina. Para que ocurra la intoxicación es necesaria la maceración de los tejidos vegetales, quedando liberado el ácido cianhídrico, función que se cumple durante la masticación y digestión. Los bovinos y ovinos son los más susceptibles, dado que en el rumen poseen una reacción próxima a la neutralidad y gran cantidad de microorganismos, así como enzimas que proveen de excelente medio para la hidrólisis del glucósido.

Entre los factores que hacen a un aumento del principio tóxico encontramos: riqueza de nitratos en el suelo, cultivo tierno, rebrotes luego de un pastoreo intenso o sequía y altas temperaturas. Los riesgos de intoxicación varían según la especie y manejo que se realice.

En USA, se encontró que el valor umbral de intoxicación del animal está en 600 ppm. En la E.E.A. de Pergamino INTA se evaluó el contenido de ácido cianhídrico en los sorgos comúnmente difundidos y de este estudio surge que aun pastoreando los sorgos forrajeros a los 50-60 cm no representara ningún peligro.

Implantación de maíz

Será similar a la que se utiliza para el cultivo de cosecha, alrededor de 60.000 a 75.000 plantas/ha. Profundidad de siembra será de 3 a 5 cm. La distancia entre hileras dependerá de la sembradora siendo normalmente de 70 cm (sembradora de grano grueso).

Para efectuar la siembra se debe verificar que el suelo, a 5 cm de profundidad, tenga una temperatura de 12-13 ºC durante 3 días seguidos. Con temperaturas menores a 6 ºC no hay germinación y entre 6 y 10 ºC germina lentamente. Debido a que la semilla es grande, con 177 una buena dotación de reservas para afrontar el período de emergencia, tiene un bajo coeficiente de pérdidas.

Cultivos antecesores y preparación de la cama de siembra

Verdeos de invierno son todos aptos y deben desocuparse a fines de agosto, principio de setiembre. Otros cultivos antecesores pueden ser los cultivos de verano que tienen el inconveniente de tener mucho tiempo desocupado el lote.

Época de siembra

De acuerdo con la temperatura del suelo, en la zona típica de su cultivo es a partir del 15 de setiembre en adelante. Si el cultivo se implanta para pastoreo directo, se pueden realizar siembras escalonadas en el tiempo para su aprovechamiento durante un período más prolongado en un mismo estado fenológico.

Implantación de mijo

Exige una buena cama de siembra, pero se debe tener en cuenta que normalmente se implanta en las zonas subhúmeda y semiárida con problemas de erosión eólica, por lo tanto, las labores deberán minimizar los riesgos de pérdidas por erosión.

Una adecuada densidad de siembra serían 15 a 20 kg/ha de semilla, con un distanciamiento entre líneas de 15 a 20 cm. Se puede realizar la siembra con sembradora de grano fino cuidando que la profundidad no sobrepase los 2 cm. Cultivo antecesor: ídem sorgo. Época de siembra: Es muy amplia, desde mediados de octubre hasta mediados de diciembre.

Implantación de moha

Se utilizan entre 12 a 18 kg de semilla/ha, se siembra con sembradora de grano fino a 15- 20 cm entre líneas. Época de siembra: Es muy amplia, desde mediados de octubre hasta mediados de diciembre.

Implantación de soja

Se utilizan entre 70 y 80 kg de semilla/ha, se siembra con sembradora de grano grueso con un distanciamiento entre líneas de 35 a 42 cm. Se utilizan cultivares de ciclo largo (grupos de maduración 8 o mayores). Época de siembra: octubre- noviembre.

Consideraciones finales

La implantación de las pasturas perennes y verdeos anuales es una parte muy importante dentro de la Planificación forrajera de los sistemas ganaderos pastoriles. En este capítulo se brindó información sobre distintos tipos de implantación, no siendo el objetivo brindar recetas. La metodología a adoptar debe ser considerada según el tipo de sistema y objetivos de producción.

Referencias

Bianchi, A., & Cravero, F. (2022). Capítulo 5. En A. Bianchi & F. Cravero (Eds.), *Investigación, producción e industrialización de la alfalfa en Argentina* (p. 151). INTA Ediciones.

Borrajo, C. I. (2025). *Es momento de sembrar pasturas*. Agroconsultas Online. Recuperado de [**https://www.agroconsultasonline.com/**

Frane R. L. (2005). DeaprtametnoTécnico DOW AgroSciences Argentina. Adaptado de Manual de Barbecho Químico DOW.

Gambaudo, S., y Fontanetto, H. (2018). *Tablas de consulta para el manejo y la nutrición de suelos y cultivos* (Proyecto Diagnóstico, Reposición de Nutrientes y Tecnología de la Fertilización). INTA EEA Rafaela.

García, F., Micucci, F., Rubio, G., Ruffo, M., & Daverede, I. (2002). Fertilización de forrajes en la región pampeana-Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización de pasturas, pastizales y verdeos. INPOFOS Cono Sur, Argentina, 72.

Mayans Pasarello, M., Hughes Pittamiglio, A., & Perrachon Ariztia, J. (2023). Normativa vigente en la comercialización de semilla forrajera preinoculada. DGSA/MGAP; Plan Agropecuario.

Scaramuzza, F. M., & Olivo, S. M. (2023). Siembra Directa de alfalfa. Una inversión a largo plazo. *Horizonte A*.

West, C. P., & Mallarino, A. P. (1996). Nitrogen transfer from legumes to grasses. Nutrient cycling in forage systems, 1, 167.

Bibliografía

Aliaga, V. S., Ferrelli, F., Alberdi Algañaraz, E. D., Bohn, V. Y., & Piccolo, M. C. (2016). Distribución y variabilidad de la precipitación en la Región Pampeana, Argentina.

Aragón, J., & Imwinkelried, J. (2007). Manejo integrado de plagas de la alfalfa. El cultivo de la alfalfa en la Argentina. DH Basigalup (Ed.) Buenos Aires: INTA, Cap, 9, 165-197.

Basigalup Daniel. (2022). Investigación, producción e industrialización de la alfalfa en Argentina. Ediciones INTA, 2022. ISBN 978-987-679-348-3 (digital). Capítulo 5. Establecimiento de alfalfa: aspectos ecofisiológicos y agronómicos.

Blaser, R. E., Griffeth, W. L., & Taylor, T. H. (1956). Seedling Competition in Compounding Forage Seed Mixtures 1. *Agronomy Journal*,*48*(3), 118-123.

Curso de Forrajicultura y Praticultura FCAyF -UNLP. Material de circulación interna, elaborado por los docentes del Curso de Forrajicultura, con fines exclusivamente didácticos TOMO I (2020). Ings. Agrs. Oyahmburu, M.; Vecchio, M.C.; Heguy, B.; Lissarrague, M.I.; Bolaños, V.A.; Fernández, F.; Delgado C., J.

Scheneiter, O., & Pagano, E. (2005). Mezclas de especies forrajeras perennes templadas. *Jornada de Actualización Técnica en Pasturas Implantadas, Sumidea SA. Generación y evaluación de cultivares de especies forrajeras*.

Scheneiter, O., (2001). Mezclas de especies forrajeras perennes templadas. *Jornada de Actualización Técnica en Pasturas Implantadas.*

Scoppa, C. O., & Di Giacomo, R. M. (1998). Edafogénesis pampeana. *Anales de la ANAV*, *52*.

USDA-Servicio de Conservación de Recursos Naturales. (2007, abril). Calibración de una sembradora para siembras de conservación (Nota Técnica sobre Materiales de Siembra N.º 19s, revisión). Boise, Idaho - Bozeman, Montana - Spokane, Washington.

CAPÍTULO 4
Forrajes conservados

Federico Ezequiel Fernández, Federico Tarnonsky, Juan Manuel Fernández y Pablo Javier Sarandón

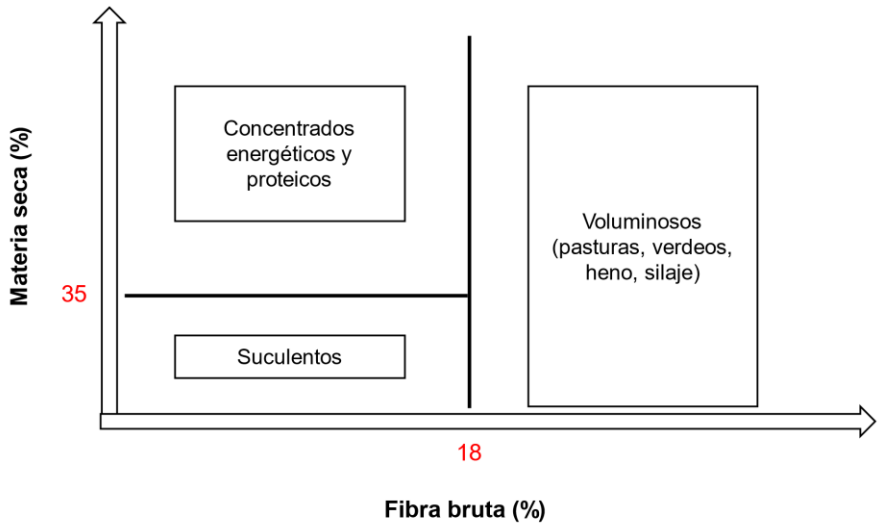
Introducción

El rol de los forrajes conservados (FC) en los sistemas ganaderos argentinos ha experimentado una profunda transición conceptual y operativa. Históricamente, la producción de reservas forrajeras constituía un seguro pasivo ante contingencias climáticas o biológicas que comprometieran la oferta de alimento. Hoy, bajo un escenario de adopción tecnológica y variabilidad de precios, los FC representan una herramienta estratégica activa. Al respecto, Bragachini et al. (2018) señalan que, a diferencia de la reserva —la cual carece de una estimación precisa de la demanda y de planes para satisfacerla—, el concepto de forraje conservado se fundamenta en un balance forrajero y nutricional. Este enfoque integra la conservación de excedentes o la siembra de cultivos específicos con el fin de estabilizar dietas, sostener o incrementar la carga animal y cubrir períodos de déficit de oferta. Por lo tanto, la planificación del agroecosistema debe incorporar los FC en las rotaciones y secuencias de cultivos, según los requerimientos cuali-cuantitativos del rodeo.

Asimismo, la tradicional clasificación de los alimentos basada en materia seca y fibra bruta (Figura 4.1) se ha complementado con criterios de calidad nutricional. Este enfoque moderno no solo busca optimizar la preservación de fracciones de proteína y energía, sino que también divide el análisis de la fibra en dos categorías clave para el funcionamiento ruminal: la fibra física y la fibra química. El presente capítulo tiene como objetivo analizar las diferentes formas de conservación de forrajes y evaluar su impacto sobre la producción animal.

Figura 4.1

Clasificación de los alimentos en función del contenido de materia seca expresada en porcentaje (%) y del porcentaje de fibra bruta.



Ensilaje

El *ensilaje* es el proceso de compactar y almacenar forraje verde con el propósito de lograr su conservación por vía anaeróbica. Por su parte, el *silo* constituye la estructura o depósito destinado a confinar el material; las tipologías más comunes en la región son el silo bolsa, el búnker y el silo torta (Figura 4.2). Finalmente, el *silaje* es el producto fermentado resultante, caracterizado por un elevado contenido de humedad. Según la Cámara de Contratistas Forrajeros, en la campaña 2023-2024 la superficie total ensilada fue de 2.396.000 ha, destinada en un 45,9% a la producción de leche y un 53,5% a producción de carne. Los principales recursos forrajeros fueron maíz (59,1%), verdeos y pasturas (30%) y sorgo (10,1%).

El ensilaje se basa en la interacción de dos factores: la anaerobiosis y la fermentación de carbohidratos solubles, procesos que promueven la síntesis de ácidos orgánicos (principalmente láctico) y la consecuente reducción del pH. Este ambiente ácido y libre de oxígeno impide el desarrollo de microorganismos indeseables, como hongos, levaduras y bacterias perjudiciales. Conocer esta dinámica permite ajustar las prácticas de manejo para asegurar una conservación exitosa. Bajo esta premisa, es fundamental subrayar que ningún método de conservación supera la calidad del forraje original; por lo tanto, la preservación del valor nutritivo depende exclusivamente del control riguroso de todo el proceso fermentativo.

Figura 4.2

Tipos de silo torta, bunker y bolsa (imagen superior izquierda, derecha e inferior central respectivamente).



Fases del proceso de ensilado

Este proceso se divide en cuatro fases sucesivas: aeróbica, anaeróbica, de estabilización, y de apertura y utilización. A continuación, se detallan las características de cada una de ellas:

Fase aérobica

Esta fase comprende desde el picado del forraje hasta el establecimiento de la anaerobiosis. Durante esta etapa, la respiración de las células vegetales y la actividad de los microorganismos aerobios y facultativos consumen el oxígeno atrapado en la masa vegetal (Garcés Molina et al., 2004). Mediante la respiración celular, los azúcares solubles en agua se transforman en dióxido de carbono y agua, con la consecuente liberación de energía en forma de calor. En forma paralela, las enzimas endógenas de la planta hidrolizan una fracción del almidón, los carbohidratos solubles, la hemicelulosa y las proteínas verdaderas. Como resultado, parte de los carbohidratos no estructurales se degradan en azúcares simples (glucosa y fructosa). Estos compuestos son metabolizados por los microorganismos epífitos (bacterias, mohos y levaduras) para producir ácidos grasos volátiles, otros compuestos orgánicos y gases (Bertoia et al., 1993, citados por Fernández Mayer, 1999). Respecto a la fracción nitrogenada, las enzimas proteolíticas de las células vegetales convierten las proteínas verdaderas en péptidos,

aminoácidos libres y nitrógeno no proteico (NNP). Posteriormente, la actividad microbiana transforma estos compuestos en amonio y aminas (Muck, 1988). La actividad de estas enzimas vegetales cesa cuando el pH desciende por debajo de 6 (Oude Elferink et al., 2000).

En condiciones normales, la temperatura de la masa forrajera se incrementa entre 4 y 6 °C por encima de la temperatura ambiente. Un aumento superior, sostenido durante varias horas, indica una prolongación excesiva de la fase aeróbica (Godoy, 2014). Asimismo, si el registro térmico alcanza un rango de 42 a 44 °C, se desencadenan reacciones de Maillard, fenómeno que disminuye la digestibilidad de las fracciones proteicas y fibrosas (Bolsen et al., 1996). Por consiguiente, la rápida remoción del oxígeno (con un óptimo dentro de las primeras 4 a 6 horas) minimiza las pérdidas de carbohidratos solubles y proteínas, mitiga la generación de calor y acelera el logro de las condiciones para el desarrollo de la microflora anaeróbica (Fernández Mayer, 1999). Las variables de manejo críticas que determinan el éxito de esta etapa son el momento y tamaño de picado, la compactación, la tasa de llenado y el sellado o tapado del material, aspectos de especial relevancia en sistemas de tipo búnker o torta.

Fase anaeróbica

Ante la ausencia de oxígeno, se inicia la fase anaeróbica. Durante las primeras 24 a 72 horas, las enterobacterias —activas en un rango de pH de 7 a 5— llevan a cabo una fermentación inicial. Estas bacterias heterofermentativas producen de forma principal ácido acético y, en menor proporción, ácido láctico. No obstante, su eficiencia de conversión es baja en comparación con la cantidad de nutrientes que consumen (Amaral-Phillips et al., 2023).

La prolongación de esta etapa inicial mantiene el predominio del ácido acético bajo un elevado consumo de carbohidratos, lo cual deriva en una pérdida de valor energético y en la disminución de la calidad del silaje. La presencia de un fuerte olor avinagrado y de una coloración marrón oscura en el material vegetal constituyen indicadores típicos de esta desviación fermentativa (Godoy, 2014).

Con el descenso de la temperatura y la caída del pH por debajo de 5, cesa la actividad de las enterobacterias y se inicia la rápida multiplicación de las bacterias homofermentativas. Este grupo microbiano transforma los carbohidratos hidrosolubles en ácido láctico, una vía metabólica sumamente eficiente para reducir el pH y estabilizar el material. En silajes con una fermentación óptima, el ácido láctico representa más del 65 % del total de los ácidos orgánicos producidos (Amaral-Phillips et al., 2023).

El ácido láctico cumple múltiples funciones esenciales durante la fermentación (Zhao et al., 2024):

a) Disminuye el pH, lo cual inhibe el desarrollo de microorganismos no deseables (hongos y bacterias responsables de la descomposición).

b) Detiene la actividad de las enzimas vegetales degradativas, lo que preserva la calidad nutricional del material.

c) Aporta a la síntesis de compuestos aromáticos que estimulan el consumo voluntario del rodeo.

d) Funciona como fuente energética directa, de modo que incrementa el valor nutritivo del recurso.

e) Promueve la salud digestiva mediante el mantenimiento del equilibrio microbiano del tracto gastrointestinal, aspecto que optimiza la digestibilidad del alimento.

En paralelo a la vía láctica, pueden ocurrir desvíos fermentativos perjudiciales. Entre ellos destaca la fermentación butírica, asociada al ensilado de forrajes con bajo tenor de carbohidratos solubles, condición que enlentece la caída del pH. Bacterias del género *Clostridium* ejecutan esta vía anaeróbica al metabolizar carbohidratos, ácido láctico y aminoácidos; el resultado de esta actividad es la síntesis de ácido butírico, dióxido de carbono, hidrógeno, amoníaco y aminas tóxicas. Asimismo, existen fermentaciones secundarias causadas por levaduras y mohos que toleran la anaerobiosis y producen alcohol. Géneros fúngicos como *Aspergillus, Fusarium* y *Penicillium* no solo compiten por los nutrientes, sino que también poseen la capacidad de sintetizar micotoxinas.

El éxito de esta fase anaeróbica depende de las mismas variables operativas críticas descritas en la etapa aeróbica (momento y tamaño de picado, compactación, ritmo de llenado y sellado), a las que se suman factores biológicos como la especie forrajera y el empleo de inoculantes microbianos.

Fase de estabilización

Cuando el pH alcanza valores entre 3,8 y 4 se llega a la fase de conservación y luego a la estabilización. En esta etapa, microorganismos acidotolerantes como *Lactobacillus buchneri* sobreviven en un estado de latencia metabólica (quiescencia). Por su parte, géneros bacterianos como *Clostridium* y *Bacillus* persisten exclusivamente en forma de esporas. En el plano enzimático, únicamente ciertas proteasas y carbohidrasas tolerantes a la acidez mantienen una actividad residual mínima.

Fase de apertura

Al abrir el silo, el ingreso de oxígeno desencadena un proceso de respiración secundaria. El deterioro se inicia con la degradación de los ácidos orgánicos conservantes, proceso mediado de forma principal por levaduras y, en menor medida, por bacterias acéticas. Esta actividad metabólica provoca un incremento del pH, lo cual marca el inicio de una segunda etapa de descomposición, caracterizada por la elevación de la temperatura de la masa y la proliferación de bacterias del género *Bacillus*. En esta fase final también intervienen otros microorganismos aeróbicos y facultativos, tales como mohos y enterobacterias. Si bien la descomposición aeróbica ocurre en la totalidad de los silajes expuestos al aire, la velocidad del deterioro depende de la carga y actividad de la población microbiana presente en el material (Oude Elferink et al., 2000).

Especies posible para conservar

Diversos recursos forrajeros son aptos para la conservación por ensilaje; entre ellos destacan el maíz, el sorgo, las pasturas puras o consociadas, la cebada, el trigo, la avena, el raigrás anual

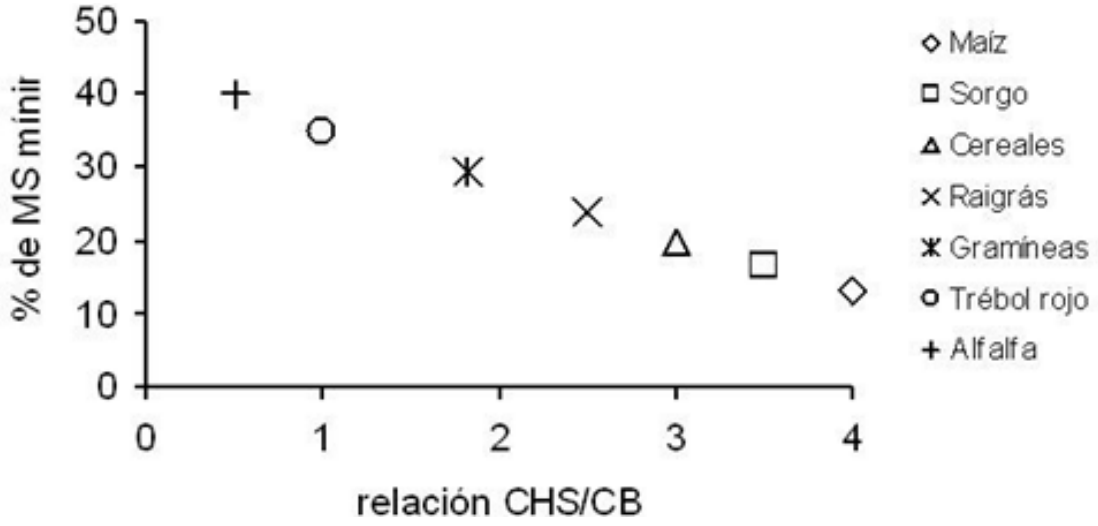
y la soja. La elección de la especie requiere una planificación fundamentada en el rendimiento y el valor nutritivo, alineada con la categoría animal destinataria y los objetivos de producción (demanda). No obstante, la aptitud para la conservación difiere entre especies. Las principales variables que determinan la facilidad de ensilado de un cultivo son: el contenido de carbohidratos solubles (CHS), la capacidad buffer (CB) y el tenor de materia seca (MS) (McDonald et al., 1991, citados por Abdelhadi, 2007). Estas propiedades se integran en el llamado coeficiente de fermentabilidad (CF), calculado con la fórmula:

$$CF = \%MS + 8\left(\frac{CHS}{CB}\right)$$

Para asegurar una alta probabilidad de obtener un silaje de óptima calidad, este índice debe superar el valor umbral de 45 (Weissbach, 1996, citado por Abdelhadi, 2007). Ante reducciones en la relación CHS/CB del forraje, se eleva el porcentaje mínimo de MS requerido para lograr un silaje anaeróbicamente estable que impida el desarrollo de microorganismos indeseables (Figura 4.3). Por ejemplo, las leguminosas como la alfalfa y el trébol rojo poseen una baja relación CHS/CB (alta capacidad buffer); por lo tanto, exigen un tenor de MS elevado (cercano al 40 %), alcanzable a través de técnicas como el premarchitado. Los cereales de invierno presentan una aptitud intermedia. Por el contrario, cultivos como el maíz y el sorgo, caracterizados por su alta concentración de azúcares y su baja capacidad buffer (elevada relación CHS/CB), exhiben una excelente aptitud de ensilado y consolidan un material anaeróbicamente estable aun con bajos porcentajes de MS al momento de la cosecha.

Figura 4.3.

Relación entre el porcentaje de materia seca mínimo y la relación CHS/CB necesaria para lograr un silaje anaeróbicamente estable en diferentes especies forrajeras. CHS: carbohidratos hidrosolubles; CB: capacidad buffer.



Nota. Fuente: Weissbach, 1996 en Abdelhadi, 2007.

Inoculantes

Un inoculante de silo es un aditivo microbiano que se incorpora al material con el objetivo de dirigir y controlar el proceso fermentativo. Su correcta utilización requiere la elección de un producto que provea entre 100.000 y 150.000 UFC (unidades formadoras de colonias) por gramo de forraje. El aditivo se diluye en agua y se dosifica sobre el material picado durante la cosecha, mediante tanques aplicadores integrados en las picadoras de forraje.

Estos productos se clasifican en tres generaciones. A continuación, se caracteriza cada una de ellas sobre la base de la revisión de Addah (2022):

Primera generación: constituida por cepas puras o mezclas de bacterias lácticas (principalmente homofermentativas), seleccionadas con el fin de maximizar la producción de ácido láctico. Su uso propicia un rápido y sostenido descenso del pH, además de una mayor recuperación de materia seca. No obstante, su principal limitación radica en su baja capacidad para mitigar el deterioro aeróbico durante la etapa de apertura y suministro del silaje.

Segunda generación: diseñada con el propósito de reducir las pérdidas durante la fase aeróbica. Su acción biológica se basa en la inhibición de los microorganismos responsables del deterioro (levaduras, mohos, enterobacterias y bacilos) mediante la síntesis de ácidos orgánicos específicos. Las especies bacterianas de mayor difusión son *Lactobacillus buchneri* y el género *Propionibacterium*. *L. buchneri* metaboliza el ácido láctico para convertirlo en ácido acético, mientras que *Propionibacterium* transforma los carbohidratos solubles en ácido propiónico. Ambos compuestos poseen un poder antimicótico muy superior al del ácido láctico.

Tercera generación: desarrollada para mejorar la estabilidad aeróbica, minimizar las pérdidas de materia seca e incrementar la digestibilidad de la fracción fibrosa. Estos inoculantes incorporan cepas específicas de *L. buchneri* con capacidad para sintetizar feruloil esterasa (esterasa del ácido ferúlico). Esta enzima hidroliza los enlaces éster que unen los arabinoxilanos al ácido ferúlico. Este ácido hidroxicinámico, muy abundante en la pared celular de las gramíneas, actúa como una barrera que limita la digestión de la fibra en el rumen. El doble beneficio (estabilización aeróbica y optimización de la digestibilidad de la fibra) define la base funcional de esta tecnología.

Una clasificación complementaria de los inoculantes se basa en el perfil de metabolitos resultantes de la fermentación bacteriana. Bajo este criterio, se distinguen bacterias homofermentativas y heterofermentativas. Los inoculantes homofermentativos tradicionales incluyen especies como *Lactobacillus plantarum*, *L. acidophilus*, *Enterococcus faecium*, *Pediococcus acidilactici* y *P. pentosaceus* (Kung, 2001). Estos microorganismos fermentan los carbohidratos solubles con una producción primordial de ácido láctico, lo cual induce un rápido descenso del pH (Arriola et al., 2021), menores pérdidas de materia seca (MS) y una menor proteólisis. No obstante, no mitigan de forma consistente el deterioro aeróbico; de hecho, debido a que proveen sustrato para las levaduras consumidoras de lactato, algunos de estos aditivos pueden acelerar la inestabilidad en presencia de oxígeno. Al respecto, un metaanálisis realizado por Oliveira et al. (2017) reportó que la inoculación homofermentativa (≥ 10^5 ufc/g en base fresca) mejoró significativamente el perfil fermentativo y la recuperación de MS en gramíneas templadas y tropicales, alfalfa y otras leguminosas. Sin embargo, no se

evidenciaron mejoras en la fermentación ni en la estabilidad aeróbica de silajes de maíz, sorgo o caña de azúcar.

Por su parte, los inoculantes heterofermentativos se emplean de manera primordial para prolongar la estabilidad aeróbica del silaje. La especie de mayor difusión en este grupo es *L. buchneri*, capaz de fermentar los azúcares solubles para dar origen a ácido láctico, ácido acético y 1,2-propanodiol. Este último compuesto se puede transformar en ácido propiónico ante la presencia de una población asociada de *L. diolivorans* (Krooneman et al., 2002). Dado que los ácidos acético y propiónico poseen un marcado efecto antifúngico, la aplicación de *L. buchneri* incrementa la estabilidad aeróbica del material. Investigaciones recientes señalan también a *L. hilgardii* como una opción promisoria para este fin (Carvalho et al., 2014, 2015). Si bien el uso de bacterias heterofermentativas puede ocasionar pérdidas de MS sutilmente superiores a las registradas con cepas homofermentativas, la reducción del deterioro en la fase de suministro compensa esta merma. Por último, aunque existen cepas de bacterias propiónicas con capacidad de síntesis de ácido propiónico (un agente antimicótico más potente que el ácido acético), su eficacia práctica es limitada, pues resultan inactivadas por la alta acidez del medio (pH < 4,5).

