

Manual de procedimientos

PROVISIÓN DE AGUA POTABLE Y SISTEMAS DE SANEAMIENTO

Con técnicas orientadas a cooperativas de servicios



PROGRAMA DE COOPERATIVISMO Y ECONOMÍA SOCIAL EN LA UNIVERSIDAD

Secretaría de Políticas
Universitarias



Ministerio de Educación
Argentina



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

UNNOBA
UNIVERSIDAD NACIONAL
NOROESTE | BUENOS AIRES



UNICEN
Universidad Nacional del Centro
de la Provincia de Buenos Aires

UNSAaA
UNIVERSIDAD NACIONAL • SAN ANTONIO DE ARECO

El presente Manual de Procedimientos se realizó en el marco del Proyecto
“Evaluación y propuestas de mejoras para los servicios sanitarios en
cooperativas de la provincia de Buenos Aires”.
Programa de cooperativismo y economía social en la Universidad.
Secretaría de políticas Universitarias. Ministerio de Educación.

Coordinación

Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (UNNOBA)

Participación

Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNICEN)

Universidad Nacional de San Antonio de Areco (UNSAaA)

Colaboración

Autoridad del Agua (ADA)

Federación de Cooperativas de agua potable y saneamiento de la provincia de Buenos Aires Ltda. (FEDECAP)

Federación de Cooperativas de Electricidad y Servicios Públicos de la Provincia de Buenos Aires Ltda. (FEDECOBA)

Federación de cooperativas de servicios de la provincia de Buenos Aires Ltda. (FECOOSER)

Proyectos de Investigación y Constituciones de Redes Universitarias

Red de Universidades de la Provincia de Buenos Aires (RUNBO)

Centro Interdisciplinario de Investigaciones Aplicadas al Agua y al Ambiente (CIIAAA)

Manual de procedimientos : provisión de agua potable y sistemas de saneamiento / Eduardo E. Kruse ... [et al.]; contribuciones de Corina I. Rodríguez ... [et al.]; compilación de M. Soledad Ruiz ; coordinación general de Eduardo Kruse ; ilustrado por Luciano Passarella. - 1a ed. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, 2023.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-34-2197-0

1. Agua Potable. 2. Saneamiento. I. Kruse, Eduardo E. II. Rodríguez, Corina I., colab. III. Ruiz, M. Soledad, comp. IV. Kruse, Eduardo, coord. V. Passarella, Luciano, ilus.

CDD 363.61



Esta publicación utiliza una licencia Creative Commons.

Está autorizada la reproducción total o parcial de este Manual de Procedimientos para fines educativos o sin fines de lucro, sin que se requiera de un permiso especial de los autores, bajo la condición de que se indique la fuente de la que proviene.

Los autores agradecerán que se les remita un ejemplar de cualquier publicación cuya fuente haya sido el presente Manual de Procedimientos.

No está autorizado el empleo de esta publicación para su venta o para cualquier uso comercial.

EQUIPO DE TRABAJO

Director del Proyecto:

Eduardo E. Kruse (UNLP)

Autores:

Ma. Soledad Ruiz (UNSAAdA)

Corina I. Rodríguez (UNICEN)

Patricia Laurencena (UNLP)

Santiago Perdomo (UNNOBA)

Alejandro J. Mariñelarena (UNLP)

Agustina Wahlmann (UNLP)

Maximiliano Fabiano (UNLP)

Colaboradores:

Oscar E. Palma (UNNOBA)

Tomas Guerriero (UNNOBA)

Equipos Técnicos de UNLP, UNNOBA y UNSAdA

Diseño e ilustraciones:

Luciano Passarella (UNLP)

Agradecimientos

A los referentes profesionales y técnicos de cada una de las 50 cooperativas relevadas y de las federaciones que han posibilitado la ejecución del trabajo.

Al invaluable acompañamiento de la SPU en toda la evolución del proyecto con especial referencia a Rodolfo Lauritto, sin cuya orientación no hubiera sido posible alcanzar los resultados obtenidos.

A quienes colaboraron con la revisión y lectura crítica de los textos elaborados: Mario Descarga, Luis Ojer, Oscar Perelli, Marcelo Raffetto, Silvia Rodríguez, Lucas Martínez, Federico Zarza, Julián Tujague.

Contacto: Ante consultas referidas a este Manual de Procedimientos comunicarse al correo electrónico: consultascoop@ciiaaa.unlp.edu.ar

Índice

INTRODUCCIÓN	Pág. 9
PRIMERA PARTE - PROVISIÓN DE AGUA POTABLE	Pág. 12
1 Conceptos generales	Pág. 13
2 Pozo de explotación	Pág. 15
2.1 Lugar de emplazamiento	Pág. 15
2.2 Métodos de perforación	Pág. 17
2.3 Pozo exploratorio	Pág. 18
2.4 Registros geoelectrónicos	Pág. 19
2.5 Diseño del pozo de explotación	Pág. 21
2.6 Entubación	Pág. 21
2.7 Engravado o prefiltro	Pág. 23
2.8 Cementación	Pág. 24
2.9 Limpieza y desarrollo del pozo	Pág. 24
2.10 Mantenimiento del pozo	Pág. 25
3 Bombas	Pág. 26
3.1 Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas	Pág. 27
3.2 Bombas dinámicas o turbobombas	Pág. 28
3.3 Rendimiento	Pág. 29
3.4 Instalación de bombas	Pág. 31
4 Red de distribución	Pág. 33

4.1	Tanque de almacenamiento _____	Pág. 34
4.2	Cañerías _____	Pág. 35
4.3	Válvulas _____	Pág. 38
4.4	Tomas domiciliarias _____	Pág. 40
4.5	Pérdidas en la red de distribución _____	Pág. 41
4.6	Corrosión _____	Pág. 47
4.7	Incrustación _____	Pág. 48
5	Desinfección del agua _____	Pág. 49
5.1	Métodos físicos _____	Pág. 49
5.2	Métodos químicos _____	Pág. 49
5.3	Control de cloro residual _____	Pág. 52
5.4	Limpieza de tanques _____	Pág. 55
6	Monitoreo del agua subterránea _____	Pág. 58
6.1	Medición del nivel de agua _____	Pág. 59
7	Calidad del agua subterránea _____	Pág. 61
7.1	Premisas básicas del muestreo _____	Pág. 61
7.2	Parámetros de análisis _____	Pág. 62
7.3	Metodología de muestreo _____	Pág. 63
7.4	Frecuencia de extracción _____	Pág. 67
8	Cuadro tarifario _____	Pág. 68
8.1	Variables que intervienen en una tarifa _____	Pág. 68
8.2	Categorización _____	Pág. 71
9	Vinculación con la comunidad _____	Pág. 72
9.1	Participación de los usuarios _____	Pág. 72
9.2	Información y comunicación _____	Pág. 74
9.3	Campañas de concientización y programas educativos _____	Pág. 75
9.4	Herramientas de comunicación _____	Pág. 75

SEGUNDA PARTE - SISTEMAS DE SANEAMIENTO	Pág. 77
10 Situación actual	Pág. 78
11 Saneamiento para pequeñas poblaciones, barrios y viviendas aisladas	Pág. 79
11.1 Sistemas urbanos	Pág. 81
11.2 Sistemas comunitarios	Pág. 82
11.3 Sistemas autónomos	Pág. 83
12 Tecnologías para sistemas urbanos	Pág. 84
12.1 Pretratamiento	Pág. 84
12.2 Tratamiento primario	Pág. 84
12.3 Tratamiento secundario	Pág. 86
12.4 Tratamiento terciario o avanzado	Pág. 89
12.5 Lagunas de estabilización	Pág. 89
12.6 Tecnologías complementarias	Pág. 91
12.7 Desinfección	Pág. 94
13 Tecnologías para sistemas comunitarios	Pág. 95
13.1 Humedales de flujo superficial	Pág. 95
13.2 Humedales de flujo subsuperficial horizontal	Pág. 95
13.3 Humedales de flujo vertical	Pág. 97
13.4 Humedales de flujo vertical Sistema Francés	Pág. 98
14 Tecnologías para sistemas autónomos	Pág. 100
14.1 Cámara séptica o biodigestor	Pág. 100
14.2 Pozo absorbente	Pág. 104
14.3 Terreno de infiltración	Pág. 106
14.4 Humedal, cantero o biojardinería	Pág. 108
BIBLIOGRAFÍA PRIMERA PARTE	Pág. 110
BIBLIOGRAFÍA SEGUNDA PARTE	Pág. 113
FICHAS TÉCNICAS	Pág. 115

Índice de figuras, cuadros y fichas técnicas

Figura 1. Sistema hidráulico urbano _____	Pág. 11	Figura 32. Tratamiento primario. Sedimentador _____	Pág. 85
Figura 2. Tipos de acuífero _____	Pág. 14	Figura 33. Tratamiento secundario. Lecho percolador _____	Pág. 86
Figura 3. Ubicación de un pozo de explotación _____	Pág. 15	Figura 34. Tratamiento secundario. Lodos activados _____	Pág. 88
Figura 4. Distancia mínima recomendada para la localización de un pozo de explotación _____	Pág. 16	Figura 35. Lagunas de estabilización _____	Pág. 90
Figura 5. Registro de perfilaje eléctrico _____	Pág. 20	Figura 36. Humedales construidos. Flujo superficial _____	Pág. 92
Figura 6. Perfil litológico y diseño constructivo de un pozo de explotación _____	Pág. 22	Figura 37. Humedales de tratamiento de lodos _____	Pág. 93
Figura 7. Aire comprimido _____	Pág. 25	Figura 38. Desinfección _____	Pág. 94
Figura 8. Pistoneo _____	Pág. 25	Figura 39. Humedales construidos. Flujo horizontal (SSF) _____	Pág. 96
Figura 9. Chorro horizontal _____	Pág. 26	Figura 40. Humedales construidos. Flujo vertical _____	Pág. 97
Figura 10. Bombas alternativas _____	Pág. 27	Figura 41. Humedales construidos. Flujo vertical. Sistema francés _____	Pág. 99
Figura 11. Bombas rotativas _____	Pág. 28	Figura 42. Tratamiento primario. Cámara séptica _____	Pág. 101
Figura 12. Bombas centrífugas _____	Pág. 29	Figura 43. Tratamiento primario. Biodigestor _____	Pág. 103
Figura 13. Curva característica de una bomba _____	Pág. 30	Figura 44. Tratamiento secundario. Pozo absorbente _____	Pág. 105
Figura 14. Tanque de almacenamiento de agua potable _____	Pág. 34	Figura 45. Tratamiento secundario. Terreno de infiltración _____	Pág. 107
Figura 15. Variación en el régimen de un tanque de almacenamiento _____	Pág. 35	Figura 46. Tratamiento secundario. Humedal-cantero _____	Pág. 108
Figura 16. Pérdidas físicas y comerciales _____	Pág. 42	Cuadro 1. Clasificación de las bombas _____	Pág. 26
Figura 17. Curva de demanda de cloro _____	Pág. 53	Cuadro 2. Clasificación de medidores _____	Pág. 45
Figura 18. Limpieza de tanque de almacenamiento _____	Pág. 56	Cuadro 3. Parámetros físico-químicos _____	Pág. 62
Figura 19. Limpieza de la superficie interna _____	Pág. 56	Cuadro 4. Parámetros microbiológicos _____	Pág. 62
Figura 20. Proceso de desinfección de agua potable _____	Pág. 57	Cuadro 5. Tres modelos de estrategias para el saneamiento _____	Pág. 80
Figura 21. Sonda de medición _____	Pág. 59	Cuadro 6. Rendimiento de eliminación (%) de contaminantes en distintas etapas de la depuración _____	Pág. 89
Figura 22. Metodología de medición _____	Pág. 60	Ficha técnica 1. Perforaciones _____	Pág. 116
Figura 23. Purga de la cañería _____	Pág. 63	Ficha técnica 2. Desinfección del agua por cloración _____	Pág. 117
Figura 24. Flameo de la canilla _____	Pág. 63	Ficha técnica 3. Limpieza de tanques de almacenamiento _____	Pág. 118
Figura 25. Proporción de aire y agua en el envase _____	Pág. 65	Ficha técnica 4. Monitoreo del agua subterránea _____	Pág. 119
Figura 26. Ejemplo de facturación residencial _____	Pág. 73	Ficha técnica 5. Metodología de muestreo _____	Pág. 120
Figura 27. Sistemas urbanos _____	Pág. 81	Ficha técnica 6. Cámara séptica o Biodigestor _____	Pág. 121
Figura 28. Sistemas comunitarios _____	Pág. 82	Ficha técnica 7. Terreno de infiltración _____	Pág. 122
Figura 29. Sistemas autónomos _____	Pág. 83	Ficha técnica 8. Humedal-cantero _____	Pág. 123
Figura 30. Pretratamiento. Desbaste. Canal de rejas. _____	Pág. 84		
Figura 31. Pretratamiento. Desarenador _____	Pág. 84		

Introducción

El siguiente manual de procedimientos constituye un instrumento de referencia tendiente a proporcionar lineamientos para una adecuada gestión de los recursos hídricos subterráneos y superficiales y orientar las tareas de técnicos y especialistas que operan los sistemas de agua potable y saneamiento de la provincia de Buenos Aires.

El objetivo del trabajo es exponer las bases en relación a normas, criterios y parámetros vinculados a la explotación del agua subterránea, con la finalidad de facilitar la toma de decisiones por parte de autoridades y personal de las cooperativas, manteniendo la eficiencia y calidad del servicio.

Las cuestiones sanitarias relacionadas con el control y la prevención de las enfermedades de tipo hídrico adquieren un rol fundamental en la distribución del agua potable y en la depuración de las aguas residuales y su disposición en el ambiente; por lo cual es importante que ambos sistemas se gestionen en forma conjunta.

Un plan integral de gestión de agua se compone de instalaciones para la captación, potabilización, almacenamiento, conducción, bombeo y distribución de agua potable y recolección y tratamiento de aguas residuales (**Figura 1**). Los contenidos que se presentan en el siguiente manual ha sido diagramados considerando los componentes que integran un sistema hidráulico urbano:

- **Sistema de captación:** incluye los pozos de explotación a partir de los cuales se extrae agua subterránea del acuífero.
- **Línea de conducción:** conjunto de obras que conducen el agua desde la captación hacia la planta de tratamiento o hacia el tanque de almacenamiento.
- **Planta de potabilización:** complejo donde se realizan procesos de potabilidad con la finalidad de garantizar la calidad y aptitud del agua para consumo.

- **Tanque de almacenamiento:** estructura para almacenar y administrar el agua destinada a suplir la demanda en las horas de máximo consumo.
- **Red de distribución:** conjunto de líneas y redes destinadas a conducir el agua hasta el consumidor.
- **Red de alcantarillado o colectora cloacal:** conjunto de cañerías destinadas a coleccionar y conducir aguas residuales.
- **Planta de tratamiento de aguas residuales:** procesos tendientes a disminuir el contenido de sólidos, materia orgánica y microorganismos patógenos del agua residual.
- **Vertido:** disposición del agua residual tratada en bajos o cuerpos de agua superficial.

Al final del texto se anexan una serie de fichas técnicas donde se resumen cuestiones generales y lineamientos metodológicos vinculados a tareas que se desarrollan en cada una de las distintas etapas mencionadas.

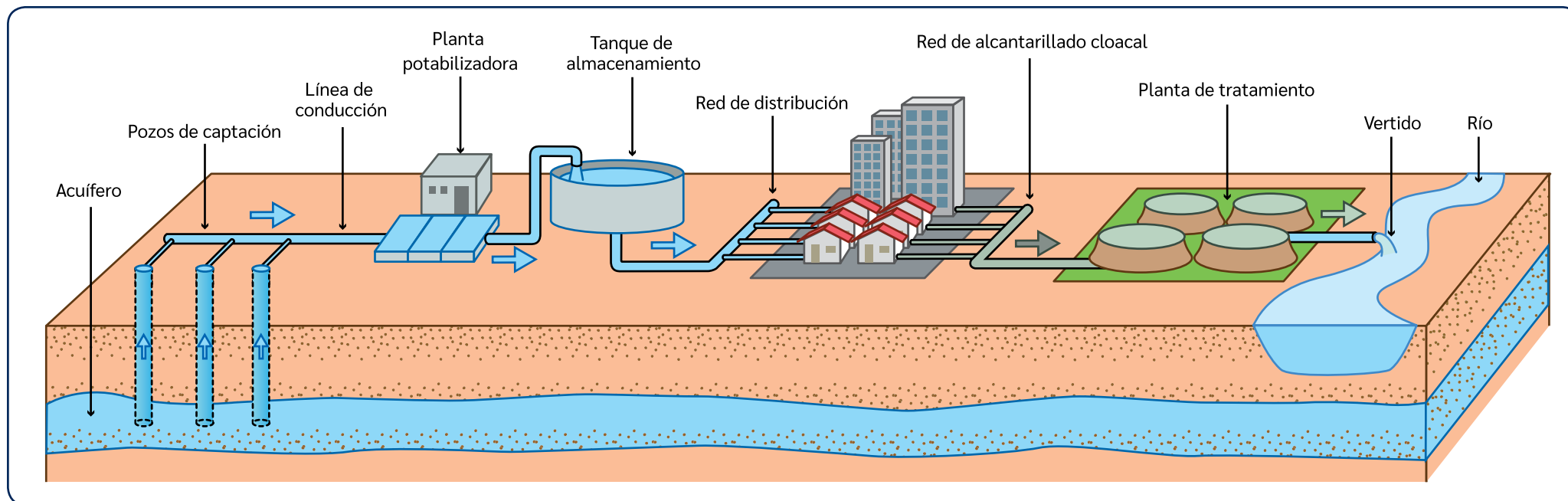


Figura 1. Sistema hidráulico urbano.

Primera parte

PROVISIÓN DE AGUA POTABLE



1 Conceptos generales

La implantación de industrias, saneamiento deficiente y disposición de residuos sólidos urbanos constituyen potenciales fuentes de contaminación que afectan el abastecimiento de agua potable. Una adecuada gestión del recurso requiere que la explotación se realice en sitios alejados y pozos profundos que aseguren la calidad del agua subterránea.

El consumo de agua potable en la provincia de Buenos Aires se produce exclusivamente a partir de la explotación de los acuíferos Pampeano, Puelche y médanos en la zona costera.

Las características hidráulicas de los sedimentos determinan la cantidad de agua que pueden almacenar, ceder o transmitir. En función del comportamiento hidrogeológico se definen las siguientes unidades:

- **Acuífero:** formación que puede transmitir agua en cantidades significativas.
- **Acuitardo:** formación de baja permeabilidad que contiene agua en cantidad significativa, pero la circulación y transmisión es reducida.
- **Acuicludo:** formación prácticamente impermeable que contiene agua, pero no permite su circulación.

Los materiales finos como las arcillas conforman acuitardos, mientras que las arenas de grano redondeado constituyen buenos acuíferos.

La permeabilidad (k) es uno de los principales factores que controlan el rendimiento de las captaciones de agua, mientras que la capacidad de transmisión de un acuífero está dada por la transmisividad (T), cuyo valor es calculado como el producto de la permeabilidad (k) por el espesor saturado del acuífero.

Desde el punto de vista hidráulico, se definen tres tipos de acuíferos: confinados, semi-confinados y libres. El confinado se encuentra verticalmente limitado por acuicludos, el

semiconfinado por acuitardos que ceden agua de su propio almacenamiento o la transmiten desde acuíferos adyacentes y el libre se encuentra en contacto directo con la atmósfera (**Figura 2**).

En su recorrido, las propiedades del agua cambian en función de la interacción con el medio natural o antrópico, y puede variar con el tiempo dependiendo del caudal de bombeo o fluctuaciones regionales.

Las principales fuentes de contaminación se vinculan a industrias, pérdidas en la red de alcantarillado, saneamiento deficiente, descarga de aguas residuales, rellenos no habilitados, aplicación de fertilizantes y pesticidas; las cuales generan contaminación por microorganismos patógenos, compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos, metales pesados, materia orgánica e hidrocarburos.

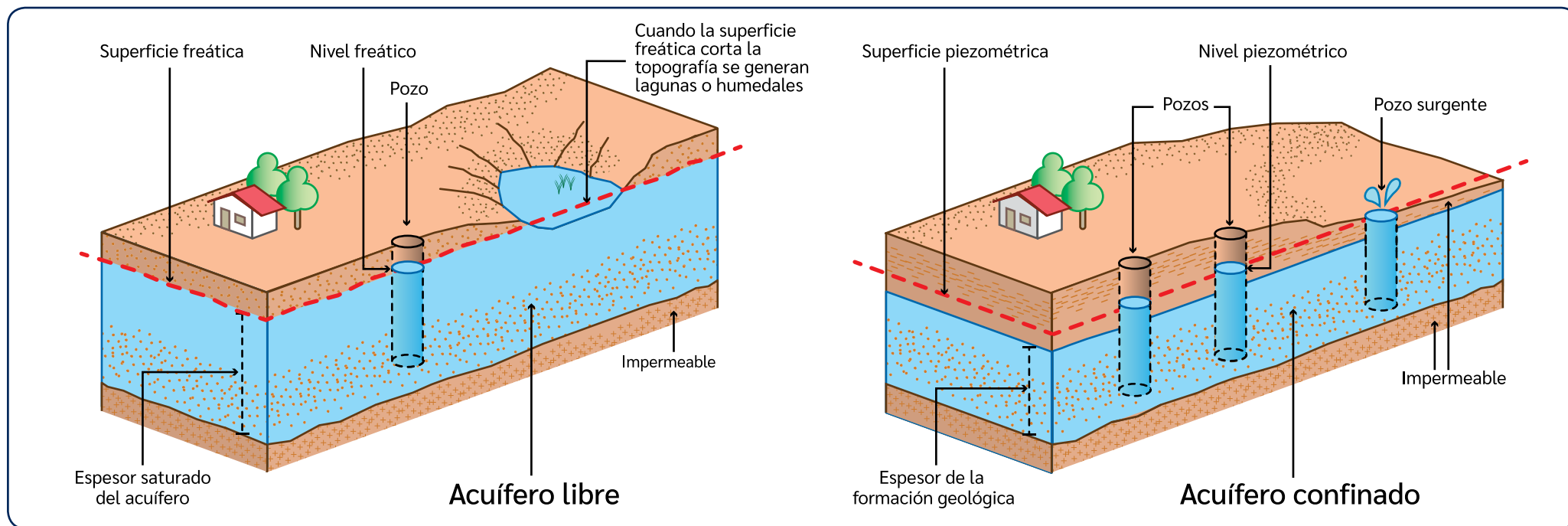


Figura 2. Tipos de acuífero.

La calidad del agua subterránea está protegida por la zona no saturada donde se producen distintos procesos (filtración, adsorción, biodegradación, atenuación e intercambio catiónico) que evitan, reducen o retardan la contaminación del acuífero. Los acuíferos libres presentan un mayor grado de vulnerabilidad respecto a los acuíferos semiconfinados, condición que se acentúa cuando el nivel freático se localiza a escasa profundidad.

2 Pozo de explotación

2.1 Lugar de emplazamiento

La localización más conveniente para ubicar un pozo de explotación debe considerar un área topográficamente elevada respecto a instalaciones potencialmente contaminantes (pozos ciegos, sistemas de tratamiento de efluentes o basurales) (Figura 3).

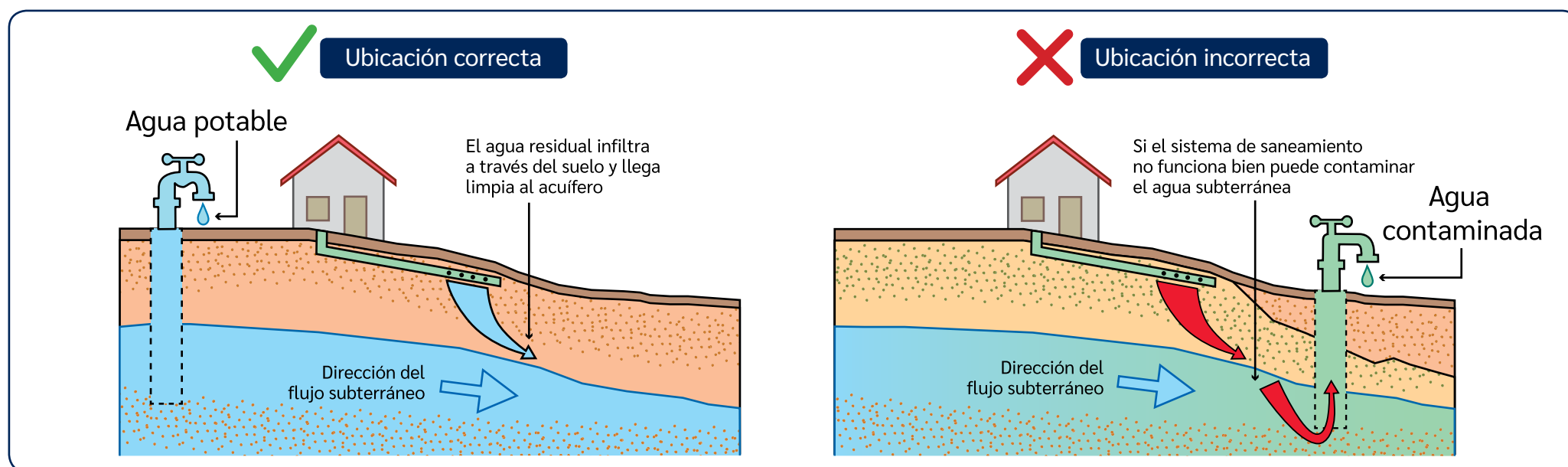


Figura 3. Ubicación de un pozo de explotación.