Con el propósito de capitalizar los beneficios de ambos grupos —la minimización de pérdidas de MS propia de las bacterias homofermentativas y la estabilidad aeróbica provista por las heterofermentativas—, se desarrollaron inoculantes de doble propósito o combinados. Un ejemplo clásico lo constituyen las mezclas de *L. plantarum* y *P. pentosaceus* con *L. buchneri*. Driehuis et al. (2001) evaluaron la eficacia de esta combinación en silajes de pasturas; sus resultados indicaron que la coinoculación optimizó el proceso fermentativo, elevó la estabilidad frente al oxígeno y disminuyó las pérdidas de MS en comparación con el uso exclusivo de *L. buchneri*. Esta última, aplicada de forma aislada, incrementa la estabilidad aeróbica pero no reduce de manera significativa las mermas de materia seca respecto al testigo sin tratar (Jiang y Adesogan, 2018).

Silaje de maíz

El silaje de maíz (*Zea mays*) de planta entera es un recurso forrajero conservado de amplia difusión en los sistemas de producción bovina. Puede contener entre un 40 % y un 50 % de grano sobre la materia seca (MS) total ensilada, mientras que la fracción vegetativa remanente comprende tallos, hojas, chala (brácteas que envuelven la espiga) y marlo (raquis). Su valor nutricional no se limita a la proporción de grano; también depende de variables críticas como el estado de madurez del cultivo al momento de la cosecha, la altura de corte y el procesamiento mecánico de la planta y del grano (Johnson et al., 1999; Neylon y Kung, 2003; Salvati et al., 2020, citados por Bernáldez et al., 2024). Asimismo, la concentración energética del silaje responde al contenido de almidón, al grado de quebrado del grano y a la digestibilidad de la fibra, la cual se estima mediante la fracción de Fibra Detergente Neutro indigestible (FDNi) (De León et al., 2018).

Estos factores, en interacción con las variables propias del proceso de ensilado, definen la calidad nutritiva final.

Implantación

Producir maíz para silaje de alta calidad exige un manejo óptimo de la implantación, densidad de siembra, fertilización y sanidad del cultivo.

La definición de la fecha de siembra responde a estrategias orientadas a mitigar adversidades climáticas y biológicas. Es importante conocer el período libre de heladas de cada región y la probabilidad de ocurrencia de estrés térmico o hídrico, en especial durante el período crítico de floración (Otegui et al., 2023). La germinación requiere una temperatura mínima del suelo de 10 °C. Asimismo, la fotosíntesis neta y el desarrollo vegetal se ven severamente limitados bajo temperaturas frías; este proceso cesa por debajo de los 8 °C y alcanza su tasa máxima cerca de los 30 °C, con un rango óptimo de crecimiento entre los 23 y 29 °C. Por el contrario, las temperaturas elevadas aceleran la fenología y acortan la duración del ciclo biológico (Andrade et al., 2023). En términos de requerimiento hídrico, el cultivo necesita entre 700 y 1000 mm anuales de precipitación, de los cuales entre 400 y 500 mm deben ocurrir durante su ciclo de crecimiento. En la región pampeana, la ventana óptima de siembra se ubica entre mediados y fines de septiembre, período en el cual el riesgo de heladas tardías disminuye significativamente.

Respecto al material genético, el mejoramiento se ha centrado en la modificación de la estructura de la planta para incrementar la digestibilidad de la fibra, potenciar el índice Stay-Green (capacidad de retrasar la senescencia foliar y mantener el tejido verde y fotosintéticamente activo en estados avanzados de madurez) (Bragachini et al., 2018) y desarrollar eventos biotecnológicos de resistencia a insectos y herbicidas. El híbrido seleccionado determina de forma directa el rendimiento de materia seca cosechada, la proporción de grano y la digestibilidad del silaje (asociada al contenido de Fibra Detergente Ácido, FDA). Las características ideales de un cultivar para silaje abarcan un elevado rendimiento de forraje de calidad, una participación del grano no menor al 40 % de la MS total, una alta permanencia foliar verde, tolerancia al vuelco y una elevada digestibilidad de la fracción vegetativa (Romero y Aronna, 2003).

La densidad óptima de siembra responde a las condiciones ambientales, el nivel tecnológico y las características ecofisiológicas del híbrido. García-Chávez et al. (2022) observaron que densidades de 60.000 a 90.000 plantas/ha incrementaron el rendimiento (kg MS/ha) sin detrimento de la calidad del silaje (estimada mediante FDN y digestibilidad). En la misma línea, Camarasa et al. (2019) reportaron resultados equivalentes para densidades entre 30.000 y 70.000 plantas/ha. En la práctica productiva, esta variable se ajusta según la región y la época de siembra, por ejemplo, en la Cuenca lechera de Abasto se emplean habitualmente entre 50.000 y 60.000 plantas/ha; en el sur de Santa Fe, los rangos recomendados oscilan entre 70.000 y 80.000 plantas/ha para siembras tempranas, y entre 55.000 y 65.000 plantas/ha en maíces tardíos o de segunda.

Momento de picado

Realizar el picado con un contenido de humedad adecuado resulta importante para asegurar una compactación óptima, una fermentación eficiente y la minimización de mermas durante el almacenamiento. Por consiguiente, el porcentaje de materia seca (MS) constituye el criterio principal para definir el momento de cosecha. La madurez fisiológica del cultivo ejerce una influencia sobre este parámetro. En el cultivo de maíz, el rango óptimo de humedad se ubica entre el 60 % y el 67 % (equivalente a un 33-40 % de MS). Valores de MS inferiores al 30 % inducen severas pérdidas por efluentes, los cuales arrastran entre un 6 % y un 8 % de nutrientes solubles en base seca (Bragachini et al., 2018). Asimismo, esta condición reduce la densidad energética del silaje debido a la menor acumulación de almidón y a una excesiva síntesis de ácido acético (superior al 3-4 % de la MS).

Por el contrario, un picado con niveles más altos de MS dificulta la compactación del material, aspecto que impide alcanzar la densidad de almacenamiento requerida y promueve el deterioro aeróbico durante el almacenamiento y el suministro. Si bien los cultivos con madurez avanzada presentan un mayor rendimiento de MS y concentración de almidón, este último se encuentra encapsulado en matrices proteicas complejas (zeínas) que restringen su procesamiento mecánico y disminuyen su digestibilidad ruminal.

Como pauta orientativa, y según las condiciones meteorológicas y el cultivar, se estima una tasa diaria de incremento de MS de aproximadamente 0,5 % (Kung y Muck, 2017). Este parámetro permite proyectar el tiempo necesario para alcanzar el nivel óptimo de MS a partir de un muestreo inicial en el lote.

Otro indicador práctico es la evolución del grano de maíz. Bajo condiciones normales, el estado de «media línea de leche» (límite entre el endosperma sólido y el líquido) se asocia a un contenido de MS cercano al 35 %. Cuando el grano alcanza la madurez fisiológica (completamente sólido), la MS oscila entre el 40 % y el 45 % (Tabla 4.1). En ciclos con adversidades climáticas, donde la participación del grano es escasa, se recomienda la evaluación del estado vegetativo: la senescencia del tercio inferior de la planta suele indicar un momento propicio para el picado (Bragachini et al., 2018). Es importante destacar que estos indicadores visuales exigen su complementación mediante muestreos representativos y determinación analítica de la MS de la planta entera, dado que el proceso de conservación involucra la totalidad del cultivo y no sus componentes individuales.

La fecha de cosecha regula de forma directa la calidad del silaje. En la Tabla 4.2 se detallan las variaciones de los principales parámetros nutricionales según el porcentaje de MS y el estado de madurez del cultivo.

Tabla 4.1

Distintos grados de madurez del grano y su correlación entre el contenido de materia seca de la planta entera expresada en porcentaje (%) y el momento de elaboración del ensilaje.

Madurez del grano	Imagen	Referencia de la MS planta entera (%)	Momento de elaboración del ensilaje
Lechoso		<20	NO
Semi pastoso		20-28	NO
Pastoso		29-32	SI
Maduro		33-35	Óptimo
Madurez completa		36-45	SI

Tabla 4. 2

Variación de distintos parámetros nutricionales en función del porcentaje de materia seca (%MS) de silaje de maíz en el momento de picado.

Parámetros	**%MS < 25**	**%MS entre 32-38**	**%MS >40**
Proteína bruta (%)	9,7	8,8	8,3
FDN	54,1	45	44,5
FDA	34,11	28,1	27,5
Almidón	15	35	35
Grano (%)	20,8	48,6	48,6
Energía metabolizable (McalEM/kgMS)	*2,37*	*2,47*	*2,36*

Nota. Adaptada de Gingins (2013).

Altura de corte

La altura de corte empleada habitualmente en el cultivo de maíz para silaje se ubica entre 15 y 20 cm por encima del suelo. Diversos estudios demuestran que el porcentaje de materia seca (MS) se incrementa con la madurez del cultivo en alturas de corte que oscilan entre 10 y 30 cm. Sin embargo, este efecto se atenúa al elevar la altura de corte a rangos de 45 a 60 cm (Figura 4.4) (Kolar et al., 2022).

A medida que se incrementa la altura de corte, se modifica la participación relativa de las fracciones vegetativas (hojas y tallos) y reproductivas (espiga). Este cambio estructural incide directamente sobre la digestibilidad de la MS y reduce, de manera simultánea, el rendimiento de MS por hectárea (kg MS/ha). En la Tabla 4.3 se presentan los efectos de la altura de corte

sobre la calidad y cantidad del forraje cosechado (Piñeiro, 2010). A partir de estos resultados, se infiere la viabilidad de ajustar el porcentaje de MS y la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) mediante la regulación de la altura de corte en función del estadio de madurez del cultivo. Asimismo, esta práctica representa una herramienta de manejo útil para regular el contenido de materia seca del material a ensilar ante adversidades climáticas (como sequías o heladas tempranas), de modo que se propicien las condiciones de humedad recomendadas para una conservación óptima.

Figura 4.4

Efecto de la altura de corte y la madurez del cultivo de maíz sobre el contenido de materia seca en ensilado de maíz.

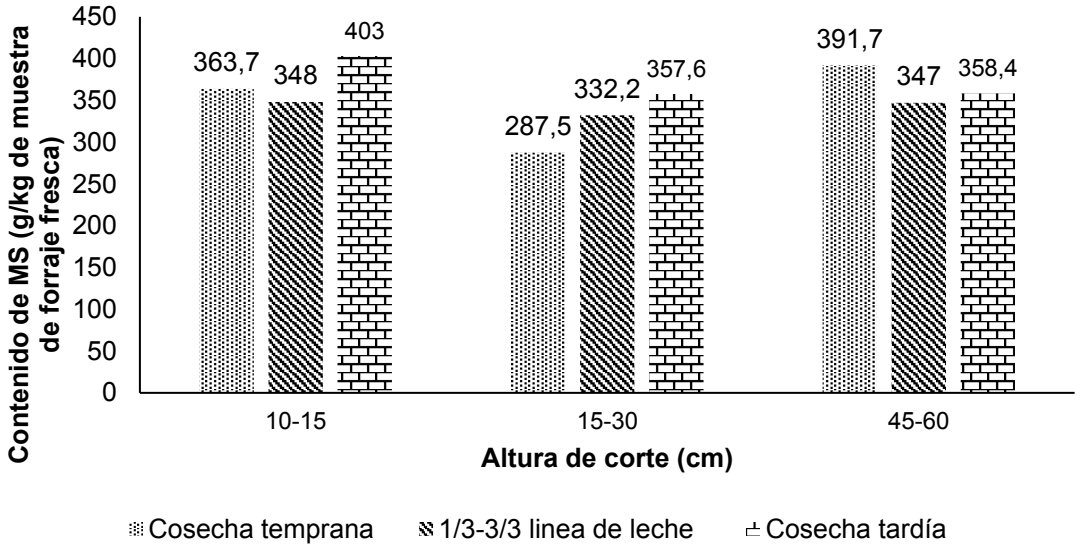


Tabla 4.3

Cambios en la proporción morfológica y Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) expresada en porcentaje (%) en función de la altura de corte expresada en centímetros (cm).

Altura de corte (cm)	Composición morfológica			DIVMS (%)
	Tallo (%)	Hoja (%)	Espiga (%)	
15	24	14	62	66,9
30	17	10	73	68,7
50	12	8	80	70,7

Procesamiento de grano

El almidón de los granos de maíz se encuentra encapsulado en el endosperma, estructura protegida por el pericarpio. Esta capa externa, si se mantiene intacta, confiere una elevada resistencia tanto a la colonización microbiana como a la digestión enzimática (McAllister et al., 1994, citados por Ferraretto et al., 2018). Por consiguiente, la ruptura física de esta barrera resulta indispensable para incrementar la accesibilidad del almidón y optimizar su posterior digestibilidad ruminal. Cabe destacar que el almidón constituye aproximadamente el 70 % de la materia seca (MS) del grano de maíz y aporta el 75 % de su valor energético total.

El procesamiento mecánico del grano se realiza a través de rodillos dentados acanalados (denominados crackers o procesadores de grano), posicionados entre el rotor picador y el acelerador de descarga de la cosechadora. Estos rodillos operan a velocidades diferenciales para triturar el forraje y los granos a su paso. Los procesadores convencionales constan de dos rodillos con una diferencia de giro del 30 %, un diámetro de 196 mm y 80 dientes (Sánchez et al., 2018). La distancia de separación entre ambos es regulable desde la cabina y calibra el grado de quebrado: a menor distancia y mayor diferencial de velocidad, se incrementa la ruptura del grano.

No obstante, este ajuste de alta fricción eleva la demanda de potencia y el consumo de combustible, al tiempo que aumenta el riesgo de atoramientos y reduce la velocidad de avance de la máquina. Como alternativa, aquellos productores que carecen de procesadores intentan compensar esta limitación mediante el empleo de longitudes teóricas de picado (LTP) más cortas, práctica que deprime la eficiencia operativa de la jornada de cosecha. Por este motivo, los contratistas con equipos provistos de cracker priorizan su uso; de este modo, mantienen longitudes de picado más largas sin desmedro de la capacidad de trabajo de la cosechadora.

Además de mejorar la digestibilidad ruminal, el procesamiento del grano reduce el tamaño de partícula del forraje, lo que mejora el acomodo del material en los camiones y silos. También permite la cosecha en estadios más avanzados, con mayor contenido de MS, lo cual reduce la cantidad de agua transportada y amplia la ventana de cosecha. No obstante, plantas con más del 40% de MS, los granos tienden a ser más duros por su mayor proporción de endosperma vítreo, lo que dificulta su ruptura. En cambio, contenidos de MS entre 32 y 40 % favorecen el procesamiento y la digestibilidad del almidón (Ferraretto y Shaver, 2012).

La eficacia del procesamiento depende de varios factores, como la madurez del cultivo, la longitud teórica de corte (LTC), el tipo de procesador y la separación entre rodillos. Shinners et al., (2000) demostraron que, independientemente de la velocidad diferencial o la separación, la madurez del cultivo influye positivamente en el nivel de procesamiento, ya que granos y mazorcas más grandes son más susceptibles al daño mecánico. Además, concluyeron que la separación entre rodillos tuvo mayor efecto sobre el nivel de procesamiento que la velocidad diferencial. Separaciones estrechas (1–3 mm) aumentaron significativamente la ruptura de grano y la digestibilidad total del almidón, superando el 90 % de granos rotos. En un metaanálisis, Ferraretto y Shaver (2012) reportaron un incremento de 5,9 puntos porcentuales en la digestibilidad del almidón con estas configuraciones.

El uso de procesadores también reduce el tamaño de partícula del silaje hasta un 40 %, manteniendo la misma longitud teórica de corte (Schurig y Rodel, 1993; Roberge et al., 1998; Shinners et al., 2000). A igual LTC, se observó una disminución del 20 % en las partículas retenidas sobre tamices de 18 mm en el separador de partículas de Pennsylvania. Esto podría limitar su uso en sistemas lecheros, que requieren fibras largas para mantener el pH ruminal. Históricamente, se utilizaban longitudes teóricas de corte (LTC) cortas (<10 mm) para promover la ruptura de los granos mediante las cuchillas de corte de las cosechadoras de forraje. Sin embargo, con el reconocimiento de la importancia de la FDN físicamente efectiva (feFDN) sobre todo en tambo para la actividad de rumia, el pH ruminal y el contenido de grasa en la leche, se

comenzaron a preferir configuraciones de LTC más largas. Con el desarrollo del concepto de fibra física efectiva, como indicador de actividad de masticación, pH ruminal y contenido de grasa en leche (Mertens, 1997 en Ferraretto et al., 2018) se promovió el uso de LTC mayores, reforzando la importancia del procesamiento mecánico. En este contexto, surgieron nuevos procesadores, como KernelStar (John Deere), que reemplaza los rodillos acanalados tradicionales por rolos cónicos ranurados, aumentando la superficie de contacto. Otro ejemplo es Shredlage, con dos rolos dentados de 110 y 140 estrías transversales, respectivamente, y una velocidad diferencial del 35 %, superior a la de los crackers clásicos. En este sistema, se recomienda una separación entre rolos de 2 a 3 mm y una LTC de 26 a 30 mm, frente a los 15 a 20 mm tradicionales. Jancík et al. (2022) encontraron que, aunque el uso del sistema Shredlage no modificó el perfil de fermentación, sí mejoró el puntaje de procesamiento, el contenido de fibra física, y la digestibilidad in vivo de la materia seca, materia orgánica, almidón, fibra cruda y fibra detergente neutra.

Para calibrar el tamaño y distribución de partículas durante el picado, la Universidad Estatal de Pensilvania desarrolló un separador de partículas (Penn State Particle Separator, Figura 4.5), compuesto por bandejas con diferentes orificios. La bandeja superior, con orificios de 19 mm, retiene partículas mayores a este tamaño. La intermedia (8 mm) retiene partículas entre 8 y 19 mm, mientras que la bandeja inferior (ciega) retiene las menores a 8 mm. Una cuarta bandeja, con orificios de 1,67 mm, permite una clasificación más detallada de las partículas que se digieren rápidamente en el rumen, útil para dietas totalmente mezcladas (TMR). El procedimiento consiste en colocar una muestra de 400 g en la bandeja superior y agitar el conjunto en una secuencia específica de 32 movimientos. Luego, se pesa el contenido de cada bandeja y se calcula la proporción correspondiente. En la Tabla 4 se detallan los rangos orientativos para silajes de maíz, sorgo y dietas TMR según el sistema de producción. Actualmente se agregó una nueva bandeja que retiene partículas entre 1,67 y 8 mm con el objetivo de realizar una determinación más detallada de las partículas que se digieren o pasan con mayor rapidez por el rumen (utilizada para análisis de dietas totalmente mezcladas (TMR)). Para su procedimiento, se debe ordenar las bandejas (superior, intermedia y ciega), colocar una muestra de 400 gr en la bandeja superior y sobre una superficie plana realizar un set de 4 movimientos horizontales desplazando el conjunto de bandejas entre 17 y 20 cm. Culminado, se debe girar en cuartos las bandejas y repetir el procedimiento durante 2 ciclos. De este modo se completa un total de 32 agitaciones, dos por cada lateral. Luego se procede a pesar las partículas retenidas en cada bandeja y calcular el porcentaje de distribución.

Figura 4.5

Separador de partículas compuesto por bandejas con diferentes orificios (foto izquierda) y muestra procesada (grupo izquierdo sorgo y derecho maíz).

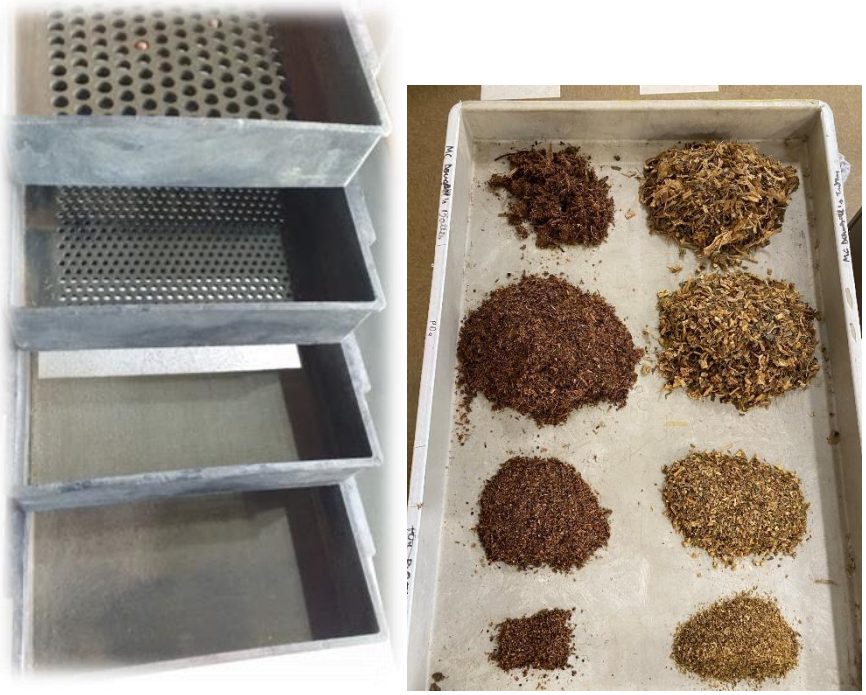


Tabla 4.4

Distribución de partículas para silaje de maíz y sorgo y en dietas totalmente mezcladas (TMR) para distintos sistemas de producción en función de la bandeja del separador de partículas Penn State.

Bandeja	Diámetro de orificio	Proporción orientativa de porcentaje de partículas			
		TMR			
		Silaje de maíz o sorgo	Vaca en ordeñe (VO)	VO de alta producción	Feed Lot
Superior	19 mm	10-15	5-10	10-15	3-10
Intermedia	8 mm	40-50	40-50	50-60	40-50
Inferior	Ciega	40-50	40-50	<30	35-40

Cuando se utilizó el procesador Shredlage, se observó una mayor proporción de partículas de gran tamaño. En particular, el 31,5 % de la muestra quedó retenido en la bandeja superior del separador de partículas de Penn State (con orificios de 19 mm), en comparación con solo el 5,6 % en el caso de silos convencionales. En el caso de dietas totalmente mezcladas (TMR), el Shredlage presentó un 16 % de partículas por encima de dicha bandeja, mientras que las TMR elaboradas con silaje convencional alcanzaron únicamente el 4 %. Además, la digestibilidad in situ de la fibra fue superior en el tratamiento Shredlage (80,8 %) en comparación con el tratamiento tradicional (64,2 %) (Jančík et al., 2022). Este efecto se atribuye al mayor grado de quebrado de los granos y al daño mecánico inducido sobre la superficie vegetal, lo cual

incrementa la superficie de contacto disponible para la acción de las bacterias ruminales, mejorando así la fermentación y la digestibilidad del forraje.

El índice de procesamiento del ensilaje de maíz (KPS), mide el porcentaje de almidón que pasa a través de un tamiz de 4.75 mm, Permite evaluar el grado de rotura del grano en el ensilaje de planta entera de maíz. Si más del 70% del almidón pasa por ese tamiz se considera que el procesamiento fue óptimo. Si entre 50 y 70% del almidón pasa por ese tamiz, se considera un procesamiento adecuado. Si el almidón que pasa es menor al 50% se considera un procesamiento pobre.

Silaje de sorgo

El sorgo (*Sorghum bicolor*) se posiciona como una alternativa destacada al maíz debido a su menor requerimiento de fertilidad edáfica y su mayor tolerancia al déficit hídrico. Este cultivo posee adaptaciones específicas frente al estrés hídrico, como la capacidad de interrumpir temporalmente su crecimiento, un sistema radicular extenso y profundo, y hojas que se pliegan ante la sequía por acción de células motoras (buliformes), las cuales recuperan su turgencia y forma original tras las precipitaciones. Estas características se complementan con la presencia de depósitos de cera en la superficie foliar y un menor tamaño estomático, factores que en conjunto disminuyen significativamente la tasa transpiratoria (Behling Neto et al., 2017).

El sorgo se adapta a regiones con regímenes de precipitaciones anuales de entre 500 y 1000 mm, con requerimientos hídricos que oscilan entre un tercio y dos tercios de los necesarios para el cultivo de maíz (Bustos, 1968; Assefa et al., 2010; Chisi y Peterson, 2018). Las plantas de sorgo presentan una eficiencia superior en la absorción de agua y nutrientes en comparación con otros cereales, debido a su sistema radicular fasciculado, profusamente ramificado y profundo, el cual puede alcanzar el doble del desarrollo respecto al del maíz (Yosef et al., 2009).

En cuanto a la producción de grano, los materiales graníferos pueden registrar proporciones de entre el 40 % y el 50 % de grano sobre el total de la materia seca (MS) de la planta, mientras que en cultivares de mayor porte, como los de doble propósito, esta participación es sutilmente menor, con un aporte que oscila entre el 25 % y el 30 % de grano sobre la MS total.

Implantación

La siembra del sorgo debe realizarse cuando la temperatura del suelo, medida a una profundidad de entre 5 y 10 cm, alcanza los 18 °C durante tres días consecutivos. Esta medición debe efectuarse entre las 9 y 10 horas, y suele coincidir con mediados de noviembre, aunque puede variar según la región agroecológica. A temperaturas del suelo de 21 °C, se logra una germinación rápida, uniforme y con altos coeficientes de logro.

La densidad de plantas objetivo varía según el ambiente productivo: en zonas semiáridas se recomienda entre 160.000 y 180.000 plantas ha^{-1}, mientras que en zonas subhúmedas se sugiere entre 180.000 y 200.000 plantas ha^{-1}. Esta densidad puede ajustarse de acuerdo con el material genético utilizado.

Los materiales empleados pueden clasificarse en:

Forrajeros tipo sudán: aptos para pastoreo, con producción de grano y forraje de calidad media.

Fotosensitivos: no florecen, ofrecen alto rendimiento de forraje, pero de baja calidad nutricional.

Híbridos azucarados: ideales para silaje por su alto contenido de azúcares en la caña, lo cual mejora la calidad fermentativa.

Híbridos con nervadura marrón (BMR): poseen una mutación que reduce el contenido de lignina, lo que mejora significativamente la digestibilidad del forraje.

Materiales con tecnología iGrowth: ofrecen resistencia a herbicidas del grupo de las imidazolinonas y presentan un alto potencial de producción de grano y forraje (doble propósito), Aphix® les brinda tolerancia a plagas emergentes como el pulgón de la caña de azúcar.

En la Tabla 4.5 se presentan los resultados obtenidos para distintos parámetros evaluados en los materiales genéticos mencionados. Es importante destacar la relevancia de la digestibilidad en la respuesta animal. De acuerdo con De León (2014), un incremento del 10% en la digestibilidad de un alimento (por ejemplo, de 55% a 60,5%) puede traducirse en un aumento del 100% en la respuesta productiva del animal.

Tabla 4.5

Materia seca (MS), Proteína bruta (PB), Fibra detergente neutro (FDN), Fibra detergente ácido (FDA) y digestibilidad, expresadas en porcentaje (%) para distintos materiales de sorgo.

Material	MS (%)	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)	Digestibilidad (%)
Granífero	35,7	8,9	47,1	27	69
Doble propósito	33,2	8,3	52,5	31,1	66,2
Silero	28,7	7,8	58	35,2	63,4
Forrajero	33	6,9	65,5	40,4	59,8

Momento de corte

Al igual que en el cultivo de maíz, el porcentaje de materia seca (MS) constituye el principal parámetro para determinar el momento óptimo de picado en el sorgo. El rango ideal se sitúa entre el 35 % y el 40 % de MS (equivalente a un 60-65 % de humedad). La estimación a campo se basa en la evaluación del estado de madurez de los granos en la panoja, la cual se realiza por tercios: los granos del tercio superior deben encontrarse en estado duro, los del tercio medio en estado pastoso, y los del tercio inferior en estado lechoso. Esta distribución fenológica indica que el contenido de MS de la planta entera se encuentra dentro del rango óptimo para la cosecha con destino a ensilaje, bajo condiciones meteorológicas y sanitarias normales.

En materiales con características Stay-Green, es viable retrasar el picado, lo cual permite una mayor proporción de granos maduros (duros) en la panoja sin comprometer el valor nutritivo ni la humedad de la fracción vegetativa. Esta estrategia incrementa el aporte energético del silaje, siempre que se garantice un adecuado procesamiento físico de los granos en la picadora.

Altura de corte

Un aumento en la altura de corte generalmente reduce el rendimiento en materia seca por hectárea, pero puede mejorar ciertos parámetros de calidad del forraje. Granados Niño et al. (2021) evaluaron diferentes alturas de corte (10, 20, 30, 40, 50 y 60 cm) y sus efectos sobre la composición nutricional del forraje. Los principales resultados se presentan en la Tabla 4.6. El contenido de fibra detergente neutra (FDN) se redujo significativamente al aumentar la altura de corte de 10 a 20 cm, pasando de 74.1% a 62.9%, respectivamente. Sin embargo, no se observaron disminuciones significativas en el contenido de FDN al continuar incrementando la altura de corte desde 20 hasta 60 cm. En cuanto a la lignina, su concentración disminuyó de 8.1% a 6.4% cuando la altura de corte se incrementó de 10 a 30 cm. A partir de ese punto, no se evidenciaron diferencias significativas en el contenido de lignina con alturas mayores (hasta 60 cm).

Tabla 4.6

Fibra detergente neutro (FDN), Fibra detergente ácido (FDA), lignina, carbohidratos no fibrosos (CNF) expresados en porcentaje (%) y rendimiento expresado en toneladas de materia seca por hectárea (tnMS/ha) en función de la altura de corte expresada en centímetros (cm). [abcd] *Medias con diferente superíndice entre filas son significativamente diferentes (P<0.05).*

Variables	Altura de corte (cm)					
	10	20	30	40	50	60
FDN (%)	74,1[a]	66,9[b]	66,2[b]	64[b]	63[b]	62,9[b]
FDA (%)	52,1[a]	49,3[ab]	47,8[ab]	44,8[b]	43,6[b]	43,3[b]
Lignina (%)	8,1[a]	7,7[a]	6,4[b]	6,9[b]	6,4[b]	6,5[b]
CNF (%)	4,5[c]	9,1[bc]	11,9[ab] [c]	15,9[ab]	18,4[a]	18,2[a]
Rendimiento (tnMS/ha)	18,7[a]	18,5[a]	18,1[a]	17,8[a]	17,3[ab]	16,1[b]

Procesamiento de grano

El grano de sorgo está compuesto por tres estructuras principales: el pericarpio, el endospermo y el germen. El pericarpio rodea la semilla y actúa como una barrera física que limita la digestión de los nutrientes contenidos en las capas internas del endospermo y el germen. El endospermo puede subdividirse en dos fracciones: harinosa y vítrea. Estas difieren principalmente en su contenido y disposición de proteínas. El endospermo vítreo presenta una mayor concentración de proteínas de reserva, las cuales se encuentran fuertemente asociadas al almidón, lo que dificulta su digestión. En contraste, el endospermo harinoso posee una menor proporción de estas proteínas (Shull et al., 1990).

Las kafirinas, proteínas de reserva características del sorgo, representan entre el 60% y 70% de la proteína total del grano. Estas proteínas, por su capacidad de encapsular y entrelazarse con el almidón, actúan como una barrera fisicoquímica que reduce la digestibilidad del grano por parte de los rumiantes (Owens et al., 1986). Por este motivo, es necesario un procesamiento

mecánico eficiente que rompa el pericarpio y desorganice la matriz proteína-almidón para mejorar la degradación de la materia seca (MS) (McAllister et al., 1994 Johnson, 2016).

Adicionalmente, el grano de sorgo contiene compuestos fenólicos como ácidos fenólicos, flavonoides y taninos (Duodu et al., 2003), que pueden tener efectos adversos sobre el consumo voluntario y el desempeño animal. La madurez del sorgo al momento de la cosecha puede utilizarse para aumentar la concentración de almidón, y los desafíos relacionados con su digestibilidad pueden aminorarse mediante el procesamiento mecánico del grano del sorgo (McCary et al., 2020).

En cuanto al procesamiento mecánico, los procesadores clásicos utilizados para sorgo constan de rodillos con un diámetro de 250 mm, 100 dientes, y operan con una velocidad diferencial del 20%. Sánchez et al. (2018) reportaron que el uso de estos procesadores redujo en un 83,4% la cantidad de grano sin procesar en comparación con tratamientos sin sistema de cracking. Abdelhadi et al (2023) comparo el desempeño de vaquillonas alimentadas con silaje de sorgo sin procesar vs. silaje de sorgo procesado con cracker convencional. El aumento en la digestibilidad del almidón fue del 8 % (86,5 vs. 93,5 %, respectivamente).

Numerosos estudios han abordado la degradación de la matriz proteica constituida por prolaminas hidrofóbicas, las cuales envuelven y cohesionan los gránulos de almidón durante el proceso de ensilaje. Esta matriz, aunque insoluble en agua o en los fluidos ruminales debido a su carácter hidrofóbico, puede ser solubilizada en presencia de ácidos orgánicos como el ácido acético y el ácido láctico. Por lo tanto, la intensidad de la fermentación durante el proceso de ensilado podría desempeñar un rol clave en su degradación.

La disociación de esta matriz puede ocurrir por dos mecanismos principales: la solubilización química durante las primeras etapas del ensilado, o la actividad proteolítica residual que persiste durante la fase estable del mismo. Tras 240 días de conservación en silo, se ha observado una ruptura significativa de la matriz proteica, con diferencias atribuibles al material genético, al nivel de encapsulación del almidón y a la duración e intensidad de la fermentación (Hoffman et al., 2011 en Caffaratti 2016). Abdelhadi et al. (2024) observaron que el procesamiento del grano de sorgo al momento de la cosecha para enilaje aumentó la degradabilidad de la materia seca in situ en el rumen. Sin embargo, esas diferencias desaparecieron después de más de 200 días de almacenamiento.

En términos de procesamiento con Shredlage, Podversich et al., (2025) compararon el desempeño y la digestibilidad de ensilajes de sorgo sin procesar, procesado con cracker convencional de sorgo y procesado con Shredlage. Estos autores observaron que el uso del procesador Shredlage resultó en una mayor digestibilidad total de la FDN en comparación con un procesador convencional de granos para sorgo, mientras que la digestibilidad del almidón fue similar. Sin embargo, se observó una diferencia en el desempeño productivo a favor del ensilaje procesado de forma convencional.

Para evaluar el procesamiento del grano en el cultivo de sorgo, Johnson et al., (2016) desarrollaron un índice de procesamiento de 1.75 mm para evaluar si el procesamiento fue o no adecuado. Sin embargo, investigadores de la universidad de Texas A&M y de la universidad de Wisconsin-Madison junto con profesionales del laboratorio Rock Rivers, sugirieron aumentar

dicho índice para sorgo a 2.36 mm. Si más del 70% del almidón pasa por ese tamiz se considera que el procesamiento fue óptimo. Si entre 50 y 70% del almidón pasa por ese tamiz, se considera un procesamiento adecuado. Si el almidón que pasa es menor al 50% se considera un procesamiento pobre.

Silaje de pasturas y verdeos

Los silajes de pasturas se confeccionan de forma habitual a partir de alfalfas puras, pasturas consociadas de leguminosas y gramíneas, o gramíneas puras. Su valor nutricional radica, de manera principal, en el aporte de fibra física y químicamente efectiva, así como en su concentración proteica. Dentro de los recursos forrajeros anuales de invierno (verdeos), se destacan el raigrás anual, la avena, la cebada, el trigo y el centeno, los cuales aportan fibra, proteína y energía. En Argentina, este grupo de verdeos y pasturas representa el 30 % de la superficie total ensilada, lo que demuestra la relevancia estratégica de estos recursos dentro de las cadenas forrajeras.

Si bien el silaje de alfalfa registra una amplia difusión histórica en los esquemas ganaderos, en el último período se evidencia un marcado interés por la conservación de cereales de invierno. Esta tendencia cobra relevancia en sistemas de producción que integran rotaciones agrícolas o secuencias de cultivos orientadas a la sustentabilidad y a la eficiencia en el uso de los recursos (Bragachini et al., 2018).

Silaje de alfalfa

El silaje de alfalfa (*Medicago sativa*) presenta diversas ventajas en comparación con la henificación, como la escasa pérdida de hojas desde el corte hasta el ensilado, la baja merma de nutrientes por respiración y la menor exposición a factores climáticos adversos luego del corte. Sin embargo, posee un bajo contenido de carbohidratos solubles (precursores de los ácidos orgánicos) y una alta concentración de proteínas y cationes, los cuales actúan como atenuadores de los cambios de pH. Esto da lugar a una baja relación CHS/CB (Viviani Rossi et al., 1995) (Figura 3).

Las pérdidas totales de materia seca (MS) y de nutrientes durante el ensilado oscilan desde valores mínimos de 3 % a 6 % bajo condiciones óptimas, hasta niveles superiores al 70 % ante alteraciones severas del material (Dulphy y Demarquilly, 1981, citados por Urrets Zavalía et al., 2022). Por este motivo, resulta fundamental comprender y controlar las variables operativas para asegurar un silaje de alfalfa de alta calidad.

El proceso comienza con la selección de un lote que presente un stand de plantas uniforme, parejo y libre de malezas. Esta condición optimiza la eficiencia de la maquinaria durante las etapas de corte, rastrillado y cosecha, lo cual minimiza la contaminación con suelo y, en consecuencia, la proliferación de clostridios productores de ácido butírico (microorganismos que consumen hasta un 24 % de los azúcares del forraje y reducen su aceptabilidad por parte del animal).

El momento óptimo de corte se define por el equilibrio entre el rendimiento y la calidad nutricional del forraje, en consonancia con el objetivo productivo planteado. Un indicador práctico es la aparición de un rebrote basal de entre 3 y 5 cm de altura, señal de que se ha alcanzado el equilibrio deseado. Se recomienda realizar el corte con motosegadoras acondicionadoras provistas de rodillos, a fin de promover un oreo rápido y uniforme entre tallos y hojas. Posteriormente, el paso del rastrillo estirador o giroscópico permite incrementar el volumen de la andana y acelerar la pérdida de humedad. El tiempo de premarchitado se ajusta de acuerdo con las condiciones meteorológicas imperantes (humedad relativa, velocidad del viento y temperatura). El contenido de materia seca debe estar entre el 40 y el 50 %. No se recomienda el silaje directo (corte y picado sin oreo), ya que el exceso de humedad genera pérdidas por efluentes y diluye la concentración de azúcares necesaria para una fermentación adecuada (Bragachini, 1995).

Para lograr una compactación adecuada, el material picado debe exhibir uniformidad, con un tamaño promedio de 15 mm. Al emplear el separador de partículas de Penn State, se busca que aproximadamente el 20 % del forraje quede retenido en la bandeja superior, proporción que favorece una compactación correcta. Un factor determinante en la uniformidad del trozado es el volumen de la andana: si esta resulta escasa, los rodillos alimentadores no ejercen la presión requerida y las cuchillas desgarran el material, lo cual genera partículas de tamaño irregular.

El sistema de silobolsa constituye la tecnología de almacenamiento más difundida, en especial para volúmenes inferiores a los 400.000 kg de materia verde, rango en el cual las pérdidas en silos de tipo búnker o torta aérea suelen ser significativamente mayores. Durante la confección de la bolsa, resulta crucial supervisar el llenado del túnel de compactación y la presión de estiramiento del plástico, dado que la alfalfa no fluye con facilidad. Esta resistencia al flujo puede generar zonas con menor densidad de compactación, lo que altera negativamente las fases aeróbica y anaeróbica del proceso y deprime la calidad del silaje. Con el fin de mitigar este inconveniente, se recomienda incorporar batidores superiores en la bandeja de descarga del remolque; estos elementos unifican la entrada del forraje al rotor de alimentación mediante un giro inverso al utilizado en maíz o sorgo, mecanismo que desagrega las porciones aglomeradas.

Una vez almacenado, el material atraviesa las etapas típicas de la conservación. La técnica del premarchitado busca un rápido descenso del pH en combinación con un incremento de la presión osmótica, factores que inhiben la actividad de las bacterias clostrídiales Las vías fermentativas deseables están mediadas por bacterias homofermentativas, cuya actividad produce ácido láctico, y en menor medida por cepas heterofermentativas, que sintetizan ácido láctico, ácido acético y alcohol. En contraste, los desvíos fermentativos —atribuidos principalmente a bacterias butíricas del género *Clostridium*— consumen carbohidratos solubles y ácido láctico, con la consiguiente liberación de dióxido de carbono (CO_2), ácido butírico y otros compuestos volátiles. Asimismo, estos microorganismos degradan los aminoácidos mediante desaminación, proceso que genera amoníaco (NH_3) y aminas tóxicas que reducen de forma drástica la calidad higiénica y la aceptabilidad del silaje.

Cereales de invierno

Los silajes de cereales de invierno son un recurso que aporta fibra (tanto química como física), proteína y energía. El rango óptimo de materia seca (MS) para su conservación se ubica entre el 35 % y el 50 %. A medida que estos cultivos avanzan en su desarrollo fenológico, se incrementa el contenido de MS y almidón, pero disminuye la digestibilidad de la fibra. Por consiguiente, según el destino nutricional del silaje, el corte se puede realizar en el estado de hoja bandera (última hoja expandida) o en el de grano lechoso a pastoso.

En el estado de hoja bandera (Figura 4.6), el material exige un premarchitado previo. En contraste, en el estadio de grano lechoso-pastoso (con un tenor de MS cercano al 35 %), es viable efectuar un corte directo con cabezal adaptado, sin necesidad de deshidratación previa a campo. Al respecto, Kuttel et al. (2017), en investigaciones con cebada, avena y trigo, reportaron contenidos de MS de entre el 38 % y el 40 % para este último estado fenológico.

Figura 4. 6

Estado hoja bandera en cereal de invierno.



Cuando el forraje se cosecha con un tenor inferior al 35 % de MS, el material queda expuesto a vías fermentativas ineficientes, con mermas de nutrientes solubles debido a la generación de efluentes y lixiviados. Por el contrario, si la cosecha se realiza con más del 45-50 % de MS, se prolonga la fase aeróbica inicial, lo cual favorece el desarrollo de microorganismos deletéreos. Estos agentes pueden reactivarse tras la apertura del silo, con la consiguiente pérdida de nutrientes y la síntesis de compuestos fermentativos alterados, además de elevarse la susceptibilidad al desarrollo de hongos (Camarasa, 2018).

La altura de corte recomendada oscila entre los 7 y 10 cm por encima del nivel del suelo. Si el material se encuentra en estado vegetativo, con menos del 35 % de MS, debe someterse a un proceso de premarchitado, de manera análoga a la metodología descrita para el silaje de alfalfa.

Dimensión del tamaño del silo

Un ejemplo de tecnología de procesos es el dimensionamiento del ancho del silo para un correcto manejo de la cara expuesta. Veamos un ejemplo práctico: si debemos alimentar 200 vacas en ordeñe (VO), que consumen en promedio 15 kg netos de silo por día, deberemos seguir

los siguientes pasos para determinar el ancho del silo, y así, minimizar las pérdidas (Piñeiro, 2010).

Pasos a seguir

1- Determinar la cantidad de animales y/o categorías que consumirán el silaje.

2- Determinar la cantidad de silaje a consumir por cada animal (kg silaje/animal/día).

3- Calcular el consumo ofrecido considerando un 85% de aprovechamiento.

4- Calcular la cantidad de silaje a extraer diariamente (kg silaje/día).

5- Determinar la altura del silo, que estará en función del método y/o la maquinaria de extracción disponible en el establecimiento, y las posibilidades de cumplimentar lo necesario por parte de su contratista de confianza.

6- Determinar la profundidad de extracción con el objetivo de que el frente no esté expuesto más de 24 a 48 horas.

7- Calcular el volumen diario a extraer.

8- Finalmente, calcular el ancho (Ver cuadro 6).

En la Tabla 4.7 se desarrolla un ejemplo, teniendo un frente de silaje que no supere las 24 a 48 hs de exposición al aire. Tiempos mayores provocan oxidación de la materia seca (MS) deteriorando su calidad y disminuyendo su cantidad. Se mencionan casos de 40% de pérdidas debido a la difusión del oxígeno en el interior

del silo.

Tabla 4.7

Cálculo de dimensiones de frente de silo.

Cantidad de animales que consumirán silaje	200 VO
Cantidad de silaje consumido por animal por día	15 kg tal cual/VO/día
Cantidad de silaje consumido por animal y por día considerando un 85% de aprovechamiento	15 kg tal cual/VO/día * 0,85= 17,6 kg silaje/VO/día
Cantidad a extraer diariamente	200 VO * 17,6 kg/VO/día = 3.250 kg MV/día
Altura media del silo	2 metros
Profundidad de extracción	0,30 metros
Cálculo de volumen diario	3.250 kg MV/día / 650 kg MV/m 3 = 5 m 3/día
Ancho del silo (si tiene 2 metros de alto y se retira 0,30 metro día)	Ancho: volumen diario/profundidad/altura =5 m3 /día / 0,30 m/ 2 m = 8,33 m/día

Compactación y densidad del forraje

La densidad de compactación ejerce una influencia determinante sobre el valor nutritivo del forraje y la magnitud de las pérdidas de materia seca (MS) durante el almacenamiento. El flujo y movimiento del oxígeno dentro de la masa ensilada responden a su porosidad, variable

estrechamente asociada a la densidad del material, así como a sus contenidos de materia seca y materia orgánica (Borreani et al., 2018, citados por Persson y Bakken, 2024). Por lo general, un incremento en la densidad del silaje reduce de manera significativa las pérdidas por respiración celular y degradación aeróbica. Al respecto, Wang et al., (2018) determinaron que, dentro de un rango de 300 a 700 kg de materia verde por metro cúbico (kgMV. m^{-3}), una mayor densidad de compactación en el silaje de maíz se asocia con una menor temperatura de fermentación y una síntesis más elevada de ácido láctico, con registros máximos bajo la densidad más alta (700 kgMV. m^{-3}). Asimismo, el tenor de proteína bruta (PB) sobre la MS resultó superior en el tratamiento de alta densidad (700 kgMV. m^{-3}). respecto al de menor compactación (300 kgMV. m^{-3}). En contrapartida, las concentraciones de Fibra Detergente Ácida (FDA) y Fibra Detergente Neutra (FDN) exhibieron una correlación negativa con la densidad de compactación, lo cual consolida un material de superior digestibilidad y valor energético. Un silo aéreo de buena elaboración y compactación posee una densidad de entre 650 y 750 kgMV.m^{-3}.

Pasos a seguir en la compactación de silo torta o bunker (Piñeiro, 2010) (Figura 4.7).

1) Planificación previa: dimensionar el silo en superficie de trabajo y altura objetivo para poder armonizar la potencia de tractores requerida. A modo de ejemplo, a mayor altura con menor pendiente se requerirá tractores con mayor potencia.

2) Iniciar el pisado del silo desde el 1er camión, para evitar que en la base del silo se forme una capa sin compactar, la cual generará que todo el material que se adicione posteriormente tenga menor densidad (“efecto colchón”). El tractorista que se ocupa de desparramar el forraje es el encargado de organizar las descargas.

3) Evaluar la tasa de llenado del silo del equipo de picado (tn/hora), para ver si cuenta con la adecuada cantidad de tractores.

4) - Los tractores: deben tener el mayor peso posible por rueda; deben tener en lo posible caja conversora (power shift), lo cual le permite estar mayor tiempo pisando silo, sin tener que bajar del mismo; las ruedas simples son mejores que las duales y las de alta flotación, al distribuir; el peso del tractor en menos superficie, sin embargo, generan más riesgo de accidentes al pisar silos altos; deben pisar en plano para distribuir mejor su peso.

5) Desparramar el material en capas de no más de 15 cm desde el inicio. En este punto hay que mencionar que no tiene sentido que el tractor se quede pisando toda la noche para compensar deficiencias del pisado durante el día, ya que sólo compactará una capa a una profundidad determinada por el peso del tractor.

6) Una vez fermentado el material, no se debe circula más sobre ese sector en particular.

Figura 4.7

Confección de un silo torta



Tapado del silo torta o bunker

El tapado del silo, a diferencia del dimensionamiento, constituye una tecnología de insumo que justifica ampliamente su implementación. Está demostrado que la omisión de esta práctica ocasiona la pérdida de hasta 20 centímetros de forraje en los primeros 50 centímetros de profundidad de un silo de tipo «puente» (o torta). Además de estas pérdidas físicas directas, la infiltración de agua de lluvia diluye los ácidos orgánicos generados durante la fermentación anaeróbica. Este proceso eleva el pH y promueve el desarrollo de bacterias clostridiales y hongos, lo cual incrementa la probabilidad de síntesis de micotoxinas y repercute negativamente en la producción animal. Por lo tanto, resulta indispensable colocar la cobertura plástica de forma inmediata al concluir la confección del silo, asegurando que quede adecuadamente fijada. Se recomienda disponer un neumático por metro cuadrado para garantizar un anclaje uniforme y evitar el ingreso de aire o agua (Figura 4.8).

Figura 4.8

Silos tipo torta tapados.



Extracción y suministro de silajes

Silo autoconsumo

Uno de los primeros aspectos a tener en cuenta, es dónde hacer la bolsa. Es importante que el lugar elegido sea alto para evitar encharcamientos innecesarios. Evaluar la disponibilidad de agua, por lo que es necesario hacer las bolsas cerca de una aguada, para facilitar el consumo de la misma. En cuanto a la orientación, las bolsas tienen que estar orientadas de norte a sur para favorecer el secado rápido del piso por dos motivos: a) se exponen ambos laterales de la bolsa a recibir la luz del sol, entre el amanecer y el atardecer y b) se facilita la circulación de aire ya que los vientos predominantes son de dirección norte a sur. Las bolsas pueden ubicarse longitudinalmente una a continuación de otra, o paralelas una al lado de otra. Para este último caso es importante que estén distanciadas a no menos de 50 metros entre sí, para ello es útil armar la bolsa en el centro de la parcela (las que normalmente son de 50 metros de ancho), de esta forma se asegura un espacio suficiente para que el animal pueda moverse

Mixer

Para reducir perdidas por fermentaciones secundarias o procesos de oxidación se recomienda extraer la candad de material que va a ser consumido por los animales en un día; elegir sistemas de extracción de que no alteren la superficie expuesta del silo para evitar entrada de aire, y diagramar la estructura de los silos para poder extraer siempre una capa entre 30- 40 cm y no dejar el mixer cargado con la ración de un día para el otro puesto que esto va en detrimento de la calidad del alimento. El equipo debe extraer el material con la menor alteración

posible de la pared expuesta del silo (Figura 4.9), ya que esto supone una aireación en profundidad de la masa del silo provocando pérdidas importantes en la calidad y cantidad de forrajes. Cabe destacar que cuando se trabaje con palas cargadoras no se debe pretender clavar la misma en la pared del silo, sino rasparla con el filo del balde, para desmoronar una capa de material, el cual luego será cargado una vez disgregado, haciendo el trabajo más liviano y eficiente. Se debe tener en cuenta que el material que es disgregado ya comienza a sufrir oxidaciones por lo que debe ser inmediatamente suministrado. Vale decir que no se puede desmoronar un sector importante de la pared para luego y suministrándolo en los días subsiguientes.

Figura 4.9

Silo con baja alteración de su pared expuesta al aire. Retiro de manta el sector a utilizar.



Henificación

La henificación constituye un método de conservación de forrajes basado en la rápida deshidratación de los tejidos vegetales, hasta alcanzar un tenor de humedad inferior al 20 %, el cual se estabiliza idealmente en torno al 15 %. Mediante esta vía, se inhiben de forma temprana los procesos de respiración celular y la actividad enzimática residual, de modo que se previene el incremento térmico de la masa forrajera. Esta estabilización permite preservar el valor nutritivo original del material, siempre y cuando se mantenga constante dicho porcentaje de materia seca (MS) a lo largo del tiempo.

A continuación, se describen las principales etapas del proceso de henificación: corte, rastrillado, secado, recolección, almacenamiento y suministro.

Corte

La determinación del momento oportuno de corte queda sujeta al objetivo de conservación y al perfil nutricional deseado. En líneas generales, para la obtención de un heno de alta calidad (caracterizado por un valor nutritivo máximo), la defoliación debe efectuarse en estados fenológicos tempranos. Por el contrario, si la prioridad radica en maximizar el rendimiento por unidad de superficie (kg MS/ha), la cosecha puede postergarse hacia estadios de madurez más avanzados.

La estructura aérea de la planta se compone de tallos y hojas. Con el avance de la madurez fisiológica, la relación hoja/tallo disminuye debido al incremento relativo de la fracción de tallos, lo cual deprime la digestibilidad, el consumo voluntario y, por consiguiente, el valor energético del forraje. En este contexto, se destaca el rol crítico de las hojas, debido a que representan la fracción morfológica que mantiene la mayor estabilidad en su composición química a lo largo del ciclo biológico.

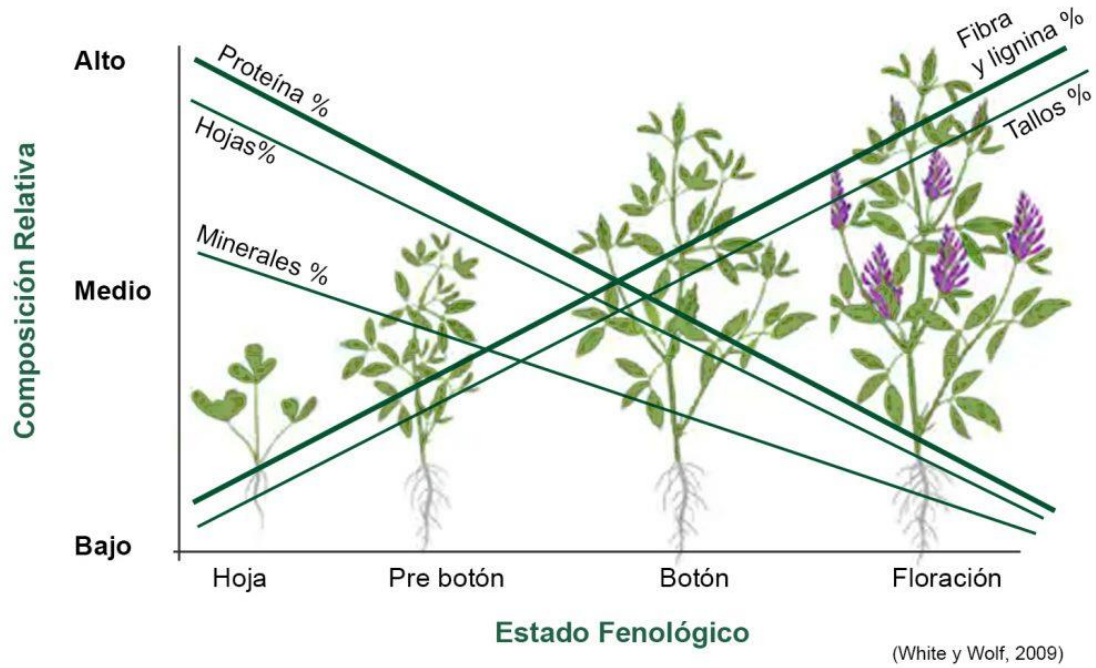
A continuación, se detalla el momento óptimo de corte para diferentes cultivos. Esta labor debe sincronizarse con ventanas climáticas que ofrezcan condiciones meteorológicas favorables para un secado acelerado. El propósito es inducir una rápida pérdida de humedad (desde el 75-80 % inicial hasta niveles inferiores al 50 %) para detener de forma temprana la respiración del forraje cortado, puesto que este proceso continúa el consumo de reservas solubles y ocasiona pérdidas significativas de nutrientes.