Para ampliar información sobre este tema, consultar:

- **Ley 5376**

<https://normas.gba.gob.ar/ar-b/ley/1948/5376/9816>

- **Decreto reglamentario 2923/49**

<https://normas.gba.gob.ar/ar-b/decreto/1949/2923/179308>

La selección del sitio debe contemplar la normativa municipal o provincial. La Ley provincial 5376 (Provisión de agua potable en todas las zonas de la provincia de Buenos Aires) y el Decreto reglamentario 2923/49 establece una distancia mínima de 15 m entre el pozo de abastecimiento y una potencial fuente de contaminación (**Figura 4**).

Para un adecuado planeamiento y ubicación de nuevas perforaciones es importante conocer las características hidráulicas del acuífero (permeabilidad, transmisividad, almacenamiento) y del pozo de explotación (caudal característico, eficiencia). La ejecución de ensayos de bombeo de larga duración a caudal constante y variable, permiten la adquisición de estos registros.

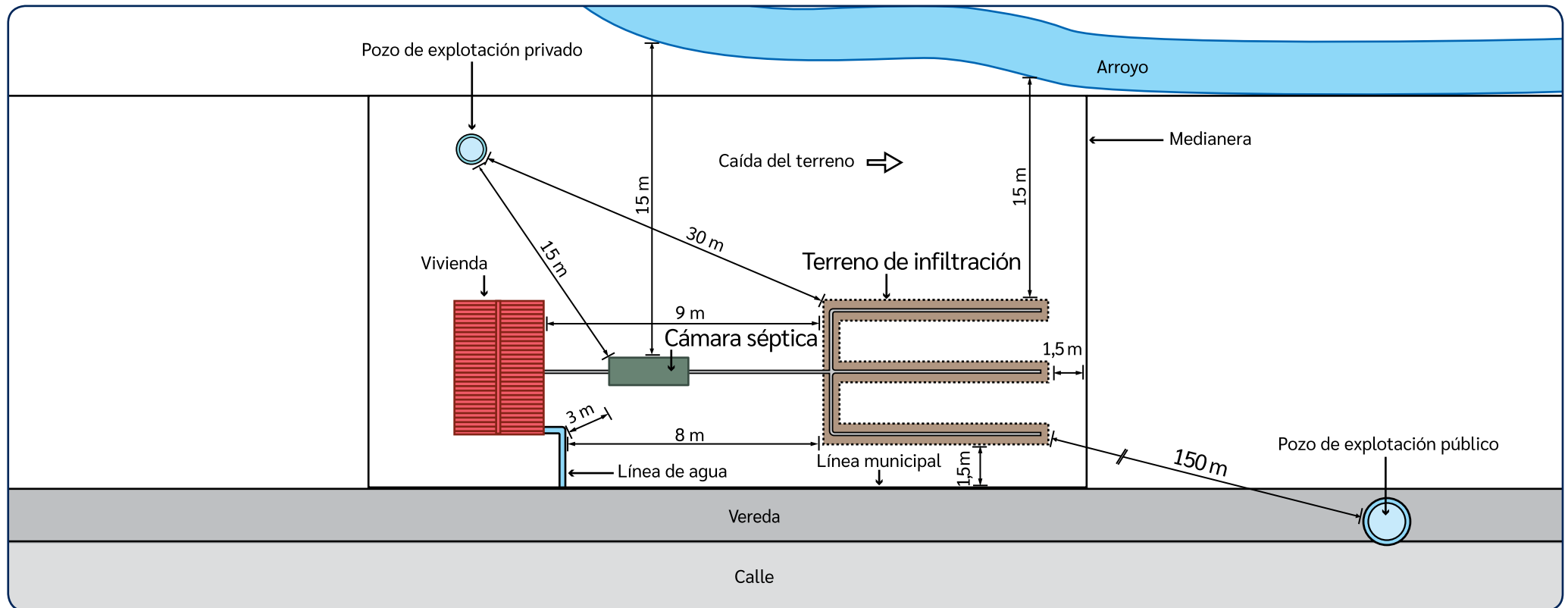


Figura 4. Distancia mínima recomendada para la localización de un pozo de explotación.

2.2 Métodos de perforación

La selección del método de perforación está relacionada con la profundidad, el diámetro del pozo y litología del terreno a perforar. Los sistemas más empleados son:

- **Rotación, con circulación directa e inversa**
- **Percusión**
- **Rotopercusión**

2.2.1 Sistema por rotación

Consiste en perforar mediante la acción rotatoria de un trépano ubicado en el extremo inferior de una sarta de herramientas por cuyo interior circula un fluido que remueve los sedimentos y evita que el pozo se derrumbe. Entre los más empleados se mencionan:

a) Perforación rotatoria con aire

Se basa en la circulación de aire a presión por la tubería de perforación y consecuente arrastre de los sedimentos hasta la superficie. Es un método eficiente en formaciones consolidadas y semiconsolidadas que facilita la obtención de muestras de buena calidad, la identificación de cambios litológicos y zonas productoras de agua. La principal desventaja es que el empleo de aire a alta presión puede inhibir el aporte en zonas productoras de agua.

b) Perforación rotaria con circulación directa-inversa

La perforación se realiza mediante la circulación de lodo, en sentido directo o inverso, que asciende hasta la superficie y produce la remoción de los sedimentos. El lodo se conduce a un contenedor de sedimentación a partir del cual es nuevamente bombeado al interior del pozo. La función del lodo es enfriar y lubricar la tubería y bomba; estabilizar las paredes del pozo, prevenir la entrada de fluido de la formación y minimizar la contaminación entre los niveles acuíferos atravesados.

Es un método rápido que permite el muestreo de materiales no consolidados y no requiere introducir ademe para sostener las paredes del pozo; mientras que la desventaja es la dificultad para remover los fluidos durante el desarrollo del pozo y la generación de muestras de pequeñas dimensiones, que limitan la identificación de niveles acuíferos.

2.2.2 Sistema de percusión

Se basa en levantar y dejar caer una sarta de herramientas por el movimiento alternativo de un trépano colgado de un cable, que fractura y disgrega el material, el cual es extraído mediante herramientas denominadas cucharas. La perforación se realiza “en seco” motivo por el cual es necesario estabilizar las paredes del pozo.

Resulta aplicable a la mayoría de las formaciones geológicas, aunque es más eficiente en terrenos consolidados, permitiendo el reconocimiento de los niveles acuíferos y sedimentos atravesados. La desventaja es que es un procedimiento lento con rendimientos de perforación muy bajos y requiere de una limpieza frecuente.

2.2.3 Sistema de rotopercusión

Consiste en hacer circular aire por el interior de una sarta de perforación a partir del cual se acciona un martillo neumático situado en el fondo del pozo. El aire se inyecta por el interior de las barras y sale por los orificios del trépano, desde donde asciende arrastrando el material triturado, mientras la sarta de perforación gira mediante la aplicación de un movimiento de rotación y empuje.

La mayor ventaja es la rapidez de avance, sin embargo, el muestreo litológico es poco representativo y el alcance está limitado por la columna de agua dentro del pozo.

2.3 Pozo exploratorio

Es un pozo de diámetro pequeño que se realiza previamente al pozo de explotación, con la finalidad de conocer las propiedades hidráulicas y químicas del acuífero. La in-

formación recopilada durante la etapa exploratoria permite estimar la factibilidad de obtener el caudal requerido mediante la determinación del caudal específico, que surge de la relación entre el caudal extraído y el abatimiento del nivel de agua.

Durante la perforación se deben apuntar cuestiones referidas a los sedimentos atravesados, el avance de la herramienta y velocidad de penetración, profundidad final, niveles de agua y pérdidas parciales o totales de circulación.

Las muestras se deben recolectar con una frecuencia de 1 metro o más y es conveniente guardarlas en bolsas de plástico, etiquetadas con la identificación del pozo, número progresivo de la muestra y profundidad de extracción.

2.4 Registros geoeléctricos

Constituyen una metodología indirecta que permite la medición de las propiedades físicas de los sedimentos y calidad del agua, a partir de las cuales se define el diseño constructivo del pozo.

El perfilaje eléctrico incluye la medición de parámetros en forma continua y simultánea (gamma natural, resistividad normal larga (64'), resistividad normal corta (16') y potencial espontáneo).

2.4.1 Potencial espontáneo

La curva de potencial espontáneo (SP) es una medida de las corrientes eléctricas que se producen en el pozo debido al contacto entre fluidos de diferente concentración salina; como el lodo de perforación y el agua de la formación. Es requisito fundamental que el pozo no se encuentre entubado y la principal aplicación es identificar capas porosas o permeables.

2.4.2 Resistividad

Mide la resistencia a partir de la aplicación de una corriente eléctrica. Los arreglos de

electrodos limitan el radio de investigación de cada registro, según normal corta (mide la resistividad en proximidad al pozo) y normal larga (se emplea en la zona intermedia).

2.4.3 Rayos gamma natural

Determina la radiación natural de la formación, que es proporcional al contenido de sedimentos finos, como arcilla. En la **Figura 5** se presenta un registro gráfico de perfilaje eléctrico obtenido de un pozo.

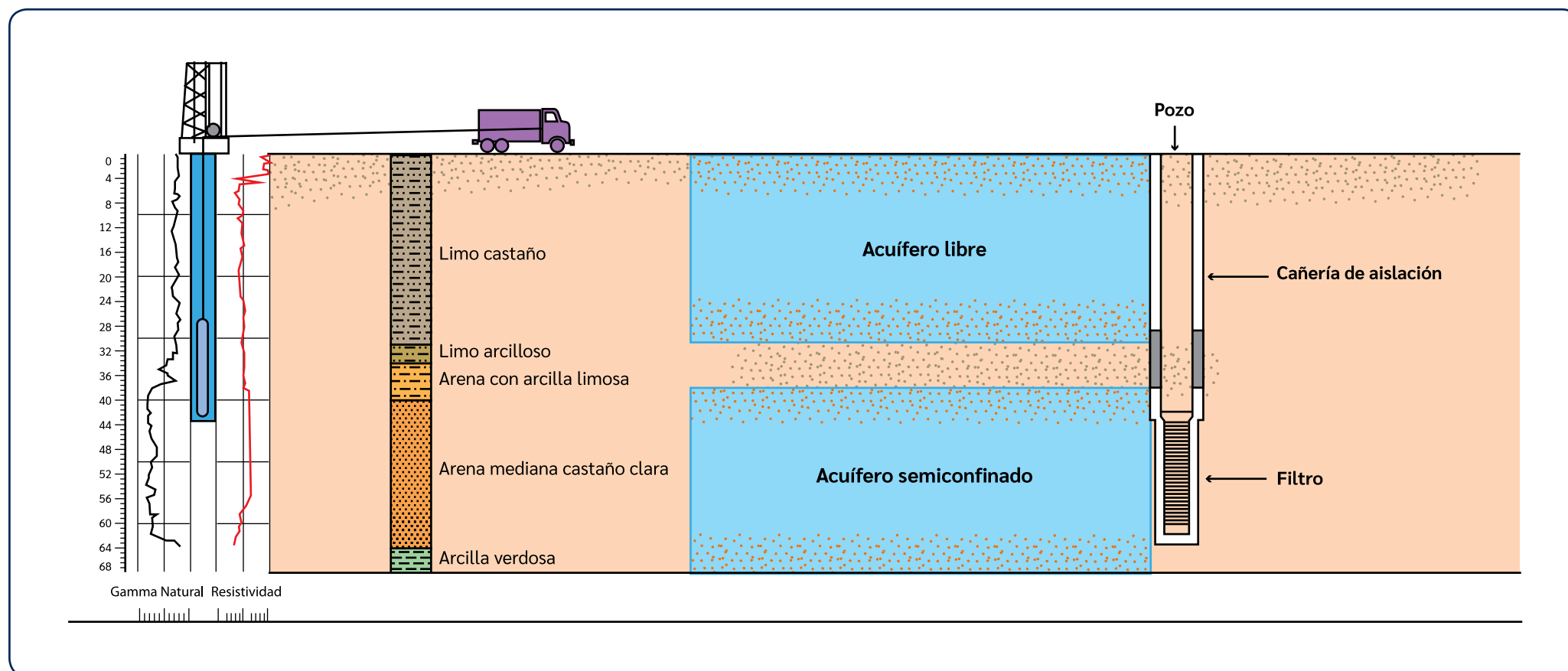


Figura 5. Registro de perfilaje eléctrico.

2.5 Diseño del pozo de explotación

En función del perfil litológico y el registro geoelectrico del pozo exploratorio se define el diseño definitivo del pozo de explotación, que incluye los materiales y dimensiones adecuadas.

El diámetro depende de diversos factores, entre los que se destacan:

- **Caudal:** En caso de requerir elevados caudales de explotación es necesaria la instalación de equipos de bombeo potentes y cañerías de mayor diámetro.
- **Productividad:** La transmisividad (T) es un indicativo de la productividad del acuífero, si la productividad es baja se requiere de una mayor cantidad de pozos para alcanzar caudales más elevados.
- **Diámetro del entubamiento:** El espacio anular entre la pared de la perforación y la cañería, enfrentado a los niveles productivos es rellenado con grava silíceo y el resto debe ser cementado a fin de lograr la aislación de acuíferos superiores.

2.6 Entubación

Se realiza mediante cañería de aislación y filtros, con la finalidad de estabilizar las paredes del pozo y permitir el ingreso de agua desde el acuífero. En función de las características del pozo y del acuífero se puede realizar en un solo diámetro o en orden decreciente (telescópico).

Durante la selección de los materiales de entubación se debe considerar la resistencia química (corrosión e incrustación) y a los esfuerzos (tensión, compresión y colapso).

En la **Figura 6** se presenta un ejemplo de registro litológico y diseño constructivo propuesto para un pozo de explotación.

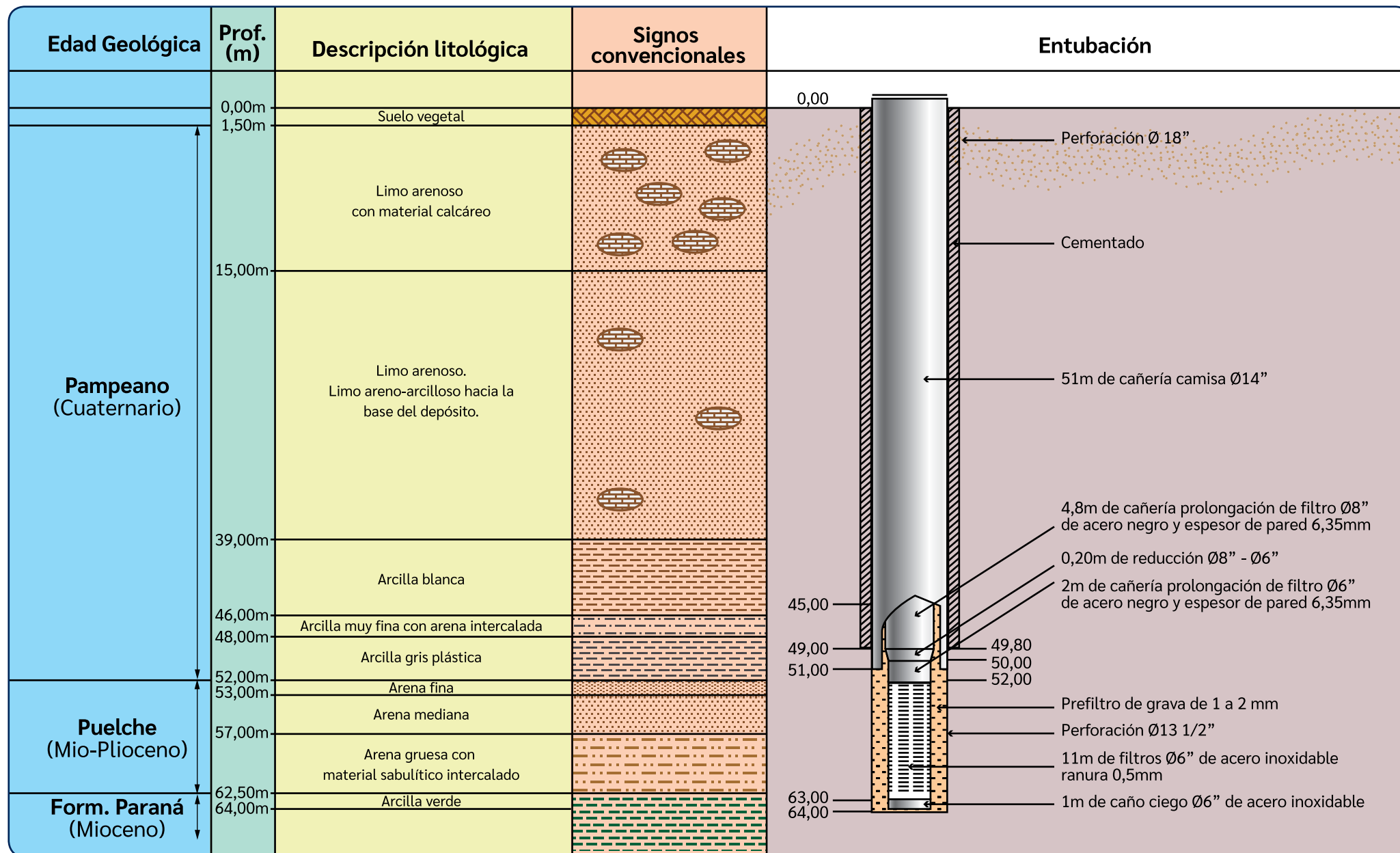


Figura 6. Perfil litológico y diseño constructivo de un pozo de explotación.

2.6.1 Cañería de aislación

La correcta colocación de la cañería de aislación (camisa) es fundamental para lograr la separación entre el acuífero a explotar y los niveles supra e infrayacentes. Entre las consideraciones a tener en cuenta se enuncian:

- El diámetro de la cañería de aislación debe contemplar el diámetro de la bomba y la circulación del caudal bombeado por el espacio anular.
- El diámetro de la perforación debe ser 4" superior al diámetro de la cañería camisa, con la finalidad de facilitar una adecuada cementación.
- Utilizar centradores para asegurar que la cañería se encuentre equidistante durante el descenso.

2.6.2 Filtros

El filtro consiste en una cañería ranurada, a fin de facilitar el ingreso de agua hacia el interior del pozo e impedir el ingreso de sedimentos finos. Las clases de filtros más empleados son acero con ranura continua, PVC con ranura discontinua y agujereados. La selección del filtro se basa en la longitud, el diámetro, el tamaño de ranura y el material a utilizar.

2.7 Engravado o prefiltro

Consiste en colocar grava o arena seleccionada entre el filtro y la pared del pozo, en correspondencia con los niveles acuíferos. El objetivo es incrementar la permeabilidad, evitar el ingreso de sedimentos finos y obtener una mejor eficiencia hidráulica del pozo. Los prefiltros se justifican en los siguientes casos:

- Acuíferos pobres, constituidos por materiales de textura fina, donde se requiere un mayor caudal.

- Para estabilizar acuíferos inconsolidados o muy heterogéneos.
- Acuíferos de reducido espesor intercalados con materiales menos permeables de mayor espesor.
- Aguas incrustantes.

2.8 Cementación

Tiene por finalidad otorgar rigidez a la cámara de bombeo y protección sanitaria al pozo, evitando el ingreso de agua superficial a través del espacio anular. La colocación de la lechada de cemento se realiza por gravedad mediante empacadores, colocados inmediatamente a partir de la porción superior de la grava. El cálculo del volumen de cemento requerido se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{Volumen (l/m)} = (\emptyset'')^2 / 2$$

Volumen de cemento (litros (l)/metros (m))

\emptyset ("): Diámetro de la cañería de aislación

La proporción estimada de la lechada es 50 kg de cemento y 5 kg de bentonita en 30 litros de agua (salinidad inferior a 1.500 mg/l).

2.9 Limpieza y desarrollo del pozo

Los métodos de perforación generan una distorsión de las características hidráulicas naturales debido a que la herramienta de perforación reduce la porosidad y la permeabilidad de los sedimentos por compactación y colmatación.

La limpieza y desarrollo del pozo consiste en extraer los sedimentos finos incorporados durante la inyección con el objetivo de aumentar su rendimiento. Entre los métodos más comunes se mencionan:

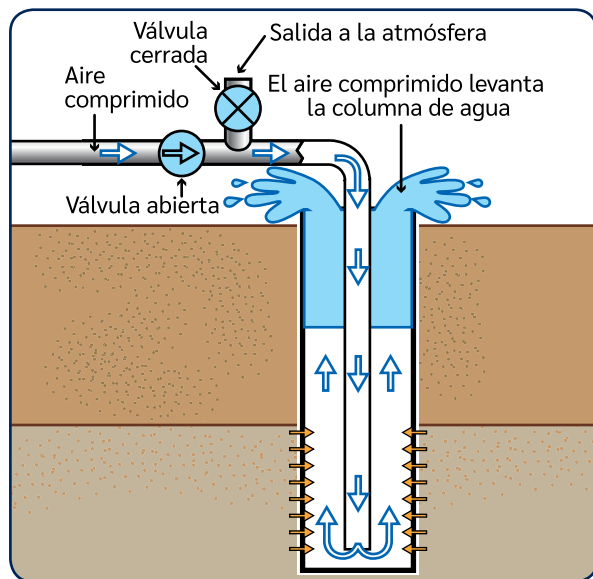


Figura 7. Aire comprimido.

- **Bombeo intermitente:** No posee válvula de retención, en consecuencia, al parar la bomba el agua de la cañería vuelve al acuífero.
- **Sobrebombeo:** Bombeo a elevado caudal, que genera un gran descenso y consecuente arrastre de partículas finas.
- **Aire comprimido:** Bombeo y descarga con aire comprimido (Figura 7).
- **Pistoneo:** Obturación por encima del filtro, posterior descarga y bombeo repetidamente (Figura 8).
- **Chorro horizontal:** Eyección de agua a elevada presión y velocidad, que produce la remoción de los materiales finos (Figura 9).
- **Cuchareo:** Accionar de un artefacto cilíndrico (cuchara) con una válvula que se abre al descender, se cierra al ascender y extrae el material acumulado en el fondo.

Es recomendable realizar acciones periódicas de mantenimiento del pozo, tales como:

- **Registro de niveles:** Medir mensualmente los niveles estático y dinámico del pozo, y calcular la depresión (diferencia entre niveles) ya que un incremento de la misma puede deberse a obstrucciones en las ranuras del filtro.
- **Endoscopía:** Filmación del pozo mediante una cámara de video a fin de verificar el estado de la cañería.

2.10 Mantenimiento del pozo

La eficiencia hidráulica es una medida de la efectividad de un pozo de explotación para extraer agua del acuífero. En el caso de un pozo de explotación el sistema tiene dos componentes, uno hidráulico (pozo-acuífero) y otro electromecánico (motor-bomba).

Los fenómenos más comunes que afectan un pozo de explotación y generan una disminución de su eficiencia son la **corrosión**, la **incrustación** y la **colmatación**.

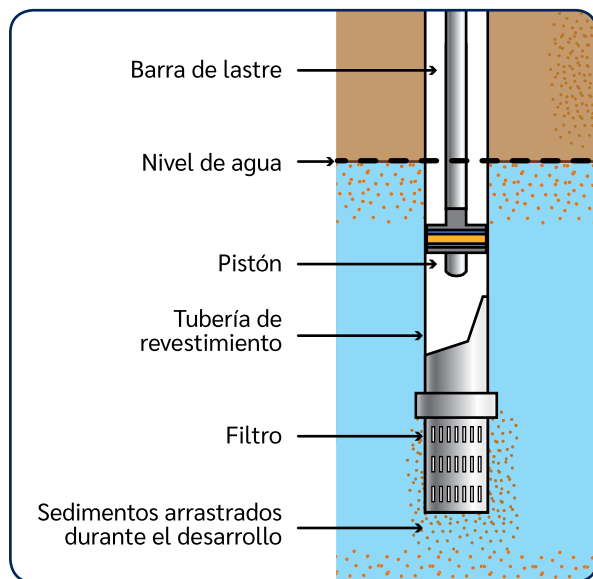


Figura 8. Pistoneo.

3 Bombas

Un sistema de bombeo está compuesto por dos componentes que funcionan en forma combinada:

- Componente hidráulico (tanque, válvulas, cañerías y accesorios)
- Componente electromecánico (bombas, sensores, tableros de control, cableados y canalizaciones)

Las bombas tienen por finalidad elevar la carga de presión del agua y conducirla a través de una tubería, desde la fuente hasta una planta de potabilización, tanque de almacenamiento o sistema de distribución. En el **Cuadro 1** se presenta la clasificación de acuerdo con el diseño mecánico.