Alfalfa

La calidad del forraje varía según el estado fenológico del cultivo (Figura 4.10). La digestibilidad de la materia seca (MS) tiende a disminuir a medida que avanza el ciclo vegetativo, debido al cambio en la proporción entre hojas y tallos. En función de esta información y del objetivo de conservación, se definirá el momento óptimo de corte. En términos generales, antes del estadio de botón floral, el cultivo presenta su máxima digestibilidad; sin embargo, este momento compromete el rendimiento. En el estado de 10 % de floración, o cuando la nueva onda de crecimiento alcanza entre 3 y 5 cm, se logra un equilibrio entre calidad y cantidad. En cambio, cuando se alcanza el 100 % de floración, se prioriza el rendimiento, pero en detrimento de la calidad del forraje. En la Tabla 4.8, se presenta la composición nutritiva del heno de alfalfa en función del estado fenológico en el momento del corte.

Figura 4.10

Variación de proporción de hojas y tallos, proteína, minerales, fibra y lignina expresada en porcentaje (%) en función del estado fenológico



Nota. Obtenido de https://www.picasso.com.ar/semillas_forrajeras_pasturas-html/semillas_de_alfalfa/.

Tabla 4.8

Composición nutritiva de heno de alfalfa en función del corte en diferentes estados fenológicos.

Estado fenológico	PB	Lig	Ca	Mg	P	K	TND
Vegetativo tardío	23	5	1,8	0,26	0,35	2,21	66
Botón floral	20	7	1,5	0,24	0,29	2,56	63
Floración temprana	18	8	1,4	0,33	0,22	2,52	60
Floración media	17	9	1,4	0,31	0,24	1,71	58
Floración tardía	15	10	1,2	0,31	0,22	1,53	55

PB: proteína bruta; LIG: lignina; Ca: calcio; Mg: magnesio; P: fósforo; K: potasio; TND: total de nutrientes digestibles expresada en porcentaje sobre MS

Nota. Obtenido de Urrets Zavalía et al., 2022.

Gramíneas perennes

El heno elaborado a partir de gramíneas perennes, en general, presenta un mayor contenido de carbohidratos y menor concentración de proteínas y minerales en comparación con el heno de leguminosas. Para obtener un heno de buena calidad a partir de especies como raigrás perenne (*Lolium perenne*), pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), agropiro (*Thinopyrum ponticum*), festuca (*Lolium arundinaceum*) o pasto llorón (*Eragrostis curvula*), se recomienda realizar el corte en estado de prefloración (antes de la emergencia de las espigas florales), con el objetivo de maximizar el contenido de materia seca y conservar una adecuada digestibilidad (tabla 4.9).

Tabla 4.9

Momento de corte de las gramíneas perennes para su henificación según el objetivo.

Antes de prefloración	Prefloración	100 % de floración
Mayor calidad y menor cantidad	Optima cantidad y calidad	Mayor cantidad y menor calidad

Gramíneas y leguminosas

Cuando se desea henificar forraje proveniente de una pastura consociada se debe tener en cuenta:

- Qué especies y en qué proporción se encuentran en la asociación.
- Objetivo del corte: máxima cantidad o buen valor nutritivo.
- Las gramíneas tienen menor valor de digestibilidad de la MS que las leguminosas en estados avanzados del ciclo.

En praderas de alfalfa y gramíneas, con predominio de alfalfa, el corte se efectuará en el momento óptimo de la alfalfa (10 % de floración). Cuando haya equilibrio entre densidad de alfalfa y gramínea, también deberá optarse por cortar en función de la leguminosa, ya que ésta aporta forraje de mayor digestibilidad y mayor porcentaje de proteína. Cuando exista predominio de gramíneas el corte se efectuará de acuerdo con los objetivos planteados: máxima materia seca o máximo valor nutritivo.

Avena

Para la confección de heno a partir del cultivo de avena (*Avena sativa*), se recomienda realizar el corte durante el estado de grano lechoso a levemente pastoso, momento en el cual se logra un equilibrio adecuado entre rendimiento de materia seca y valor nutritivo. Este cultivo presenta la ventaja de mantener una buena palatabilidad incluso en estados de madurez avanzados, lo cual se traduce en una mejora del contenido energético del forraje debido a la presencia del grano.

El momento del corte influye significativamente en la calidad y cantidad del heno obtenido:

Corte anticipado (en estados vegetativos tempranos): permite obtener un heno de mayor calidad nutritiva, aunque con menor rendimiento en materia seca.

Corte en estado de grano pastoso: proporciona mayor volumen de forraje, aunque con una disminución en la calidad nutritiva.

Cabe destacar que, en el caso de la avena, es crucial no demorar excesivamente el momento del corte, ya que un secado prolongado puede favorecer la pérdida de granos por desgrane, lo que representa una merma tanto en calidad como en cantidad del forraje final.

Moha

El estadio de prefloración constituye el momento óptimo para el corte de la moha (*Setaria italica*) con destino a henificación, debido a que en esta etapa se maximiza el valor nutritivo del forraje. Contrariamente a ciertas prácticas tradicionales, se desaconseja henificar la moha en estado de semillado. En esta fase avanzada se produce una disminución significativa en la

calidad nutricional del heno y la energía contenida en las semillas no se aprovecha de manera eficiente. Esto último responde a que los granos tienden a desprenderse del rollo durante el movimiento mecánico y el suministro o, en su defecto, sufren procesos de descomposición y pudrición en el interior de la estructura, lo cual afecta negativamente la conservación del material. Adicionalmente, en estadios de madurez avanzados presenta tallos de mayor diámetro, lo que prolonga el tiempo de secado a campo y eleva el riesgo de pérdidas por deterioro aeróbico ante lluvias imprevistas. Por lo tanto, para asegurar una adecuada calidad del heno y una conservación eficiente, resulta indispensable realizar el corte en el momento fenológico adecuado, con prioridad en el equilibrio entre el valor nutritivo, la tasa de deshidratación y la estabilidad del forraje.

Sistema de corte

Cortadora hileradora rotativa de tipo hélice

El corte hilerado de pasturas se realiza mayoritariamente con cortadoras rotativas de eje vertical (comúnmente denominadas «de hélice» o desmalezadoras), debido a su bajo costo de adquisición y mantenimiento. Sin embargo, esta tecnología convencional presenta diversas desventajas operativas que afectan tanto el valor nutritivo del forraje como la eficiencia del proceso:

-Deficiente copiado del terreno, lo cual genera cortes irregulares y pérdida de uniformidad en la altura del rastrojo.

-Repicado excesivo del forraje, lo que provoca una pérdida masiva de hojas (particularmente en leguminosas) y reduce el tamaño de las partículas por debajo de los 10 cm, con el consecuente incremento de las mermas mecánicas en las etapas posteriores de rastrillado y recolección.

-Incompatibilidad de diseño, la cual impide la incorporación de rodillos o mayales acondicionadores, herramientas clave para acelerar la tasa de deshidratación.

-Limitada capacidad operativa, lo que impide trabajar de manera eficiente a velocidades superiores a los 7-8 km/h (Bragachini et al., 2018).

Asimismo, resulta indispensable mantener las cuchillas de corte perfectamente afiladas. Un filo deficiente desgarra los tejidos vegetales en lugar de cortarlos limpiamente, lo cual compromete el rebrote posterior de la pastura debido al desvío de reservas energéticas hacia la cicatrización del tallo, en detrimento de la síntesis de nueva materia seca (Sánchez, 2014).

Segadoras de discos con acondicionadores

Las segadoras de discos con acondicionador representan una tecnología de corte superior. Están equipadas con discos portacuchillas de dimensiones cortas y bajo peso, montados sobre plataformas suspendidas por resortes. Esta disposición otorga una alta flotación y adaptabilidad al relieve, lo cual permite realizar cortes más uniformes y a mayores velocidades de avance. Para su correcto funcionamiento, resulta esencial regular adecuadamente los patines de copiado; de

este modo se evita la marcación de huellas sobre el suelo y se garantiza una altura de rastrojo homogénea (Bragachini et al., 2018).

Entre sus principales ventajas se destacan:

-Reducción significativa de la pérdida de hojas, dado que el repicado del forraje es mínimo gracias al sistema de corte por cizalla.

-Diseño de bajo perfil, el cual facilita el flujo continuo de la biomasa hacia la cámara de acondicionamiento.

-Disminución del tiempo de oreado a campo en aproximadamente un 50 %, lo que optimiza la eficiencia del proceso de henificación.

Los acondicionadores cumplen la función de fisurar (sin cortar) y aplastar los tallos, mecanismo que genera vías de escape para el agua contenida en los tejidos internos. Este proceso resulta clave, puesto que promueve una rápida reducción de la humedad hasta alcanzar el 50 %, umbral en el que cesa la respiración celular de la planta y se detiene el consumo de carbohidratos solubles. De esta manera se conserva el valor nutritivo original del forraje. Además, este sistema permite igualar la tasa de deshidratación entre los tallos y las hojas, lo cual evita el sobresecado, la fragmentación y la posterior pérdida de la fracción foliar durante las etapas de recolección y empacado (Sánchez, 2014).

Consideraciones operativas: altura y horario de corte

- Altura de corte recomendada: entre 7 y 10 cm.
- Horario ideal de trabajo: iniciar el corte a media mañana, una vez que el rocío se ha evaporado. Esta estrategia permite aprovechar el efecto combinado de la radiación solar, temperatura y viento, facilitando una rápida reducción de la humedad inicial y minimizando las pérdidas por respiración.

Una vez cortado, el forraje continúa respirando y consumiendo azúcares solubles hasta alcanzar aproximadamente el 50 % de materia seca. Por esta razón, el horario de corte impacta directamente en la eficiencia del secado y la calidad final del heno (Bragachini et al., 2008).

Dinámica del secado del forraje

El proceso de secado del forraje se divide en tres fases principales (Figura 4.11):

1. Fase inicial: Caracterizada por una rápida pérdida de agua, facilitada por la apertura de estomas, alta humedad del material y elevada presión de vapor interna. En esta etapa, el agua se evapora predominantemente desde las hojas.
2. Fase intermedia: A medida que disminuye la presión osmótica, los estomas se cierran, y la evaporación continúa a través de la cutícula. Este proceso es más lento y se ve afectado por factores ambientales, como la humedad relativa, la densidad del forraje y la circulación del aire.
3. Fase final: Al descender la humedad por debajo del 45 %, el agua se adhiere fuertemente al tejido vegetal. Cuando se alcanza el 40 %, el transporte de agua dentro del forraje se desacelera drásticamente, ya que se forman bolsas de aire en el xilema y el parénquima, reduciendo la movilidad del agua. La evaporación radial es 10 veces más lenta que la axial, y 1000 veces más lenta a través de la epidermis. Esta fase final es crítica, ya que, si la humedad

ambiental es alta o el forraje es muy denso, se incrementa el riesgo de deterioro del material (Callejo Ramos, 2017).

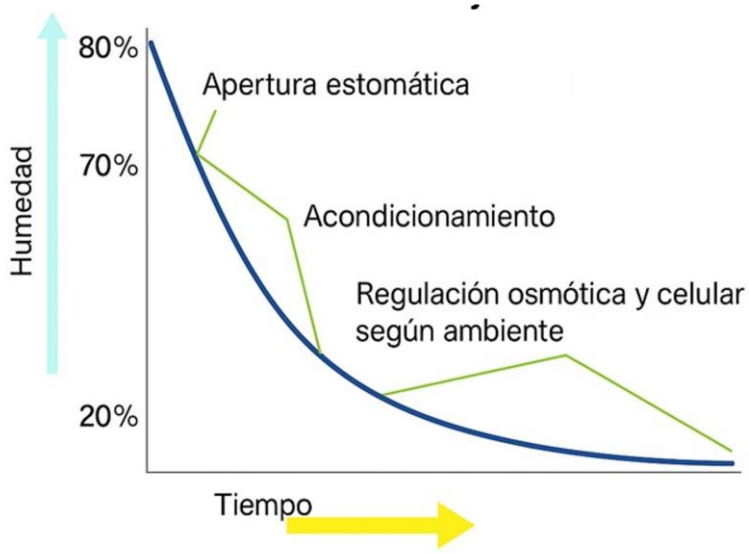
Comparación de eficiencia de secado según tipo de maquinaria y condiciones ambientales

Según datos experimentales (Callejo Ramos, 2017):

- Con segadoras de disco y acondicionador, se logró alcanzar la humedad de empaquetado (20 %) en 28 horas, frente a 36 horas con corta-hileradoras convencionales, bajo condiciones de alta heliofanía (11,9 h) y humedad relativa moderada (52,5 %).
- En condiciones menos favorables, con baja heliofanía (4,2 h) y humedad relativa elevada (72,1 %), el secado se prolongó hasta 48 horas con segadoras y 85 horas con maquinaria convencional.

Figura 4.11

Dinámica de perdida de humedad del forraje



Nota. Obtenida de Bragachini et al., 2008.

La cantidad de forraje a cortar debe determinarse en función de la capacidad de empaquetado disponible. Asimismo, es fundamental considerar el pronóstico de precipitaciones, dado que la ocurrencia de lluvias retrasa la pérdida de humedad y puede ocasionar pérdidas significativas de nutrientes. En la Tabla 4.10 se presentan datos sobre la pérdida de nutrientes en relación con la cantidad de precipitaciones registradas (Urrets Zavalía et al., 2022).

Tabla 4.10

Pérdidas de materia seca y cambios en la concentración de nutrientes por efecto de la respiración y precipitaciones en alfalfa durante el proceso de henificación.

Causa de pérdidas	Pérdida de MS (%)	Cambios en la concentración de nutrientes (%MS)		
	Rango	PB	FDN	TND
Respiración	1-7	0,9	1,7	-1,7
Lluvias		-4	1,4	-1,5
5 mm	3-7	-1,7	6	-7
25 mm	7-27	-3,5	14	-14,2
50mm	15-50			

.

Rastrillado

El rastrillado constituye una etapa importante en el proceso de henificación, ya que puede representar aproximadamente el 30 % de las pérdidas totales durante la confección del heno, principalmente debido a la caída de hojas, lo cual reduce significativamente su calidad nutricional. Adicionalmente, durante esta operación es frecuente la contaminación del forraje con tierra, broza o estiércol, factores que también comprometen su valor nutritivo.

Para lograr un rastrillado eficiente, se debe regular adecuadamente la altura de trabajo del implemento. Esta debe permitir el desplazamiento completo del forraje sin dejar material remanente, pero debe evitar el contacto con el suelo, con el fin de minimizar la contaminación y prevenir daños mecánicos por el impacto de los dientes sobre las coronas. La correcta flotación y nivelación del equipo, especialmente en herramientas de gran ancho de labor, es igualmente esencial para asegurar una operación homogénea.

El incremento de la velocidad de avance por encima de los 7 km/h conlleva un aumento del 5 % en la pérdida de hojas por cada kilómetro por hora adicional. Este efecto se ve intensificado cuando se emplean rastrillos de ancho reducido en combinación con enfardadoras de alta capacidad, ya que se requiere cubrir más superficie en menos tiempo, recolectando un número reducido de andanas por pasada.

Se recomienda realizar el rastrillado cuando el forraje se encuentra entre un 35 % y 40 % de humedad, momento en el cual la tasa de secado comienza a disminuir. Esta práctica no solo acelera el proceso de deshidratación, sino que también contribuye a preservar el valor nutritivo del heno. Lo ideal es efectuar esta labor durante la tarde o por la mañana, una vez que el rocío se haya evaporado (Sánchez, 2014).

Secado y recolección

El proceso de secado a campo suele extenderse entre 2 y 4 días; sin embargo, en función de las prácticas de manejo adoptadas y de las condiciones climáticas imperantes, este período puede variar ampliamente, desde tan solo un día hasta más de 15 días. Diversos modelos de predicción identifican a la radiación solar y a la evapotranspiración potencial como los principales factores ambientales que regulan la tasa de deshidratación. Asimismo, variables físicas como la humedad del suelo y la densidad de la andana ejercen una influencia significativa en esta etapa (Urrets Zavalía et al., 2022).

En cuanto a la maquinaria utilizada para la recolección y el empacado del forraje, se distinguen principalmente tres sistemas: las rotoenfardadoras, las enfardadoras convencionales y las megaenfardadoras. Las rotoenfardadoras permiten la confección de rollos (henos cilíndricos) y pueden estar equipadas con un procesador de fibra (cutter); este dispositivo posibilita el trozado del forraje con una longitud teórica de fibra que varía entre los 7 y 14 cm, según el número de cuchillas activas en el equipo. Por su parte, las enfardadoras convencionales generan fardos prismáticos de menor tamaño, mientras que las megaenfardadoras producen fardos de gran volumen y alta densidad que, al igual que algunas rotoenfardadoras, suelen incorporar un procesador de fibra.

Almacenamiento

En el caso de los henos, la exposición a la humedad edáfica y a las precipitaciones reduce de forma considerable su valor nutritivo, además de propiciar la proliferación de hongos, bacterias y otros patógenos potenciales productores de micotoxinas. Por este motivo, los rollos deben almacenarse en sectores elevados del lote que faciliten el escurrimiento superficial del agua y eviten anegamientos. Asimismo, se desaconseja su ubicación bajo la copa de los árboles, dado que la sombra y el goteo prolongan la humedad residual e impiden la acción desecante del sol y del viento.

Para una adecuada disposición a la intemperie, los rollos deben colocarse en hileras continuas, alineados extremo con extremo por sus caras planas y orientados en sentido norte-sur, disposición que optimiza la ventilación y el secado por radiación solar. Es recomendable interponer una barrera física que los aísle del suelo —como tarimas (pallets) o películas plásticas de descarte— y cubrirlos con mantas de polietileno específicas para minimizar la infiltración de agua (Bragachini et al., 2018).

Por su parte, los fardos y megafardos, debido a su geometría prismática y su menor capacidad para escurrir el agua de lluvia, exhiben una alta susceptibilidad a la penetración de humedad. En consecuencia, se impone su almacenamiento bajo techo, ya sea en galpones, tinglados o mediante sistemas de cobertura impermeable de alta resistencia.

Suministro

El método de suministro varía según el tipo de forraje empacado:

-Rollo (heno): puede suministrarse a través de porta rollos, sistemas de autoconsumo delimitados con barreras de alambre, o mediante el uso de mixer.

-Megafardos: por su tamaño y compactación, se distribuyen preferentemente con mixer, que permiten un fraccionamiento y homogeneización adecuados para su consumo.

Henolaje

El henolaje constituye un método de conservación forrajera de carácter fermentativo, el cual consiste en someter al material a una fermentación anaeróbica controlada tras un proceso de premarchitado que sitúa el porcentaje de materia seca (MS) entre el 40 % y el 60 %. El forraje se procesa mediante enrollado y empaquetado individual, o a través de picado y embolsado, mecanismo que establece las condiciones de anaerobiosis requeridas para desencadenar una fermentación láctica óptima para su preservación.

La secuencia de confección comprende las etapas de corte, preoreado a campo, recolección y empacado. Su adopción permite acortar los tiempos de deshidratación a campo en comparación con la henificación convencional, alternativa de alto valor para zonas con alta probabilidad de precipitaciones o bajas temperaturas. Para asegurar un material de alta calidad, se deben respetar las pautas agronómicas descritas en el apartado de henificación.

Las ventajas del henolaje son:mitigación del riesgo climático, debido a la sustancial reducción del tiempo de exposición del forraje cortado a la intemperie; preservación de la fracción foliar (hojas), dado que el trabajo con material húmedo minimiza las pérdidas mecánicas durante las fases de confección, distribución y suministro; menor requerimiento de potencia, lo cual viabiliza el uso de tractores de rango medio para su confección; escalabilidad y flexibilidad, pues permite conservar eficientemente superficies reducidas de pasturas que no justificarían la logística de un silaje convencional; cinética fermentativa acelerada, debido a las condiciones de hermeticidad y concentración de solutos que ofrece el premarchitado; baja exigencia de mano de obra durante su elaboración y almacenamiento; menor inversión inicial de capital, ya que prescinde de estructuras de almacenamiento fijas o permanentes; facilidad logística de suministro, lo que simplifica la distribución diaria del alimento en comederos y, mínimo nivel de mermas, con pérdidas durante el almacenamiento que oscilan únicamente entre el 3 % y el 7 % de la MS.

Las desventajas son: exigencia de maquinaria complementaria, ya que el transporte, carga y descarga de rollos con alto contenido de humedad requiere pinzas y cargadores específicos debido a su elevado peso; alta demanda de sincronización operativa y organización de las labores a campo; sensibilidad al contenido de humedad: un exceso de agua (menos de 40 % de MS) deprime la calidad de la fermentación y genera la acumulación de efluentes en la base del bolo; en contrapartida, un forraje sobreseco (más de 60 % de MS) impide el logro de la

hermeticidad necesaria para la fermentación y, vulnerabilidad a daños mecánicos, ya que cualquier perforación en la película de polietileno desencadena el ingreso de oxígeno y la consecuente pudrición del material.

Los formatos de formatos de confección son:

-Henolaje tipo Silopaq: consiste en el enrollado y atado del forraje premarchitado para su posterior cobertura individual con un film estirable de polietileno mediante mesas empaquetadoras rotativas. Este proceso sella herméticamente cada rollo de manera independiente.

-Henolaje tipo Siloline (o en línea): en lugar de envolver los rollos de forma individual, se realiza el empaque continuo de una serie alineada y arrimada extremo con extremo por sus caras planas. De este modo, se estructura un cilindro continuo sellado dentro de un tubo o manga plástica elástica (Bragachini et al., 2018).

Consideraciones finales

A lo largo de este capítulo, se analizó la evolución y el impacto estratégico de los forrajes conservados en los sistemas de producción de carne y leche en Argentina. Desde su función histórica como reservas de emergencia (concebidas como un seguro ante contingencias climáticas o sanitarias), hasta su actual definición como componentes activos de la dieta, estos recursos resultaron indispensables para conferir estabilidad y eficiencia a los planteos ganaderos.

El desarrollo tecnológico y la planificación forrajera sistemática posibilitaron la optimización de su uso, lo cual asegura un balance nutricional preciso junto con un aprovechamiento eficiente de los excedentes estacionales. Asimismo, la transición desde la clásica valoración por fibra bruta hacia esquemas basados en atributos nutricionales (como la energía, la proteína y la caracterización de la fibra física y química) representó un hito fundamental. Este cambio paradigmático permite no solo preservar componentes clave del forraje, sino también balancear las raciones de manera más precisa para cubrir los requerimientos del rodeo de alta producción.

En conclusión, los forrajes conservados constituyen una herramienta estructural para la ganadería nacional. El éxito en su implementación no reside en la mera acumulación de volumen, sino en la articulación de una planificación rigurosa, la adopción de las tecnologías de procesos e insumos de vanguardia, y el diseño de estrategias de alimentación adaptadas a las metas individuales de cada establecimiento.

Referencias

Abdelhadi, L. (2007). Los silajes en la producción animal: importancia de la calidad. XI Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal.

Abdelhadi, L. O., Mattioli, G., & DiLorenzo, N. 2023. Feeding sorghum silage: Effects of grain processing on intake and apparent total tract digestibility of backgrounding beef heifers. Journal of Animal Science, 101(Suppl. 3), 645–646. doi: 10.1093/jas/skad281.750

Abdelhadi, L., A. B. Maderal, I. Fernandez-Marenchino, J. J. Vargas, A. Fernandez-Lehman, F. Tarnonsky, G. Mattioli, N. DiLorenzo. 2024. PSXII-22 Ruminal in situ dry matter and starch degradability in grain sorghum silage, as affected by processing and storage time. J. Anim. Sci 102(Suppl 3):785–786.

Addah, W. (2022). Microbial approach to improving aerobic stability of silage. Nigerian J. Anim. Sci. 2022, 24 (2): 231-244.

Amaral-Phillips, D., Lee, C., Lehmkuhler, J. & Roy, N. (2023). Practical Corn Silage Harvest and Storage Guide for Cattle Producers. Cooperative Extension Service. Disponible en: https://publications.ca.uky.edu/sites/publications.ca.uky.edu/files/ID275.pdf

Andrade, F., Neiff, N. & Andrade.J. (2023). Crecimiento del cultivo. En Andrade, F., Otegui, M.E., Cirilo, A. & Uhart, S. Ecología y manejo del cultivo de maíz. Pp 481.

Arriola, K.G., A.S. Oliveira, Y. Jiang, D. Kim, H. M. Silva, S.C. Kim, F.X. Amaro, I. M. Ogunade, H. Sultana, A.A. Pech Cervantes, L.F. Ferraretto, D. Vyas, & A.T. Adesogan. 2021. Meta-analysis of effects of inoculation with Lactobacillus buchneri, with or without other bacteria, on silage fermentation, aerobic stability, and performance of dairy cows. J. Dairy Sci. 104:7653-7670.https://doi.org/10.3168/jds.2020-19647.

Assefa, Y.; Staggenborg, S. & Prasad, V. (2010). Grain Sorghum water requirement and responses to drought stress: Areview. Online. Crop Management doi:10.1094/CM-2010-1109-01-RV.

Behling Neto, A., Pereira dos Reis, R.H., da Silva Cabral, L., Gonçalves de Abreu, J., de Paula Sousa, D. & Gama de Sousa, F. (2017). Nutritional value of sorghum silage of different purposes Valor nutritivo da silagem de sorgo de diferentes propósitos Ciência e Agrotecnologia 41(3):288-299. https://doi.org/10.1590/1413-70542017413038516

Bernáldez, M. L., Cabanillas, M. A., Giménez, R., Luna Pinto, G., Salloum, S., Zenobi, M. & Boetto, G. C. 2024. Characterization of whole plant corn silage harvested at different cutting heights and with two openings of the grain conditioner in field conditions. Agriscientia, 41(1), 45-51.

Bolsen, K.K., D.R. Bonilla, G.L. Huck, M.A. Young, and R.A. Hart-Thakur. 1996. Effect of a propionic acid bacterial inoculant on fermentation and aerobic stability of whole-crop maize silage.p. 154–155. In D.I.H. Jones et al. (ed.) Proc. Int. Silage Conference, 11th. Aberystwyth, UK.8–11 Sept. 1996. IGER, Aberystwyth, UK.

Bragachini, M. 1995. Heno de Calidad. Cuaderno Actualización N.° 1, Proyecto PROPEFO, EEA Manfredi, INTA. 84 p.

Bragachini, M. A., Cattani, P., Giordano, J. M., Peiretti, J., Sanchez, F. R., Urrets Zavalia, G., ... & Opacak, F. 2008. Mercado de Maquinaria de Forrajes Conservados.

Bragachini, M. A., Cattani, P., Giordano, J. M., Peiretti, J., Sánchez, F. & Urrets Zavalia, G. 2018. Manual técnico de forrajes conservados: tecnologías para producir alimentos en alta calidad

y aspectos relacionados a la eficiencia del uso de la maquinaria y el manejo nutricional. Ediciones INTA. EEA Manfredi.

Bustos, W. 1968. Cultivo del sorgo. El Campesino (Chile). 99(8): 14-19.

Callejo Ramos, A. 2017. Conservación de Forrajes (II): Fundamentos de la henificación. "Frisona Espanola" (n. 220); pp. 104-109.

Cámara de Contratistas Forrajeros. 2025. Estadísticas ensilajes Argentina 2024. Disponible en: https://www.ensiladores.com.ar/

Camarasa, J.N., Barletta, P.F & Larrosa, F. 2019. Rendimiento de forraje y calidad nutricional con densidades bajas en maiz para ensilaje. Revista de tecnología agropecuaria - RTA 10 (40) : 38-41.

Camarasa, N. 2018. Silahes de cereales de invierno. En: Bragachini, M. A., Cattani, P., Giordano, J. M., Peiretti, J., Sánchez, F. & Urrets Zavalia, G. Manual técnico de forrajes conservados: tecnologías para producir alimentos en alta calidad y aspectos relacionados a la eficiencia del uso de la maquinaria y el manejo nutricional. Ediciones INTA. EEA Manfredi

Carvalho, B. F., C. L. S. Ávila, J. C. Pinto, J. Neri, & R. F. Schwan. 2014.Microbiological and chemical profile of sugar cane silage fermentationinoculated with wild strains of lactic acid bacteria. Anim. Feed Sci. Technol.195:1–13.