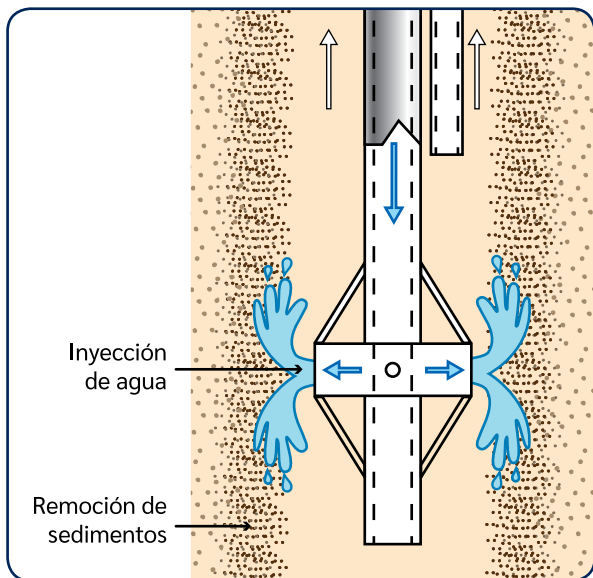
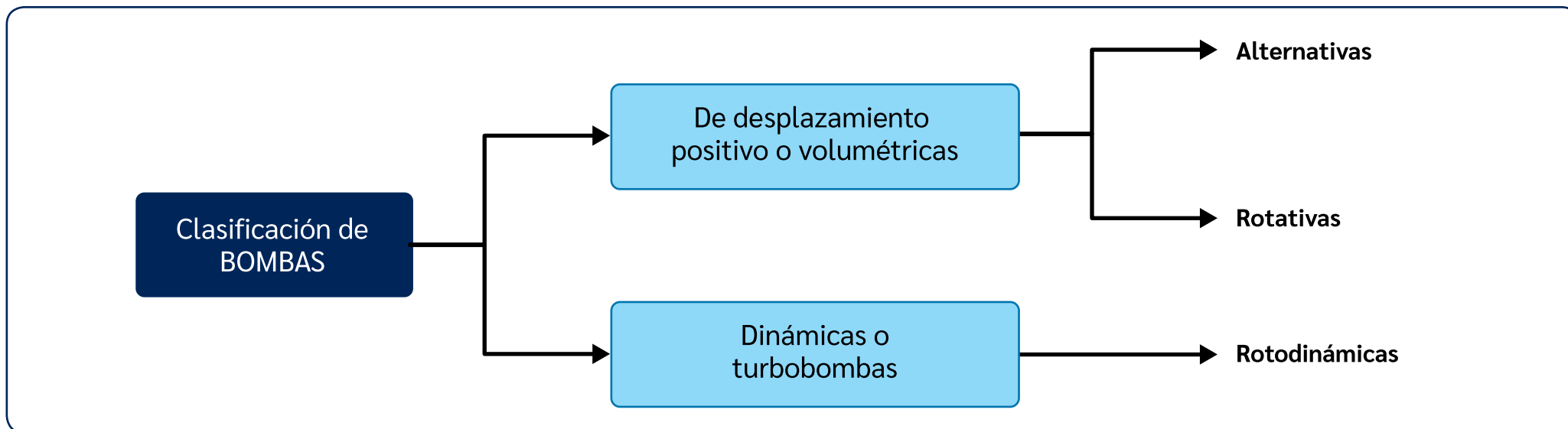


Figura 9. Chorro horizontal.



Cuadro 1. Clasificación de las bombas.

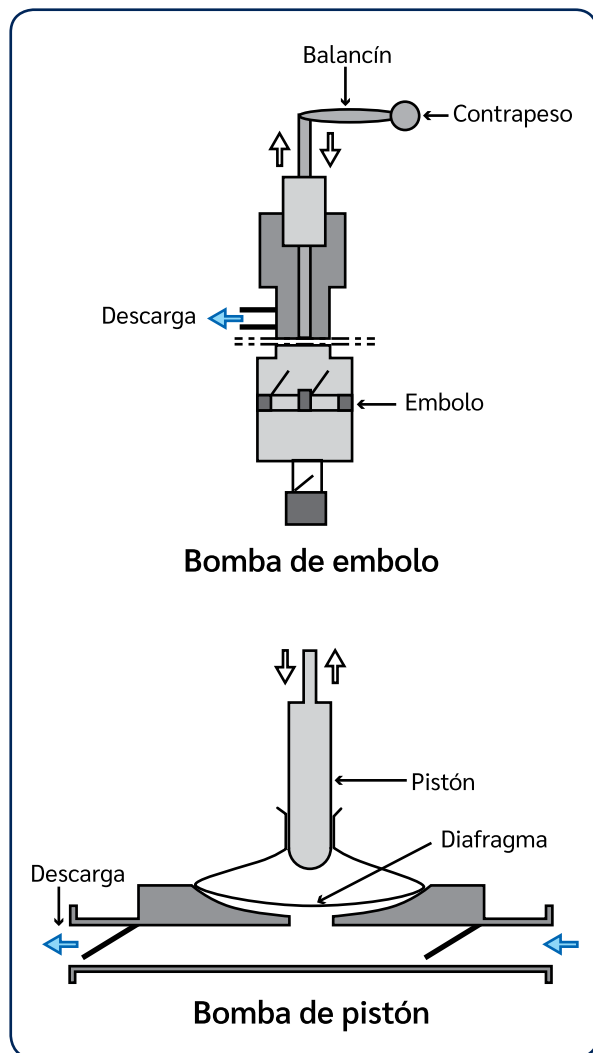


Figura 10. Bombas alternativas.

3.1 Bombas de desplazamiento positivo o volumétricas

El funcionamiento se basa en un aumento de presión a través de una disminución del volumen del fluido, mediante el llenado y vaciado periódico de cámaras. Se clasifican en **alternativas** o **rotativas**.

3.1.1 Alternativas

Presentan uno o varios compartimentos fijos de volumen variable. El movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran en forma alternada. Entre las bombas alternativas, se reconocen las bombas de émbolo y pistón (**Figura 10**).

En la bomba de pistón la entrada y salida del flujo están controlados por un mecanismo de válvula de una vía. Presentan una eficiencia y vida útil elevada, caudales pulsatorios y no requieren de cebado. Según la alineación de los cilindros se dividen en axial o radial.

Las bombas de émbolo comparten los mismos principios operativos que las de pistón, pero utilizan un émbolo en lugar de un pistón en la cavidad del cilindro, condición que les permite proporcionar presiones más elevadas.

3.1.2 Rotativas

Contienen dos cilindros rotativos que al engranarse conducen agua en una cámara y la fuerzan a salir por la tubería de impulsión. El agua es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada (de baja presión) hasta la zona de salida (de alta presión).

La principal ventaja es que presentan un caudal continuo y regular; sin embargo, la presión de bombeo no es uniforme y no admite funcionamiento a válvula cerrada. Se clasifican en bombas **de engranajes, de pistón, de tornillo y de paletas** (**Figura 11**).

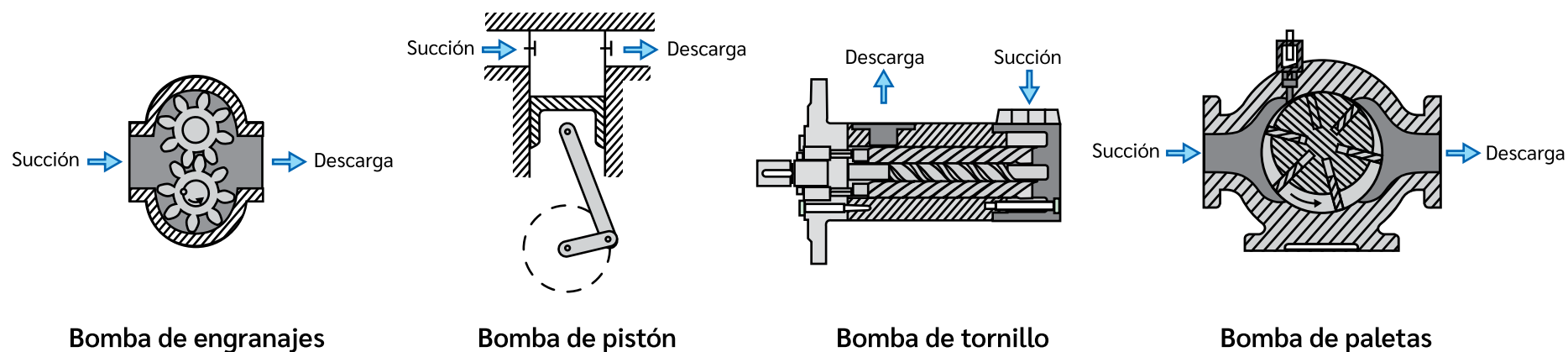


Figura 11. Bombas rotativas.

3.2 Bombas dinámicas o turbobombas

Su funcionamiento radica en ceder energía al fluido mediante la variación del momento cinético producido en el impulsor o rodete. Constan de varios álabes que giran produciendo un campo de presiones en el fluido.

3.2.1 Rotodinámicas

Las bombas rotodinámicas provocan un flujo suave y uniforme, tienen bajo par de torsión de arranque y alta eficiencia. Están compuestas por un elemento rotatorio con aletas (llamados rodete o impulsor y álabes), que gira dentro de una carcasa llamada voluta. El agua entra por el tubo de aspiración al centro del rodete, los álabes la empujan contra las paredes por fuerza centrífuga, y el empuje hace pasar el agua por el tubo de impulsión. Se pueden descebar por la entrada de aire reduciendo su rendimiento.

De acuerdo a la forma de sus impulsores se clasifican en:

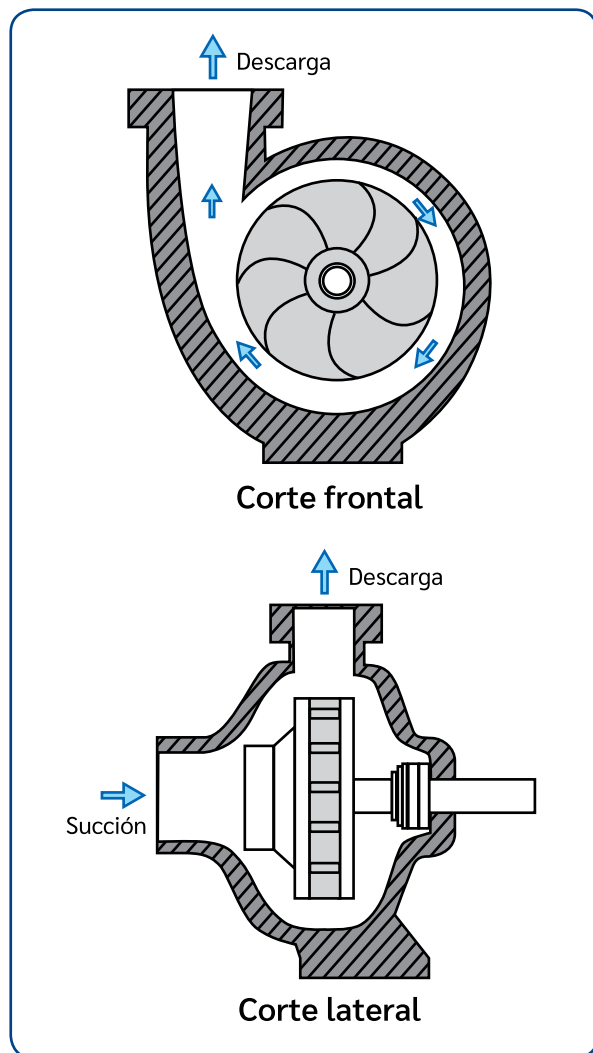


Figura 12. Bombas centrífugas.

- **Bombas de flujo radial (centrífugas):** El líquido entra axialmente por el rodete y se descarga radialmente hacia la carcasa. Presentan una presión elevada y un caudal bajo (Figura 12).
- **Bombas de flujo axial:** El líquido entra y sale del rodete axialmente, produciendo un flujo de salida paralelo al eje. Generan una baja presión y un caudal elevado.
- **Bombas de flujo mixto (helicentrífugas):** El líquido entra axialmente en el rodete y se descarga en una dirección entre la radial y la axial. La forma del rodete y de la carcasa son variables.

Las bombas comúnmente empleadas en abastecimiento de agua potable son las denominadas “rotodinámicas”, mal llamadas “centrífugas”, ya que solamente las de flujo radial son centrífugas puras.



3.3 Rendimiento

La pérdida de carga en el sistema es función del diámetro de la cañería, la longitud y el tipo de material.

El cálculo de las pérdidas de carga para distintos caudales permite obtener una curva cuya forma depende de las características de la bomba. Una pequeña desviación de la altura, que puede ocurrir por desgaste de la bomba o envejecimiento de la cañería, da lugar a variaciones significativas en el caudal.

Si a una velocidad fija se aumenta la altura de elevación, se obtendrá un menor caudal de agua y se requerirá más potencia por litro elevado. Por el contrario, si se disminuye la elevación del agua, la bomba sacará más agua, pero requerirá más caballos en relación con el trabajo que realiza, o sea disminuye el rendimiento.

La demanda de agua en los sistemas de distribución es generalmente variable y exige modificaciones en la capacidad de bombeo. Cuando la demanda es baja la reducción

mediante el cierre parcial de la válvula o la generación de una sobrepresión generan una disminución del rendimiento. En esas condiciones la bomba funciona en un punto para el cual no ha sido proyectada y se puede dañar.

Previamente a la selección de una bomba es preciso evaluar la respuesta del sistema debida a variaciones de caudal y considerar los siguientes factores:

- Caudal de bombeo.
- Altura manométrica (altura desde el nivel dinámico al tanque, considerando las pérdidas de carga).
- Potencia (es igual al producto del gasto por la altura).
- Diámetro del pozo (a mayor caudal y altura se requiere mayor diámetro de la bomba y potencia).
- Calidad del agua (características físicas y químicas)
- Cilindrada (volumen de fluido desplazado según la rotación completa del eje de la bomba).
- Rendimiento volumétrico (relación entre el caudal efectivo y el teórico).
- Cavitación. Fenómeno que se produce cuando el fluido pierde presión y se originan burbujas que pueden deteriorar la bomba. Entre las principales causas se mencionan suciedad en el filtro de aspiración, escaso volumen, obstrucción de la tubería de aspiración y elevada velocidad.

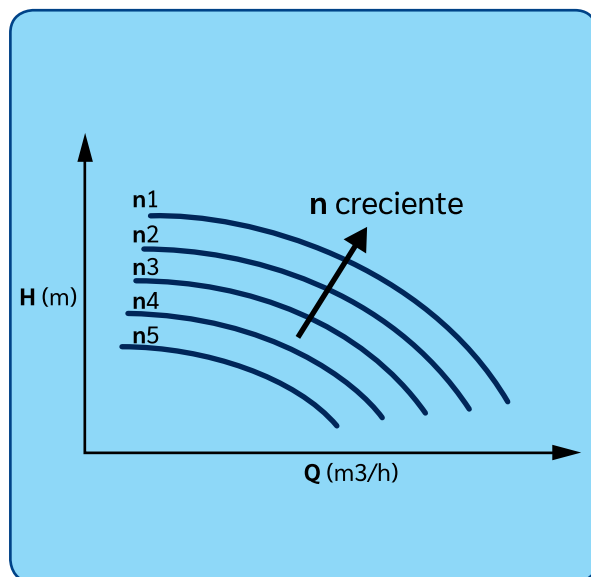


Figura 13. Curva característica de una bomba.

La simulación del funcionamiento de una red de abastecimiento comienza con el cálculo de cargas y gastos en régimen permanente (red estática). Una bomba aporta agua a la red cuando la carga de presión se encuentra dentro del intervalo de operación de su curva característica. **La curva característica es la relación entre la altura manométrica (energía por unidad de masa que la bomba puede suministrar al fluido) y el caudal (cantidad de líquido que pasa a través de una sección en un tiempo determinado), datos que permiten escoger la bomba más adecuada (Figura 13).**



El valor de altura manométrica (H) que resulta para un caudal (Q) igual a cero es la presión que desarrolla la bomba cuando la válvula de salida está totalmente cerrada y es generalmente un 15 % a 30 % superior a la presión normal. Para cada velocidad de rotación (n) hay una curva característica, si la velocidad se reduce, también disminuye la altura manométrica máxima y el caudal máximo.

El análisis hidráulico de la bomba en operación consiste en determinar la posición de la bomba respecto a su punto de diseño. **Se recomienda medir la presión y el gasto mensualmente, así como también calcular la carga de bombeo; si ambos varían un 10% respecto de los del diseño es necesario adoptar medidas correctivas.**



3.4 Instalación de bombas

La puesta en marcha de las bombas sumergibles requiere de una serie de pasos que deben ser cumplimentados a fin de asegurar su eficiencia:

- Posicionar el equipo sobre una superficie limpia y asegurar que no exista material que pueda bloquear la apertura de la membrana de expansión.
- Controlar periódicamente el nivel de agua o aceite del motor.
- No encender el equipo fuera del agua y evitar que funcione con más de 30/40 gr de arena/m³.
- No hacer funcionar la bomba más de 2 minutos con la válvula totalmente cerrada.
- Asegurar un caudal equivalente a una velocidad de agua mínima de 15 cm/seg para enfriar al estator.
- Realizar un máximo de 6 arranques por hora y bien distribuidos.
- Colocar el equipo por debajo del nivel dinámico de acuerdo a la altura de aspiración neta positiva de la bomba.
- Regular el caudal a la salida de la perforación para que la bomba opere dentro de su curva de diseño.

3.4.1 Conexión eléctrica y puesta en marcha

Para evitar recalentamientos en el bobinado, los arranques realizados con autotransformadores (tres cables), impedancias estatóricas, contactores estrella triángulo (seis cables) o soft start, deberán ejecutarse en un tiempo máximo de 2 a 3 segundos.

En bombas monofásicas es importante respetar los colores de los conductores del cable de alimentación, a fin de evitar un giro inverso.

En bombas trifásicas es importante colocar una protección contra cortocircuitos y controlar el sentido de giro. Se requiere cerrar 3/4 partes la válvula de descarga a la salida, encender la bomba y realizar el registro de presión y caudal. Posteriormente apagar el equipo y realizar el cambio de 2 conductores eléctricos que alimentan al equipo, encender nuevamente y testear la presión y el caudal. La conexión que da mayor presión o mayor caudal es la correcta y el control del sentido de rotación deberá durar el mínimo tiempo posible.

Se deberá arrancar el equipo con la válvula esclusa parcialmente cerrada hasta que el caudal extraído sea aproximadamente 1/3 del caudal normal. Si hay impurezas, arcilla o arena, la válvula debe abrirse gradualmente hasta que salga agua limpia.

3.4.2 Protecciones del motor

En bombas monofásicas anteponer al tablero un juego de fusibles o llave termomagnética adecuada a la potencia a comandar.

En bombas trifásicas la corriente nominal del equipo está indicada en los datos del motor. Debe proveerse una protección contra daños por caídas de tensión, falta de fase y sobrecarga o rotor bloqueado. Existen sistemas denominados submonitor, que consisten en un dispositivo que protege los motores y las bombas de sobrecargas de corriente, cargas bajas de corriente, alto voltaje, bajo voltaje, desbalance de corrientes, sobrecalentamiento, arranques falsos e inversión de fases.



Para especificaciones relacionadas con la regulación del relé térmico, desbalanceo y enfriamiento del motor, consultar:

- **Manual de Instalación de Electrobombas Sumergibles.**

<http://www.rotorpump.com/pdf/Manual-de-instalacion-Rotor-Pump.pdf>



Para ampliar información sobre este tema, consultar:

- **Comisión Nacional del Agua (2019).**
<https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro12.pdf>

Se recomienda la instalación de un manómetro que mida la presión de trabajo y un caudalímetro a fin de conocer los volúmenes impulsados por la bomba y comprobar su rendimiento.

4 Red de distribución

Una red de distribución es el conjunto de cañerías, accesorios y estructuras que conducen el agua hasta la toma domiciliaria. Sus características deben asegurar la prestación de un servicio continuo a fin de mantener las necesidades de abastecimiento y condiciones de calidad.

El diseño de la red de distribución incluye la determinación del diámetro de las cañerías, ubicación de los tanques de almacenamiento y bombas. En función de la forma de las cañerías se presentan tres configuraciones:

- **Red cerrada:** La tubería forma un circuito integrado, con forma de polígono. La ventaja es que el agua puede tomar trayectorias alternas para abastecer una zona de la red, sin embargo, dificulta la detección de fugas.
- **Red abierta:** Las tuberías se ramifican sin formar circuitos. La mayor limitación es que durante las reparaciones se interrumpe el servicio; puede generar sedimentación o crecimientos bacterianos y la presión en los extremos es baja.
- **Red combinada:** Se presentan ramificaciones en redes cerradas.

De acuerdo al tamaño y funcionalidad puede dividirse en primaria y secundaria. La primera conduce el agua por medio de líneas troncales y alimenta a la red secundaria que distribuye el agua hasta la toma domiciliaria. La línea de conducción debe diseñarse con el gasto máximo diario (Qmd), mientras que la línea de alimentación con el gasto máximo horario (Qmh), en el día de máxima demanda.

El agua puede ser distribuida considerando almacenamiento o sin almacenamiento en el tanque; en este caso el bombeo directo opera con presiones variables y genera una

disminución de la eficiencia energética y de la vida útil de la bomba.
A continuación, se describen los componentes que integran una red de distribución, siguiendo la secuencia lógica de conducción del agua.

4.1 Tanque de almacenamiento

Es un depósito situado entre la captación y la red de cañerías que tiene por finalidad almacenar agua proveniente de la fuente y regular su distribución (**Figura 14**).

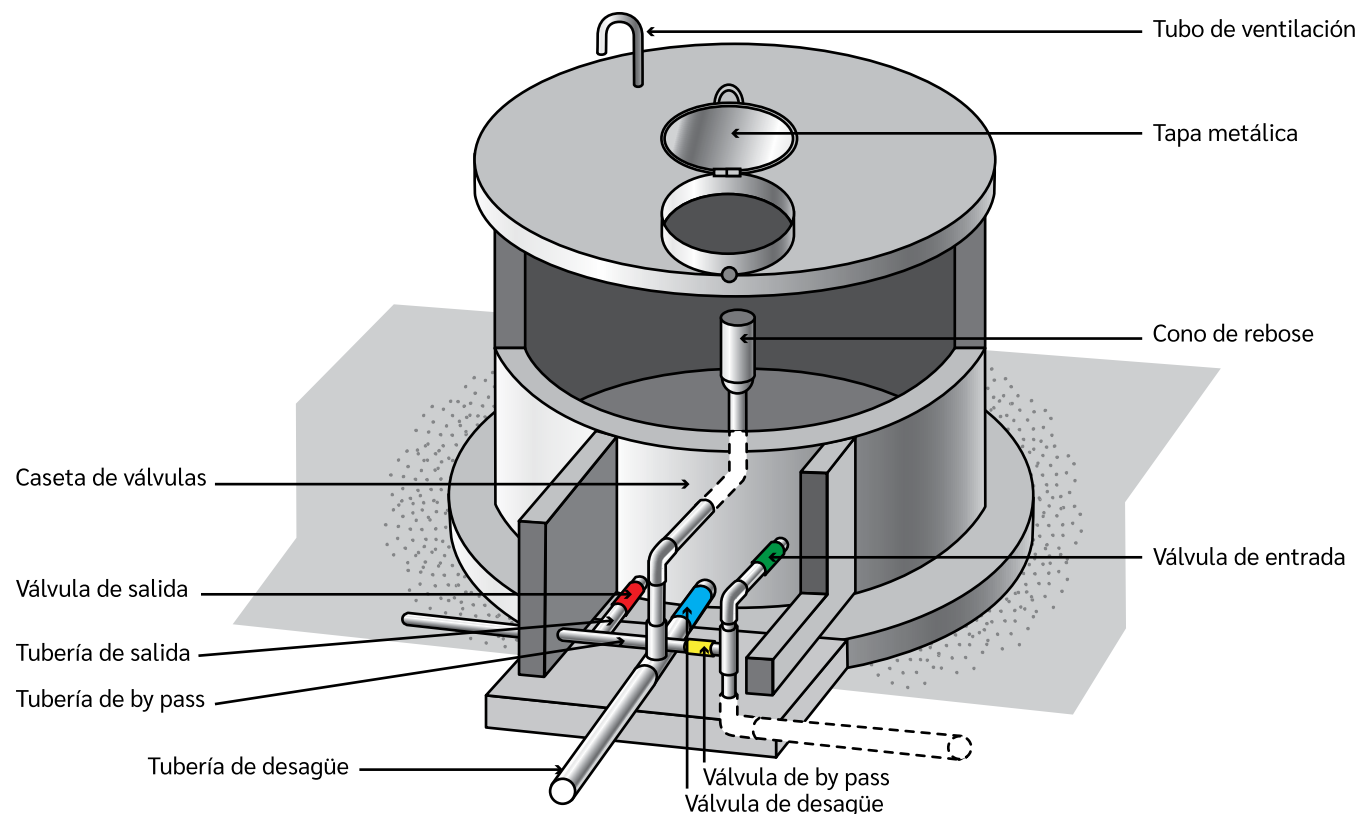


Figura 14. Tanque de almacenamiento de agua potable.

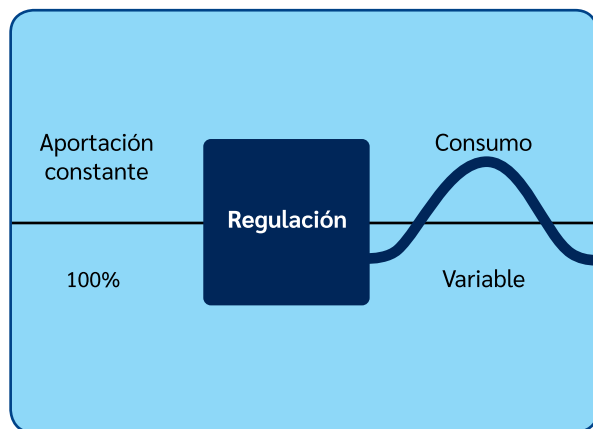


Figura 15. Variación en el régimen de un tanque de almacenamiento.

Según la función puede ser de regulación (cuando la demanda supera el abastecimiento), de almacenamiento (cuando el abastecimiento excede a la demanda) o ambos.

Cuando los pozos no bombean al tanque sino que lo hacen directo a red (en el momento en que el abastecimiento supera la demanda) el excedente se dirige al tanque y se denomina que “el tanque funciona de cola”, es decir que el tanque almacena agua cuando la red ya está abastecida.

Los tanques de almacenamiento-regulación permiten realizar una variación en el régimen, de constante en la captación-conducción (durante las 24 hs) a variable en el consumo (principalmente durante el día), mantener una presión constante en la distribución y asegurar el servicio continuo del suministro (**Figura 15**).

A su vez los tanques funcionan como reguladores de la calidad del agua, ya que producen una mezcla, del agua proveniente de diversos pozos, que permite alcanzar los parámetros que solicita la normativa vigente. Tales condiciones permiten seguir utilizando pozos de explotación que individualmente no cumplen con la normativa vigente, pero que en la mezcla alcanzan los parámetros de calidad exigidos.