Carvalho, B. F., C. L. S. Ávila, M. G. C. P. Miguel, J. C. Pinto, M. C. Santos, & R. F. Schwan. 2015. Aerobic stability of sugar-cane silage inoculated withtropical strains of lactic acid bacteria. Grass and Forage Science. 70:308–323.

Caffaratti, S. 2016. Producción y manejo de reservas. Efecto del tiempo. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/285-efecto_del_tiempo.pdf

Chisi, M. & Peterson, G. 2018. Chapter 2: Breeding and agronomy. In: Taylor, T. & Duodu, K. (eds). Sorghum and millets:chemistry, technology and nutritional atributes (Second edition). Woodhead Publishing. Cambridge, United Kingdom. pp:23-50.

De León, M. (2014). La utilización de silajes en los sistemas ganaderos. Instituto Nacional de Tecnologías Agropecuarias-INTA.

De León, M., Bulaschevich, M. Boetto, C., Giménez, R., Cabanillas, A. &y Bernáldez, L. 2018. Fibra Detergente Neutro Indigestible (FDNi) como estimador del valor nutritivo de sorgo y maíz para silajes (Informe técnico del Programa Nacional de Producción Animal Alimentación de bovinos para carne). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Duodu, K. G., J. R. N. Taylor, P. S. Belton, and B. R. Hamaker. 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. J. Cereal Sci. 38:117–131. https://doi.org/10.1016/S0733-5210(03)00016-X

Driehuis, F., S. J. W. H. Oude Elferink, & P. G. Van Wikselaar. 2001.Fermentation characteristics and aerobic stability of grass silage inoculatedwith Lactobacillus buchneri, with or without homofermentative lactic acidbacteria. Grass and Forage Science 56:330–343.

Ferraretto, L. F., and R. D. Shaver. 2012. Meta-analysis: Impact of corn silage harvest practices on intake, digestion and milk production by dairy cows. Prof. Anim. Sci. 28:141–149.

Ferraretto, L.F., R.D. Shaver, and B.D. Luck. 2018. Silage Review: recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. J. Dairy. Sci. 101:3937-3951.

Fernández Mayer, A. 1999. El silaje y los procesos fermentativos. Sitio Argentino de Producción Animal. Disponible en:
https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/01-el_silaje_y_los_procesos_fermentativos.pdf

Garcés Molina, A. M., Berrio Roa, L., Ruíz Alzate, S., Serna D León, J. G. & Builes Arango, A. F. 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. Revista Lasallista de Investigación, vol. 1, núm. 1, pp. 66-71.

García-Chávez, I., Meraz-Romero, E., Castelán-Ortega, O., Zaragoza-Esparza, O., Osorio Avalos, J., Robles Jiménez, L. E., & GonzálezRonquillo, M. (2022). Corn silage, a systematic review of the quality and yield in different regions around the world. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 23(3), e2547. https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3

Gingins, M. 2013. Cómo interpretar un análisis de silaje de maíz. Revista Producir XXI, Bs. As., 21(257):36-39.

Godoy, J. 2014. Alta producción de leche con bajo nivel de concentrados. Forrajes de buena calidad como punto de partida. VII Congreso de Conservación de Forrajes y Nutrición. pp 8-12.

Johnson, J. R.; Goeser, J. P.; and Brouk, Michael. 2016. Development of a berry processing score for sorghum silage. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports: Vol. 2: Iss. 9.

Granados-Niño, Jorge A., Reta-Sánchez, David G., Santana, Omar I., Reyes-González, Arturo, Ochoa-Martinez, Esmeralda, Díaz, Fernando, & Sánchez-Duarte, Juan I. 2021. Efecto de la altura de corte de sorgo a la cosecha sobre el rendimiento de forraje y el valor nutritivo del ensilaje. Revista mexicana de ciencias pecuarias, 12(3), 958-968. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5724

Jančík, F., Kubelková, P., Loučka, R., Jambor, V., Kumprechtová, D., Homolka, P., Koukolová, V., Tyrolová, Y., & Výborná, A. 2022. Shredlage Processing Affects the Digestibility of Maize Silage. Agronomy, 12(5), 1164. https://doi.org/10.3390/agronomy12051164

Johnson, J. R.; Goeser, J. P.; and Brouk, Michael. 2016. Development of a berry processing score for sorghum silage. Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports: Vol. 2: Iss. 9.

Jiang, & Adesogan, A.T. (Eds.). 2018. How silage inoculants can reduce losses and increase milk production. in: International Conference on Forages. Lavras, pp. 9–22.

Krooneman, J., F. Faber, A. C. Alderkamp, S. O. Elferink, F. Driehuis, I.Cleenwerck, J. Swings, J. C. Gottschal, & M. Vancanneyt. 2002. Lactobacillusdiolivorans sp. nov., a 1, 2-propanediol-degrading bacterium isolated fromaerobically stable maize silage. International Journal of Systematic andEvolutionary Microbiology. 52: 639–646.

Kolar, S., Vranić, M., Božić, L. & Bošnjak, K. The effect of maize crop cutting height and the maturity at harvest on maize silage chemical composition and fermentation quality in silo. Journal of Central European Agriculture, 2022, 23(2), p.290-298. DOI: /10.5513/JCEA01/23.2.3504

Kung, Jr, L. 2001. Silage fermentation and additives. Science and Tehcnologyin the Feed Industry. 17:145–159.

Kung, Jr &Muck, R.E. 2017. Silage Harvesting and Storage 2017, Pages 723 – 738 in Large Dairy Herd Management. Third Edition American Dairy Science Association, Champaign, IL D. K. Beede, Editor in Chief Link to book at - https://ldhm.adsa.org/

Kuttel WD, Coll L. y Díaz MG 2017. Producción invernal de reservas forrajeras: cebada, trigo, avena y colza. Serie Extensión INTA Paraná Nº 81:57-64. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/378498846_Produccion_invernal_de_reservas_forrajeras_cebada_trigo_avena_y_colza

McAllister, T. A., H. D. Bae, G. A. Jones, and K. J. Cheng. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. J. Anim. Sci. 72:3004–3018.

McCary, C. L., Vyas, D., Faciola, A. P., & Ferraretto, L. F. (2020). Graduate Student Literature Review: Current perspectives on whole-plant sorghum silage production and utilization by lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 103(6), 5783-5790.

Muck, R.E. 1988. Factors Influencing Silage Quality and Their Implications for Management1,

Journal of Dairy Science, Volume 71, Issue 11. pp 2992-3002. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79897-5.

Oliveira, A.S., Z. G. Weinberg, I. M. Ogunade, A. A. Cervantes, K. G. Arriola,Y. Jiang, D. Kim, X. Li, M. C. Gonçalves, D. Vyas. & A. T. Adesogan. 2017.Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultativeheterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability,and the performance of dairy cows. J. Dairy Sci. 100:4587–4603.

Otegui, M. E., Andrade, F., Cirilo, A. & Mercau. J. 2023. Fecha de siembra. En Andrade, F., Otegui, M.E., Cirilo, A. & Uhart, S. Ecología y manejo del cultivo de maíz. Pp 481.

Oude Elferink, S., Driehuis, F., Gottschal, J. & Spoelstra, S.F. 2000. Paper 2.0: Silage fermentation processes and their manipulation. FAO Electronic Conference on Tropical Silage. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/228558577_Paper_20_Silage_fermentation_processes_and_their_manipulation

Owens, F. N., R. Zinn, & Y. K. Kim. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. J. Anim. Sci. 63:1634–1648. https: //doi.org/10.2527/jas1986.6351634x

Persson, T. & Bakken, A. 2024. A review of the effects of density and silo type on silage fermentation, nutritive quality and losses during storage. NIBIO REPORT. VOL. 10. N. 57

Piñeiro, G. 2010. Manual Práctico LactoSilo para lograr ensilados de alta calidad. Disponible en: https://www.ensiladores.com.ar/tecnica/manual_becker/manual_lactosilo.pdf

Podversich, F., L. Abdelhadi, S. Roskopf, G. M. Silva, E. Angeli, G. J. Hein, H. H. Ortega, M. Ruiz-Moreno, J.C.B. Dubeux, N. DiLorenzo. 2025. Evaluation of kernel processing and processor type in whole-plant sorghum silage: effects on nutrient digestibility and animal performance in backgrounding beef heifers, J. Anim. Sci. 103: skae369.

Roberge, M., P. Savoie, and E. R. Norris. 1998. Evaluation of a crop processor in a pull-type forage harvester. Trans. ASAE 41:967–972.

Romero, L., Aronna, S. & Rafaela, I. E. 2003. Siembra de maíz para silaje. Proyecto regional de Lechería. Campaña de Forrajes Conservados, 2004. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/26siembra_de_maiz_para_silaje.pdf

Romero, L. Aronna, S. (2003). Siembra de maíz para silaje. Proyecto regional de lechería. EEA INTA Rafaela. http://www.produccion-animal.com.ar

Sánchez, A. F., & de Forrajes Conservados, M. T. (2014). Hacia la tecnificación del heno de alta calidad. 5a Jornada Nacional de Forrajes Conservados, 9, 59-64.

Sánchez, F., Urrets Zavalía, G., Giordano, J., Peiretti, J., Camarasa, J., Tourn, S., Pamies, M., Loizaga, U., Ferrari, H., Bher, E. &y Rodríguez, R. 2018. Procesadores de granos específicos para cultivo de sorgo. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/298-Procesadores.pdf

Schurig, M. &G. Rodel. 1993. Power consumption and the effects of corn crackers. ASAE Paper 93–1586. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.

Shinners, K. J., A. G. Jirovec, R. D. Shaver, & M. A. Bal. 2000. Processing whole-plant corn silage with crop processing rolls on a pull-type forage harvester. Appl. Eng. Agric. 16:323–331.

Shinners, K.J., A.G Jirovec, R.D. Shaver, and M. Bal. 2000. Processing whole-plant corn silage with crop processing rolls on a pull-type forage harvester. Applied Engineering in Agriculture. 16(4): 323-331.

Shull, J. M., A. Chandrashekar, A. W. Kirleis, and G. Ejeta. 1990. Development of sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) endosperm in varieties of varying hardness. Food Struct. 9:253–267.

Urrets Zavalía, G., Juan, N. & Viviani Rossi, E. 2022. Producción de heno, silaje y henolaje de alfalfa. En Basigalup, D.H. Investigación, producción e industrialización de la alfalfa en Argentina. Ed. INTA.

Viviani Rossi, E.M., Moreno, E., San Martino, E. & Gutiérrez, I.M. 1995. Evaluación de henolajes empaquetados de alfalfa (Medicago sativa L.) en el sudeste bonaerense. Rev. Arg. Prod. Anim. 15(1): 156-158.

Yosef, E.; Carmi, A.; Nikbachat, M.; Zenou, A.; Umiel, N. & Miron, J., 2009. Characteristics of tall versus short-type varieties of forage sorghum grown under two irrigation levels, for summer and subsequent fall harvests, and digestibility by sheep of their silages. Animal feed science and technology 152: 1–11

Zhao, X., Sun, Y., Chang, Z., Yao, B., Han, Z., Wang, T., Shang, N. &y Wang, R. 2024. Innovative Lactic Acid Production Techniques Driving Advances in Silage Fermentation. 10 (10), 533. https://doi.org/10.3390/fermentation10100533

Wang, X., Zhang, F., Ma, C., Li, F., & Wang, S. 2018. Effect of compaction on nutritional quality and aerobic stability of silage corn after opening silos. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 34(6), 300–306. https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2018.06.038

CAPÍTULO 5
Ecología del pastoreo e interacción pastura animal

María Lorena Agnelli y Federico Ezequiel Fernández

Introducción

La ecología del pastoreo estudia las complejas interacciones entre los animales herbívoros y las pasturas, considerando tanto los efectos del pastoreo sobre la vegetación como las respuestas de los animales a las características del forraje disponible. Este enfoque integra aspectos como la morfología de las plantas, la estructura del pasto y el comportamiento ingestivo de los animales, con el objetivo de optimizar la productividad y la sostenibilidad de los sistemas pastoriles. Según Nabinger y de Faccio Carvalho (2006), la estructura del pasto influye directamente en el comportamiento de pastoreo, afectando variables como la tasa de consumo y la selección de especies forrajeras. Además, Pando (2010) destaca que la carga animal y la estacionalidad del forraje son factores clave que determinan la eficiencia del sistema y el impacto ambiental asociado. Estos estudios subrayan la importancia de un manejo adecuado que equilibre la producción animal con la conservación de los ecosistemas pastoriles.

Herbivoría. Pastoreo como proceso

El pastoreo de ungulados domésticos es uno de los principales procesos transformadores de la vegetación, donde la compleja relación entre el pastoreo y los ecosistemas aún genera controversias a nivel mundial. Este problema es común en muchos otros campos de la tecnología, ya que existe una real presión en encontrar términos sencillos o frases cortas que describan conceptos o procesos complejos, por ejemplo, *pastoreo* (Gregorini et al., 2007). La mencionada controversia, está condicionada por una amplia gama de factores, entre los que destacan la historia evolutiva del pastoreo, la productividad de los ecosistemas, la intensidad de pastoreo, el clima, el tipo de comunidad vegetal estudiada o el tipo y tamaño de herbívoro (Lugo, 2014) entre otros. De un modo simplificando sería que, las relaciones entre el pasto y los herbívoros domésticos consiste, lógicamente, en que la función del primero es servir de alimento a los segundos (Fillat, et. al., 2008). Pero lo que no resulta ser tan simple es el comprender las consecuencias de la herbivoría, ya que la acción de los herbívoros en las comunidades vegetales

se traduce, de forma general, en cambios en la composición florística y funcional de la vegetación, diversidad de especies, biomasa, estructura y composición química del suelo (Lugo, 2014).

El manejo de los recursos tanto vegetales como animales ha sido el objetivo básico de la Humanidad desde la Revolución Neolítica, cuando se dio el cambio fundamental de la forma de vida de los seres humanos que implicó el paso de la caza y la recolección a la agricultura y la ganadería; desde entonces todos los esfuerzos humanos se han dirigido a comprender el *comportamiento* de las especies vegetales y animales y de las interacciones e interrelaciones que los caracterizan con el objetivo de optimizar el uso de los recursos con una finalidad productiva.

El pastoreo se define como el proceso de defoliación, por parte de los animales, de las plantas de la pradera (Gregorini, 2007). Esto implica un proceso de búsqueda, captura, ingesta y transformación del pasto consumido. El término proceso es utilizado en ecología para describir un grupo de acciones que definen un resultado (Barrows, 1996), con un objetivo en particular; en el caso del pastoreo, el consumo de pasto. Desde una perspectiva agronómica, la interacción entre el pasto y el animal se logra mediante el manejo del pastoreo. Para lograr un adecuado manejo del proceso de pastoreo, denominados *sistemas de pastoreo*, se encuentran herramientas específicas para balancear la compleja relación entre la captura de energía solar, la cosecha de pasto y la conversión de nutrientes aportados por el pasto. Dichas herramientas se denominan *métodos de pastoreo* (Gregorini, 2007) y se deberán trabajar sobre la base del comportamiento de las especies utilizadas.

La herbivoría es una interacción biológica y se define como el proceso por el cual los animales consumen tejidos vegetales vivos (hojas, tallos, raíces o frutos). A lo largo de la evolución, animales y plantas han desarrollado estrategias que les permiten, por un lado, optimizar el consumo del material vegetal y por el otro, mecanismos de defensa para evitar ser comidas (Enrico et al., 2017). Es evidente que la capacidad para fabricar, por ejemplo, sustancias químicas, y retenerlas en sus tejidos, resulta ser un paso evolutivo importante para las plantas y les proporciona una protección bioquímica contra muchos herbívoros a través de los metabolitos secundarios.

La sustracción de tejidos vegetales, hojas, corteza, tallos, raíces y savia influye sobre la capacidad de la planta para sobrevivir, aunque no sea consumida por completo (Granados-Sánchez et al., 2008). Los herbívoros no se ubican en las categorías de parásito o depredador. Cuando una vaca pastorea, consume plantas actuando como una podadora de pasto el cual recorta, pero no *mata*. Los herbívoros mamíferos rumiantes también usan la fermentación para digerir las fibras vegetales; por medio de sistemas tan eficientes como los del rumen. A pesar de la gran actividad microbiana, en el intestino muchos materiales vegetales no pueden ser digeridos, esto depende principalmente de: 1) Volumen del fluido microbiano, 2) Tiempo en que el alimento parcialmente digerido es retenido en el intestino y, 3) Proporción de fibra lignificada o de material indigerible en plantas forrajeras (Baldwin, 1994).

Ecología del pastoreo de grandes herbívoros. Toma de decisiones y memoria. Dos teorías.

Los grandes herbívoros interactúan con el pasto (recursos forrajeros) a distintos niveles ecológicos; y se enfrentan con una serie de problemas y a la toma de decisiones a diferente escala de tiempo y espacio; ellos toman numerosas decisiones y lo hacen por la supervivencia y su bienestar (Beck & Gregorini, 2020). El simple acto de comer requiere una serie de decisiones, incluyendo dónde encontrar la comida, qué comer y qué evitar comer. También necesitan recordar dónde los pastos de mejor calidad están ubicados y saber cuándo regresar a esos lugares luego de que el pasto rebrote (Bailey, 2013). Un rasgo común a otros herbívoros (animales de producción) y la forma más compleja de aprendizaje, es que aprenden de otros individuos. Bailey et al., (2008) han demostrado, por ejemplo, que el 81 % de los bovinos que descubren dónde está localizada la comida es por haber seguido al animal líder y más tarde pueden encontrar ese mismo sitio por su cuenta. Además, pueden retener en la memoria mucha información por varios años; pueden diferenciar cosas o animales basándose mayormente en señales visuales y pueden recordar la ubicación de las cosas en su propio ambiente, tales como, rutas para trasladarse, refugio, agua, alambrados, y sitios de pastoreo (Hatcoff, 2009). Forman un mapa mental, basando sus *decisiones* actuales en sus experiencias pasadas. Se comprobó que tienen una *memoria* funcional (operativa) ya que son capaces de realizar un seguimiento de la información (Bailey, 1996).

La escala en la que se presenta esta situación es estudiada por la *ecología del paisaje*, ciencia que estudia el desarrollo y la dinámica de la heterogeneidad espacial de los ecosistemas (Risser et al. (1984) citado en Senft et al. 1987).

La ciencia indica que una forma de resolver las tecnologías de procesos aplicadas a la resolución de problemas de la alimentación (forrajeo) de grandes herbívoros o ungulados pueden ser resueltos fusionando la *teoría del forrajeo* con la *ecología del paisaje* y la *teoría de la jerarquía* (Senft, 1987). Una visión no tan tradicional incluye a los procesos comportamentales y sus patrones, que serán expuestos más adelante en este capítulo. El rango en el que se desarrolla el marco de estas teorías irá desde el nivel regional (hábitat) hasta nivel de parche, microparche o planta (estación de pastoreo) en lo que respecta a la escala espacial del ambiente que circunda al herbívoro (Figura 5.1). Es así que surge la *teoría de la jerarquía* para integrar las decisiones de pastoreo a las que se enfrenta el animal en las distintas escalas espacio-temporales. Asimismo, las fronteras entre las subunidades son definidas en última instancia por los animales en virtud de su percepción, desde el conjunto de poblaciones de plantas que se agrupan en una conjunción distintiva de suelos y de patrones de perturbación particulares, así como también de la respuesta al pastoreo en función de la delimitación del rango de áreas del sistema de pastoreo (accidentes geográficos, relieve, alambrados, cercas físicas, cercas virtuales).

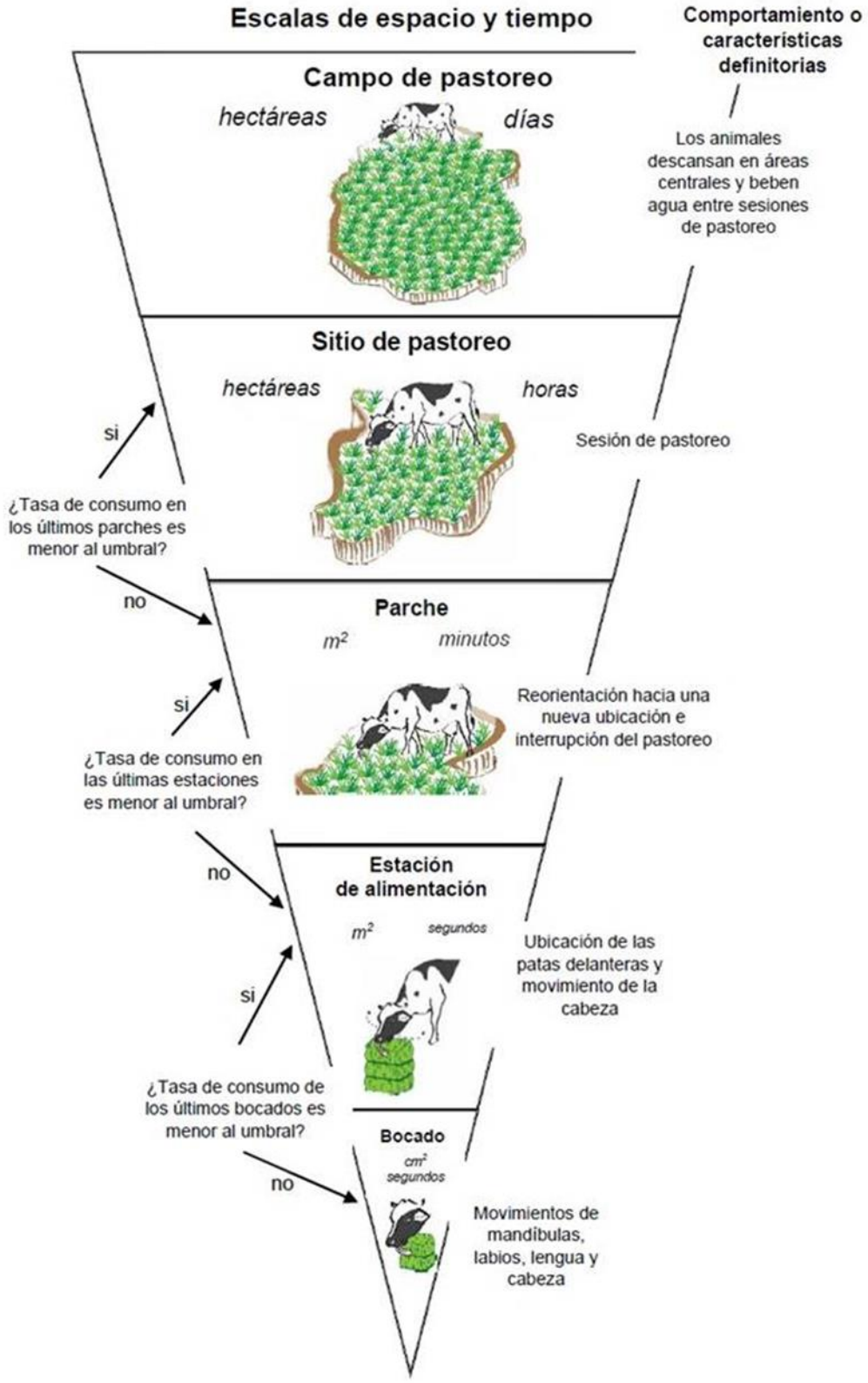
Basados en esta teoría, los parámetros como son las frecuencias o tasas de actividad suelen ser más útiles para definir escalas jerárquicas que las estructuras físicas. Las escalas en una jerarquía ecológica se separan mediante la identificación de las frecuencias o tasas de los procesos pertinentes (Allen and Starr, 1982 citado en Senft et. al., 1987); por ejemplo, los

grandes herbívoros cruzan los límites entre las comunidades vegetales hasta 50 veces al día, lo que implica una frecuencia de toma de decisión de 10^4/año. En el pastoreo en grandes extensiones, a escala regional, por ejemplo, los herbívoros salvajes estarían cambiando de paisaje con una frecuencia que puede ir desde varias veces al año o una vez cada varios años (Senft et al., 1987) (Tabla 5.1). Por otro lado, a escala de bocado, un ungulado realiza aproximadamente 10^7 bocados/año (Chacon et al., 1976); cada uno de esos bocados representa para el animal una decisión de qué planta o parte de una planta comer.

Los mecanismos que determinan la distribución del pastoreo pueden agruparse en no cognitivos (que no requieren el uso de la memoria durante el pastoreo) y cognitivos (que requieren del pensamiento consciente del animal y afectan el comportamiento a diferentes escalas) (Bailey et al., 1996). Tales escalas, espaciales y temporales, deben ser explícitamente descritas en los estudios de comportamiento en pastoreo, ya que son necesarias para comprender las diferentes decisiones que toman los animales en cada una de ellas (Tabla 5.1).

Figura 5.1.

Escalas espaciales y temporales del comportamiento de pastoreo de herbívoros grandes.



Nota. Obtenido de Jiménez Rosales y Massiotti, 2022.

Tabla 5.1.

Proceso de pastoreo. Atributos de las escalas espacio – temporales

Nivel espacial	Definiciones	Escala temporal	Características del comportamiento	Potenciales criterios de selección	Motivación para moverse	Mecanismos que pueden afectar los patrones de distribución
Bocado	Unidad primordial de consumo, incluyendo movimientos de prehensión, mandíbula, lengua, cosecha y deglución.	1 - 2 segundos	Movimientos de mandíbula, lengua y cuello.	Concentración de nutrientes, toxinas, componentes secundarios, tamaño de la planta.	Sociabilidad, reproducción, fenología de plantas, competencia, agua, termorregulación.	Tasa de consumo, selección de dieta, respuestas post-ingestivas.
Estación de alimentación	Arreglo de plantas disponibles que los animales consumen sin mover los miembros anteriores	5 - 100 segundos	Colocación de miembros anteriores.	Disponibilidad forrajera, especies de plantas, valor nutritivo, interacciones sociales.	Fenología de plantas, agua, agotamiento del forraje, rebrote.	Velocidad de desplazamiento, tasa de consumo, frecuencia de giro.
Parche de alimentación	Conjunto de estaciones de alimentación separados por pausas en la secuencia de cosecha, donde los animales se orientan hacia una nueva posición.	1 - 30 minutos	Reorientación hacia una nueva posición o sitio; pausas en la secuencia de pastoreo	Disponibilidad forrajera, valor nutritivo, topografía, interacciones sociales.	Agotamiento del forraje, tasa de ingesta, digestión.	Velocidad de desplazamiento, frecuencia de giro, tasa de consumo, memoria espacial (frecuencia de selección).
Sitio de alimentación	Conjunto de parches en un espacio continuo donde los animales pastorean entre otras actividades.	1 - 4 horas	Cambios hacia comportamientos diferentes al pastoreo (rumia, descanso, etc.).	Topografía, distancia a fuentes de agua, disponibilidad forrajera, fenología, depredadores.	Agotamiento del forraje, composición de especies, interacciones sociales, estímulos visuales.	Memoria espacial (frecuencia de selección).

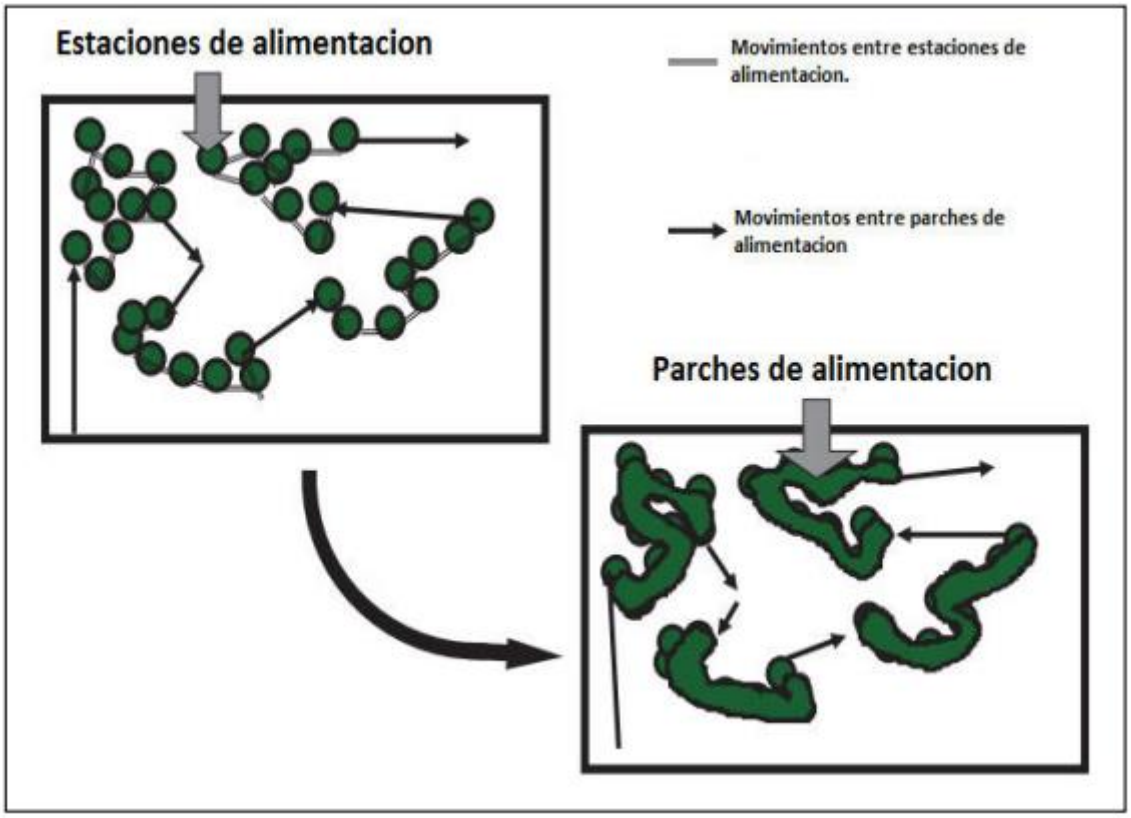
Campo de pastoreo	Conjunto de sitios comunes donde los animales pastorean, descansan y beben entre cambios de comportamiento.	1 - 4 semanas	Áreas centrales de descanso y alimentación entre periodos de cambio de comportamiento.	Disponibilidad de agua y forraje abundantes, fenología, vegetación, termorregulación, competencia.	Abundancia o agotamiento del forraje, selección de dieta.	Trashumancia, migraciones, memoria espacial (frecuencia de selección).
Ambiente o hábitat	Conjunto de campos de pastoreo definidos por barreras naturales o artificiales, extensiones de migración o trashumancia.	1 mes - 2 años	Migración y dispersión en el espacio.	Disponibilidad de agua y forraje abundantes, fenología, competencia, termorregulación.	Agotamiento del forraje, selección de dieta, estímulos de sabor u olor	Migraciones, dispersión, trashumancia

Nota. Adaptado de Bailey et al., 1996.

Los rumiantes evolucionaron en diversos paisajes de los cuales utilizaron, por elección, una disposición de plantas (pastos, hierbas y árboles) para su alimentación necesarias para sobrevivir, reproducirse y perpetuarse en el tiempo. Esas plantas proporcionan compuestos primarios (carbohidratos, proteínas, etc.) y secundarios (fenólicos, terpenos, etc.) (CP y CS, respectivamente). Como ninguna planta podría constituir una dieta equilibrada, los bovinos mezclaban dietas para maximizar los arreglos de CP para satisfacer sus requerimientos individuales (Beck & Gregorini, 2020). Este proceso, siempre incluye movimientos entre estaciones o parches de alimentación (Kondo, 2010 citado en Rivas & Miranda, 2015). La estación de alimentación es un punto específico dentro de un parche de alimentación donde un herbívoro se detiene para consumir alimento. Están influenciadas por factores como la accesibilidad del forraje, la densidad de la vegetación y las interacciones sociales entre los animales. Por otro lado, el parche de alimentación es un área dentro del hábitat, donde los herbívoros encuentran recursos alimenticios concentrados. Están definidos por la calidad y cantidad de forraje disponible, y los animales tienden a permanecer en ellos debido a su alta productividad. Estos parches son esenciales para optimizar el consumo de energía y minimizar el esfuerzo de búsqueda. Los movimientos (traslado) que realizan los animales entre estas escalas espaciales determina las denominadas rutas de alimentación (Figura 5.2).

Figura 5.2.

Estaciones, parches de alimentación y los movimientos entre estos, rutas de alimentación.



*Nota***.** Fuente: Kondo, 2010.

Cuando los animales cubren sus requerimientos nutricionales alcanzan un estado de satisfacción al lograr un estado interno positivo y de comodidad, por lo tanto, un sentido de bienestar hedónico (felicidad a través del placer). Los sistemas motivacionales del comportamiento se refirieren a la integración de estímulos externos (sentidos) e internos (hormonas, neurotransmisores, experiencia, genética, diferencias individuales, etc.) y explican la forma en que un herbívoro (bovino) enfrenta retos en su ambiente (Beck & Gregorini, 2020). Así es que, la *elección* (sistema motivacional), que incluye la elección de la dieta, es un factor que influye en el bienestar de los rumiantes de una manera similar a la de los seres humanos. La elección puede facilitar el bienestar eudaimónico (felicidad a través de la búsqueda de propósito) en los bovinos.

El concepto de elección en herbívoros mayores, relacionado con la selección de dieta, guarda relación con la *teoría del forrajeo óptimo*. Según esta teoría, los animales toman decisiones que maximizan la eficiencia en la obtención de recursos alimenticios, considerando la energía obtenida frente al costo invertido en buscar y consumir el alimento. La capacidad de elegir puede, además, fomentar un bienestar eudaimónico en los bovinos, al permitirles expresar comportamientos naturales. Por ejemplo, Provenza (1995) establece que el aprendizaje y la experiencia son esenciales en la selección de la dieta de los rumiantes, lo cual implica un proceso de prueba y error para optimizar su ingesta de nutrientes mientras minimizan la ingesta de compuestos antinutricionales. Esto no solo tiene un beneficio funcional para la salud, sino que

también impacta en su bienestar emocional. Se destaca aquí, cómo los rumiantes (bovinos), desarrollan preferencias alimenticias basadas en retroalimentación post-ingestiva. Este proceso implica que los animales aprenden a asociar los efectos fisiológicos de los alimentos con sus características sensoriales, como el sabor y el olor. Esto les permite seleccionar dietas que optimicen su bienestar nutricional y eviten alimentos que puedan causar malestar o toxicidad. En términos prácticos, este aprendizaje tiene implicaciones significativas para el manejo de la alimentación en sistemas de producción animal. Por ejemplo, al ofrecer una variedad de alimentos, los bovinos pueden experimentar y ajustar sus elecciones para satisfacer sus necesidades nutricionales específicas. Este proceso no solo mejora su salud física, sino que también puede contribuir a su bienestar emocional, ya que les permite expresar comportamientos naturales y tomar decisiones autónomas. Desde una perspectiva evolutiva, este mecanismo de retroalimentación post-ingestiva es crucial para la supervivencia y reproducción de los rumiantes. Les permite adaptarse a entornos cambiantes y maximizar la eficiencia en la obtención de recursos alimenticios. Además, este enfoque puede ser utilizado para diseñar estrategias de manejo que promuevan la sostenibilidad y el bienestar animal, como la introducción de alimentos que no solo sean nutritivos, sino también agradables para los animales (Provenza, 1995).

Las dos teorías

La Teoría del Forrajeo Optimo (TFO)*,* expone que todos los seres vivos buscan recursos esenciales para su supervivencia, desarrollo y reproducción. La TFO propone que los animales adoptan estrategias de alimentación que maximizan una variable específica, como la tasa neta de consumo o el consumo de energía, evitando alternativas menos eficientes. La correcta elección de esta variable es importante para entender el comportamiento del forraje (pastoreo). Con más de 50 años de desarrollo, la TFO ha sido fundamental para explicar evolutivamente el comportamiento ingestivo, convirtiéndose en una teoría sólida dentro del campo del comportamiento y la ecología (Pyke, 2019, Pyke & Starr, 2020).

Ahora bien, la TFO toma dos líneas. La teoría *clásica*: que se aplica a los “recolectores” solitarios y asume que los individuos forrajean de forma independiente, sin responder directamente al comportamiento de sus vecinos; y la teoría de *juegos de forrajeo*, que se aplica a las especies de hábitos sociales, donde los individuos responden directamente al comportamiento de otros, participando en un juego en el que los resultados están interrelacionados. Estas dos formas están absolutamente relacionadas a insectos sociales que constituyen una proporción muy grande de la biomasa animal en muchos ecosistemas terrestres (King, *et. al*, 2013); por otro lado, la aplicación de la TFO en herbívoros mayores ha sido especialmente complicada (Owen-Smith and Novellie, 1981, Westoby, 1974) particularmente porque la TFO ha sido desarrollada para depredadores e insectos recolectores de néctar. El comportamiento de ambos grupos de animales es distinto, mientras que los depredadores generalmente buscan presas dispersas espacialmente con un valor nutricional elevado y casi constante; los grandes herbívoros, se enfrentan a un aparente excedente de alimento, cuya calidad nutricional es baja y siempre muy variable y es mucho más probable que esté

ampliamente disperso a lo largo del paisaje, en lugar de concentrarse en parches o sitios discretos.

Por otro lado, se recurre a la **Teoría de la Jerarquía (TJ)** porque integra la toma de decisiones en distintas escalas espacio-temporales. Dado que los sistemas naturales están organizados de forma jerárquica —donde cada nivel posee procesos y patrones específicos que interactúan entre sí—, esta teoría permite comprender cómo los grandes herbívoros enfrentan problemas de pastoreo interrelacionados. De este modo, la selección de hábitat, el uso del espacio y el consumo de forraje se analizan como un conjunto de decisiones influenciadas por factores que operan en múltiples resoluciones ecológicas.

Los grandes herbívoros toman decisiones jerárquicas que van desde la selección de parches de forrajeo hasta la elección de paisajes completos. A nivel paisajístico, las decisiones están influenciadas por la fragmentación del hábitat, las barreras antropogénicas y los patrones de migración estacional. Según Senft et al. (1987), los herbívoros integran información de múltiples escalas para optimizar el uso del paisaje. A nivel intermedio (hábitat)**,** los herbívoros consideran factores como la cobertura vegetal, la disponibilidad de agua y la competencia intraespecífica. Johnson (1980) introdujo el concepto de selección de recursos en múltiples escalas, destacando cómo los herbívoros priorizan ciertos hábitats sobre otros. Finalmente, a nivel local (parches de forrajeo)**,** los herbívoros evalúan la calidad y cantidad del forraje disponible en un área específica. Según Bailey et al. (1996), los patrones de forrajeo están influenciados por la distribución de nutrientes y la presencia de depredadores; así como también usualmente utilizan el forraje disponible de manera desuniforme, sobrepastoreando ciertas áreas y subaprovechando otras, lo que puede llevar a la disminución de la capacidad de carga de la pastura/pastizal, a una disminución de la producción del ganado y a la pérdida de la sustentabilidad del sistema (Bailey et al., 1998). Estos conceptos serán profundizados más avanzado este capítulo. La TJ enfatiza que las decisiones tomadas en un nivel afectan y son afectadas por procesos en otros niveles. Por ejemplo, la elección de un parche de pastoreo puede estar condicionada por la disponibilidad de recursos en el paisaje general. Este enfoque jerárquico permite a los ecólogos comprender cómo los herbívoros responden a cambios ambientales y cómo estas respuestas afectan la estructura y función de los ecosistemas.

Tanto la TFO y como la TJ (Senft et. al., 1987; Charnov, 1976; Bailey et al., 1996) están profundamente interconectadas en el estudio del comportamiento de los grandes herbívoros, especialmente en cómo toman decisiones relacionadas con la búsqueda de alimento y el uso del espacio. Ambas teorías operan en diferentes niveles de resolución ecológica y comparten variables clave, aunque también presentan diferencias fundamentales.

Por un lado, las variables que las unen son:

1. La optimización de los recursos: ambas teorías buscan explicar cómo los animales maximizan el uso de recursos disponibles. La TFO se centra en la eficiencia energética (beneficio neto frente a costo), mientras que la TJ analiza cómo estas decisiones se integran en múltiples niveles ecológicos.

2. Las restricciones ambientales: tanto la TFO como la TJ consideran las limitaciones impuestas por el entorno, como la disponibilidad de recursos, la presencia de depredadores y la competencia intraespecífica.

3. La escala espacial y temporal: ambas teorías reconocen que las decisiones de los herbívoros están influenciadas por factores que operan en diferentes escalas, desde la selección de parches de forrajeo hasta la elección de paisajes completos.

Por otro lado, las variables que las diferencian:

1. El nivel de análisis**:** la TFO se centra en decisiones individuales y específicas, como la selección de alimentos en un parche, mientras que la TJ aborda cómo estas decisiones se integran en niveles más amplios, como el uso del hábitat y el paisaje.

2. La variable de optimización: en la TFO, el resultado se enfoca en la energía neta obtenida, mientras que, en la TJ, las decisiones pueden estar influenciadas por factores adicionales, como la conectividad del hábitat y las dinámicas poblacionales.

3. La interacción entre niveles**:** la TJ enfatiza cómo las decisiones tomadas en un nivel afectan y son afectadas por procesos en otros niveles, algo que no es el foco principal de la TFO.

En síntesis, se puede utilizar la idea de la arquitectura de las plantas y cómo interactúan los herbívoros con su comida (Gordon y Benvenutti, 2006), que describe cómo las características de la pastura, el consumo de forraje y las variables de comportamiento ingestivo interactúan en diferentes escalas espaciales y temporales. Este enfoque permite analizar cómo los herbívoros toman decisiones en niveles jerárquicos, desde el nivel de bocado hasta el nivel de paisaje.

A continuación, se aplica este marco para interpretar lo que ocurre a nivel de hábitat y de campo:

A nivel de hábitat: los herbívoros evalúan la calidad y disponibilidad del forraje en áreas específicas dentro de un paisaje más amplio. Según Gordon y Benvenutti (2006), las características de la pastura, como la *altura*, *densidad* y *composición* del forraje, influyen directamente en el comportamiento ingestivo.

A nivel de campo: las decisiones de los herbívoros están influenciadas por patrones espaciales más amplios, como la distribución de *parches* de forraje y la *conectividad* entre ellos. En este nivel, influyen en la toma de decisiones, la heterogeneidad espacial (selectividad), la distribución de recursos (eficiencia energética) y las interacciones sociales (competencia).

Por ello, a nivel hábitat, los herbívoros toman decisiones que maximizan su ingesta neta de energía mientras minimizan los costos asociados al desplazamiento y la búsqueda y a nivel de campo, integran información de múltiples parches para optimizar su uso del espacio, lo que puede incluir estrategias como la rotación entre áreas de pastoreo.

Interacción pastura animal

Factores que limitan el consumo de forraje

El consumo diario de materia seca de los bovinos constituye la variable con mayor influencia sobre la productividad animal. Existen tres principales limitaciones al consumo de forraje: metabólicas, digestivas o físicas, e ingestivas (relacionadas con el comportamiento alimenticio).

La limitación metabólica establece un umbral superior en la ingesta de energía digestible; una vez que el animal alcanza este nivel, la concentración energética de la dieta regula el consumo. Este tipo de restricción se asocia con alimentos de alta digestibilidad que inducen una rápida liberación de nutrientes en el rumen. Dicho proceso puede provocar una sobrecarga metabólica y, en consecuencia, una reducción de la ingesta (Illius y Jessop, 1996).

Las limitaciones físicas o digestivas se vinculan con la capacidad de distensión del tracto gastrointestinal. Estas restricciones ocurren, principalmente, cuando el animal consume forrajes de baja calidad, caracterizados por una tasa de pasaje lenta del material a lo largo del aparato digestivo (Illius y Gordon, 1991). Asimismo, ciertos factores intrínsecos del animal, como la acumulación de grasa abdominal o el estado de preñez, pueden acentuar esta limitación (Dado y Allen, 1995).

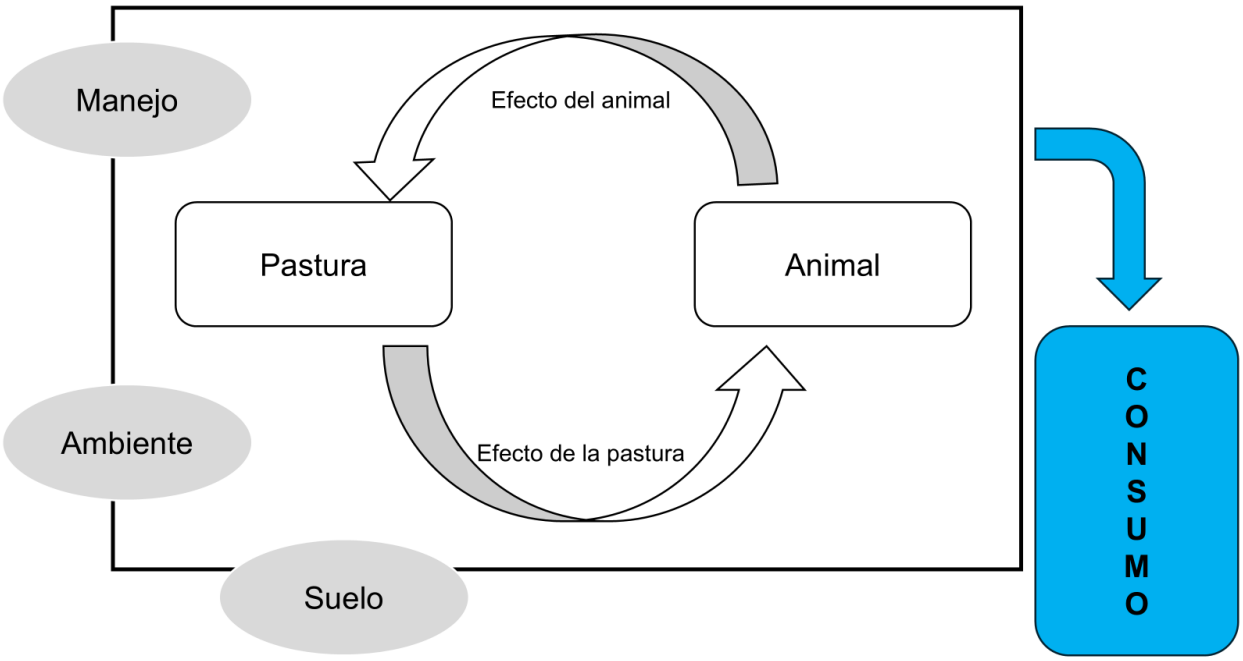
Las limitaciones ingestivas actúan cuando la disponibilidad de forraje es baja y el animal no logra cosechar la cantidad necesaria de material vegetal durante su ciclo diario de pastoreo (Illius y Gordon, 1987, citado en Benvenutti y Cangiano, 2011).

Factores que afectan el consumo en pastoreo

En los sistemas de pastoreo, el análisis integral de los factores que influyen en el consumo animal abarca variables vinculadas a la pastura (definida como el conjunto de recursos que componen la estructura forrajera), al animal, al ambiente (Galli et al., 1996), al manejo y al suelo. La Figura 5.3 sintetiza estos factores en un diagrama general. La comprensión de las interrelaciones entre estos elementos resulta necesaria para interpretar la dinámica del sistema en su conjunto. Por lo tanto, este apartado aborda de manera específica la interacción entre la pastura y el animal.

Figura 5.3.

Factores que influyen en el consumo de los animales.



Los factores relacionados con la **pastura** pueden clasificarse en nutricionales y no nutricionales. Dentro de los factores no nutricionales se incluyen la disponibilidad de forraje (expresada en kg de materia seca por hectárea, kgMS/ha) y su estructura. Los factores nutricionales comprenden la composición química (como digestibilidad y proteína bruta), el contenido de materia seca (%) y la posible contaminación externa por tierra y heces. En cuanto a los factores propios del **animal**, se consideran el peso vivo, la edad, el estado fisiológico, la raza, la condición corporal (nivel de reservas), el potencial genético y el estado sanitario.

Los factores **ambientales** abarcan el rango térmico de confort; por ejemplo, *Bos indicus* presenta una mayor tolerancia a las temperaturas elevadas en comparación con *Bos taurus* (por ejemplo razas lecheras como la Holando Argentino). Asimismo, las precipitaciones y los vientos intensos alteran los hábitos de pastoreo y restringen la ingesta. También influyen variables como el fotoperíodo, la humedad relativa del aire y la velocidad del viento, entre otras.

Los factores de **manejo** comprenden las prácticas aplicadas al rodeo, las cuales determinan el bienestar animal y la exposición a agentes estresantes. Otras variables para considerar son la calidad y accesibilidad del agua de bebida, la asignación diaria de forraje por animal, el método de pastoreo, la frecuencia de alimentación, el tipo de suplementación (incluido el uso de raciones totalmente mezcladas o TMR) y las interacciones de comportamiento social. Por último, las propiedades del **suelo** influyen en su capacidad de soporte físico y transitabilidad, particularmente ante la presencia de agua superficial o barro.

Efecto de la pastura sobre el animal: factores no nutricionales

El consumo diario en pastoreo (CD) es el resultado de tres variables fundamentales: el peso promedio del bocado (PB), la tasa de bocados durante el pastoreo (TB) y el tiempo diario dedicado al pastoreo (TP), tal como se expresa en la Ecuación 1. A partir de esta relación, pueden derivarse otras dos variables: a) la tasa de consumo (TC), que resulta del producto entre PB y TB (Ecuación 2), y b) el número total de bocados por día (NB), que se obtiene del producto entre TB y TP (Ecuación 3) (Galli et al., 1996)

CD= PB * TB * TP Ecuación 1

CD= TC * TP Ecuación 2

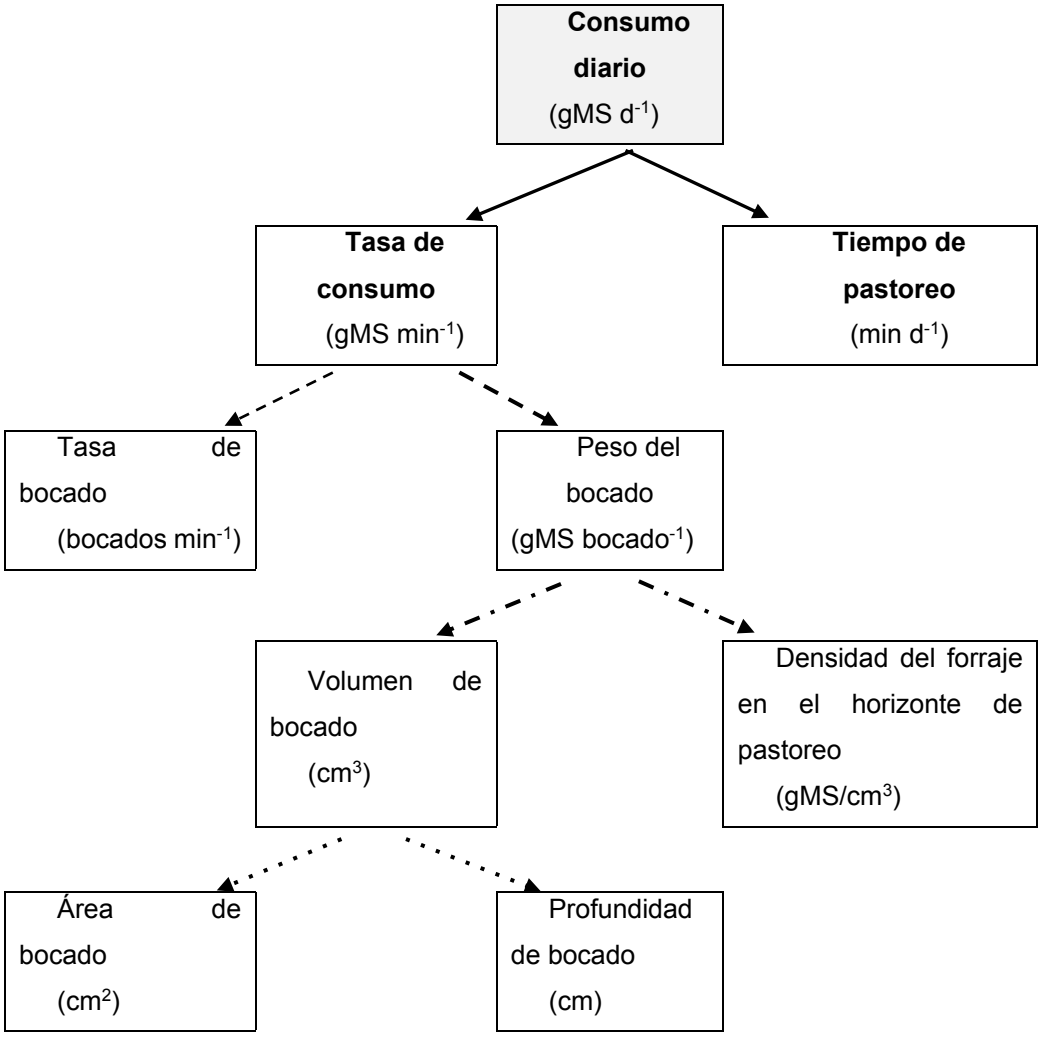
CD= PB * NB Ecuación 3

Desde este enfoque, el comportamiento ingestivo adquiere una relevancia central. Las características de la pastura pueden afectar el consumo al influir directamente sobre los componentes de dicho comportamiento. A su vez, el animal es capaz de adaptar su conducta de pastoreo como respuesta a las condiciones del forraje, en un intento por maximizar tanto la calidad de su dieta como su consumo diario de materia seca (Cosgrove, 1997, citado en Cangiano y Brizuela, 2011).

En los sistemas de pastoreo, el consumo diario está regulado por el tiempo destinado a la actividad de pastoreo y por la tasa de consumo, definida como la cantidad de forraje ingerida por unidad de tiempo. Aunque el animal puede compensar una disminución en la tasa de consumo mediante el incremento del tiempo de pastoreo, este mecanismo compensatorio posee límites definidos. La Figura 5.4 ilustra los componentes que integran el comportamiento ingestivo.

Figura 5.4.

Componentes del comportamiento ingestivo



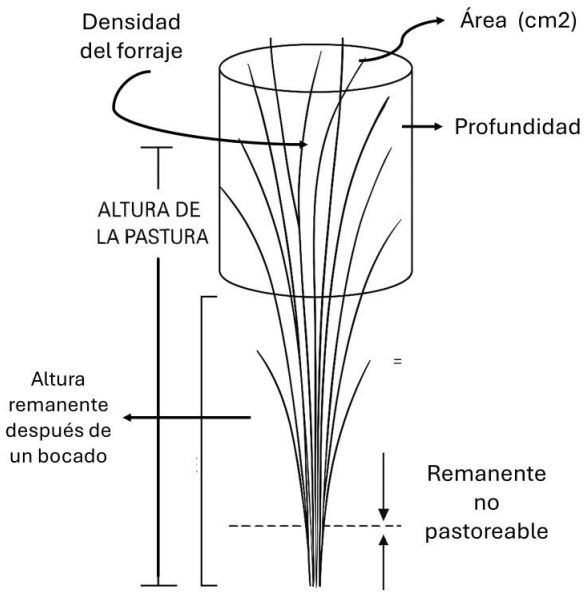
Nota. Adaptado de Galli et al., 1996.