Las cisternas se utilizan como reservas de agua para, en caso de ser necesario, ser bombeadas al tanque (sistema combinado: tanque de almacenamiento-cisterna). A su vez se pueden utilizar para mezcla de agua de distintos pozos o en servicios con planta de tratamiento de agua, para efectuar la mezcla de agua tratada y cruda.

4.2 Cañerías

Son conductos que se ensamblan en puntos denominados nodos y permiten la conducción del fluido en la red de distribución. Para la selección de las cañerías es importante considerar la resistencia a esfuerzos mecánicos; la corrosión e incrustación; durabilidad; capacidad de conducción, economía y conservación de la calidad del agua.

La resistencia mecánica permite soportar cargas externas (como relleno de zanjas y tráfico), cargas internas (presión hidrostática) y transitorios hidráulicos (golpe de ariete). El golpe de ariete se debe a variaciones rápidas de presión y velocidad originadas por el paro del equipo de bombeo o el cierre brusco de una válvula, por lo que se recomienda la instalación de cajas-rompe presión.

Es conveniente regular la velocidad de conducción, debido a que velocidades elevadas producen pérdidas de carga y velocidades bajas facilitan la formación de depósitos que provocan obstrucciones y reducen la sección útil de paso.

En el caso de agua con material en suspensión la velocidad mínima (mayor de 0,4 m/s) debe evitar la precipitación de partículas y la velocidad máxima (menor de 3 m/s) la erosión de las paredes. En caso de ausencia de material sedimentable el límite máximo no debe ser superior a 5 m/s. Para disminuir la sobrepresión generada por el golpe de ariete se recomienda una velocidad mínima de 0,6 m/s y máxima de 2 m/s.

En relación a los esfuerzos mecánicos se recomienda una tapada de las cañerías de 1 m para la instalación de cañerías hasta 0,25 m de diámetro y de 1,20 m para cañerías de 0,30 m de diámetro.

4.2.1 Materiales de cañerías

Los materiales más utilizados para el abastecimiento de agua potable, son:

- **Policloruro de vinilo (PVC):** Presenta una durabilidad de 50 a 75 años y se caracteriza por su reducida pérdida por fricción, resistencia a la corrosión electroquímica, ligereza y flexibilidad. Entre las desventajas resulta menos resistente a temperaturas menores a 0 °C y mayores a 25 °C.
- **Polietileno (PE):** Presenta las mismas ventajas que el PVC, sumado a la termofusión y la compresibilidad. De acuerdo con su densidad se clasifica en Tipo I (baja densidad-PEBD- 0,91 a 0,925 g/cm³), Tipo II (media densidad-PEMD- 0,926 a 0,940 g/cm³) y



Para ampliar información sobre este tema, consultar:

- **Comisión Nacional del Agua (2019).**
<https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro10.pdf>

Tipo III (alta densidad-PEAD- mayor o igual a 0,941 g/cm³, recomendado en la construcción de redes de distribución de agua potable).

- **Fibrocemento (FC):** Se fabrica con cemento, fibras de asbesto y sílice. Las ventajas radican en su bajo costo, rápida colocación, mínima conservación, durabilidad estimada de 75 a 100 años, inmunidad a la corrosión electroquímica y a la tuberculización; sin embargo, requiere el uso de mascarillas protectoras para evitar la inhalación del polvo. De acuerdo a su alcalinidad se clasifica en Tipo I (contenido de hidróxido de calcio mayor a 1 %) y Tipo II (contenido de hidróxido de calcio menor a 1 %, resultan más resistentes a aguas agresivas).
- **Hierro fundido (HF):** Se emplea en la fabricación de piezas especiales y válvulas. Las desventajas radican en que puede sufrir corrosión eléctrica o química y presenta un peso elevado que dificulta su manipulación. Se reconocen dos tipos, el hierro gris y el hierro dúctil, que presenta mayor dureza, vida útil de 100 años y elevada resistencia mecánica.
- **Concreto:** Es más utilizado en líneas de conducción que en redes de distribución y su durabilidad es de aproximadamente 75 años. Como ventajas se destacan su elevada resistencia mecánica, alta capacidad de conducción y bajo mantenimiento; aunque resultan poco resistentes a la corrosión cuando se encuentran en condiciones ácidas o alcalinas.
- **Acero:** Se utiliza cuando se requieren grandes diámetros y presiones elevadas. En caso de instalaciones enterradas deben ser protegidas por un recubrimiento exterior, generalmente zinc (galvanizadas). Las ventajas incluyen elevada resistencia mecánica; ligereza; facilidad de transporte e instalación y entre las desventajas que no soporta cargas externas elevadas y presenta corrosión severa que eleva los costos de mantenimiento y reduce su vida útil.

4.3 Válvulas

Las válvulas son dispositivos mecánicos empleados para detener, disminuir, iniciar, aislar o controlar el flujo en conductos a presión. Permiten drenar o vaciar una línea, controlar el gasto, regular los niveles en el tanque de almacenamiento, evitar los efectos del golpe de ariete, regular la salida o entrada de aire y evitar contraflujos. Pueden ser clasificadas de acuerdo con su función en dos categorías:

- **Aislamiento o seccionamiento:** Destinadas a separar o cortar el flujo mediante el aislamiento o regulación de tramos de la conducción.
- **Control:** Destinadas a regular el gasto o la presión a un valor requerido, facilitar la entrada y salida de aire o sedimentos atrapados en el sistema.

4.3.1 Aislamiento o seccionamiento

El control del flujo se debe realizar evitando la generación de cavitación y pérdidas de carga. Se clasifican en válvulas de compuerta, de mariposa o de asiento (cilíndrico, cónico o esférico).

- **Válvula de compuerta:** El disco se desliza perpendicular a la dirección del flujo y se emplean totalmente cerradas o abiertas, debido a que se erosionan en una posición intermedia. Se colocan en la unión de las cañerías principales con las secundarias y se caracterizan por su hermeticidad, diseño y funcionamiento sencillo. Como desventajas presentan un control deficiente de la circulación y la generación de cavitación con baja caída de presión.
- **Válvula de mariposa:** Consiste en un disco que gira sobre un eje de 90°. El diseño hidrodinámico permite emplearlas como reguladoras de flujo en condiciones de presión baja. Como desventajas requieren una elevada torsión para su accionamiento y vulnerabilidad a la cavitación.

- **Válvula de asiento:** El mecanismo de cierre es una esfera perforada con diámetro igual al del conducto. La apertura se produce con un giro de 90° que orienta el orificio en el sentido del conducto. Permiten el flujo en las dos direcciones y están diseñadas para permanecer totalmente abiertas o cerradas durante la operación. Las desventajas son que requieren una elevada torsión, son susceptibles al desgaste y a la cavitación.

4.3.2 Control

Se utilizan para regular el gasto o la presión y facilitar la entrada o salida de aire o sedimentos. Pueden ser **de altitud, de admisión y expulsión de aire, controladoras de presión, de globo, de retención (check) o de vaciado.**

- **Válvula de admisión y expulsión de aire:** La presencia de aire puede producir cavitación debido a una reducción de la sección, aumento de la velocidad y consecuentemente caída de presión con formación de burbujas que colapsan provocando erosión. A su vez provoca un error en los medidores de flujo, ya que la velocidad del aire es 29 veces superior a la del agua. Las válvulas de aire tienen un orificio que permite el control en condiciones de llenado y vaciado por lo que se recomienda ubicarlas en puntos de cambio de pendiente o en tramos largos de líneas de conducción.
- **Válvula aliviadora de presión:** Son de acción automática, se abren cuando la presión interna alcanza un valor preestablecido liberando el flujo hasta condiciones normales y se cierran por la acción de un resorte. Se emplean para compensar el golpe de ariete en las líneas de impulsión.
- **Válvula reductora de presión:** Se utiliza para abastecer zonas bajas del servicio generando una reducción de la presión aguas arriba a una presión prefijada aguas abajo.
- **Válvula anticipadora de onda:** Protegen los grupos de bombeo de la onda de presión causada por el paro de bombas o la falla de energía eléctrica. Se abren al inicio de la onda de presión negativa y evacúan a la atmósfera el exceso de presión que provoca la onda positiva.

- **Válvula de globo:** Son unidireccionales y constan de un disco horizontal que se acciona mediante un vástago, que abre o cierra un orificio por el cual circula el agua. Presentan elevada resistencia y se emplean en tuberías de pequeño diámetro. Tienen la ventaja de presentar una estrangulación eficiente con mínima erosión y pocas vueltas para accionarla; mientras que la desventaja es la elevada pérdida de carga debido a la amplitud de posiciones de apertura.
- **Válvula check o de retención:** Son automáticas, unidireccionales y se emplean para evitar contraflujos. Se instalan en tuberías, estaciones de bombeo o líneas de descarga donde el agua puede revertir su dirección durante el paro de una bomba o el fallo de energía eléctrica. Si la cañería de elevación es muy larga, las válvulas deben tener un resorte de cierre rápido para minimizar los golpes de ariete. Se recomienda inspeccionarlas semanalmente en busca de fugas o anomalías, debido a que no deben permanecer inmovilizadas por períodos largos y deben ser accionadas a intervalos regulares para asegurar una operación correcta y continua. Su funcionamiento evita daños por la rotación inversa de la bomba e impide el vaciado de la tubería permitiendo que la puesta en marcha sea rápida y segura.
- **Válvula de desagüe:** Se utilizan cuando la conducción requiere una reparación y es necesario vaciar y limpiar la cañería. Se recomienda ubicarlas en los puntos bajos o intermedios de la conducción con el objetivo de reducir el tiempo de vaciado.

4.4 Tomas domiciliarias

Es el conjunto de piezas y tubos que tiene como función proporcionar agua de la red y conducirla a la instalación intradomiciliaria. Se divide en dos partes:

- **Ramal:** Abarca desde el acoplamiento de la red de distribución hasta el codo inferior del cuadro.
- **Cuadro:** Incluye los tubos y codos que forman una estructura rectangular que aloja al medidor.

4.5 Pérdidas en la red de distribución

Las pérdidas físicas incluyen el volumen de agua que se pierde en las distintas etapas del sistema, desde los puntos de producción hasta el consumo; mientras que las pérdidas comerciales son aquellas asociadas a los procesos de facturación (**Figura 16**).

Las pérdidas de agua dependen de factores como la presión de trabajo, la calidad y antigüedad de la tubería y los accesorios, el proceso constructivo y el mantenimiento.

La estimación de las pérdidas físicas se realiza utilizando el valor de la facturación y la producción de agua potable, que incluye el agua no contabilizada (errores de macro-micro medición y tomas clandestinas).

La evaluación y control de las pérdidas de agua a través de balances requiere de datos de volumen de extracción y volumen consumido por los usuarios conectados a la red de distribución, por lo cual es imprescindible disponer de sistemas de medición de los caudales que se extraen, potabilizan, conducen, regulan, distribuyen y comercializan.



Otro método aplicado para determinar pérdidas y fugas de agua es el control de presiones: así reducir la presión en horas de bajo consumo disminuye las pérdidas de red.

4.5.1 Presión en la red de distribución

La presión hidrostática máxima en líneas de distribución debe ser inferior a la presión de trabajo de la tubería, la cual se fija a fin de evitar roturas, pérdidas y elevados costos de explotación debido a un mayor consumo.

El valor aconsejable de la presión en cualquier punto de la red no debería ser inferior a 1 kg/cm² (10 mca). Cuando la presión sobrepasa los límites máximos establecidos se debe dividir la red mediante válvulas reguladoras de presión y cámaras rompe presión en zonas con diferentes líneas piezométricas.

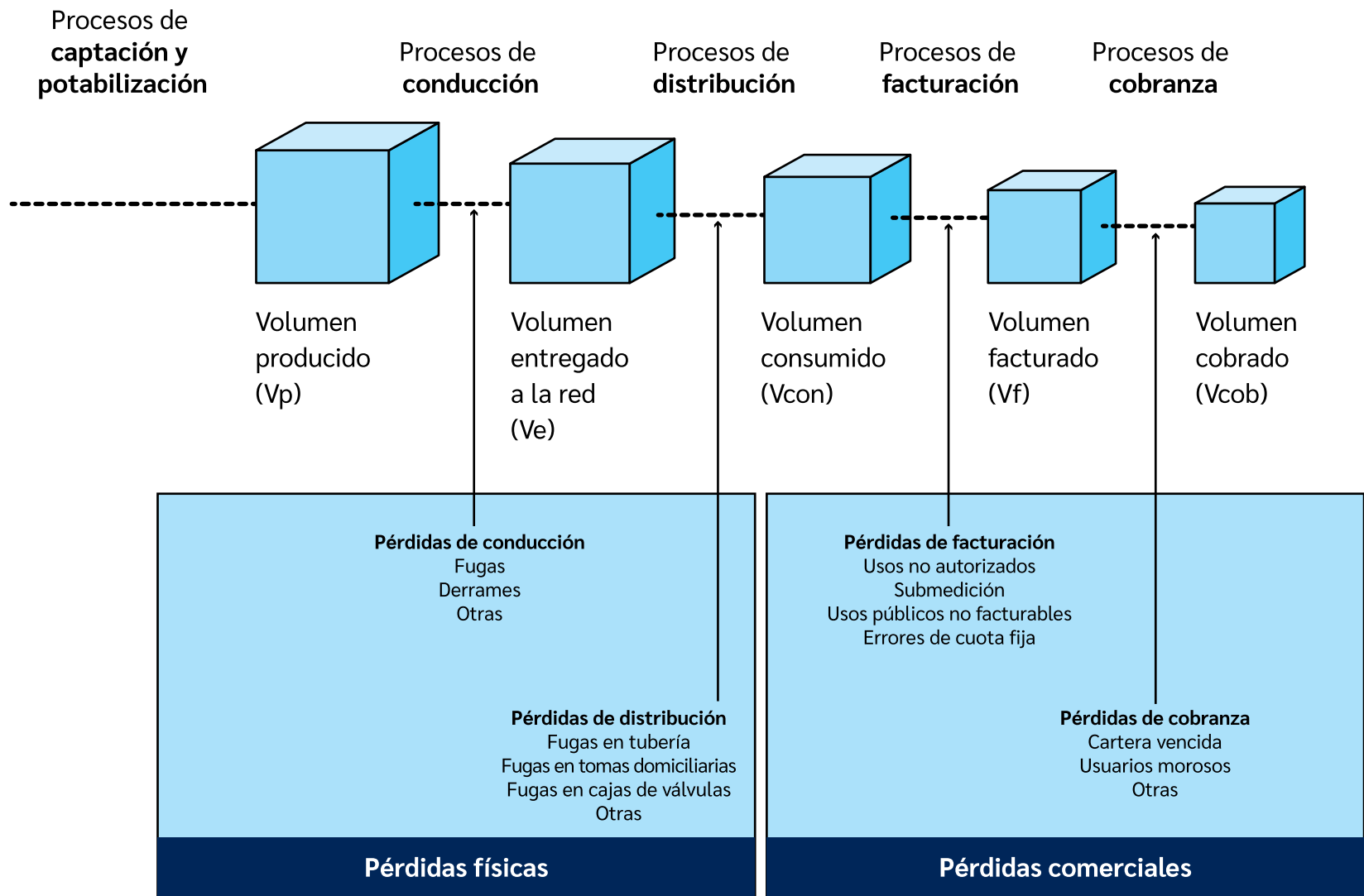


Figura 16. Pérdidas físicas y comerciales.

Para evaluar el funcionamiento hidráulico de una red de distribución en la que se conocen los diámetros, longitudes y coeficientes de fricción es necesario determinar las cargas de presión en los nodos y tuberías. Es recomendable graficar la piezometría real de los ramales y verificar que en todos los puntos la presión disponible sea igual o mayor a la presión mínima adoptada.

En una red con flujo permanente donde se conoce la carga de presión de uno de sus nodos (generalmente es el nivel de la superficie libre en un tanque de almacenamiento) y los gastos que ingresan o egresan de la red es posible calcular las presiones en los nodos y los gastos que circulan en las tuberías. La metodología de cálculo involucra el trazado de mallas con la identificación de tramos y nodos; la determinación de la cota del terreno en nodos, centros de distribución y en bombas; la determinación de la longitud de los tramos y área de influencia de cada nodo; el sentido de circulación del agua y el cálculo del consumo en los nodos en función de las dotaciones y los consumos diferenciales.

4.5.2 Macromedición-micromedición

Un sistema de medición permite realizar una estimación de las pérdidas totales a partir de registros de volumen explotado versus concesionado.

Es importante resaltar la importancia de disponer de un balance hidráulico y un programa de medición continuo con la finalidad de monitorear los parámetros que contribuyen a la detección, reducción, control y reparación de pérdidas.

La macromedición es fundamental para determinar la eficiencia del sistema de explotación y abarca la medición del caudal, nivel y presión con fines de producción, operación y control, excluyendo el proceso de comercialización.

La micromedición aplica al caudal en conductos a presión y su determinación posibilita la facturación del agua suministrada y la aplicación de una tarifa en relación al volumen de agua consumida.

El sistema de medición debe presentar un enfoque integral de los registros de la macro-medición en las fuentes de abastecimiento y sectores de distribución; y de la micromedición en la toma domiciliaria de cada usuario.

Los medidores están integrados por tres dispositivos:

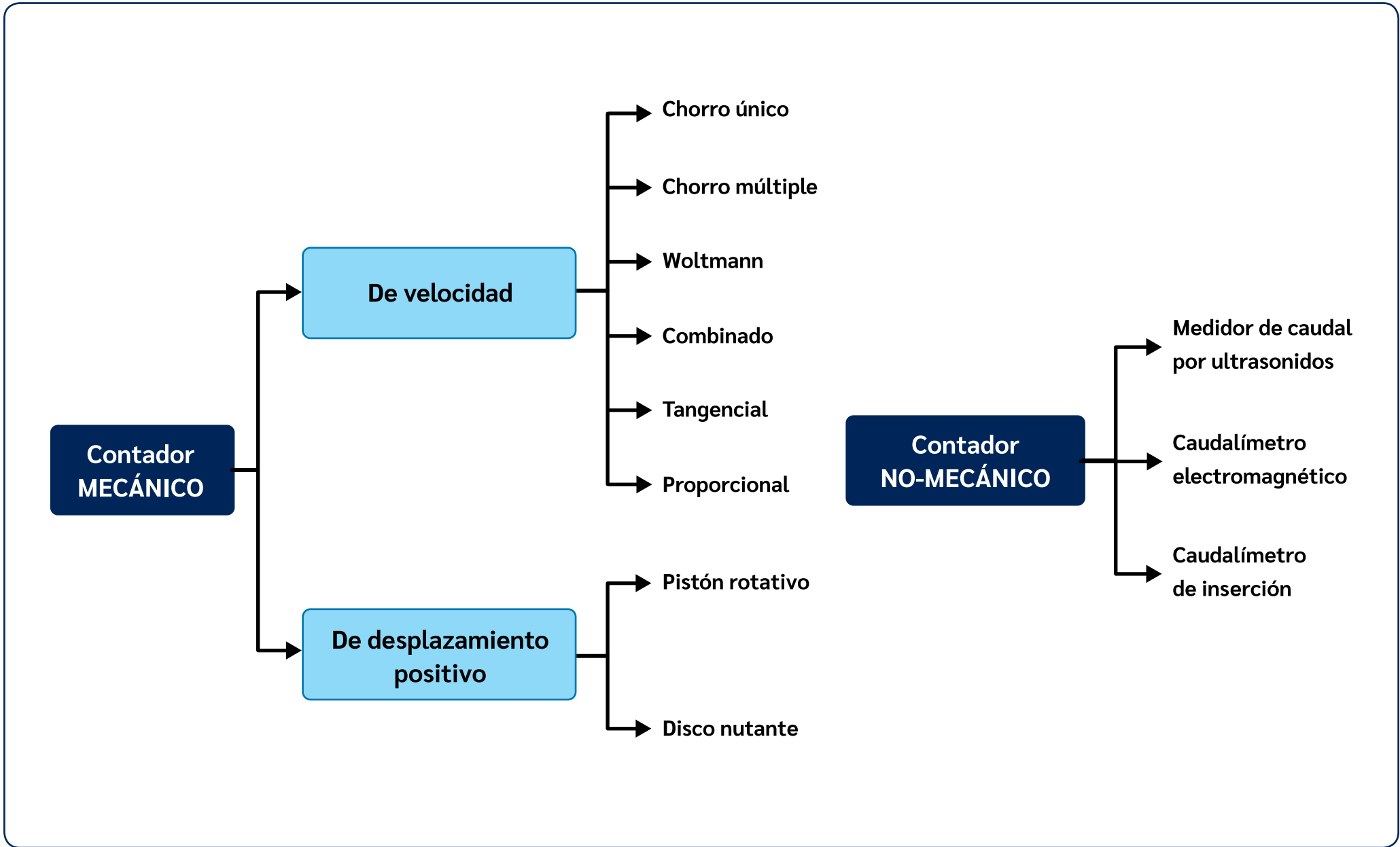
- **Medición:** Debe permanecer siempre en contacto con el agua y su función consiste en contabilizar el agua con base en su movimiento.
- **Transmisión:** Conjunto de engranajes mecánicos cuya función es transmitir la cantidad de revoluciones de acuerdo con el movimiento del medidor.
- **Registro:** Mecanismo conformado por agujas que se mueven circularmente sobre una escala graduada y en cada movimiento registran el volumen que pasa por el medidor.

4.5.3 Clasificación de los medidores

Los medidores utilizados en conducciones de agua pueden clasificarse en **mecánicos** y **no mecánicos (Cuadro 2)**.

Los mecánicos determinan de manera continua el agua que circula y se clasifican en medidores de velocidad, aquellos que totalizan el volumen a través de un elemento móvil (hélice o turbina); y de desplazamiento positivo o volumétricos, en los cuales la medición se realiza mediante cámaras de volumen conocido que se llenan y vacían conforme el agua circula.

En los no mecánicos la velocidad del agua se calcula mediante equipos que convierten una señal (electromagnética, ultrasónica) en señal de caudal.



Cuadro 2. Clasificación de medidores.

Los medidores de velocidad y desplazamiento positivo se clasifican en:

- **De chorro único/múltiple:** Son accionados por un solo chorro de agua; mientras que los de chorro múltiple por varios chorros tangenciales y su turbina se encuentra dentro de una cámara con orificios diametralmente opuestos, que posibilitan un funcionamiento equilibrado y mayor durabilidad.
- **Woltmann:** El agua impacta sobre la turbina en dirección axial. Existen tres configuraciones, según el eje de la turbina respecto al eje de la tubería (horizontal, vertical, en codo). En el horizontal las perturbaciones como válvulas y codos afectan mucho el error; y en el vertical el agua sufre cambios de dirección antes de impactar con la turbina, por lo que requiere de tramos rectos de tubería antes del contador.
- **Combinados:** Constan de varios medidores que registran un rango de caudales distinto. La principal aplicación está en instalaciones donde las diferencias entre el caudal máximo y mínimo pueden ser muy altas.
- **Tangenciales:** El sensor de caudal es una turbina montada en la parte superior de la sección. Para garantizar la estabilidad del perfil de velocidades se requiere cierta distancia de tubería recta aguas arriba.
- **Proporcionales:** Se basan en la relación entre los caudales que circulan por dos circuitos paralelos y el caudal total que transporta la conducción. La calidad de medición es muy inferior en relación a los anteriores.
- **De disco oscilante:** El fluido penetra en el espacio entre el disco y las paredes de la cámara y empuja el disco hacia adelante imprimiendo un movimiento de oscilación rotatorio. En los de disco nutante resulta imprescindible la inclusión de filtros aguas arriba, ya que las partículas en suspensión pueden afectar el funcionamiento del contador.
- **De pistón rotativo:** Se compone de una cámara cilíndrica con una placa divisoria que separa los orificios de entrada y salida y una parte móvil que oscila suavemente entre los dos.

En relación a los medidores no mecánicos se reconocen:

- **Por ultrasonido:** Se basa en el principio de tiempo de tránsito o efecto Doppler, a partir del cual se genera una señal sónica que es transmitida a través de la tubería; la velocidad de regreso de la onda es traducida en velocidad de flujo.
- **Electromagnéticos:** Funcionan bajo la Ley de Faraday y su principio se basa en el voltaje inducido por un líquido conductor o agua que pasa a través de un campo magnético, cuyo voltaje es proporcional a la velocidad.
- **Caudalímetros de inserción:** Se diferencian en sondas electromagnéticas (dispone de bobinas que generan un campo magnético y electrodos, donde el fluido genera una diferencia de potencial que es proporcional a la velocidad); sondas de turbina (determina la velocidad a partir de la velocidad de rotación de una turbina); sondas de presión diferencial (estima el caudal como una diferencia de presión entre dos puntos).

La Norma ISO 4064:1993 divide los medidores en cuatro clases metrológicas (A, B, C y D). Los medidores de clase A, presentan menor precisión y ya no se utilizan: los de clase B (de velocidad) son los más usados para la micromedición domiciliaria. Los de clase C (volumétricos) se utilizan como patrones del desempeño de los medidores de clase B; mientras que los de clase D, de mayor exactitud y más sofisticados se utilizan a nivel industrial.



El Instituto Nacional del agua (INA) efectúa el contraste de medidores domiciliarios de agua potable, con procedimientos que satisfacen la citada norma ISO 4064:1993 e IRAM 22719/93 a fin de asegurar el correcto funcionamiento de los dispositivos.

4.6 Corrosión

Consiste en el deterioro de las partes metálicas debido a reacciones debidas a la presencia de oxígeno en contacto con el metal, que forman óxidos que reaccionan con su estructura interna y lo destruyen en forma gradual.

La corrosión ataca a la tubería generando oquedades y un incremento en el tamaño de las ranuras que facilitan el acceso de la grava del prefiltro y de sedimentos al interior del pozo, provocando una reducción de la sección de la captación, el desgaste de los impulsores de la bomba, la formación de huecos en la pared del pozo y el colapso de la tubería.

La intensidad de la corrosión de las cañerías depende de la composición química, velocidad y temperatura del agua, contenido de cloruros y resistividad del suelo.

Uno de los métodos preventivos más utilizados son los recubrimientos anticorrosivos. Su efectividad depende del grado de integración, facilidad para adherirse al metal base y propiedad para aislarse contra el flujo de corriente eléctrica. Los recubrimientos pueden clasificarse en metálicos, no metálicos y líquidos.

Otra opción es la protección catódica, que consiste en colocar bloques de magnesio o zinc, unidos a la tubería mediante un cable conductor.

4.7 Incrustación

La incrustación es provocada por la precipitación y acumulación de material químico, detrítico y/o biológico en el filtro o prefiltro de grava.

La acumulación de material genera una reducción de la sección de captación del pozo y de su rendimiento, aumenta la velocidad de entrada del agua y produce un arrastre de material ocasionando la sobresaturación del agua. Entre los tipos de incrustación más comunes se encuentran:

- **Precipitación de sales:** Las variaciones de presión y velocidad facilitan la liberación de anhídrido carbónico y la precipitación de sales (carbonatos, sulfato de calcio y de magnesio y compuestos de hierro y manganeso).
- **Acumulación de bacterias y microorganismos:** La “bacteria del hierro” prolifera cuando se combinan elevados contenidos de hierro, manganeso, materia orgánica, bicarbonato y dióxido de carbono.

El fenómeno de incrustación puede prevenirse considerando el diseño, desarrollo del pozo y la cloración del agua. Se recomienda que la parte superior del filtro no permanezca en la zona de aireación y que la granulometría del prefiltro y ranuras sean compatibles con la granulometría del acuífero. El bombeo eficiente permite la remoción de los sedimentos finos, el incremento de la permeabilidad del medio y la reducción de la velocidad de ingreso. En relación a la cloración, se recomienda una concentración de 50 ppm de cloro activo durante la construcción de un pozo o la adición periódica de cloro en pozos operativos.

5 Desinfección del agua

La desinfección es el tratamiento que se requiere para garantizar la potabilidad y el suministro de agua a los usuarios. El objetivo es la extracción y desactivación de los organismos patógenos (bacterias, virus, protozoarios o helmintos) a fin de asegurar sanitariamente su consumo. Existen varios métodos físicos y químicos para desinfectar el agua, los cuales se mencionan a continuación:

5.1 Métodos físicos

- **Filtración:** Consiste en conducir el agua a través de un medio poroso (filtro), con la finalidad de retener los sólidos, remover las partículas y el material coloidal no sedimentable. En general se aplica después del proceso de sedimentación para obtener una mayor clarificación; aunque no garantiza la potabilidad del agua.
- **Ebullición:** Tiene por finalidad destruir los microorganismos patógenos y se basa en realizar la ebullición turbulenta de pequeñas cantidades de agua.

5.2 Métodos químicos

Los desinfectantes deben asegurar la eliminación de microorganismos y mantener un efecto residual como agentes activos, con la finalidad de prevenir el crecimiento de patógenos en las tuberías después de la desinfección.

El uso de estos productos habitualmente genera subproductos, no obstante, los riesgos para la salud son menores en relación a aquellos relacionados con una desinfección insuficiente. Entre los más habituales se mencionan:

- **Ozono:** Oxidante poderoso de difícil aplicación que no presenta acción residual ni olor, sin embargo, el agua adquiere un sabor particular.
- **Yodo:** Desinfectante muy eficiente y costoso, que requiere un tiempo de contacto de aproximadamente 30 minutos.
- **Plata:** En forma coloidal o iónica es más efectiva; no genera sabor ni olor al agua y tiene una reducida acción residual. Su efectividad disminuye con la presencia de sustancias, como cloruros.
- **Cloro:** Es un reactivo desinfectante de gran poder bactericida, aún en dosis pequeñas; ampliamente utilizado a nivel mundial debido a su elevado poder desinfectante y oxidante, importante acción residual y costos relativamente bajos. A continuación se enuncian los lineamientos para una adecuada cloración del agua.

5.2.1 Cloración del agua

En el proceso de cloración se utiliza cloro y también pueden emplearse sus derivados (cloro gas, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio).

Las reglamentaciones establecen que el agua potable de consumo público debe contener cloro residual libre o combinado, u otros agentes desinfectantes en toda la red de distribución; mientras que el Código Alimentario Argentino (Ley 18.284. Capítulo XII, artículo 982) exige para el agua potable un contenido mínimo de cloro activo residual de 0,2 mg/L.

Normalmente, el punto de dosificación de cloro se ubica a la entrada de los depósitos de abastecimiento, por lo cual se considera importante realizar la determinación del cloro residual en el tanque principal de abastecimiento y en la red de distribución, incluyendo puntos extremos.



Para ampliar información sobre este tema, consultar:

- **Manual de la Cloración.**
<https://es.slideshare.net/eamartinelli/aeas-manual-de-la-cloracion>



La dosis óptima de cloro es aquella que produce un contenido de cloro libre residual de 0,2 a 1,5 mg/l al final del período de contacto o la eliminación total o parcial de patógenos según la normativa vigente.

La determinación se realiza agregando cantidades crecientes de cloro al agua y midiendo su concentración en el tiempo. Para que el método resulte eficiente el cloro debe permanecer en contacto con el agua durante un período de aproximadamente 20 minutos a partir del momento de la aplicación.

Para la administración de cloro se utilizan bombas dosificadoras, que tienen como objetivo incorporar el químico en pequeñas cantidades, por lo que la bomba debe posibilitar un control preciso. Las principales consideraciones para seleccionar una bomba dosificadora son:

- Identificar el producto químico a dosificar, sus características físicas, tales como densidad, viscosidad, concentración y temperatura.
- Definir el caudal a dosificar, conocer los rangos mínimos y máximos.
- Conocer la presión de inyección necesaria para que la bomba dosificadora pueda inyectar el químico en el punto previsto. Existen dos tipos de inyección: a presión en una tubería y a descarga abierta en un tanque.
- Compatibilidad química entre el producto a dosificar y los materiales que integran la bomba.
- Tipo de operación: Manual (un operador debe realizar el ajuste a través de una perilla) o automática (a través de una señal eléctrica, electrónica o neumática que ajuste el caudal de dosificación de forma remota).
- Tiempo de operación: La mayoría de los equipos están diseñados para trabajar 24 horas, pero es importante cuando el producto es abrasivo, se cristaliza, o solidifica, ya que puede obstruir la bomba.

Existen distintos tipos de bombas dosificadoras que se pueden clasificar según el principio de funcionamiento en **de membrana, de pistón y peristálticas**.

1. **Bombas de membrana:** Pueden ser tipo motor solenoide o de motor eléctrico convencional. El motor mueve alternativamente un diafragma que a su vez desplaza el líquido a una cámara, con válvulas de entrada y salida. Al realizar el movimiento hacia atrás el diafragma succiona el líquido abriendo la válvula de abajo del cabezal, mientras que cuando es hacia adelante el diafragma empuja el líquido, la válvula de succión se cierra y la de descarga se abre, dosificando la cantidad necesaria. Se recomienda para usos en aplicaciones livianas donde la presión no sobrepase los 10 bar.
2. **Bombas de pistón:** El principio de funcionamiento es similar al anterior, sin embargo en lugar de la membrana, el producto químico está en contacto con el pistón. Se emplea para aplicaciones a altas presiones donde el producto es poco abrasivo y no peligroso.
3. **Bombas peristálticas:** La dosificación es desplazada en dirección al caudal a partir de un motor que actúa mecánicamente presionando la tubería. El fluido bombeado no se expone al aire ni a las partes móviles mecánicas. Como ventajas, el diseño del rodillo evita el sifón al proporcionar un sellado constante en el tubo de bombeo y son autocebantes.

5.3 Control de cloro residual

El poder desinfectante del cloro depende de la forma en que esté presente, el tiempo de contacto, la temperatura y el pH del agua; motivo por el cual es importante realizar controles periódicos y monitorear su concentración en el tanque de abastecimiento y en la red de distribución, incluyendo puntos extremos de la red.

Cuando se realiza la cloración, se agrega cloro al agua para que reaccione con todas las sustancias reductoras, la materia orgánica y el amoníaco, formando compuestos orgánicos de cloro y cloraminas. Si se sigue añadiendo cloro, se irán destruyendo las cloraminas y compuestos orgánicos de cloro hasta que llegue el punto de ruptura o “break point”, donde el cloro residual empieza a quedar libre o disponible (**Figura 17**). El punto de ruptura es la dosis mínima de cloro a partir de la cual se cumplen las garantías de desinfección.

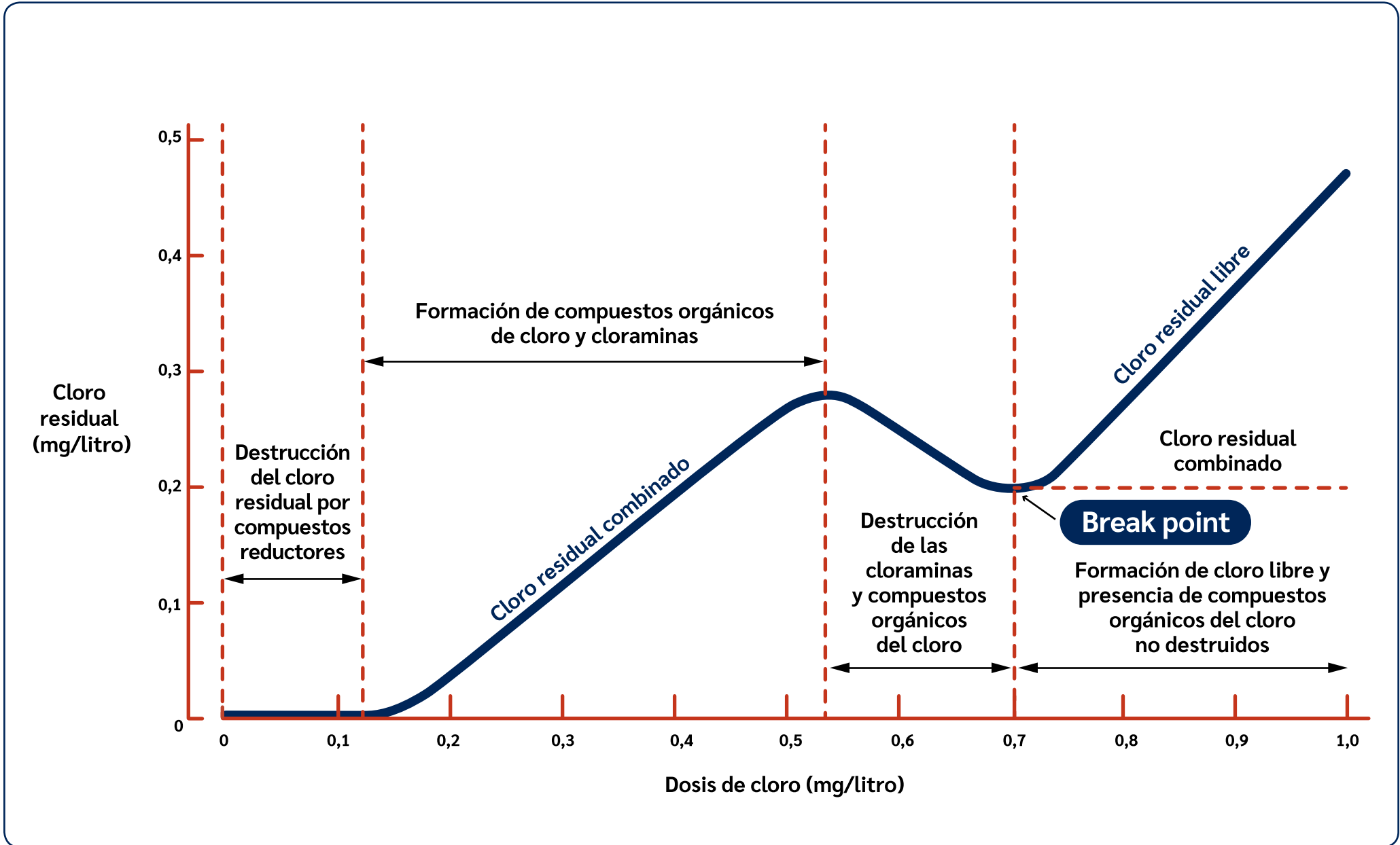


Figura 17. Curva de demanda de cloro.

Es muy importante que el agua no contenga materia orgánica porque puede producir la formación de trihalometanos (THM). Los THM que pueden encontrarse en el agua de consumo humano son el cloroformo, el bromodiclorometano, el dibromoclorometano y el bromoformo y están asociados a efectos adversos para la salud. Además, es necesario considerar el drenaje periódico de los distintos ramales de la red, de manera de eliminar agua que pudiera quedar estancada o presentar sabor y olor desagradable como consecuencia de los subproductos derivados de la cloración.

El monitoreo del cloro residual es un indicador de los problemas que afectarán la salud debido a los parámetros microbiológicos. La desaparición repentina de cloro residual puede indicar el ingreso de contaminación y la dificultad para mantener concentraciones residuales o su desaparición gradual pueden reflejar una elevada demanda de oxidantes debido a la proliferación de bacterias.

La determinación del cloro residual debe efectuarse con frecuencia diaria, máximo semanal, para detectar variaciones en el contenido de cloro activo y garantizar el cumplimiento de la normativa. Es importante que la muestra sea analizada inmediatamente luego de la extracción de la red de distribución o tanque de abastecimiento.



Existen diversas metodologías para la medición del contenido de cloro activo residual, entre las que se mencionan:

5.3.1 Colorimetría

Consiste en un test rápido colorimétrico cuantitativo. La incorporación de ortotolidina a la muestra genera una variación de la coloración hacia tonalidades amarillas. La muestra es comparada con patrones estables, con diferentes concentraciones de cloro, para obtener el resultado de concentración de cloro residual en miligramos/litro (mg/l) o partes por millón (ppm).

5.3.2 Kits colorimétricos

Utilizan el método colorimétrico a base de N-Dietilpfenilendiamina (DPD) para medir el cloro libre. Se adquieren comercialmente incluyendo los reactivos y la cubeta.

5.3.3 Medidor digital

Existen diversos equipos compactos y portátiles que se adquieren comercialmente junto con el reactivo necesario para la medición. El mantenimiento e inspección del equipo de cloración debe ser diario, y se deben considerar una serie de precauciones debido al elevado riesgo de toxicidad:

1. La tensión suministrada al clorador no debe exceder el 10% de la tensión permitida.
2. El equipo debe permanecer limpio de suciedad a fin de no interferir en su funcionamiento.
3. El goteo de cloro debe ser el adecuado según las partes por millón a considerar en cada sistema de bombeo.
4. La válvula de retención del clorador no debe permanecer tapada.

5.4 Limpieza de tanques

La limpieza periódica de los tanques de almacenamiento de agua evita, la proliferación de bacterias y garantiza la potabilidad del agua apta para consumo humano, por lo que se recomienda una frecuencia de desinfección anual.



El tanque debe estar provisto de tapa o cierre hermético a fin de evitar el acceso de animales, polvo o bacterias.

La desinfección en pozos de explotación tiende a complementar la desinfección del tanque y cañerías y tiene por finalidad la destrucción total de los organismos que pudieron

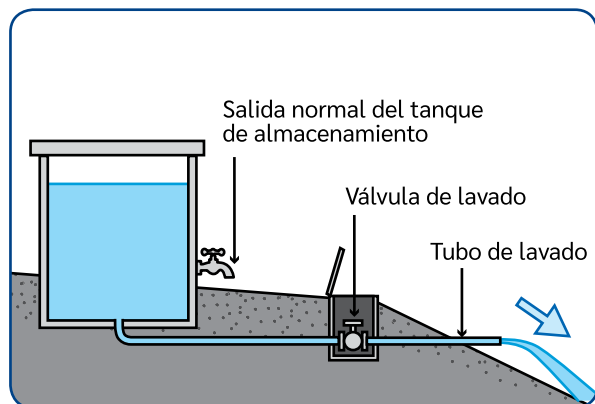


Figura 18. Limpieza de tanque de almacenamiento.

ser incorporados durante la perforación. Este procedimiento consiste en la adición de una solución de cloro con una concentración de 50 mg/l, dejar reposar durante un periodo mínimo de 24 horas y posteriormente bombear hasta desalojar toda el agua.

Una adecuada metodología de limpieza del tanque de almacenamiento incluye los siguientes lineamientos:

1. **Drenaje y vaciado del tanque:** Consiste en abrir la válvula o llave de salida y drenar todo el líquido contenido en el tanque. Los tanques de almacenamiento permanente, usualmente están equipados con una válvula de limpieza interna que permite extraer el agua de la base (**Figura 18**).
2. **Limpieza de la superficie interna:** Se recomienda tener especial cuidado en la limpieza de las esquinas y uniones a fin de asegurar la eliminación de bacterias y sedimentos. La utilización de un cepillo y agua a presión facilita las tareas enunciadas. La válvula de salida debe estar abierta mientras se limpia el tanque, para eliminar los desperdicios líquidos y asegurar su disposición en forma segura (**Figura 19**).
3. **Desinfección:** Involucra la extracción, desactivación o eliminación de los microorganismos patógenos que existen en el agua. Se recomienda llenar el tanque con agua limpia hasta la cuarta parte de su capacidad y preparar una solución concentrada de cloro (1 litro de hipoclorito de sodio al 10 % por cada 1000 litros) de capacidad total del tanque. Llenar totalmente de agua el tanque asegurando la mezcla y dejar reposar por 24 horas a fin de garantizar su completa desinfección. Si el tanque se necesita para uso urgente, se debe duplicar la cantidad de cloro, condición que reduce el tiempo de reposo de 24 a 8 horas. Vaciar completamente el tanque y desechar cuidadosamente el agua, asegurando la desinfección de los tubos o las mangueras conectados al tanque. En la **Figura 20** se presentan los lineamientos generales de desinfección de agua potable.

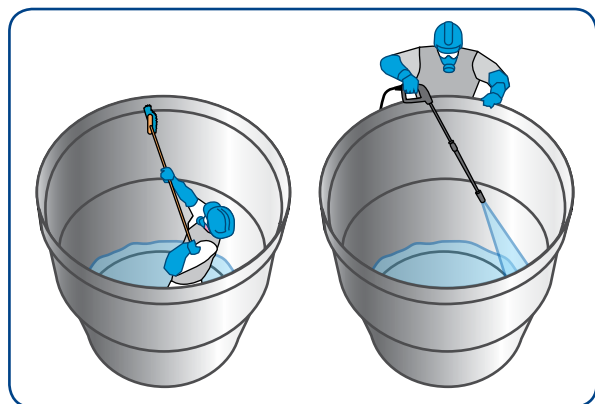


Figura 19. Limpieza de la superficie interna.

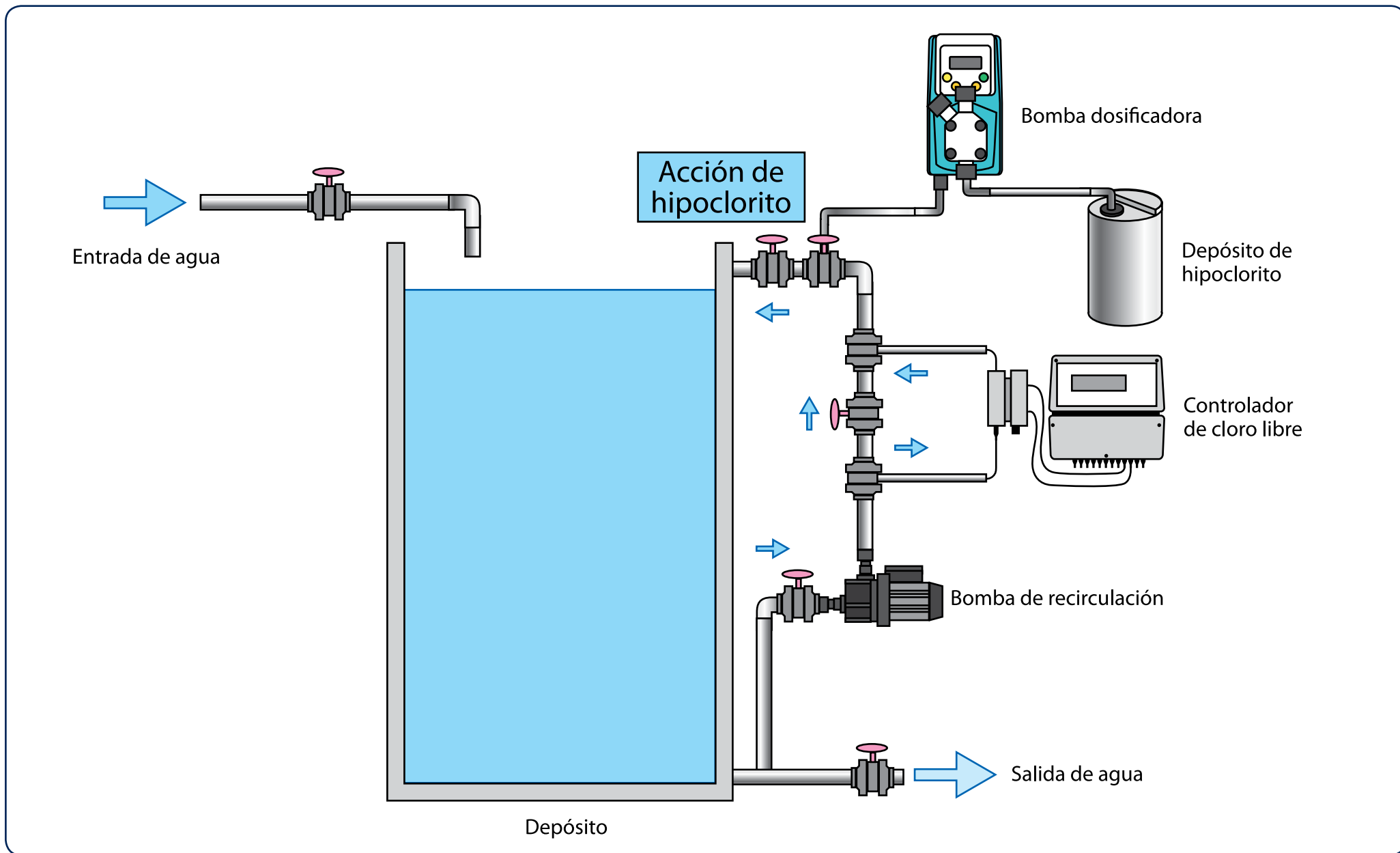


Figura 20. Proceso de desinfección de agua potable.

6 Monitoreo del agua subterránea

El medio más efectivo para garantizar la seguridad de un sistema de abastecimiento de agua es mediante un abordaje integral de evaluación y gestión de los riesgos, que abarque todas las etapas, desde la captación de agua hasta su llegada al consumidor. Para evaluar aspectos importantes del agua subterránea y poder implementar soluciones de gestión se requieren datos hidrogeológicos, de la condición básica inicial (previa a la explotación) como de las variaciones en el tiempo (registros periódicos).

La información básica inicial debería incluir:

1. **Registro de los pozos de explotación** (perfiles geológicos, hidrogeológicos, determinación de niveles productivos, calidad del agua).
2. **Ensayos de bombeo.**
3. **Identificación de las instalaciones de los pozos de explotación.**
4. **Inventario de los usos del agua.**
5. **Información complementaria** (clima, uso del suelo, mapas y secciones geológicas).

Los registros periódicos deberían incluir:

1. **Nivel del agua subterránea.**
2. **Parámetros de calidad del agua subterránea.**
3. **Caudales de extracción.**
4. **Caudales característicos de los pozos de explotación.**

El primer paso para un adecuado sistema de gestión hidrogeológica, es la instalación de una red para el monitoreo de niveles, caudales y calidad del agua subterránea.



El monitoreo es la evaluación de las condiciones físicas, químicas y biológicas del agua con relación a las condiciones naturales; e implica el seguimiento reiterado y periódico

de distintas variables. La generación de una base de datos de nivel y analíticos es fundamental para la modelación y predicción de distintos escenarios a corto o largo plazo.

Previamente a la selección y recolección de datos es importante considerar:

1. **Cantidad de puntos de monitoreo:** Está determinada por factores que dependen del parámetro a considerar:
 - **Calidad del agua:** La cantidad y tipo de muestreos se detallan en el capítulo 7.
 - **Medición de niveles:** No hay un número preestablecido y cada cooperativa deberá definir la cantidad de acuerdo con el número de pozos totales.
2. **Distribución espacial de puntos de monitoreo:** Debe asegurar la adquisición de registros de todos los acuíferos involucrados, presentar una distribución uniforme y con una separación suficiente que garantice su representatividad.
3. **Frecuencia de monitoreo:** Está relacionada con el objetivo de la medición. Inicialmente se recomienda una frecuencia mensual para definir el comportamiento hidrológico y posteriormente una frecuencia semestral (verano-invierno) de acuerdo a las particularidades del sistema.

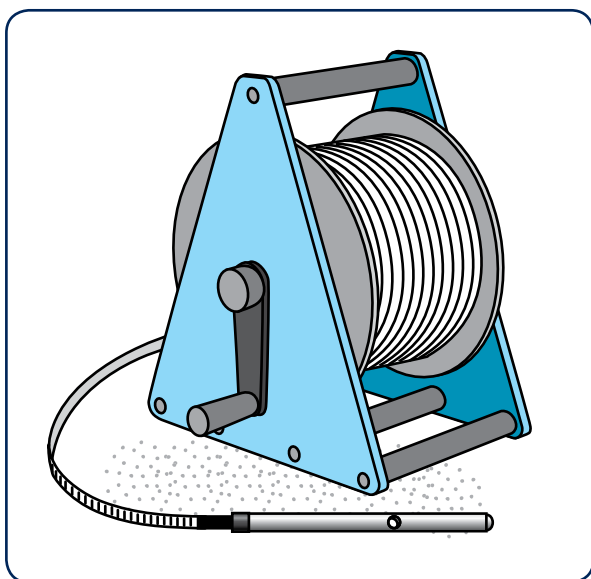


Figura 21. Sonda de medición.

6.1 Medición del nivel de agua

La adquisición de datos de profundidad de agua deberá realizarse tomando como referencia la parte superior de la tubería del pozo, o un nivel de referencia el cual debe ser nivelado topográficamente.

El instrumento utilizado para la medición de la profundidad de los niveles estático y dinámico, en los pozos de explotación y monitoreo, consta de un cable enrollado en un carrete en cuyo extremo se ubica un sensor con punta metálica, de mayor peso, que hace contacto con el agua cerrando un circuito y registrando una señal en un voltímetro. En las Figuras 21 y 22 se presentan los instrumentos y metodología de medición.

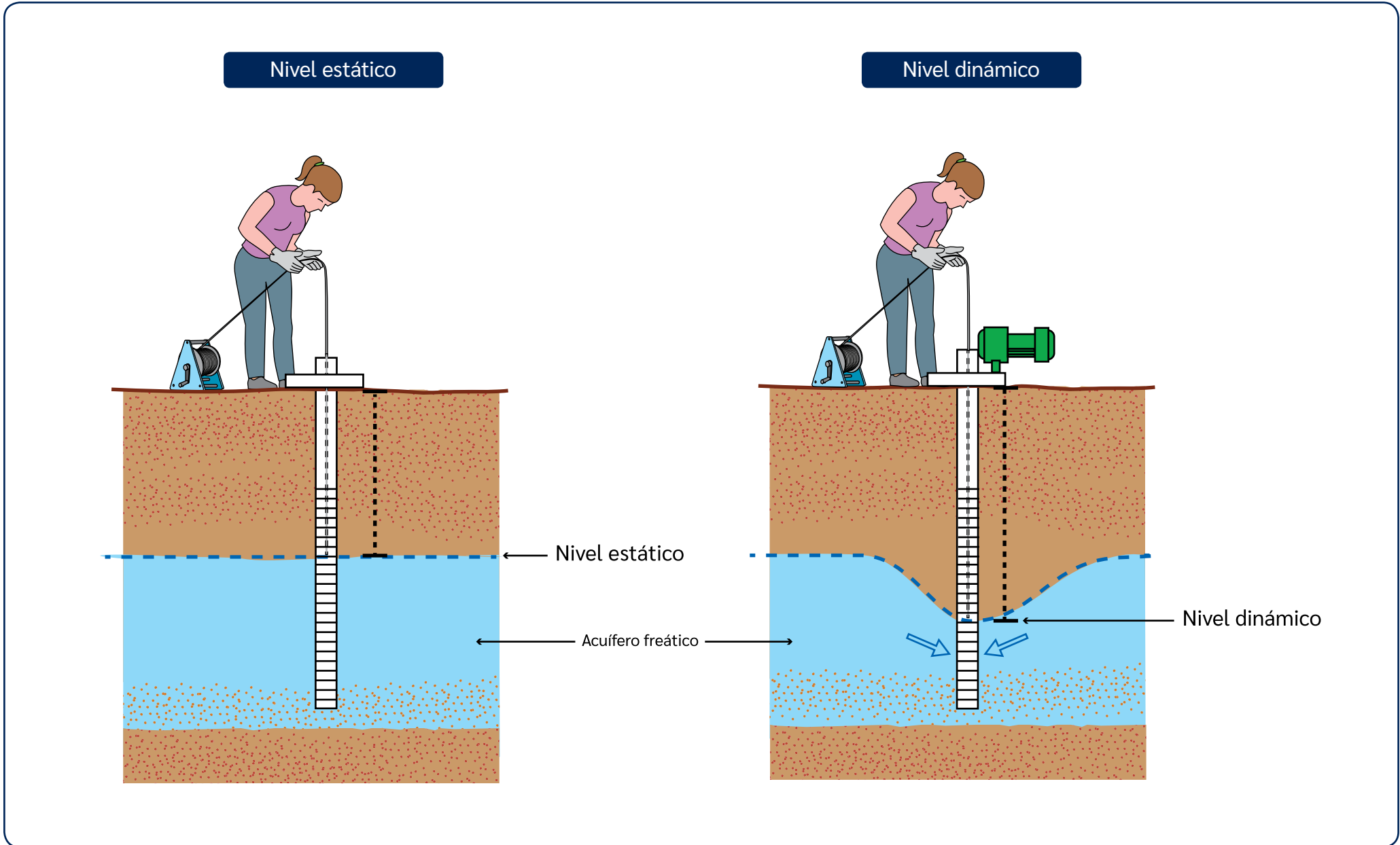


Figura 22. Metodología de medición.

7 Calidad del agua subterránea

El monitoreo de la calidad del agua es una herramienta para la gestión del recurso hídrico ya que permite evaluar las tendencias temporales y espaciales de los parámetros físico químicos y potenciales contaminantes.

El objetivo del muestreo es obtener una reducida cantidad de agua que resulte representativa de las características del acuífero. La validez y confiabilidad de los resultados analíticos depende de la recolección, preservación, transporte y análisis; por lo cual se recomienda planificar un cronograma de acuerdo con protocolos bajo estrictas normas de control.

7.1 Premisas básicas del muestreo

En la Ley 11.820 Anexos A y B, se exponen los procedimientos y la forma de presentación de resultados que el prestador de servicios deberá tener en cuenta al informar a la Autoridad de Aplicación. A continuación se enuncian lineamientos generales a tener en cuenta durante el análisis:

- Considerar los procedimientos de la norma ASTM D 4448-01 Standard Guide for Sampling Groundwater Monitoring Wells.
- La muestra debe ser representativa de la fuente que se desea evaluar, para lo cual se deben considerar los puntos de extracción, el número de muestras y la frecuencia, precauciones durante la operación, conservación y traslado de la misma.
- El objetivo del muestreo define los parámetros a analizar (físico-químico y/o microbiológico para consumo humano, animal, riego, otros) y las condiciones en las cuales se realizará el muestro (envase, procedimiento, condiciones de traslado y conservación).
- Durante la extracción y traslado evitar el deterioro, la contaminación y/o altera-



Para ampliar información sobre este tema, consultar:

- **Ley provincial 11.820.**
<https://normas.gba.gob.ar/documentos/BeWelF70.html>
- **Norma ASTM D 4448-01.**
<https://www.astm.org/Standards/D4448.htm>

ción físico-química de la muestra, asegurando un correcto envasado, etiquetado y conservación (temperatura, humedad y exposición a la luz).

7.2 Parámetros de análisis

Los parámetros para evaluar la calidad están seleccionados en función de la normativa provincial o nacional y dependen del objetivo de uso de la fuente de agua. Para asegurar la potabilidad del agua el Código Alimentario Argentino (Ley 18.284. Capítulo XII, artículo 982) especifica un conjunto de niveles guía para parámetros físicos, químicos y biológicos.

En la citada Ley 11.820, se define (en su texto actualizado con las modificaciones introducidas por la Ley 12.292) el marco regulatorio para la Prestación de los Servicios Públicos de Provisión de Agua Potable y Desagües Cloacales. En el Anexo I, artículo 5, y Anexos A y B, se detallan los parámetros de calidad de agua potable y desagües cloacales exigidos por la normativa y se especifican los límites tolerables, frecuencia de extracción y técnicas analíticas utilizadas en su determinación. Complementariamente, la Ley 12.292 en su artículo 58 postula que “la Autoridad del Agua podrá obligar al concesionario a emplear o aplicar todos los métodos que juzgue necesario para asegurar la calidad establecida”.

En los cuadros 3 y 4 se exponen los parámetros básicos para un análisis físico-químico y microbiológico.

Durante el muestreo se recomienda la determinación de los parámetros físico-químicos in situ, tales como pH, conductividad eléctrica, temperatura y turbidez, mediante equipo portátil especial.

Parámetros físico-químicos	
Nivel de turbidez	Dureza total
pH	Cationes (Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , K ⁺ , Na ⁺)
Cloro residual	Aniones (CO ₃ ⁼ , HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ⁼ , Cl ⁻)
Residuo seco	Nitratos
Conductividad eléctrica	Nitritos
Alcalinidad	Arsénico
Flúor	

Cuadro 3. Parámetros fisicoquímicos.

Parámetros microbiológicos
Bacterias coliformes totales
Escherichia coli
Pseudohormonas aeruginosa
Bacterias mesófilas

Cuadro 4. Parámetros microbiológicos.

7.3 Metodología de muestreo

7.3.1 Extracción

El muestreo debe realizarse en los puntos de abastecimiento, ya sea en la red de distribución y/o conexiones domiciliarias y en caso de existir planta de tratamiento a la salida de la misma. Dependiendo de la ubicación del agua analizada se especifica la secuencia metodológica a implementar:

a. Agua de red: El agua debe fluir durante un periodo de tiempo que asegure la purga de toda la cañería que llega desde el tanque. Es importante verificar que la canilla no esté conectada a otras cañerías, filtros, ablandadores u artefactos que puedan alterar la calidad del agua (**Figura 23**).

b. Agua de pozos de explotación: La muestra debe ser recolectada de la cañería contigua al pozo. Es conveniente mantener la impulsión durante un periodo de tiempo suficiente hasta que el agua emerja clara desde el acuífero y no del pozo (en caso que estuviera en desuso). En pozos recientemente construidos se debe bombear hasta asegurar la afluencia de agua desde el acuífero y en lo posible bombear con caudal de diseño (caudal máximo de la perforación).

Durante muestreos periódicos de una misma fuente de agua se debe mantener la altura de extracción de la muestra.

Para el análisis de compuestos microbiológicos es fundamental esterilizar o flamear la canilla que proviene directamente del mecanismo de bombeo, calentando 2 o 3 minutos mediante un mechero o un hisopo con algodón embebido en alcohol (**Figura 24**). Durante el envasado dejar una cámara de aire, a excepción del muestreo de parámetros físico químicos donde solo se requiere un mínimo que permita la variación de volumen. En caso de incorporar conservantes contemplar el volumen necesario para el mismo.

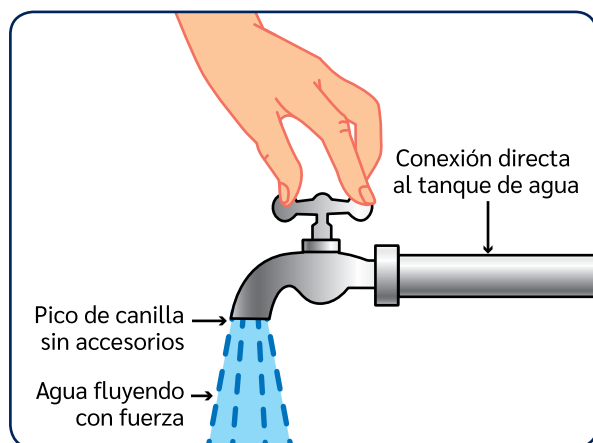


Figura 23. Purga de la cañería.



Figura 24. Flameo de la canilla.

En aquellos casos en los cuales el agua a muestrear se encuentre clorada, se debe agregar una solución de tiosulfato de sodio, con el fin de neutralizar los restos de cloro e impedir que siga actuando como bactericida. La dosis es 0,1 ml (1 a 2 gotas) de solución de tiosulfato de sodio al 2 % en 100 ml de muestra.

7.3.2 Identificación y etiquetado

Es importante una correcta y clara identificación de la etiqueta con toda la información requerida. Es conveniente rotular los envases antes de iniciar el muestreo y verificar que el mismo sea seguro (no se borre, se pierda o se destruya durante el traslado de la muestra).

El intervalo de tiempo entre la recolección y el análisis debe ser reducido; mientras menor sea el plazo de entrega más confiables serán los resultados analíticos.

Las muestras recolectadas, deberán disponer de una cadena de custodia, que es un procedimiento por medio del cual se mantiene una muestra bajo posesión física o control durante su ciclo de vida completo, desde la extracción hasta que se desecha.

La cadena de custodia deberá incluir:

- **Identificación** (nombre, código, etc.)
- **Georreferenciación del sitio de muestreo:** coordenadas (latitud, longitud).
- **Localidad – Provincia.**
- **Condiciones de muestreo** (fecha y hora).
- **Tipo de envase y volumen extraído.**
- **Tipo de fuente y características** (diámetro y profundidad total, material de revestimiento y espesor).
- **Destino** (consumo humano, animal, riego, etc.)

- **Nombre de la persona responsable del muestreo.**
- **Tipo de análisis y parámetros a analizar** (físico-químico y/o microbiológico).
- **Reactivo empleado para su preservación, en caso de ser utilizado.**
- **Sistema de bombeo o de extracción.**
- **Observaciones de importancia** (proximidad a sitios contaminados, volumen purgado, equipo de bombeo: molino, bomba centrífuga, electrobomba sumergible, etc., profundidad del nivel estático y dinámico, profundidad total del pozo).
- **Fecha y hora de recepción al laboratorio, código asignado, nombre de quien entrega y quien recibe la muestra.**

La cadena de custodia se realiza por triplicado, de manera que el original quede en poder del responsable de toma de muestra, el duplicado en poder de quien realice el traslado de la muestra al laboratorio (si fueran diferentes personas) y el triplicado en el laboratorio.

7.3.3 Envasado

La elección del recipiente está en función del tipo de parámetro a analizar, las características del acuífero y dimensiones del pozo, la cantidad de muestra a recolectar y la necesidad de preservar (en análisis microbiológico), o no (en la mayoría de los análisis) una cámara de aire (**Figura 25**).

Es recomendable coordinar con el laboratorio el volumen y tipo de envase requerido para realizar las determinaciones de los parámetros solicitados. En caso de reutilización únicamente emplear envases de agua mineral. Independientemente de la fuente de agua, previo a la toma de la muestra, se recomienda enjuagar el envase por lo menos 2 a 3 veces con el agua a muestrear, no incorporar en el lavado detergentes, hipoclorito de sodio (lavandina) u otros reactivos. El envase sólo puede ser enjuagado con agua.

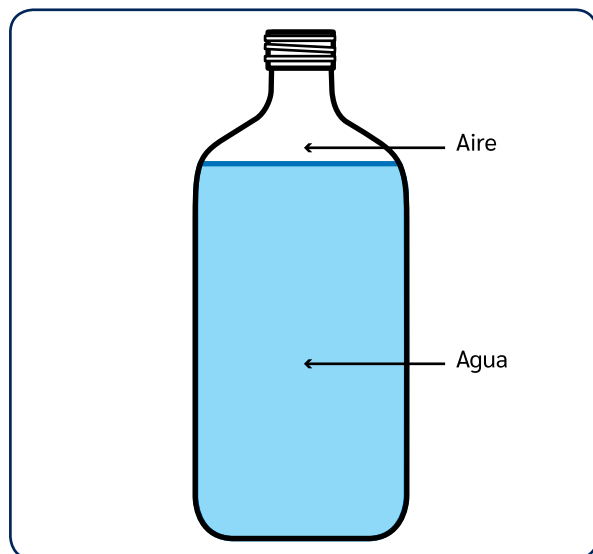


Figura 25. Proporción de aire y agua en el envase.

Para el análisis de parámetros físico químicos, la cantidad de muestra necesaria es de aproximadamente 1.000 ml (1l) como mínimo y es conveniente utilizar envases de plástico o vidrio, con cierre hermético.

Para análisis microbiológico emplear envases con capacidad de 250 a 300 ml, de plástico o vidrio, esterilizados, con cierre hermético y en lo posible de boca ancha. Pueden utilizarse bolsas especiales de polietileno estériles (fabricadas a tal fin).

7.3.4 Acondicionamiento y transporte

Las técnicas de conservación tienen como objetivo retardar las reacciones químicas y biológicas que ocurren en la muestra. Los métodos de preservación incluyen control de pH, adición de reactivos y refrigeración.

En análisis físico-químicos se deben acondicionar las muestras con conservadores de frío y al resguardo de la luz, ya que algunas especies químicas (nitratos, nitritos y sulfatos) pueden sufrir transformaciones por acción microbiana.

Para análisis de arsénico se deberá consultar con el laboratorio si es necesario acidificar la muestra y en que dosis. Esto se realiza con el objetivo de evitar que algunos microorganismos lo incorporen a sus procesos metabólicos.

Las muestras para análisis microbiológico se deberán efectuar de manera separada a las destinadas para análisis físico-químico. Las temperaturas elevadas y la luminosidad generan una proliferación de los organismos, sobreestimando los resultados e invalidando la muestra, mientras que temperaturas muy reducidas producen la mortandad, derivando en resultados erróneos.

Es indispensable que la muestra se mantenga refrigerada hasta su arribo al laboratorio (4 a 10 °C), ya que una alteración de las variables enunciadas invalidará los resultados.

7.4 Frecuencia de extracción

La frecuencia de muestreo está relacionada con el tamaño de la población y la categoría de la zona (urbana, urbana-periurbana, rural). El concesionario deberá realizar el monitoreo y análisis conforme a lo establecido en la Ley provincial 11.820, la cual establece las normas de calidad para el agua potable, frecuencia de muestreo y técnicas analíticas requeridas.

a. Agua de pozo de explotación

- Análisis físico-químico. Frecuencia semestral. (Tabla I Ley 11.820)
- Análisis bacteriológico. Frecuencia trimestral. (Tabla I Ley 11.820)

b. Agua en la salida de la planta potabilizadora

- Componentes microbiológicos (frecuencia 6 horas). (Tabla I Ley 11.820)
- Parámetros básicos: pH, turbiedad, alcalinidad (frecuencia 6 horas).
- Componentes que afectan directamente a la salud (frecuencia trimestral). (Tabla II - Ley 11.820)
- Componentes que afectan la aceptabilidad del agua (metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), fenoles, hidrocarburos, detergentes. Frecuencia mensual. (Tabla III - Ley 11.820)

c. Agua en el sistema de distribución

- Análisis bacteriológico: Una muestra cada 10.000 habitantes en el radio de agua y cloacas. Frecuencia mensual. Los puntos de muestreo se dividen en fijos (escuelas, hospitales, oficinas públicas) y variables (que cubran proporcionalmente el área servida).
- Análisis químicos: En todas las oportunidades que se efectúen análisis bacteriológicos se medirá el cloro residual. En un 20 % de las muestras se medirán además todos los componentes físico-químicos de la Tabla III - Ley 11.820.

8 Cuadro tarifario

La micromedición contribuye en el diseño de un plan tarifario y permite tener conocimiento de la cantidad de agua que está consumiendo cada usuario de acuerdo a la clasificación registrada. A su vez facilita el análisis, planeación y proyección de volúmenes con el objetivo de establecer una aproximación de los consumos hacia una demanda futura.

El usuario es el consumidor final de toda la cadena de la prestación del servicio del agua y su consumo (m^3/d o l/d) es la parte del suministro que se utiliza sin considerar las pérdidas en el sistema, por lo que la instalación de medidores puede generar un ahorro a la vez que permite incrementar las presiones en la red.

En relación a consumidores no domésticos, es conveniente determinar el tipo de tecnología de medición más adecuada para su monitoreo y facturación periódica ya que representan la mayor parte de los ingresos.

El sistema de facturación del servicio del agua no es uniforme y se distinguen distintos usuarios según la categoría del inmueble y la existencia o no de medidor de consumo. La tabla de tarifas por metro cúbico depende del sitio de extracción del agua, del proceso de potabilización, de la gestión (empresa privada o pública), de los aportes provinciales o municipales, etc. Las tarifas son fijadas en cada jurisdicción y son aprobadas a nivel nacional por el Ente Regulador de Agua y Saneamiento (ERAS).

8.1 Variables que intervienen en una tarifa

Disponer de un sistema de medición domiciliario permite conocer la eficiencia física del sistema, comparando el total de metros cúbicos facturados con el total de usuarios registrados en el padrón, en relación al volumen de agua extraído de los pozos que integran la fuente de abastecimiento.

La implementación de este proceso presenta como ventaja el uso racional y la conservación del agua, debido a que la estructura tarifaria está diseñada para penalizar los consumos elevados con un precio unitario más elevado por cada metro cúbico consumido y asegurar la homogeneidad del servicio.

En localidades donde no se encuentra instalado un medidor domiciliario, los pagos se efectúan con base en cuotas fijas previamente determinadas. En ambos casos se establece la restricción del servicio para aquellos usuarios que hayan dejado de cumplir con el pago por la prestación. La entidad prestadora estará facultada a proceder al corte del servicio de acuerdo a los procedimientos que establezca la Autoridad de Aplicación, en los siguientes casos:

- a. El usuario haga uso del servicio sin la correspondiente autorización y conexión aprobada.
- b. El uso de agua por parte del usuario o el estado de sus instalaciones pudiera afectar la potabilidad del agua en la red de distribución.
- c. Cuando por causas imputables al usuario sea imposible tomar lectura del medidor durante tres períodos consecutivos.
- d. Cuando estando el servicio de desagüe cloacal a cargo de la misma entidad prestadora que el servicio de provisión de agua potable, el usuario descargue en las colectoras cloacales líquidos residuales que no cumplan con las condiciones de vertido que establezca la normativa.
- e. Por falta de pago de las facturas correspondientes a la prestación del servicio.

Las tarifas deberían propiciar la autosuficiencia financiera de los prestadores de los servicios públicos, la racionalización del consumo y cubrir los costos de operación, mantenimiento y administración, rehabilitación y mejoramiento de la infraestructura.

Complementariamente deberían contemplar la amortización de las inversiones para obras y gastos financieros de los pasivos.





Para ampliar información sobre este tema, consultar:

- **Resolución SIPH N° 45/2019.**
<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-45-2019-328208/texto>
- **American Water Association.**
<https://www.awwa.org/Publications>

La Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica en su resolución SIPH N°45/2019 - Anexo Reglamento de Aplicación de Normas Tarifarias establece valores de tarifa general diaria fija y variable; factura diaria mínima y costo del metro cúbico para segmentos de usuarios clasificados por categoría (residencial, no residencial), clase (I,II), tipo (1,2,3), modo de facturación (con y sin medición) y servicio prestado (agua, cloaca).

Según la American Water Works Association (2000), una tarifa debe ser diseñada de modo tal que permita:

- Generar incentivos económicos para inducir a los actuales y futuros usuarios a su utilización racional.
- Garantizar los fondos monetarios necesarios para lograr la autonomía financiera del ente prestador.
- Atender a criterios de equidad distributiva de manera que el servicio tienda a universalizarse hacia todos los niveles de la sociedad.
- Orientar adecuadamente la gestión del agua y del ambiente.
- Promover un servicio medido y categorizado.

Con la finalidad de garantizar la totalidad del abastecimiento diario la diagramación de un régimen de cobros debería contemplar:

a. Costos de operación y mantenimiento: Sueldo del personal operativo, energía eléctrica, combustibles y lubricantes, repuestos y reparaciones, gastos de potabilización y tratamiento (hipoclorito de sodio, anhídrido carbónico, papel pH, reactivos).

b. Costos administrativos: Sueldos, remuneraciones, honorarios, papelería, comisiones, viáticos y gastos generales. Los costos de adquisición e instalación de medidores domiciliarios deberán ser contemplados por el usuario, así como el costo de la conexión domiciliaria.

8.2 Categorización

El cobro del servicio de agua potable debería estar en función de distintos factores:

a. Tipo de servicio suministrado (agua potable, agua potable y cloaca o solamente cloaca).

b. Categoría del inmueble:

- **Residencial:** Viviendas particulares.
- **No residencial:** Inmuebles en los que existan construcciones destinadas a actividades comerciales o industriales, públicas o privadas.
- **Baldío:** Inmuebles no contemplados en ninguna de las categorías anteriores.

c. Sistema de facturación:

- **Con medidor:** Se factura según la cantidad de agua consumida registrada por un medidor accionado por la circulación del agua.
- **Sin medidor:** La facturación depende de una cantidad fija de metros cúbicos, proporcional a las características y superficie del inmueble.

En ambos casos, existe un cargo fijo que depende de los coeficientes por rango zonal, tipo de edificación, tarifa general diaria (según categoría y servicios prestados), superficie construida cubierta y superficie del terreno.

La estructura tarifaria volumétrica establecida a partir de escalones con rangos relativamente pequeños y acentuados (cada 2,5 m³, 5 m³, 10 m³) brinda incentivos a los usuarios para reducir la cantidad de agua consumida. Las distintas entidades proveedoras del servicio proponen escalones de cargo variable, a los cuales se asigna una constante que se multiplica por el valor del metro cúbico, con la finalidad de obtener

un cuadro tarifario en función del consumo de cada usuario.

A modo de ejemplo se expone el cobro de los servicios prestados por AySA para regímenes de facturación medido y no medido.

En ambas modalidades la factura posee un mismo formato con un cargo fijo y variable, mientras que el cargo variable es la cantidad de agua consumida.

Ejemplo de factura residencial, servicio medido (**Figura 26**).



Para ampliar información sobre este tema, consultar:

https://www.riob.org/IMG/pdf/RIOC_GWP_Manual_para_la_gestion_integrada.pdf

9 Vinculación con la comunidad

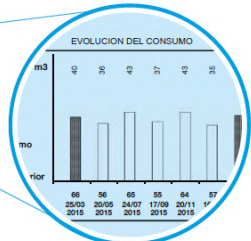
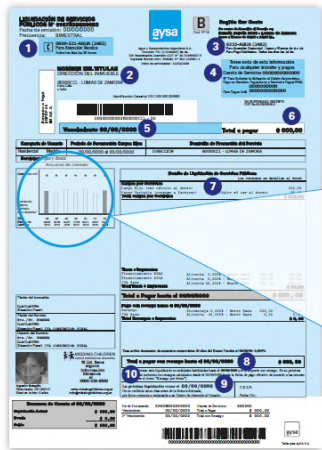
Un eje de especial importancia en la gestión de los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento es la vinculación de los entes prestadores con la comunidad, con énfasis en aspectos relacionados a la participación de los usuarios en las decisiones de las cooperativas, así como la importancia de la comunicación y disponibilidad de información sobre los servicios brindados.