A continuación, se describen los aspectos más importantes de cada uno de estos componentes:

1) La Tasa de consumo resulta del producto entre el peso del bocado (PB) y la tasa de bocados (TB). Entre las variables del comportamiento ingestivo, el peso del bocado es la más determinante, ya que explica el mayor porcentaje de la variación en el consumo diario de forraje. Esta variable es altamente sensible a las características del dosel de la pastura y constituye un factor clave tanto para la tasa de consumo como para el consumo diario (Jiménez Rosales y Massiotti, 2022). Para comprender las variaciones en el peso del bocado, es necesario considerar dos componentes principales: 1.a) el volumen del bocado y 1.b) la densidad de forraje en el horizonte de pastoreo (Figura 5.5).

Figura 5.5

Esquema de las variables que determinan el peso del bocado

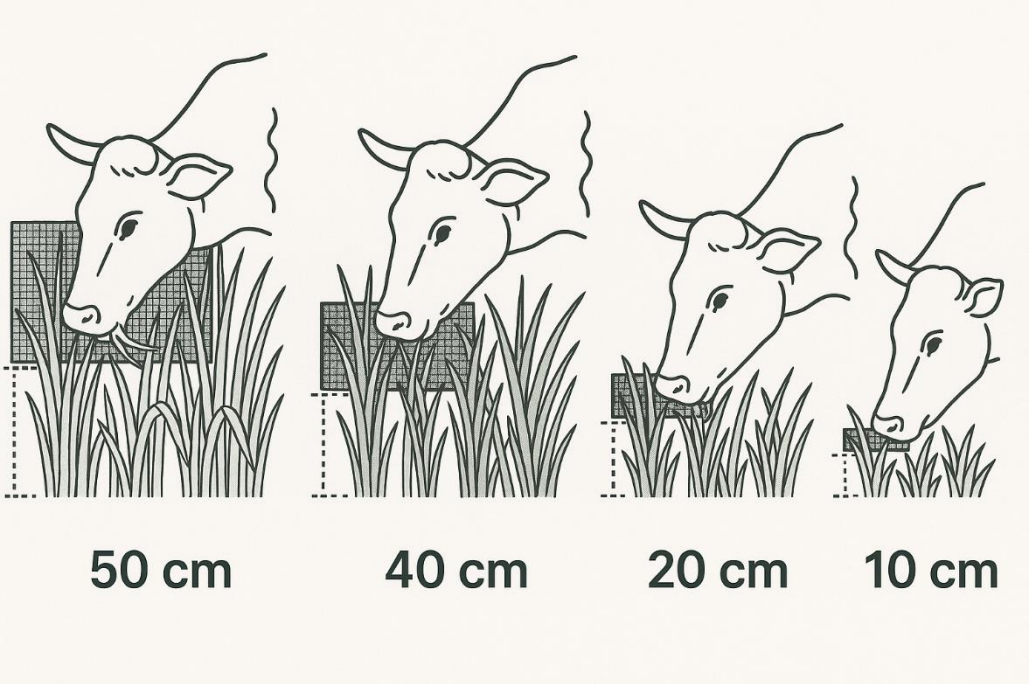


Nota. Adaptado de Galli, 1996.

1.a) El volumen del bocado es producto del área del bocado y la profundidad del bocado. El *área de bocado es* la superficie horizontal que abarca un bocado y está relacionado con las dimensiones de la boca dentro de las especies animales y del peso vivo. La *profundidad del bocado* es la diferencia entre la altura superficial de la pastura previa al pastoreo y la altura remanente del forraje después de un bocado. La profundidad aumenta con la altura de la pastura y disminuye con la densidad del forraje. Numerosos trabajos han registrado que la profundidad promedio del bocado es del 50% de la altura de la pastura, independientemente de su altura total y del peso vivo del animal (Figura 5.6) (Galli et al., 1996).

Figura 5.6.

Profundidad promedio del bocado (%) en pasturas de altura.

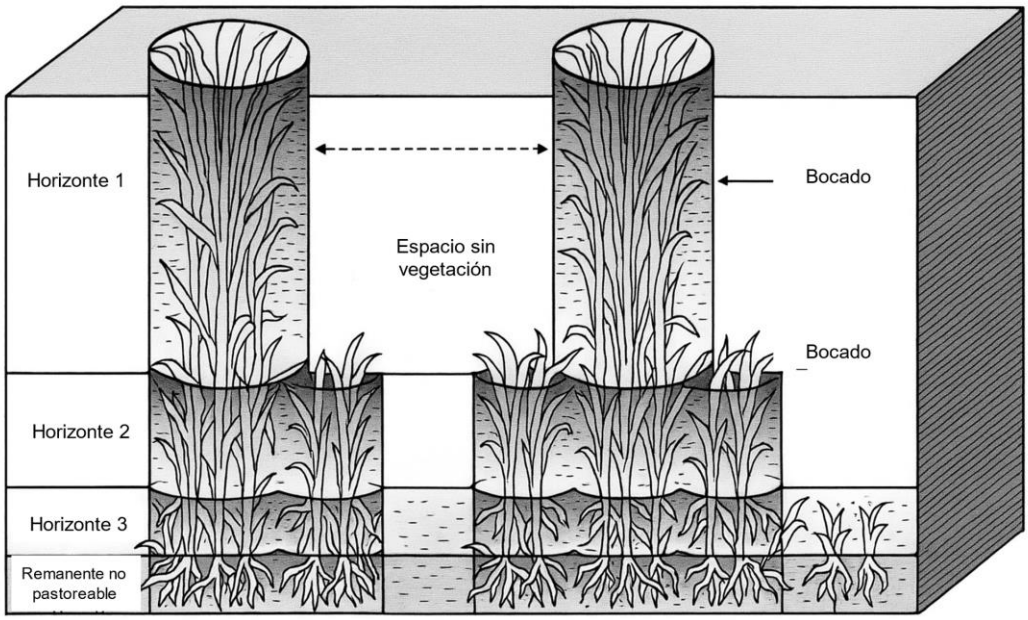


Nota. Adaptado de Galli, 1996.

El bovino pastorea por horizontes. Los más cercanos al suelo, a pesar de que en la mayoría de los casos la densidad del forraje aumenta, el peso del bocado disminuye debido a una menor profundidad y área de bocado y, por lo tanto, menor volumen. El aumento en la densidad del forraje en los horizontes más cercanos al suelo no compensa la reducción en las dimensiones del bocado, resultando en un bocado más liviano (Figura 5.7).

Figura 5.7

Variación del volumen de los bocados en cada horizonte de pastoreo en una defoliación progresiva



Nota. Adaptado de Galli, 1996.

1.b) La densidad del forraje en el horizonte de pastoreo está definida por la estructura de una pastura a partir de la distribución de la biomasa aérea, la altura, la cobertura, dureza de tallos y la densidad del forraje en los distintos horizontes. Modificaciones en cualquiera de estas variables afectan el área, la profundidad, y el peso del bocado. Estas características están relacionadas entre sí y la definición de tres de ellas determina el valor de la densidad de la biomasa (Ecuación 4) (Galli et al., 1996; Benvenutti y Cangiano, 2011):

$$\text{Densidad de la biomasa } (g.cm^3) = \frac{\text{Biomasa aérea } (g.cm^2)}{\text{Altura (cm) x Cobertura (\%)}} \quad \text{Ecuación 4}$$

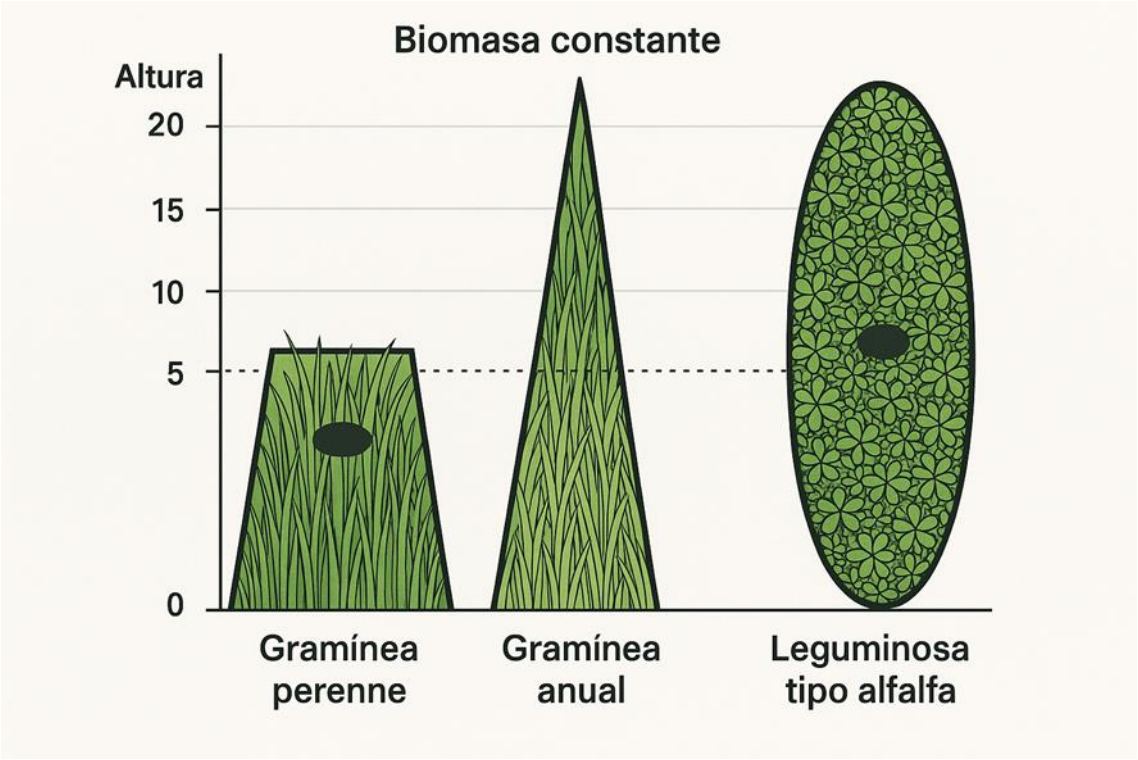
El peso del bocado será igual al volumen por la densidad del forraje (Figura 5.8). En gramíneas templadas, los ensayos bajo pastoreo indican que la variable que determina el peso del bocado es la altura de la pastura; a partir de los 8 cm de altura se limitaría el consumo en pasturas consociadas. En pasturas tropicales el peso del bocado estaría más influenciado por la densidad de la hoja y la relación tallo/hoja más que por la altura, debido a su mayor altura y menor densidad.

La distribución vertical de la biomasa de las pasturas no es uniforme y, en el horizonte superficial de pastoreo, las gramíneas tienen una menor densidad (20-30%) que las leguminosas tipo alfalfa (50%). Esto demuestra la importancia de describir los horizontes inferiores donde el animal puede, en ciertos casos, concentrar su pastoreo o acceder a través de la defoliación progresiva (Figura 5.8). Asimismo, estos factores pueden variar, por ejemplo, en gramíneas en estado reproductivo, los tallos pueden actuar como una barrera horizontal y/o vertical interfiriendo con el proceso de formación del bocado y afectando sus dimensiones (Gordon y Benvenutti,

2006). A medida que aumenta la densidad y dureza de los tallos se reduce la dimensión del bocado.

Figura 5.8.

Distribución vertical de la biomasa en distintas pasturas.



La **tasa de bocado** y la tasa de consumo están estrechamente vinculadas a través del tiempo que un animal requiere para ingerir un bocado. Los mecanismos que determinan el tiempo necesario están relacionados con el proceso de pastoreo que consiste en la:

- Búsqueda de los sitios de alimentación**.** Esta etapa comprende tanto el desplazamiento del animal como la decisión de iniciar la toma de bocados en un punto específico de la pastura. Se define como *sitio de alimentación* al área en la cual el animal puede pastorear sin necesidad de movilizar sus extremidades, es decir, accede al forraje únicamente mediante movimientos de cabeza.
- **Manipulación.** Esta etapa abarca las acciones mediante las cuales el animal aprehende el forraje, es decir, realiza los movimientos de cabeza y boca necesarios para posicionarlo dentro de la cavidad bucal, seguido por el corte, la masticación y la deglución del mismo. El *tiempo de aprehensión* se define como el intervalo necesario para reunir el forraje dentro de la boca y cortarlo.

Los tiempos de búsqueda y manipulación generalmente se superponen, es decir, el animal se traslada buscando nuevos sitios, mientras mastica los bocados. La tasa de bocado generalmente tiende a disminuir con el incremento de la altura o biomasa a medida que aumenta el peso del bocado, principalmente porque la relación entre movimientos de aprehensión y mandibulares totales aumenta a medida que crece el peso del bocado. Cuando el peso del bocado disminuye, aumenta la tasa del bocado, debido a los menores tiempos de masticación,

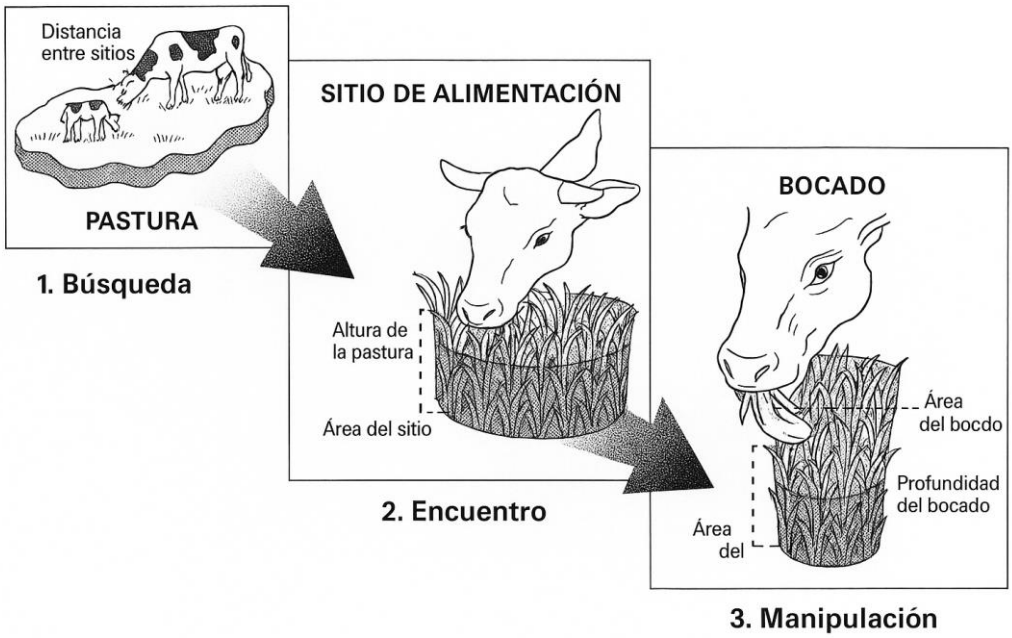
pero como existe un “costo fijo” que es el tiempo de aprehensión, la tasa de consumo se reduce. Este mecanismo explicaría por qué la tasa de bocado no tiene un efecto compensador capaz de mantener la velocidad de la ingesta frente a una reducción del peso del bocado.

Para pasturas templadas el rango de valores citados es de 20 a 66 bocados/minuto (1200 a 4000 bocados/hora) y para pasturas tropicales un máximo de 52 a 60 bocados/minuto. La composición del bocado puede influir en el tiempo necesario por bocado. Los alimentos más fibrosos requieren mayor tiempo de masticación por unidad de peso y por lo tanto se puede esperar que la relación hoja/tallo, material vivo/muerto o la madurez de los tejidos influyan en el tiempo de masticación.

En la Figura 5.9 se representan las actividades durante el tiempo de pastoreo (búsqueda, encuentro y manipulación del alimento).

Figura 5.9.

El proceso de pastoreo



Nota. Adaptado de Galli, 1996.

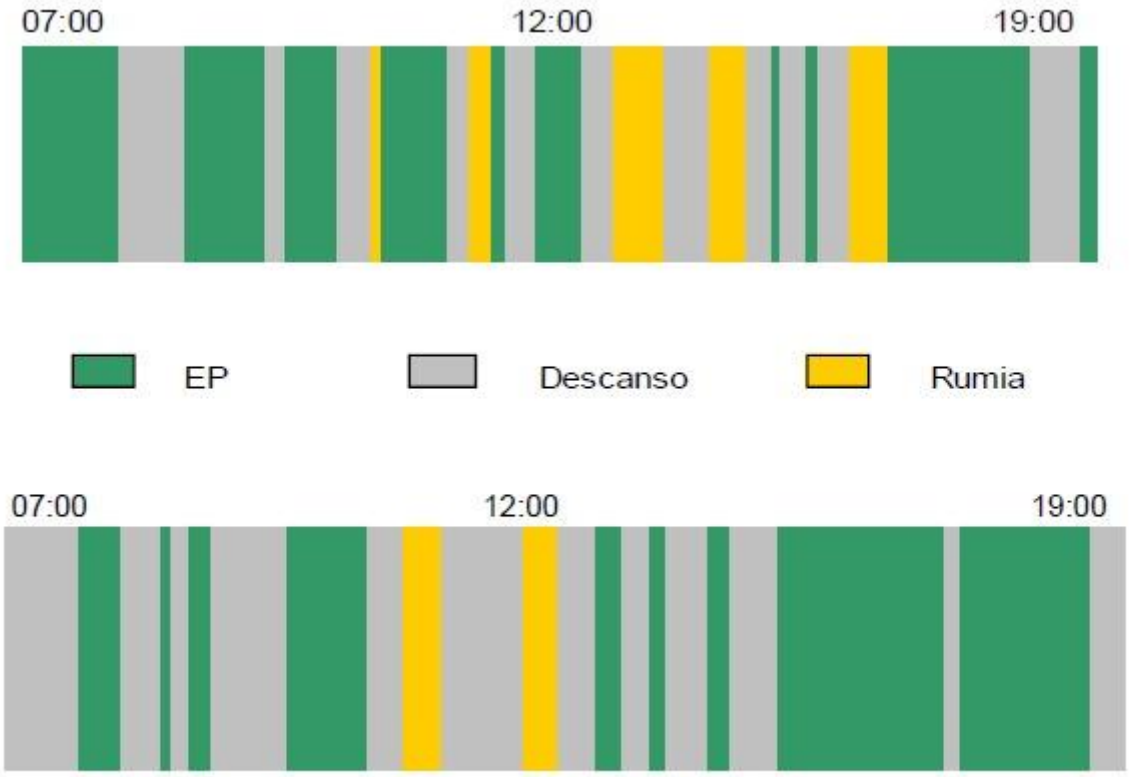
2) El *tiempo en pastoreo* representa las horas de pastoreo diarias registradas para los bovinos oscilan entre 4 y 14 horas, con una mayor frecuencia de observaciones entre las 6 y 11 horas. El promedio de este tiempo es superior en los bovinos destinados a la producción de carne en comparación con aquellos de biotipo lechero, diferencia que se atribuye al tipo de pasturas y al nivel de suplementación característicos de cada sistema.

Ante una baja disponibilidad forrajera, el animal cosecha una menor cantidad de forraje por bocado. Como respuesta, incrementa tanto la tasa de bocado (bocados por unidad de tiempo) como las horas de pastoreo, con el objetivo de compensar la reducción en el peso del bocado; sin embargo, este mecanismo compensatorio suele ser incompleto y, finalmente, el consumo diario disminuye.

La distribución temporal de las actividades de pastoreo, rumia y descanso varía según las pautas de manejo de los animales. La Figura 5.10 ilustra la distribución de estas actividades durante el otoño en terneras de recría bajo dos esquemas de asignación de una nueva parcela: a las 8:00 h (patrón superior) frente a las 15:00 h (patrón inferior). Por su parte, la Figura 5.11 detalla el comportamiento correspondiente a la estación primaveral (Gregorini et al., 2006).

Figura 5.10.

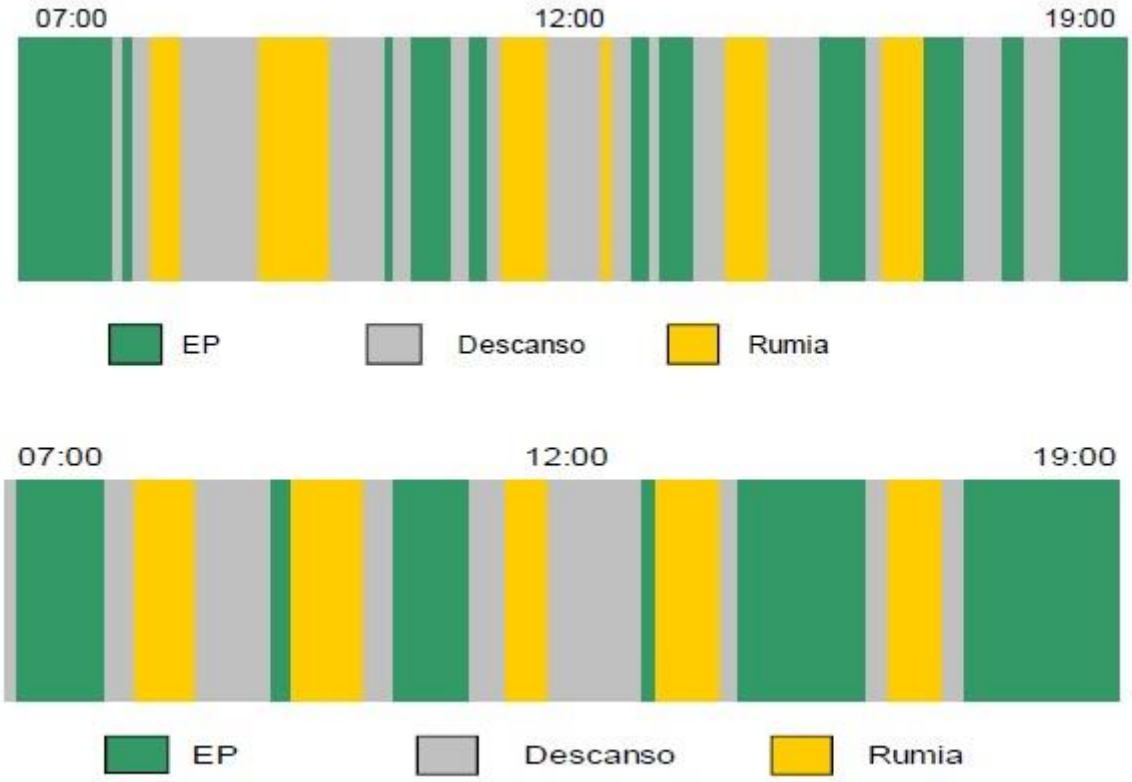
Patrón de distribución de actividades de ternera en recría con asignación de forraje fresco a las 8:00 h (superior) y a las 15: 00 h (inferior) para la estación climática otoño. (EP: evento de pastoreo).



Nota. Fuente: Gregorini et al., 2006.

Figura 5.11.

Patrón de distribución de actividades de ternera en recría con asignación de forraje fresco a las 8:00 h (superior) y a las 15: 00 h (inferior) para la estación climática primavera. (EP: evento de pastoreo).



Nota. Fuente: *Gregorini et al., 2006.*

Selección y comportamiento ingestivo

La selección del forraje influye en el tiempo requerido por bocado y, en consecuencia, en las variables del comportamiento ingestivo. Durante el pastoreo, el animal recorre el área en busca de sitios de alimentación; selecciona algunos y rechaza otros. En este contexto, el tiempo de búsqueda depende de la velocidad de desplazamiento, la densidad de sitios de alimentación por unidad de superficie y el grado de selectividad del animal. La selección se vincula con la heterogeneidad y la estructura del recurso forrajero; para que el animal consuma un tipo de forraje y rechace otro, requiere identificarlo y acceder físicamente a él (es decir, el recurso debe presentar accesibilidad).

El animal percibe la heterogeneidad en diferentes escalas, lo que determina distintos niveles de selección:

-A nivel de sitio de alimentación dentro de la pastura.

-A nivel de especie dentro de un sitio de alimentación.

-A nivel de órgano dentro de una planta.

Los herbívoros eligen de manera preferencial el forraje o las fracciones de la planta que optimizan la tasa de consumo potencial. El bovino suele evitar los tallos lignificados, ya que estos reducen la tasa de consumo debido a la masticación prolongada que requieren previa a la deglución, lo cual limita al animal a tamaños de bocado menores. Asimismo, los tallos demandan un tiempo de rumia prolongado, presentan una menor tasa de pasaje ruminal y una menor concentración de nutrientes digestibles (Benvenutti y Cangiano, 2011).

Cuando la oferta de forraje supera la demanda animal y existe heterogeneidad en su calidad, los animales seleccionan ciertas áreas y rechazan otras. Como consecuencia, en el tapiz se desarrollan zonas de alta disponibilidad de biomasa, pero bajo valor nutritivo, y áreas de escasa disponibilidad, pero de elevado valor nutritivo. El animal manifiesta una tendencia a regresar a las zonas pastoreadas con anterioridad; de este modo, las áreas de alto valor nutritivo sufren un sobrepastoreo, mientras que aquellas con abundante biomasa permanecen subpastoreadas. En este escenario, la selección se rige por la calidad del forraje, comportamiento que intensifica el pastoreo en parches o manchones. Una elevada selectividad —por ejemplo, mediante la elección preferencial de hojas jóvenes— puede disminuir el consumo total si la reducción consecuente en el peso del bocado determina una menor tasa de consumo.

Efecto de la pastura sobre el animal: factores nutricionales

Como se mencionó, existen factores nutricionales de la pastura que influyen sobre el consumo de los animales. A continuación, se describen los más importantes:

a) Composición química: la digestibilidad y la proteína bruta son dos parámetros que influyen directamente sobre el consumo. La digestibilidad está positivamente correlacionada con el consumo, a mayor digestibilidad mayor es el contenido de PB y menor la proporción de FDN del forraje y viceversa. En las Tablas 5.2 y 5.3 se muestra una interpretación práctica de los datos de digestibilidad y del contenido de pared celular (FDN) de un forraje.

Tabla 5.2.

Interpretación del valor de digestibilidad de un forraje.

Digestibilidad	Concepto	Comentarios
> 68%	**Alta**	No hay limitantes en cuanto al consumo o funcionamiento ruminal. En animales de alto potencial de crecimiento (ganancia de peso) o en vacas lecheras de alta producción, será necesario suplementar para que puedan expresar su potencial genético, pues las pasturas, aún las excelentes, no alcanzan a cubrir sus requerimientos.
60-66%	**Media**	Puede haber limitantes al consumo o funcionamiento del rumen. Dependerá de la PB del forraje, FDN y su grado de lignificación.
52-58%	**Baja**	Limitan la producción. Permiten ganancias de peso medias o bajas. No aptas para media o altas producciones de leche.
< 50%	**Muy baja**	Sólo permiten el mantenimiento de los animales o una leve ganancia de peso.

Tabla 5.3.

Interpretación del contenido de pared celular (FDN) de un forraje.

FDN	Concepto	Comentarios
< 50 %	Baja	No limita el consumo. Se corresponde con alta digestibilidad. Apta para cualquier tipo de producción.
50-60 %	Moderada	Puede limitar el consumo, es importante el grado de lignificación. Se corresponde con digestibilidad media.
60-70 %	Alta	Limitan el consumo. Se corresponde con digestibilidad baja. Posibilitan ganancias de peso medias a bajas. No aptas para producción de leche.
> 70 %	Muy alta	Limitan severamente el consumo. Se corresponde con digestibilidad muy baja. Permiten mantenimiento de los animales o muy poca ganancia de peso.

El consumo de forraje está limitado con concentraciones menores del 7 % de proteína, ya que baja la concentración de amoníaco y se afecta la actividad fermentativa del rumen, se aumenta el tiempo de retención del material fibroso y con ello se restringen los nuevos consumos.

b) Contenido de materia seca: el elevado contenido de agua del forraje puede provocar una reducción en el peso del bocado o una disminución en el tiempo total del consumo. También

podría ocurrir una restricción física del consumo debido a la presencia de grandes cantidades de agua en el tracto digestivo. Por debajo de 15-18 % de MS en el forraje, el consumo estaría muy afectado y entre valores de 13 a 22 % de MS el consumo aumenta en forma lineal a razón de 208 gr/día por cada incremento porcentual en la materia seca del forraje.

c) Contaminación externa con heces y barro: la deposición de heces y la contaminación del forraje con barro en condiciones de mucha humedad reducen el consumo y la producción. El forraje alrededor de las heces es rechazado inicialmente debido al olor y posteriormente debido a que el forraje tiene mayor madurez. Con baja carga animal instantánea, el efecto de la contaminación sobre el consumo de forraje podría ser despreciable, pero con cargas moderadas a altas, el consumo puede ser un 30% más bajo sobre pasturas contaminadas sobre todo en bovino lechero.