A continuación, se mencionan diferentes mecanismos y estrategias de participación, comunicación y concientización, tendientes a contribuir en la generación de un vínculo de confianza entre usuarios y prestadores.

9.1 Participación de los usuarios

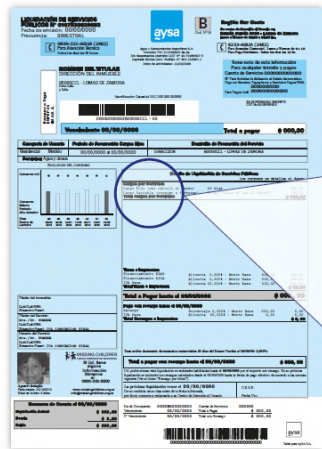
Existen diversas maneras de fomentar la participación de usuarios y partes interesadas en la gestión del agua. Las asambleas anuales que realizan las cooperativas en las que convocan a sus asociados, pueden constituir una instancia propicia para el debate de temas de interés en la gestión de los servicios sanitarios y evacuar dudas a la comunidad.

Fronte de la factura



EVOLUCIÓN DEL CONSUMO

- 1 0800-321-AGUA (2482)
Teléfono para Atención Técnica.
- 2 **SUS DATOS**
Nombre del titular del servicio y dirección.
- 3 6333-AGUA (2482)
Teléfono para Atención Comercial y pago telefónico
- 4 **Nº DE CUENTA DE SERVICIO**
Para gestiones comerciales. También se encuentra el Nº para solicitar la adhesión al Débito Automático y otros medios de pago.
- 5 **FECHA DE VENCIMIENTO**
- 6 **TOTAL A PAGAR**
Total del importe a pagar en el 1er. vencimiento.
- 7 **DESCRIPCIÓN DE LOS ÍTEMES FACTURADOS**
- 8 **FECHA DE 2º VENCIMIENTO**
- 9 **FECHA DE PRÓXIMO VENCIMIENTO**
- 10 **FECHA DE 3º VENCIMIENTO**



Cargos por Servicios

1 **Cargo Fijo** (ver cálculo al dorso de la factura)

2 **Cargo Variable** (ver cálculo al dorso de la factura)

Total cargos por Servicios

- 1 **CARGO FIJO**
Cargo estipulado según:
• Aporte Universal Diario
• Coeficiente de modificación
• Factor de Servicio
- 2 **CARGO VARIABLE**
Cargo estipulado según:
• Coeficiente de modificación
• Zonal
• Edificación
• Tarifa general diaria (según categoría de usuario y servicios prestados)
• Superficie cubierta
• Superficie del terreno

Dorso de la factura

$$\text{Cargo Variable} = \frac{\text{K} \times \text{Zv} \times \text{TGDv} (\$/1000\text{m}^2) \times (\text{SC} \times \text{Ev} + \text{ST}/10)}{0.0000} \times \frac{\text{días del período}}{00} = \text{Total en \$} 000.0$$

FÓRMULA DE CARGO VARIABLE

- 1 **K**: Coeficiente de modificación.*
- 2 **Zv**: Coeficiente zonal para cargo variable.
- 3 **TGDv**: Tarifa general diaria para el cargo variable por los servicios prestados según categoría de usuario.
- 4 **SC**: Superficie cubierta.
- 5 **Ev**: Coeficiente de edificación para cargo variable.
- 6 **ST**: Superficie del terreno.

$$\text{Cargo Variable} = \frac{(\text{CR}-\text{CL}) \times \text{precio m}^3 \times \text{K} \times \text{FS}}{(00 \text{ m}^3 - 0 \text{ m}^3) \times \text{precio m}^3 \times 0.0000 \times 0} = \$ 000.00$$

FÓRMULA DE CARGO VARIABLE (para el SERVICIO MEDIDO)

- 1 **CR**: Consumo registrado o estimado.
- 2 **CL**: Consumo libre.
- 3 **K**: Coeficiente de modificación.*
- 4 **FS**: Factor de servicio (1 si se presta un servicio, 2 si se prestan ambos servicios).

$$\text{Cargo Fijo} = \frac{\text{AUD} \times \text{K} \times \text{FS}}{0.0000 \times 0.0000 \times 0} \times \frac{\text{días del período}}{00} = \text{Total en \$} 000.00$$

FÓRMULA CARGO FIJO

- 1 **AUD**: Aporte universal diario.
- 2 **K**: Coeficiente de modificación.*
- 3 **FS**: Factor de servicio (1 si se presta un servicio, 2 si se prestan ambos servicios).

(*) El valor actual de este componente está vigente desde el 03/05/2017 según Disposición N°19-E/2017 de la Subsecretaría de Recursos Hídricos.

Figura 26. Ejemplo de facturación residencial.

A su vez, pueden considerarse otras estrategias como la organización de reuniones a menor escala para el tratamiento de temas específicos; encuestas de opinión y consultas públicas sobre cuestiones puntuales.

Algunos aspectos claves a tener en cuenta radican en garantizar que se encuentren representados todos los grupos de usuarios del agua (comunidad, empresas, instituciones educativas, municipio, otros); evitar que el proceso de participación sea absorbido por una minoría; y establecer normas de funcionamiento y pautas para resolver disputas.

9.2 Información y comunicación

Para que la gestión de los servicios sanitarios tenga éxito es fundamental contar con acceso a la información sobre el estado de los servicios e infraestructura, la calidad del agua de provisión, obras en curso y requerimientos, problemas y riesgos que deben ser atendidos. Los responsables de la gestión deben contar con información confiable y actualizada en un formato accesible.

En muchas ocasiones los datos están dispersos, son heterogéneos, incompletos y difíciles de compararse entre sí como para ser utilizados en la toma de decisiones. A continuación, se enuncian una serie de aspectos tendientes al desarrollo y funcionamiento de un sistema de información:

- **Generar un sistema interactivo, accesible, asequible y apropiado.**
- **Identificar la necesidad de información y realizar un inventario de datos físicos, sociales y económicos.**
- **Adoptar criterios y nomenclaturas comunes, de modo que los datos sean comparables e interoperativos, tanto a nivel local como regional y nacional.**
- **Asegurar el libre acceso a los datos.**
- **En casos de cooperativas de mayor tamaño, puede ser útil el empleo de sistemas de información geográfica para representar parámetros y monitorear variaciones.**

- **Fomentar la colaboración con otras instituciones involucradas en la gestión de los servicios sanitarios.**
- **Desarrollar capacidades en recursos humanos e infraestructura a fin de recolectar, procesar datos y divulgar la información.**
- **Elaborar programas de monitoreo de los recursos hídricos y los usos del agua.**
- **Desarrollar indicadores tendientes a evaluar la gestión del recurso.**

9.3 Campañas de concientización y programas educativos

Las campañas de generación de conciencia y los programas de educación dirigidos a la población permiten impulsar el apoyo y compromiso de la comunidad en la gestión del agua. Son útiles para mantener informada a la comunidad sobre aspectos tales como la calidad del agua, la prevención de pérdidas y la minimización de riesgos de contaminación del recurso hídrico.

El público al cual están dirigidos puede ser heterogéneo, desde instituciones educativas, comunidad en general, actividades comerciales, instituciones gubernamentales, entre otros; motivo por el cual se requiere de un lenguaje comprensible.

Complementariamente, las campañas de generación de conciencia pública pueden generar un cambio en el pensamiento y hábitos cotidianos, en pos de utilizar el agua de manera más eficiente y prevenir su contaminación.

9.4 Herramientas de comunicación

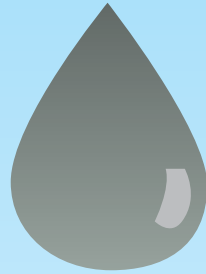
El abordaje de las cuestiones vinculadas con el servicio en forma conjunta requiere la comunicación de la información a través de distintos medios locales como periódicos, radio y televisión, sitios de internet, servicio de atención telefónica y personal en las oficinas. A su vez, puede emplearse material impreso (boletines informativos, folletos

incorporados en las facturas de los servicios) y la presentación de anuncios y publicaciones en la cartelera de las oficinas de las cooperativas.

Las estrategias participativas como reuniones y talleres pueden ser convenientes a fin de potenciar la interacción con la comunidad, dado que estimulan la comunicación y el aprendizaje mutuo.

Segunda parte

SISTEMAS DE SANEAMIENTO



10 Situación actual

La población mundial se incrementa continuamente y se concentra en las ciudades en búsqueda de trabajo y recursos. En los países en desarrollo las zonas periurbanas crecen desordenadamente, sin servicios esenciales, lo que genera condiciones de vida con riesgos para la salud. A su vez, la falta de saneamiento genera contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, dificultando la disponibilidad de fuentes aptas para el abastecimiento a la población.

En Latinoamérica alrededor del 90 % de las aguas residuales urbanas se vuelcan en los cursos receptores con poco o ningún tratamiento, situación que se refleja en muchas localidades de la Provincia de Buenos Aires.

Las grandes ciudades tienen redes de alcantarillado para aguas residuales (cloacas), pero muchas carecen de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) adecuada a su tamaño, por los elevados costos que implica su construcción. La mayoría de las ciudades medianas o pequeñas tienen una PTAR construida entre las décadas de 1960 a 1980. En relación a su operatividad, muchas no alcanzan a producir efluentes de calidad por su diseño anticuado, escaso mantenimiento y falta de operación adecuada. Además, no disponen de un sistema de gestión de lodos adaptado a las exigencias ambientales actuales.

Muchas comunidades pequeñas, aproximadamente unos 400 pueblos rurales de menos de 2.000 habitantes, permanecen sin servicio de saneamiento por falta de tecnologías eficientes y económicamente accesibles. La población de los barrios suburbanos de grandes ciudades, de pequeños pueblos y la población rural, utiliza por tradición cultural el denominado pozo ciego como destino de las aguas residuales domésticas. Estas instalaciones normalmente tienen un efecto negativo sobre la calidad del agua subterránea, que en general es la fuente de provisión para el consumo.

11 Saneamiento para pequeñas poblaciones, barrios y viviendas aisladas

Los sistemas de saneamiento convencionales se desarrollaron para resolver el problema de las grandes ciudades, mediante redes colectoras y PTARs. Hasta la mitad del siglo XX las PTARs se diseñaban para eliminar sólidos suspendidos (que generan turbidez), carga orgánica (DQO - DBO, que consume oxígeno) y microorganismos patógenos (que transmiten enfermedades). Posteriormente se incluyeron nuevas etapas para eliminar otros contaminantes, como nitrógeno y fósforo, que afectan el ambiente. Esta evolución motivó que las PTARs se convirtieran en instalaciones más complejas, cuya instalación, operación y mantenimiento a menor escala, involucra costos que resultan muy onerosos para ser afrontados con tasas de servicio razonables por los usuarios.

Desde la década de 1980 se comenzaron a desarrollar y aplicar metodologías alternativas para el saneamiento de núcleos urbanos medianos y pequeños. La tecnología más utilizada es la de humedales construidos, en sus diferentes variantes, de flujo superficial, horizontal o vertical.

La concepción actual de los sistemas de saneamiento modifica un viejo paradigma e incorpora la idea de la descentralización. Este concepto surge de la evidencia empírica de que los sistemas de tratamiento convencionales no pueden crecer indefinidamente y atender todas las escalas de densidad poblacional con la misma efectividad. Las áreas suburbanas o los núcleos urbanos periféricos se tratan como pequeñas poblaciones, instalando servicios de saneamiento independientes mediante el uso de tecnologías más extensivas, pero menos demandantes de costos de operación y mantenimiento.

Existen tres modelos básicos de estrategias para el saneamiento: urbano, comunitario y autónomo (**Cuadro 5**).

	Sistemas de tratamiento		
	URBANOS	COMUNITARIOS	AUTÓNOMOS
ETAPAS			
Pretratamiento	Rejas Desarenador	Rejas Desarenador	- - - - -
Tratamiento primario	Sedimentador	Cámara séptica (<200 Hab.) Tanque Imhoff (<1000 Hab.)	Cámara séptica Biodigestor
Tratamiento secundario	Lodos activados Lecho percolador Lagunas de estabilización	Humedales: (Flujo horizontal, Flujo vertical, Sistema Francés, Sistemas híbridos, Lagunas de estabilización)	Terreno de infiltración, Humedal-cantero, Pozo absorbente
Tratamiento terciario	Métodos físico-químicos Humedales de flujo superficial	- - - - -	- - - - -
Tratamiento de lodos	Humedales de secado con plantas	- - - - -	- - - - -

Cuadro 5. Tres modelos de estrategias para el saneamiento.

11.1 Sistemas urbanos

En las grandes ciudades se utilizan los sistemas convencionales. Redes colectoras que drenan las aguas residuales y las conducen a una PTAR. El método es muy eficiente y produce efluentes con muy baja concentración de contaminantes, no obstante, se trata de grandes caudales, que descargan contaminantes perjudiciales para el ambiente en un solo punto (Figura 27).

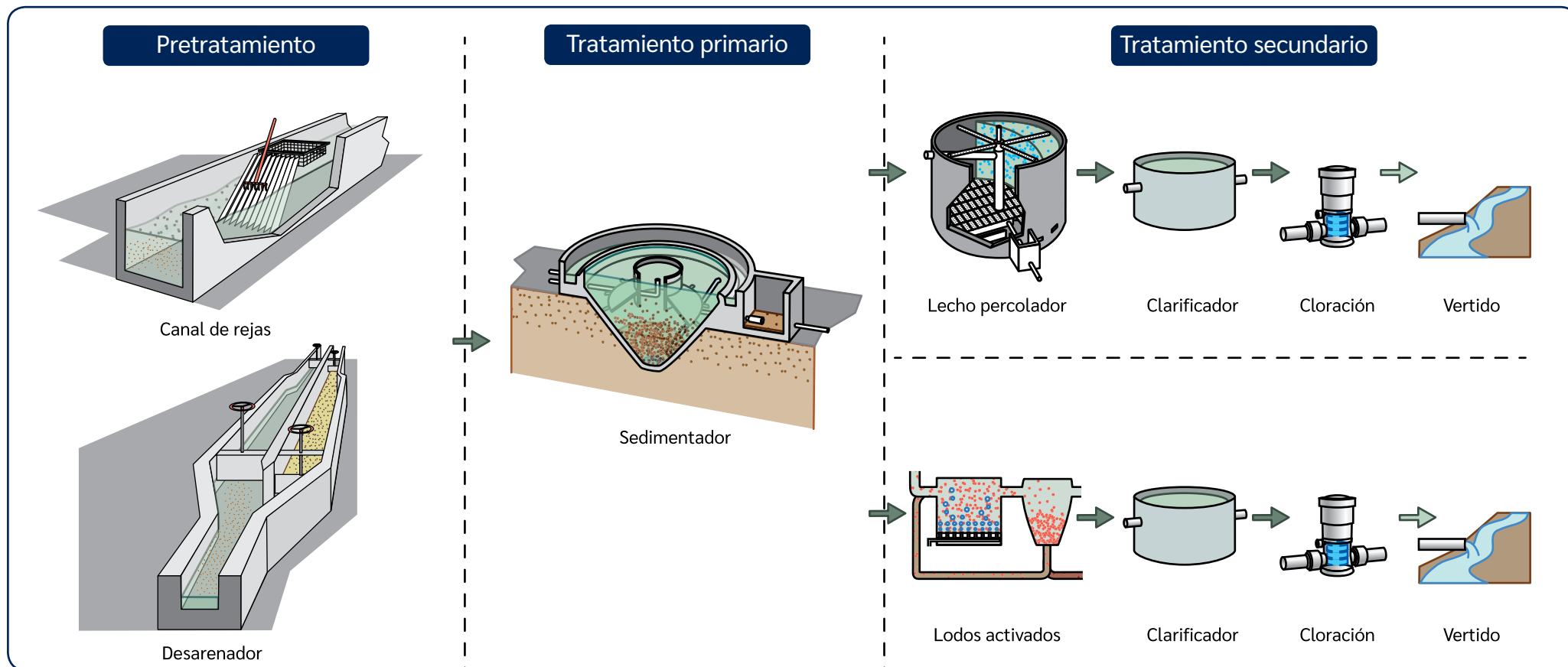


Figura 27. Sistemas urbanos.

11.2 Sistemas comunitarios

Son sistemas de tratamiento diseñados para núcleos de hasta 2000 habitantes. Se aplican en pueblos pequeños, barrios periféricos con alta densidad poblacional por unidad de área o en zonas donde las características del suelo no permiten el uso de sistemas de tratamiento autónomos (Figura 28).

Utilizan una red colectora cloacal que conduce las aguas residuales de todas las casas a un punto cercano, donde se instala el sistema de tratamiento con tecnología de humedales. En algunos casos se instala una cámara séptica en cada casa, para retención de sólidos. Si la red conduce los efluentes completos, se hace un tratamiento primario mediante una cámara séptica o un tanque Imhoff dependiendo del tamaño de la comunidad servida, seguido de un tratamiento secundario y terciario mediante un humedal construido. En los sistemas más pequeños el efluente final se infiltra, mientras que, en los más grandes, el tratamiento se ubica próximo a un receptor final, como un arroyo o un río.

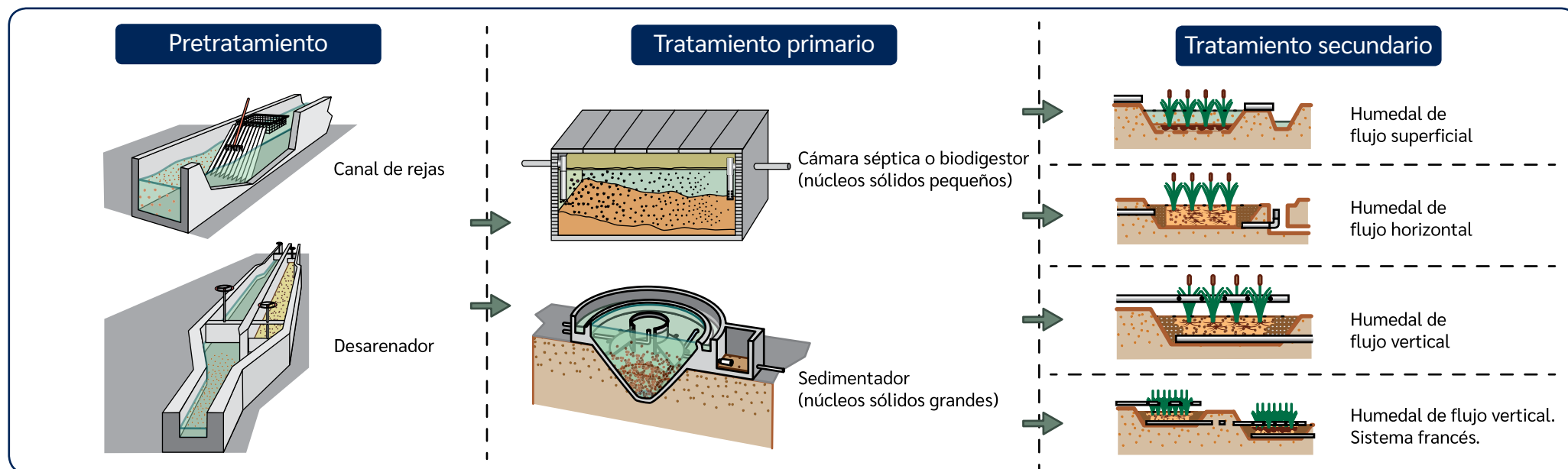


Figura 28. Sistemas comunitarios.

11.3 Sistemas autónomos

Se utilizan en casas aisladas, rurales o en zonas periurbanas, residenciales, construidas sobre lotes amplios. Consisten en un tratamiento primario (cámara séptica) y una infiltración en el suelo (zanjas de infiltración o pozo absorbente). Si bien el suelo puede colmatarse por el uso prolongado, un sistema bien diseñado y construido, asegura una vida útil de 20 años o más. Si el terreno no presenta la permeabilidad requerida, el efluente de la cámara séptica es tratado en un humedal construido y la salida se infiltra, se reutiliza para riego o se vuelca en un curso receptor, como un arroyo o zanja (Figura 29).

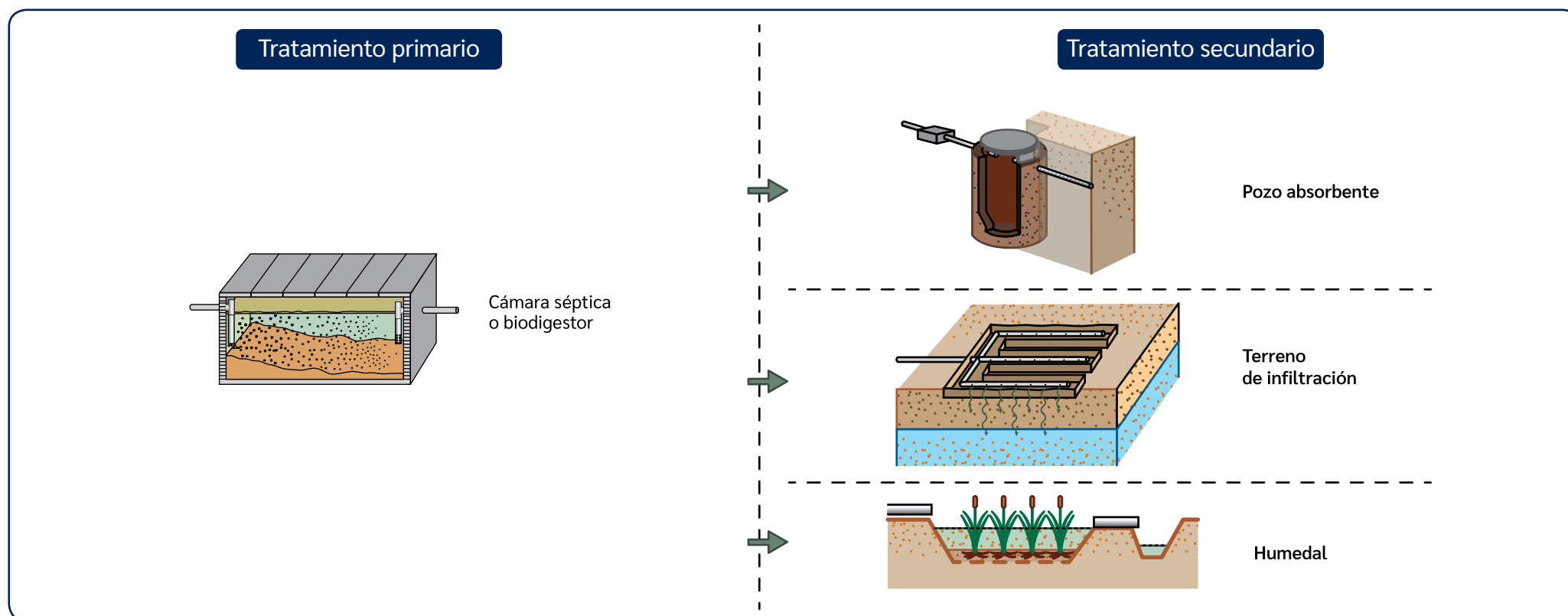


Figura 29. Sistemas autónomos.

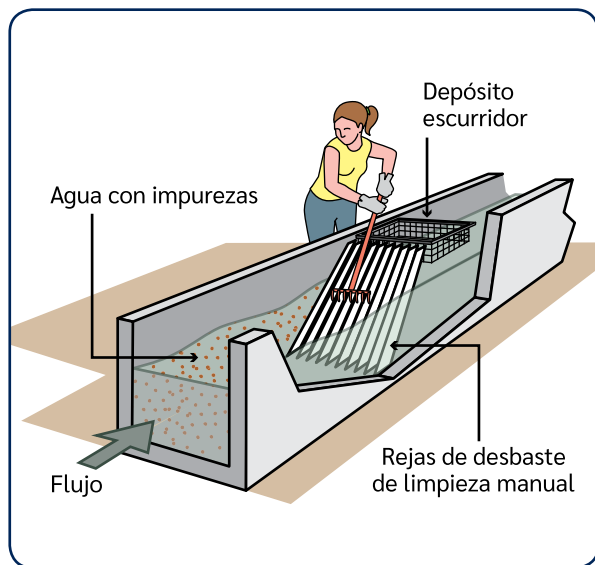


Figura 30. Pretratamiento. Desbaste. Canal de rejillas.

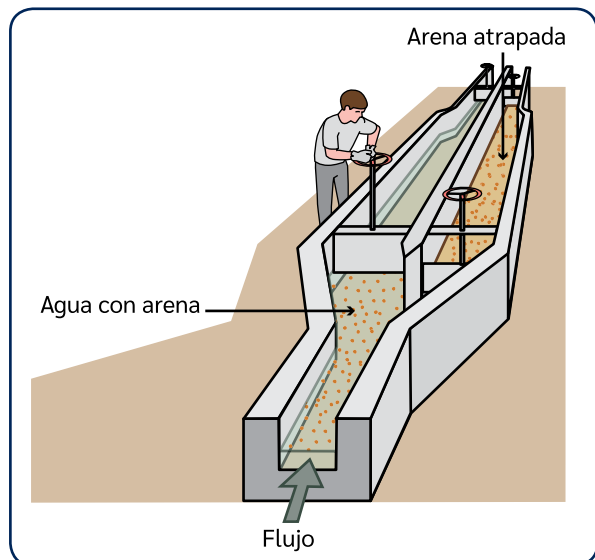


Figura 31. Pretratamiento. Desarenador.

12 Tecnologías para sistemas urbanos

En las tecnologías convencionales, el tratamiento de las aguas residuales urbanas está dividido en varias etapas: pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.

12.1 Pretratamiento

Incluye operaciones físicas y mecánicas, con el objetivo de separar los materiales que pueden originar la obstrucción de tuberías, válvulas y bombas o el desgaste de equipos. Generalmente comprende un desbaste y un desarenado.

El desbaste consiste en la eliminación de los sólidos de tamaño grande y mediano (trozos de madera, trapos, envases de plástico, etc.), haciendo pasar el agua a través de rejillas gruesas (20 a 60 mm de paso entre barrotes) y rejillas finas (6 a 12 mm) (Figura 30). El desarenado consiste en la extracción de las arenas y gravas, haciendo pasar el agua por un canal donde pierde energía y los sólidos que sedimentan en 10 minutos, se depositan en el fondo protegiendo los equipos mecánicos contra la abrasión (Figura 31).

12.2 Tratamiento primario

Su objetivo es eliminar los sólidos que sedimentan en 2 horas. Generalmente se usan tanques sedimentadores, circulares o rectangulares, combinados con un digestor anaeróbico Imhoff en el fondo. Los sólidos sedimentan en la parte superior y se acumulan en el digestor del fondo. La fracción orgánica de los sólidos retenidos se digiere en anaerobiosis, lo que reduce mucho su volumen. Este proceso es muy importante, debido a que los sólidos contienen mucha demanda de oxígeno, sumado a que la comunidad microbiana del tratamiento secundario no puede digerir partículas macroscópicas. La operación requiere una extracción de lodos digeridos con cierta frecuencia. El tratamiento primario reduce un 40 -70 % los sólidos sedimentables y un 25 - 40 % la carga orgánica total (Figura 32).

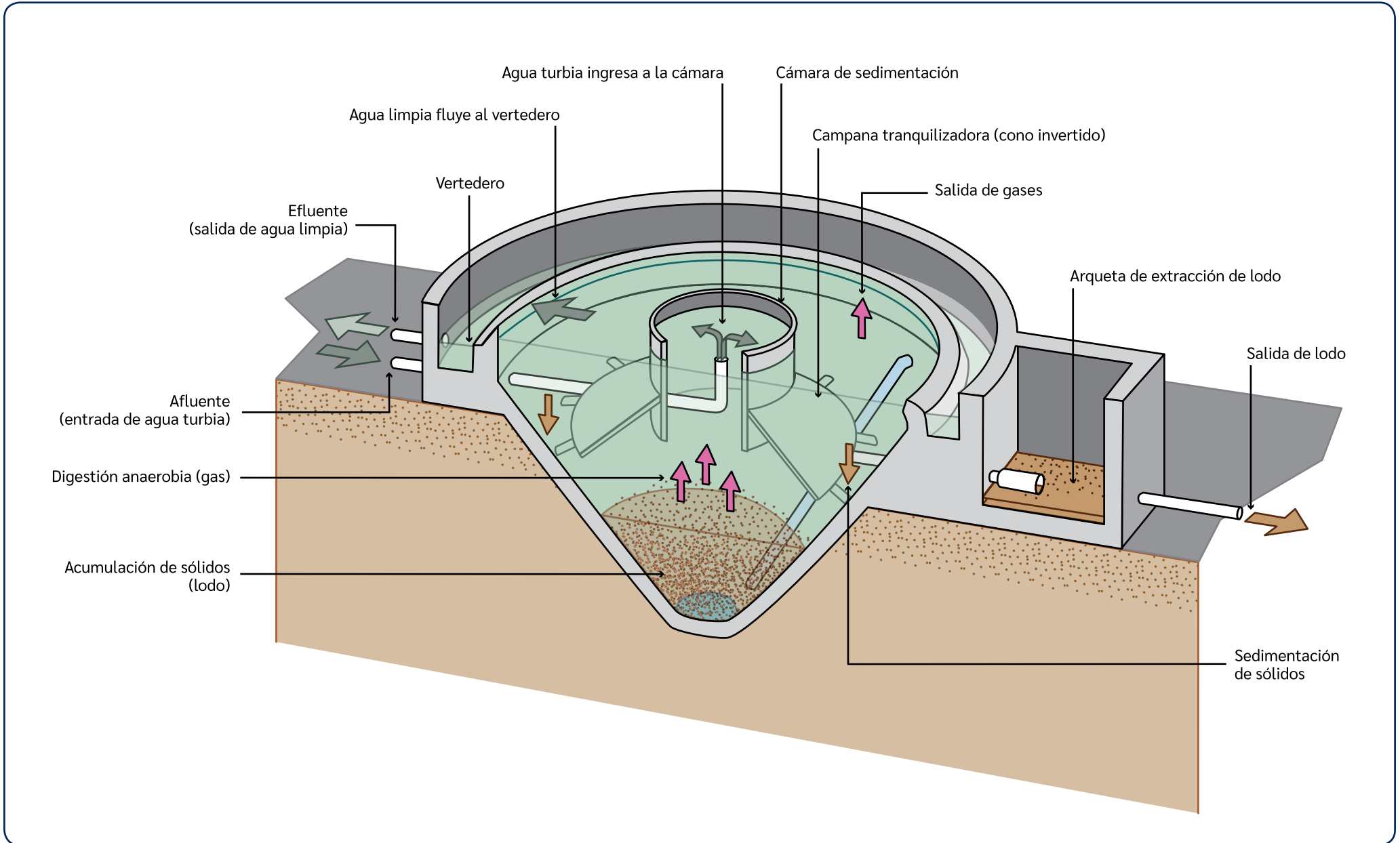


Figura 32. Tratamiento primario. Sedimentador.

12.3 Tratamiento secundario

Su objetivo es reducir la carga orgánica biodegradable, poniendo en contacto el agua residual decantada con una comunidad microbiana que digiere los contaminantes por metabolismo aeróbico. Las tecnologías más utilizadas en nuestra región son los lechos percoladores (reactores de biomasa fija) y los lodos activados (reactores de biomasa suspendida).

• **Lecho percolador:** Consta de un reactor biológico y un sedimentador secundario o clarificador. El reactor es un cilindro, lleno con piedras o material plástico en forma de panal de abejas, que sirve de soporte a la biomasa microbiana que realiza el proceso de biodegradación (Figura 33).

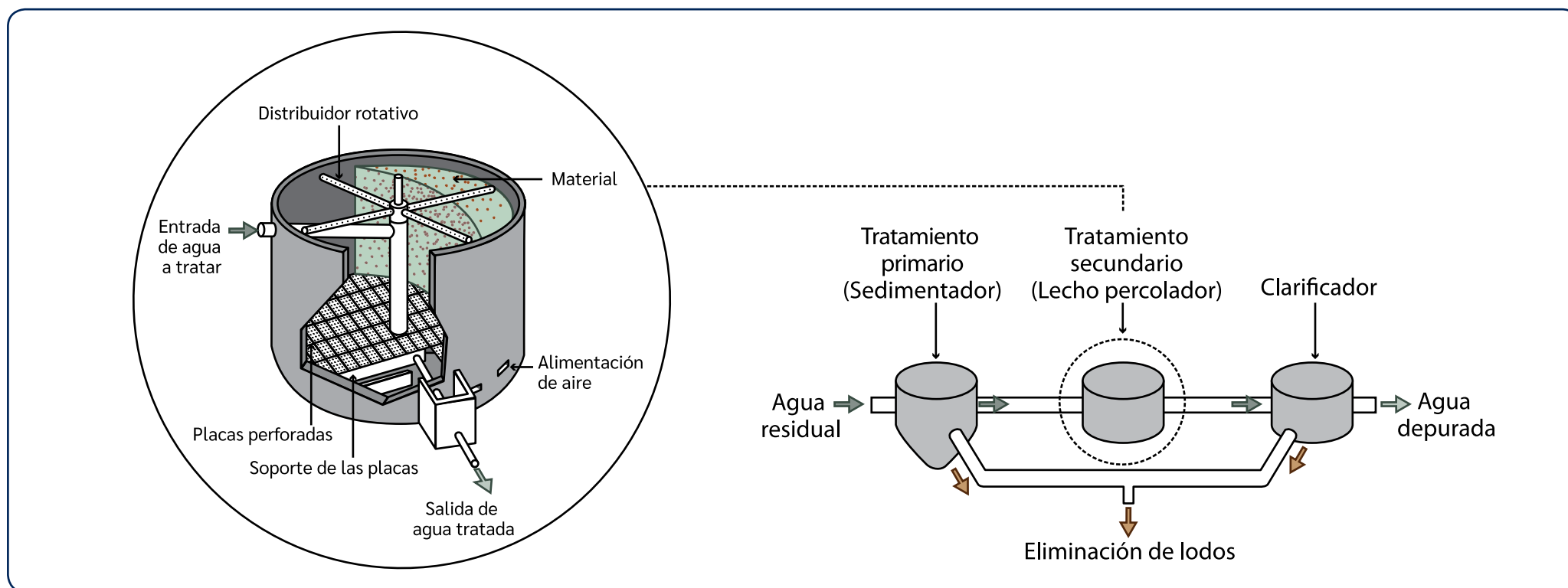


Figura 33. Tratamiento secundario. Lecho percolador.

Un distribuidor rotativo, situado en la parte superior, dispersa el agua residual decantada que cae mojando el relleno y humedece la comunidad microbiana (biofilm) que lo recubre. El biofilm absorbe los contaminantes a partir de los cuales se alimenta y excreta sus subproductos de metabolismo. En el fondo del reactor, el agua se deposita en una pileta y sale hacia el clarificador. El aire dentro del reactor se renueva permanentemente por corrientes de convección que aportan oxígeno. El biofilm crece continuamente; una porción se desprende y sale con el efluente, siendo retenido en el fondo del clarificador. Normalmente los sólidos que se acumulan en el clarificador son bombeados al digester del tratamiento primario.

• **Lodos activados:** Consta de una pileta de aireación (reactor) y un sedimentador secundario o clarificador. El agua residual decantada ingresa a la pileta donde, agitadores mecánicos o difusores de aire producen una mezcla completa y oxigenación del agua. La comunidad microbiana suspendida (biomasa), absorbe y digiere los contaminantes biodegradables. El líquido del reactor que contiene la biomasa (licor mixto) rebalsa y pasa al clarificador, donde la biomasa flocula y sedimenta, y el agua clarificada sale por un vertedero superficial. Una bomba de fondo recircula la biomasa concentrada hacia la pileta de aireación. La biomasa se incrementa continuamente y todos los días se debe descartar una cantidad igual a la producida, para mantener una concentración ideal. El descarte de lodos produce sólidos que deben ser tratados antes de su disposición (**Figura 34**).

Una variante de los lodos activados son los denominados reactores en carrusel, cuyo principio de funcionamiento es el mismo, pero con mayor tiempo de residencia y menor producción de sólidos de descarte.

Aguas residuales
del tratamiento
primario

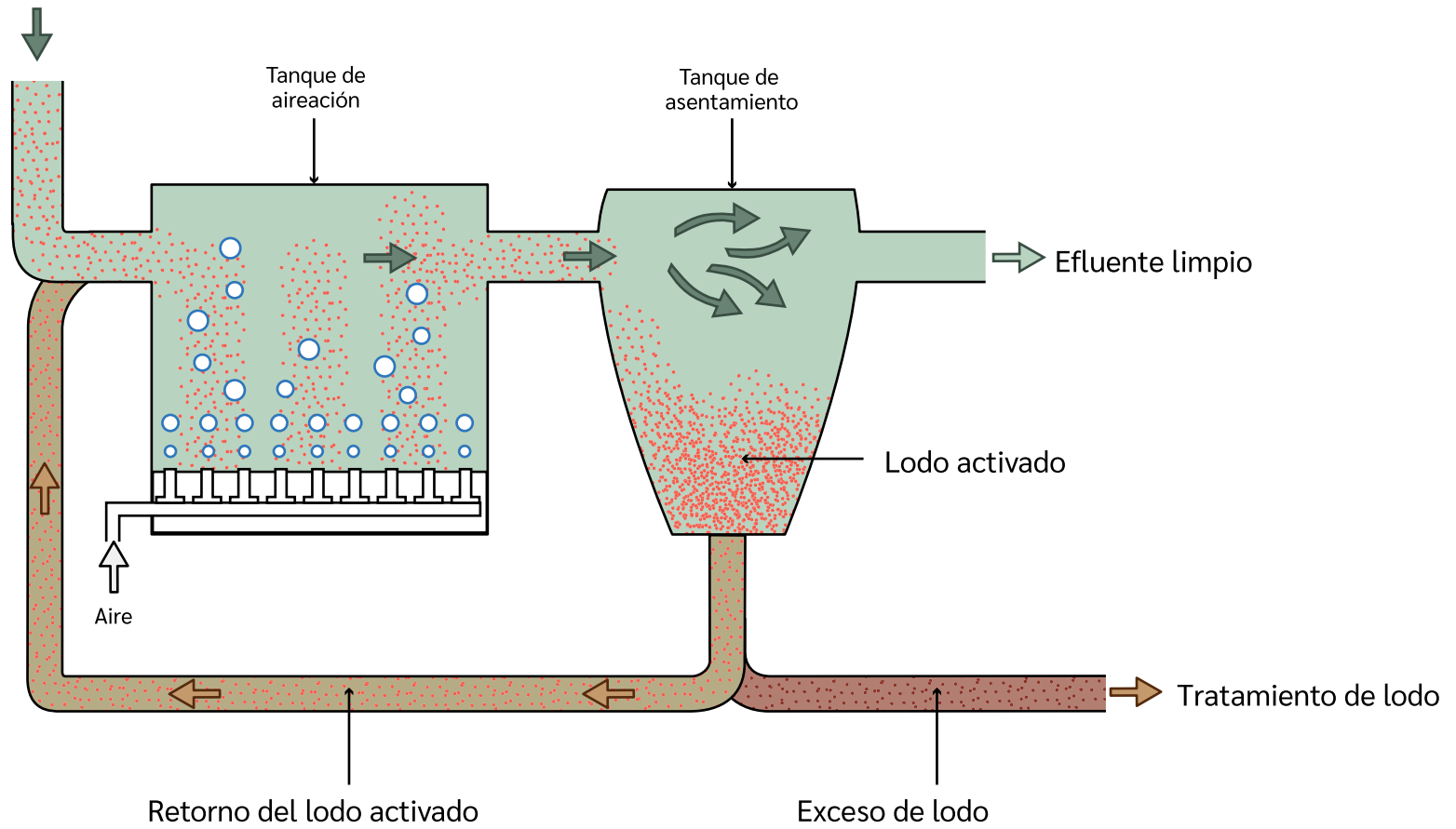


Figura 34. Tratamiento secundario. Lodos activados.

12.4 Tratamiento terciario o avanzado

Su objetivo es reducir contaminantes disueltos como nutrientes y metales, además de completar la eliminación de DBO_5 y materiales en suspensión. La eliminación de nitrógeno se logra mediante dos procesos biológicos: la nitrificación (oxidación de amonio a nitratos, aeróbico), seguido de la desnitrificación (reducción de nitratos a nitrógeno molecular, anaeróbico). La eliminación del fósforo se realiza mediante procesos de precipitación química, empleando sales de hierro y de aluminio. En nuestro medio no hay plantas con tratamiento terciario.

En el Cuadro 6 se resumen el porcentaje de eliminación en las etapas de depuración.

Etapas de depuración	Sólidos en suspensión	DBO_5	Escherichia coli
Pretratamiento	5 - 15	5 - 15	10 - 25
Tratamiento primario	40 - 70	25 - 40	25 - 70
Tratamiento secundario	80 - 90	80 - 95	90 - 98
Tratamiento terciario	90 - 95	95 - 98	98 - 99

Cuadro 6. Rendimiento de eliminación (%) de contaminantes en distintas etapas de la depuración.

12.5 Lagunas de estabilización

Es una tecnología natural, de baja complejidad, aplicable a muy diferentes escalas, desde pequeñas poblaciones hasta grandes ciudades. Consiste en una serie de cubetas, normalmente tres o más limitadas con tabiques de tierra (terraplenes) e impermeabilizadas con film o por compactación del suelo. Los efluentes se vuelcan en la primera cubeta y pasan de una en otra por gravedad (rebalse).

En la masa de agua se desarrolla una comunidad planctónica (algas, bacterias, protozoos y crustáceos), donde las algas hacen fotosíntesis y producen oxígeno; y las bacterias hacen una oxidación aeróbica de la materia orgánica del agua residual (Figura 35).

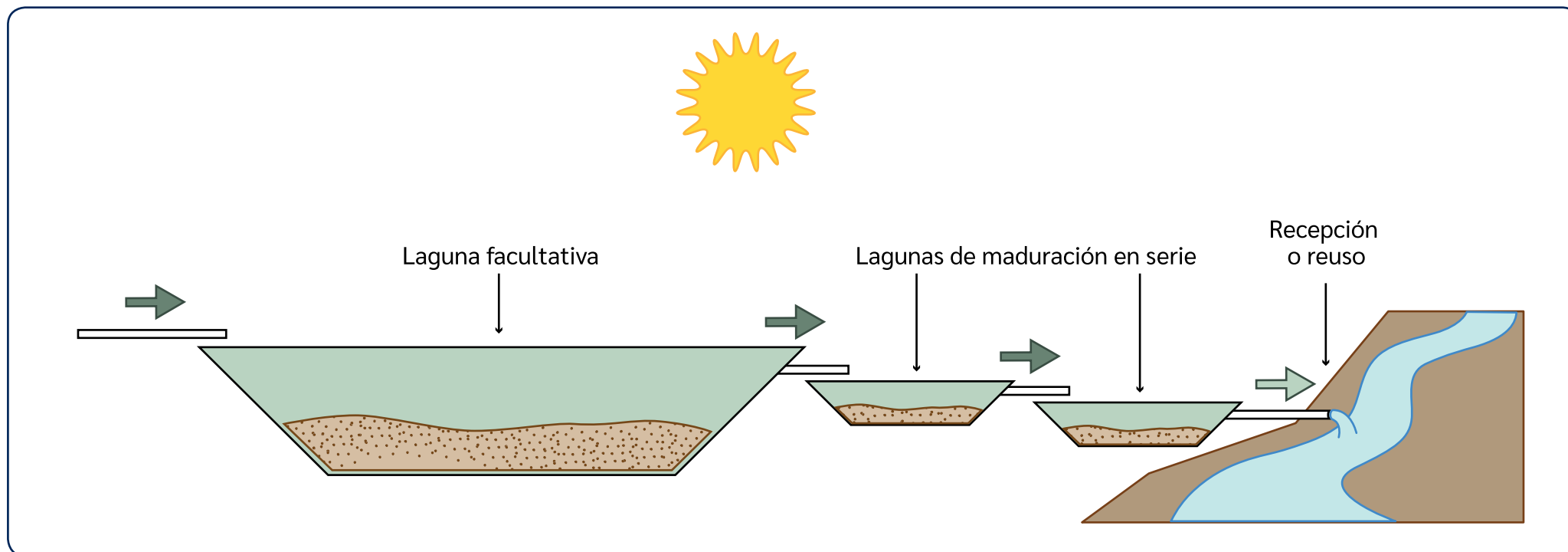


Figura 35. Lagunas de estabilización.

Si la cubeta es poco profunda (1 m) la luz llega al fondo y hay oxígeno en toda la columna de agua se denomina laguna aeróbica. Si es más profunda (1,5 – 1,8 m) y tiene una zona oscura y anóxica en el fondo, se denomina laguna facultativa. Si la carga orgánica superficial (Kg DBO/Ha.d) es muy elevada, el consumo de oxígeno bacteriano supera la producción fotosintética y la laguna se denomina anaeróbica, las algas tienden a desaparecer y el agua se torna oscura y olorosa.

Para el tratamiento de efluentes de baja carga (municipal, cloacal), se utiliza una serie integrada con una laguna facultativa y dos lagunas de maduración, sin lagunas anaeróbicas. Para efluentes de alta o muy alta carga (frigoríficos, industrias alimenticias), los sistemas se diseñan con una o más lagunas anaerobias y luego una facultativa y dos de maduración.

Si los líquidos no reciben un tratamiento primario previo, la primera laguna debe ser más profunda para alojar los sólidos sedimentables (SS) que se depositan. En el fondo, en condiciones anaerobias, la fracción orgánica de esos sólidos se hidroliza y se descompone por fermentación ácida y metánica. El volumen depositado se reduce notablemente y solamente se acumula el material inorgánico, principalmente en la época invernal.

Un sistema de lagunas puede reducir el 95% de los SS, el 90 % de la DBO, > 50% del N, entre el 35 y el 70% del P y entre 99,9% y 99,99% de los patógenos, de manera que produce un efluente con tratamiento primario, secundario y parte del terciario.

Son sistemas que requieren poco trabajo y costos de operación y mantenimiento, que se reducen al verificar que no haya obstrucciones en los conductos o pérdidas en los terraplenes.

12.6 Tecnologías complementarias

En algunas circunstancias las PTARs, por exceso de carga o falta de mantenimiento, no alcanzan a producir un efluente con los parámetros de calidad establecidos por la normativa. Las tecnologías que se enuncian a continuación, funcionan como instalaciones complementarias que permiten alcanzar la condiciones de vuelco y disposición final exigidos por la legislación vigente.

12.6.1 Humedales de flujo superficial para pulido de efluentes con tratamiento secundario

Son sistemas similares a los humedales naturales. Consisten en una o más cubetas cavadas sobre terreno de muy baja permeabilidad o impermeabilizados con film de polietileno, de poca profundidad (0,30 m – 0,60 m), limitados por terraplenes y sembrados con plantas acuáticas emergentes (**Figura 36**). El agua residual ingresa por un extremo, discurre a baja velocidad en contacto con las plantas y la atmósfera y rebalsa por

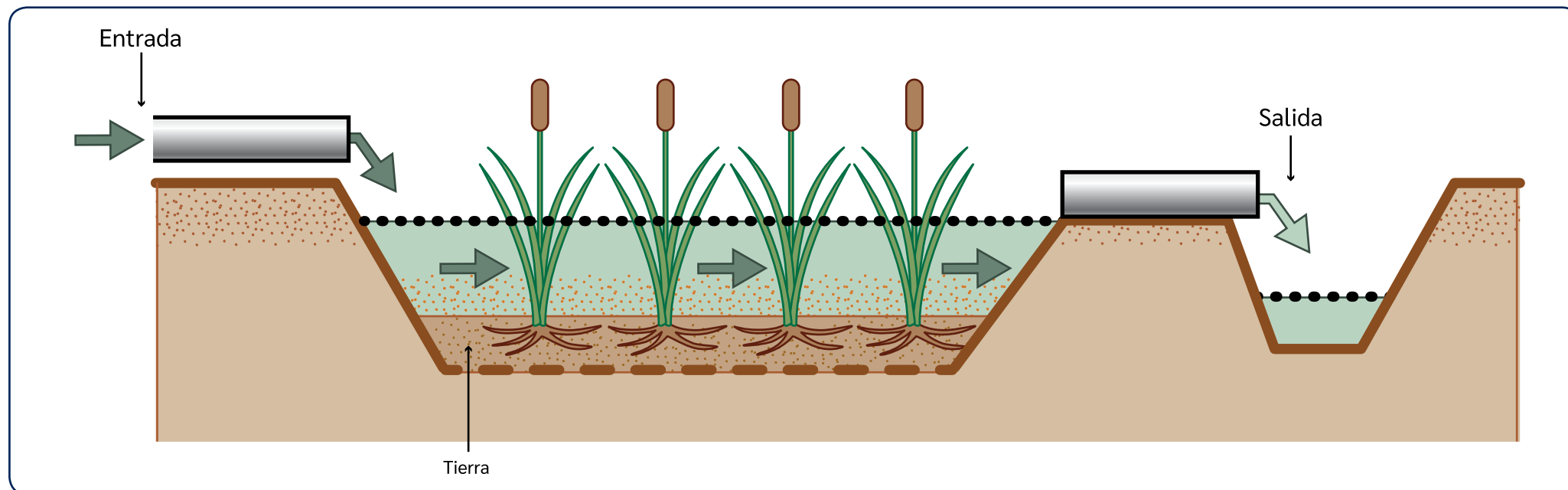


Figura 36. Humedales construidos. Flujo superficial.

el otro extremo. La presencia de macrófitos favorece los procesos de sedimentación. Una comunidad microbiana que se desarrolla libre en el agua y que tapiza las plantas y el sedimento, absorbe y se nutre de los residuos que contiene el agua depurándola a su paso. Esta tecnología permite obtener buenas tasas de remoción de sólidos totales (ST), carga orgánica (DBO), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y microorganismos patógenos (CF). Mejora los tratamientos primario y secundario y realiza tratamiento terciario.

12.6.2 Humedales de tratamiento de lodos

El tratamiento de los lodos generados en las PTARs mediante humedales o lechos vegetados es una tecnología natural, relativamente moderna. Consiste en un sistema de 8 a 12 celdas, con estructura similar a las playas de secado. Las celdas pueden ser construidas de mampostería y fondo de hormigón o cavadas en el terreno, impermeabilizado por compactación o con film plástico y bordes laterales con terraplenes.

En el fondo de cada celda se coloca una red de drenaje de caños perforados incluida en una capa de material filtrante (piedra). Encima, una capa superficial, de arena o tierra negra, se siembra con especies vegetales adaptadas a vivir en suelos anegados o inundables.

Cada celda recibe lodos durante uno o dos días, en orden consecutivo y descansa el resto. Durante el tiempo de descanso el agua del lodo infiltra y vuelve al tratamiento a través del drenaje de fondo. Los sólidos se acumulan en la superficie de la celda, se deshidratan y se mineralizan en el lugar por acción de los microorganismos del suelo. Sin necesidad de ser extraídos frecuentemente, se acumulan y transforman en un compost orgánico, reutilizable como adenda para suelos cuando se vacían las celdas, una vez cada 10 años (Figura 37).