Efecto del animal sobre la pastura

En condiciones de pastoreo directo el animal influye sobre el crecimiento y la utilización del forraje a través de la defoliación, pisoteo y deyecciones.

Defoliación

La defoliación es el proceso de remoción total o parcial de la parte aérea de las plantas, viva o muerta, por corte mecánico o pastoreo. Según Harris (1978 en Cangiano y Brizuela, 2011) caracterizar la defoliación requiere la definición de tres parámetros: intensidad, frecuencia y momento.

La intensidad de defoliación se define como la proporción de biomasa removida en relación con la biomasa disponible durante un evento de corte o pastoreo. Esta variable tiene efectos directos sobre el balance entre los principales procesos fisiológicos vinculados al crecimiento vegetal y a la utilización del forraje (Parsons et al., 1983, en Cangiano y Brizuela, 2011). Un aumento en la intensidad de pastoreo reduce el índice de área foliar, lo que a su vez disminuye la intercepción de radiación y, como consecuencia, la eficiencia en la producción de forraje (Smetham, 1990, en Cangiano y Brizuela, 2011). Además, la intensidad de defoliación condiciona el rebrote de las pasturas, afectando la producción en los ciclos siguientes e incidiendo sobre la persistencia de las especies perennes.

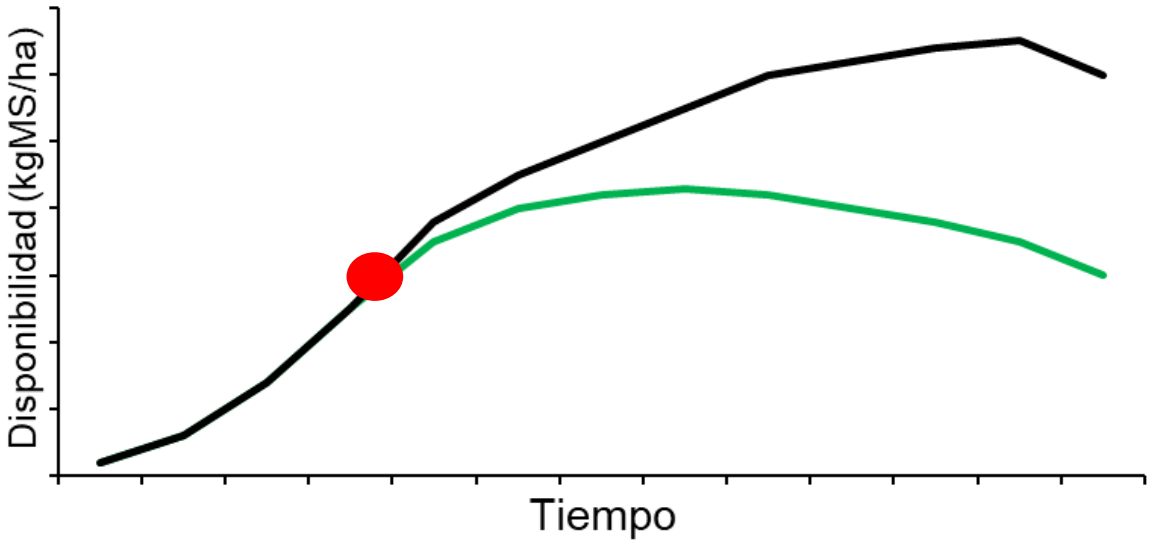
La frecuencia de defoliación se refiere al intervalo de tiempo entre defoliaciones sucesivas y constituye un factor determinante tanto en la productividad como en el valor nutritivo del recurso forrajero. A medida que el forraje crece, llega un momento en el que es necesario intervenir mediante el pastoreo para evitar la acumulación de material senescente o muerto, que reduce la calidad del pastizal. En gramíneas, la frecuencia de defoliación suele definirse en función de la vida media foliar o de la tasa de crecimiento del cultivo. En el caso de especies con crecimiento cíclico, este ritmo se establece en función de las etapas de este.

Momento: el momento oportuno depende del recurso forrajero en particular. La Figura 5.12 representa la evolución de la biomasa. Se pueden detectar 3 etapas: punto de equilibrio (punto rojo), momento en el cual es el momento óptimo para entrar a pastorear previo al inicio de la senescencia de hojas; una etapa previa con crecimiento exponencial del forraje (momento de

rebrote) y; otro posterior al punto de equilibrio donde la biomasa total se acumula por efecto de la senescencia principalmente.

Figura 5.12.

Evolución de la biomasa expresada en kgMS/ha en función del tiempo. La línea negra representa la biomasa total (biomasa verde + biomasa senescente) y la línea verde es la biomasa verde.



Pisoteo

El pisoteo de los animales en pastoreo representa un disturbio físico adicional que las plantas deben tolerar, con consecuencias directas sobre su crecimiento. Este impacto ocurre por vía directa, mediante la presión de la pezuña sobre los puntos de crecimiento y los tejidos fotosintéticos, o por vía indirecta, a través de la alteración de las propiedades físicas del suelo, tales como la compactación, la pérdida de estructura y la reducción de la tasa de infiltración de agua.

En suelos secos, la presencia de poros ocupados por aire en la superficie incrementa la susceptibilidad al daño estructural por pisoteo. Este proceso se desencadena por la destrucción de los agregados superficiales ante el impacto de la pezuña sobre la matriz seca. Aunque este fenómeno no genera una compactación profunda —debido a la elevada capacidad portante del suelo seco—, sí disminuye la estabilidad estructural al fraccionar los agregados en partículas de menor tamaño. Por el contrario, cuando el tránsito animal ocurre con un contenido de humedad superior al límite crítico, se registra una menor susceptibilidad a la compactación por carga, dado que los poros saturados de agua ofrecen mayor resistencia física a las fuerzas de compresión. Este principio físico explica la variación en la manifestación de las alteraciones estructurales entre los períodos húmedos de invierno y los secos de verano (Taboada y Lavado, 1993).

La composición botánica de la pastura se modifica en función de la tolerancia diferencial de las especies al pisoteo. Edmond (1964) estableció una escala de susceptibilidad en la cual el

raigrás perenne (*Lolium perenne*) presenta la mayor tolerancia, seguido por el trébol blanco (*Trifolium repens*), el pasto ovillo (*Dactylis glomerata*) y el trébol rojo (*Trifolium pratense*) entre otras. Asimismo, la acción de las pezuñas promueve la incorporación de semillas al suelo y favorece la resiembra natural de algunas especies consumidas a través de la dispersión por deyecciones.

El daño potencial por pisoteo resulta de la interacción de múltiples factores, entre los que destacan las condiciones climáticas, las propiedades físicas y el estado hídrico del suelo, las especies forrajeras presentes, la cobertura vegetal basal, la proporción de suelo desnudo, el comportamiento del rodeo, la carga animal y el método de pastoreo junto con su duración (Wells y Dougherty, 1997).

Deyecciones

La contaminación del forraje con deyecciones constituye un factor limitante para la cosecha eficiente del pasto por parte del animal. Las heces dañan la vegetación mediante la obstrucción física y el sombreado de las plantas. Por su parte, la orina puede provocar la mortandad de los ejemplares debido a la alta concentración de sales, efecto que se intensifica durante los períodos de sequía. Asimismo, las deyecciones inducen variaciones en la composición botánica de la pastura. Esto ocurre por el efecto combinado de la respuesta diferencial de las especies al incremento de la fertilidad y por el comportamiento de selección y rechazo del animal.

La distribución de las excretas en el lote es heterogénea y el período de rechazo del forraje circundante es variable; este último está condicionado por los factores ambientales que regulan la degradación de los residuos, con un lapso que oscila entre los 3 y 5 meses. Dicha degradación se asocia con el régimen de precipitaciones, la actividad de la fauna edáfica (invertebrados), la microbiota del suelo y la acción de las aves.

La pérdida de área foliar fotosintéticamente activa provocada por las heces, sumada al incremento de la senescencia en las zonas de rechazo, disminuye el nivel de utilización global del forraje. No obstante, las deyecciones ejercen un efecto positivo en el sistema al actuar como una vía de retorno de nutrientes al suelo. La mayor fracción del nitrógeno (N) se excreta a través de la orina (aproximadamente el 70%), mientras que la proporción restante proviene de las heces. El N urinario se presenta principalmente en forma de urea (70%) y aminoácidos, compuestos que se transforman en amonio y nitratos, los cuales constituyen formas de rápida disponibilidad para la biota edáfica. Por el contrario, el N de las heces se encuentra en combinaciones orgánicas complejas, lo que requiere un proceso previo de fragmentación física y posterior mineralización por parte de los microorganismos del suelo. El fósforo (P) se excreta mayoritariamente en las heces y se reincorpora al suelo bajo formas inorgánicas, las cuales resultan asimilables para las plantas en una alta proporción (alrededor del 80%).

Consideraciones finales

Los factores que limitan el consumo de forraje incluyen la disponibilidad y calidad del recurso, la presencia de contaminantes y la accesibilidad influida por la topografía y distribución de agua. Identificar estos límites permite optimizar el manejo ganadero y asegurar que los animales accedan a suficientes recursos. El consumo en pastoreo está condicionado por la densidad del forraje, el tamaño de los parches, el comportamiento social y los desplazamientos entre estaciones de alimentación, aspectos que al gestionarse adecuadamente contribuyen a la eficiencia y reducen el sobrepastoreo. Factores no nutricionales, como el estrés ambiental, los depredadores y la distancia al agua o refugio, impactan en el bienestar y productividad de los animales, destacando la importancia de su control. Los factores nutricionales relacionados con la calidad del forraje afectan directamente la salud y capacidad reproductiva, siendo clave el manejo adecuado de las tecnologías de procesos. Los animales, a través del consumo selectivo, pisoteo y distribución de nutrientes, generan efectos positivos como el rebrote de especies o negativos como la degradación del suelo, que se regulan con estrategias de rotación de potreros y ajuste de carga animal. Por otro lado, el comportamiento ingestivo refleja la adaptación del animal al entorno mediante la selección de forraje, duración del pastoreo y movimientos entre estaciones, mientras que las componentes del consumo, como la tasa de consumo, el tamaño del bocado y la frecuencia, están vinculadas a la calidad del forraje. Comprender estos aspectos permite diseñar sistemas pastoriles, aplicar rotaciones, seleccionar genéticamente individuos eficientes, monitorear el bienestar animal y garantizar la sostenibilidad del ecosistema ganadero.

Referencias

Bailey, D. W., Gross, J. E., Laca, E. A., Rittenhouse, L. R., Coughenour, M. B., Swift, D. M., & Sims, P. L. (1996). Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns. Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives, 49(5), 386-400.

Bailey, D. (2013). Manipulation of the spatial grazing behaviour of livestock in extensive grassland systems. Proceedings of the 22nd International Grassland Congress. Sydney, Australia.

Bailey, D. W., & Provenza, F. D. (2008). Mechanisms determining large-herbivore distribution. En H. H. T. Prins & F. van Langevelde (Eds.), *Resource ecology: Spatial and temporal dynamics of foraging* (pp. 7–28). Springer.

Bailey, D. W., Dumont, B., & WallisDeVries, M. F. (1998). Utilization of heterogeneous grasslands by domestic herbivores: Theory to management. *Annales de Zootechnie*, *47*(5-6), 321-333.

Baldwin, I. (1994). Chemical changes rapidly induced by folivory, In: Insect Plant Interactions. (ed. E.A. Bernays), CRC Press, Boca Raton, pp. 1–23.

Barrows, C. W. (1996). An Ecological Model for the Protection of a Dune Ecosystem. Conservation Biology, 10(3), 888–891. http://www.jstor.org/stable/2387113

Beck MR and Gregorini P (2020) HowDietary Diversity Enhances Hedonicand Eudaimonic Well-Being in Grazing Ruminants. Front. Vet. Sci. 7:191.doi: 10.3389/fvets.2020.00191 (20) (PDF) How Dietary Diversity Enhances Hedonic and Eudaimonic Well-Being in Grazing Ruminants. Available from: https://www.researchgate.net/publication/340644595_How_Dietary_Diversity_Enhances_Hedonic_and_Eudaimonic_Well-Being_in_Grazing_Ruminants

Benvenutti, M.A. & Cangiano, C.A. (2011). Características de las pasturas y su relación con el comportamiento ingestivo y consumo en pastoreo. En Cangiano, C.A & Brizuela, M.A.Producción animal en pastoreo. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. 512 pp

Cangiano y Brizuela, 2011. Efecto del animal sobre la pastura. En Cangiano, C.A & Brizuela, M.A.Producción animal en pastoreo. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. 512 pp

Chacón, E., & Stobbs, T.H. (1976). Influence of Progressive Defoliation of a Grass Sward on the Eating Behaviour of Cattle. *Crop & Pasture Science, 27*, 709-727.

Charnov, E. L. (1976). "Optimal foraging: The marginal value theorem." Theoretical Population Biology, 9(2), 129-136.

Dado RG, Allen MS. (1995). Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. J Dairy Sci. 78(1):118-33. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76622-X. PMID: 7738249.

Edmond, D. B. (1964). Some effects of sheep treading on the growth of 10 pasture species. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, *7*(1), 1–16.

Enrico, L.; Kopelman, I. (2017). La herbivoría. Campamento de dibujo. Editorial: Baez Impresiones. p. 19 – 21.

Fillat, F., González, R. G., & García, D. G. (Eds.). (2008). Pastos del Pirineo. Editorial CSIC-CSIC Press.

Galli, J.R., Cangiano, C.A. y Fernández, H.H. (1996). Comportamiento ingestivo y consumo de bovinos en pastoreo. Revisión Bibliográfica. Rev. Arg. Prod. Anim. Vol. 16 Nº 2: 119-142.

Gordon, I. J., & Benvenutti, M. (2006). Food in 3D: how ruminant livestock interact with sown sward architecture at the bite scale. In Feeding in domestic vertebrates: from structure to behaviour (pp. 263-277). Wallingford UK: CABI.

Granados-Sánchez, D., Ruíz-Puga, P., & Barrera-Escorcia, H. (2008). Ecología de la herbivoría. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 14(1), 51-64. Recuperado en 10 de abril de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182008000100009&lng=es&tlng=es .

Gregorini, P., Eirin, M., Refi, R., Ursino, M., Ansin, O. E., & Gunter, S. A. (2006). Timing of herbage allocation in strip grazing: Effects on grazing pattern and performance of beef heifers. *Journal of Animal Science, 84*(7), 1943–1950. https://doi.org/10.2527/jas.2005-537

Gregorini, P, Agnelli, L. Masino, C. (2007). Producción animal en pastoreo: Definiciones que clarifican significados y facilitan la comprensión y utilización de términos usados comúnmente. Engormix. Recuperado el 17 de abril de 2025. https://www.engormix.com/lecheria/pastoreo-racional/produccion-animal-pastoreo-definiciones_a27034/

Hatcoff, A. (2009). The inner world of farm animals: their amazing social, emotional, and intellectual capacities. New York: Stewart, Tabori & Chang.

Illius, A. W., & Gordon, I. J. (1991). Prediction of intake and digestion in ruminants by a model of rumen kinetics integrating animal size and plant characteristics. The Journal of Agricultural Science, 116(1), 145–157. doi:10.1017/S0021859600076255

Illius, A. W., & N.S, Jessop. 1996. Metabolic constraints on voluntary intake in ruminants. Journal of Animal Science 74:3052-3062.

Jiménez Rosales, J.D. & Améndola Massiotti, R.D (2022). Comportamiento de ingestión y consumo de forraje por vacas en pastoreo en clima templado. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, *13*(3), 743-762. Epub 22 de agosto de 2022.https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i3.6103

Johnson, D. (1980). The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. Ecology. 61. 65. 10.2307/1937156.

Pyke, G. H. (2019). Optimal foraging theory: An introduction. En J. C. Choe (Ed.), *Encyclopedia of animal behavior* (2.ª ed., Vol. 2, pp. 111–117). Academic Press.

Pyke, G. H., & Starr, C. (2020). Optimal foraging theory: A critical review. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 51, 19–41.

King, J. R., Warren, R. J., & Bradford, M. A. (2013). Social insects dominate eastern US temperate hard wood forest macroinvertebrate communities in warmer regions. PLoS One, 8(10), e75843.

Kondo S. (2010). Recent progress in the study of behavior and management in grazing cattle. Animal Science Journal (2011) 82, 26-35. Review Article. citado por Distribución espacial del pastoreo de bovinos en un sistema rotativo.

Lugo, S. F. (2014). Pastoreo y ecosistemas. Una relación compleja. XXI Jornadas Forestales de Gran Canarias. Encuentro de Especialistas: La participación ciudadana en la gestión forestal-medioambiental a corto plazo. Libreto de Ponencias. Editores: CGC y ULPGC. Recuperado el 17 de abril de 2025. https://jornadasforestalesdegrancanaria.com/wp-content/uploads/2019/10/Silvia-Fernandez-Pastoreo-y-ecosistemas.pdf

Nabinger, C., & de Faccio Carvalho, P. C. (2006). Ecofisiología de plantas forrajeras y dinámica de pastoreo. En Producción animal sostenible. Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Brasil.

Pando, V. (2010). Impacto del pastoreo en la dinámica de sistemas pastoriles: Interacciones entre herbívoros y pasturas. Revista Argentina de Producción Animal, 30(1), 35-48.

Owen-Smith, N., and P. Novellie. 1981. What should a clever ungulate eat? Am. Nat. 119: 151-178.

Provenza, F. D. (1995). "Post-ingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants." Journal of Range Management, 48(1), 2-17. [Disponible en JSTOR o bibliotecas académicas].

Rivas F. G., Miranda F. W. Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental. Facultad de Ciencias Agropecuarias. (2015). UNLZ. Vol. 2(3) 2015: 3-13

Senft, R. L., Coughenour, M. B., Bailey, D. W., Rittenhouse, L. R., Sala, O. E., & Swift, D. M. (1987). Large herbivore foraging and ecological hierarchies. *BioScience*, 37(11), 789–799. Recuperado el 17 de abril de 2025 https://doi.org/10.2307/1310545.

Taboada M.A. & Lavado R.S. (1993). Influence of trampling on soil porosity under altemate dry and ponded conditions. Soil Use and Management 9, 139-143.

Wells, K. L. y C.T. Dougherty. (1997). Soil Management for intensive grazing. Vol 18, N° 2. 6p.

Westoby, M. 1974. The analysis of diet selection by large generalist herbivores Am. Nat. 108: 290-304.

Los autores

Coordinadores

Heguy, Bárbara

Ingeniera Agrónoma (FCAyF-UNLP). Doctora en Ciencias de la Educación (UNLP), Especialista en Producción Animal (UNMdP), Especialista en Economía Agroalimentaria (UNLP), Especialista en Docencia Universitaria (UNLP). Profesora Adjunta Ordinaria del Curso de Forrajicultura y Praticultura; Jefa de Trabajos Prácticos Ordinaria del Curso de Producción Animal II (FCAyF, UNLP). Investigadora categoría III. Directora de Proyecto de Investigación (I+D 2025-2028). Directora de Proyecto de Extensión. Responsable de la Actividad optativa Seminario Ecofisiología de Pastizales. Es autora de numerosos trabajos de investigación y capítulos de libros entre los que destacan: La actividad ganadera en el partido de La Plata; Producción familiar lechera en la cuenca de Abasto Sur; Una experiencia de movilidad docente para fortalecer la educación a distancia en la temática de pastizales naturales; y Ganadería sustentable en la región metropolitana de Buenos Aires: indicadores. Es asesora técnica de haras y sistemas ganaderos de cría.

Fernández, Federico Ezequiel

Ingeniero Agrónomo, FCAyF (UNLP). Especialista en Manejo de Sistemas Pastoriles Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Buenos Aires (UBA). Actualmente es Prosecretario en la Prosecretaría Productiva de Campos y Profesor Adjunto en el curso de Forrajicultura y Praticultura de la FCAyF. Es Asesor técnico de sistemas productivos de carne. Participa en proyectos de investigación y codirige proyectos de extensión vinculados a la actividad ganadera en la Depresión del Salado. Es Responsable académico del Memorándum de entendimiento internacional entre la junta directiva de University of Florida (behalf of its College of Agricultural and Life Sciences) y UNLP (Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales).

Autores

Agnelli, María Lorena

Ingeniera Agrónoma (FCAyF-UNLP). Candidata a Especialista en Docencia Universitaria (UNLP). Prosecretaria de Extensión de la FCAyF UNLP. Jefe de Trabajos Prácticos Ordinario con dedicación Exclusiva del Curso de Producción Animal 2 (FCAyF, UNLP). Jefe de Trabajos Prácticos Ordinario con dedicación Simple del Curso de Construcciones Rurales. Investigadora categoría DI3 (SICADI). Directora de Proyecto de Investigación (I+D 2024-2025). Responsable del Curso de Bienestar Animal. Autora de numerosos trabajos de investigación con referato y capítulos de libros, destacándose: Producción animal en pastoreo: Definiciones que clarifican significados y facilitan la comprensión y utilización de términos usados comúnmente; Rotational grazing in the flooding pampa, Argentina. Sustainability pathways. Sustainability and organic livestock. Best practices in low-input livestock management.

Bolaños, Víctor Raúl Ariel

Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Doctorando en Ciencias Agronómicas con beca doctoral CONICET en Escuela de Posgrado Alberto Soriano, Facultad Agronomía Buenos Aires (FAUBA). Especializando en Docencia Universitaria (UNLP). Docente Investigador, Jefe de Trabajos Prácticos. Cátedra de Forrajicultura y Praticultura de la carrera de Ingeniería Agronómica (FCAyF UNLP). Docente, coordinador del curso Análisis y Planificación de Agroecosistemas Diversificados de la Tecnicatura Universitaria en Agroecología (FCAyF UNLP). Miembro como Investigador en proyectos de investigación y desarrollo (UNLP), sobre ambientes salinos del pastizal de la Pampa Deprimida (P.D) y las especies halofíticas nativas. Miembro y Evaluador en la Revista de la Asociación Argentina de Ecología (AsAE). Evaluador en la Revista Caldasia, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Fernández, Juan Manuel

Ingeniero Agrónomo (FCAyF-UNLP). Ayudante alumno Ad honorem del Curso de Forrajicultura y Praticultura (2016-2018). Se desarrolló en el sector privado en el Oeste de la Provincia de Buenos Aires vinculado a la lechería. Desde el 2021 se desarrolla como coordinador operativo de alimentación y conservación de forrajes en Adecoagro (tambo) en el Sur de Santa Fe.

Jalil, Gastón Hernán

Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Ayudante diplomado del curso de Forrajicultura y Praticultura de la FCAyF de la UNLP. Docente del seminario “Pastizales naturales de Argentina: estructura, funcionamiento y utilización”, FCAyF. Asesor en planificación forrajera de campos ganaderos del este de la Depresión del Salado, dedicados a la cría y recría de ganado bovino. Integrante del proyecto de extensión Vinculación de los Espacios Productivos Ganaderos de la UNLP y el medio. FCAyF, UNLP. Distinción Joaquín V. Gonzales, a los mejores promedios egresados de la UNLP en 2015, entregado por la Municipalidad de La Plata. Participante en elaboración del informe de consultoría de la FCAyF, UNLP, para el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, Argentina, durante el año 2022; sobre la cadena de valor de la carne vacuna.

Lamarche, Luciano Nahuel

Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Ayudante diplomado del curso de Forrajicultura y Praticultura de la FCAyF de la UNLP. Docente del seminario “Pastizales naturales de Argentina: estructura, funcionamiento y utilización”, FCAyF. Asesor privado de sistemas ganaderos del partido de Punta Indio. Actualmente docente investigar en el proyecto Fertilización en las comunidades del pastizal de la Pampa Deprimida durante las diferentes estaciones del año, de la FCAyF de la UNLP. Participante en elaboración del informe de consultoría de la FCAyF, UNLP, para el Ministerio de

Agricultura Ganadería y Pesca, Argentina, durante el año 2022; sobre la cadena de valor de la carne vacuna.

Mendicino, Lorena

Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Maestranda de la carrera Procesos locales de innovación y desarrollo rural (FCAyF-UNLP). Jefe de Trabajos Prácticos de los cursos de Introducción a las Ciencias Agrarias y Forestales y Forrajicultura y Praticultura, ambos de la carrera de Ingeniería Agronómica de la FCAyF de la UNLP. Docente de la Tecnicatura Universitaria en Agroecología de la misma institución. Entre sus últimas publicaciones destacan “Sistemas productivos periurbanos en el Sur del Área Metropolitana de Buenos Aires. Caracterización, transformaciones y desafíos” y “La actividad ganadera en el partido de La Plata”. Actualmente participa en proyectos de investigación y extensión vinculados a la ganadería vacuna en la Pampa Deprimida. FCAyF - UNLP. Es Prosecretaria de Pregrado de la FCAyF-UNLP.

Rodríguez Guiñazú, Adrián

Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Maestrando de la carrera Economía Agroalimentaria orientación Gerenciamiento y Dirección de Empresas, de la FCAyF de la UNLP. Jefe de Trabajos Prácticos en el curso de Producción Animal II y Ayudante diplomado del curso de Forrajicultura y Praticultura de la FCAyF de la UNLP. Prosecretario de Administración y Producción de Campos UNLP, FCAyF. Asesor profesional en sistemas productivos de cría bovina, recría y tambo en el partido de Magdalena. Entre sus publicaciones se destacan Efecto de la carga animal en la calidad de semillas de *Lolium multiflorum* en una promoción química (2020), Influencia de las precipitaciones de otoño en la producción de pastizales en la Depresión del Salado (2022) y Efecto de la fertilización fosforada y nitrogenada en la población de macollos en *Festuca arundinacea* (2022).

Sarandón, Pablo Javier

Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Ayudante Diplomado en el curso de Producción Animal II de la FCAyF de la UNLP. Asesor profesional en sistemas productivos de cría bovina, recría y tambo en los partidos de Brandsen y General Paz. Actualmente participa en proyectos de investigación y extensión vinculados a la ganadería vacuna en la Pampa Deprimida. FCAyF - UNLP.

Tarnonsky, Federico

Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Magister y Doctorando en Animal Sciences, University of Florida (UF). Asistente Graduado de Investigación en el North Florida Research and Education Center, UF/IFAS. Previamente, Ayudante de Cátedra en Forrajicultura de la FCAyF de la UNLP y coordinador territorial del centro comunitario de extensión universitaria número 10, dependiente

de la UNLP. Asesor profesional en sistemas productivos de cría bovina, y recría. Investigación enfocada en nutrición de ganado de carne, manejo de forrajes y aditivos alimenticios con más de trece publicaciones en revistas científicas de alto impacto y doce publicaciones de extensión. Becario del FFAR Fellows Program.

Heguy, Bárbara
Recursos y planificación forrajera : parte II / Bárbara Heguy ; Federico Ezequiel Fernández ; Coordinación general de Bárbara Heguy ; Federico Ezequiel Fernández. - 1a ed. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata ; La Plata : EDULP, 2026.
Libro digital, PDF - (Libros de cátedra)

Archivo Digital: descarga
ISBN 978-950-34-2803-0

1. Pastoreo. I. Fernández, Federico Ezequiel II. Heguy, Bárbara, coord. III. Fernández, Federico Ezequiel, coord. IV. Título.
CDD 636.08

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, 2026
ISBN 978-950-34-2803-0
© 2026 - Edulp

naturales

EDITORIAL DE LA UNLP

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA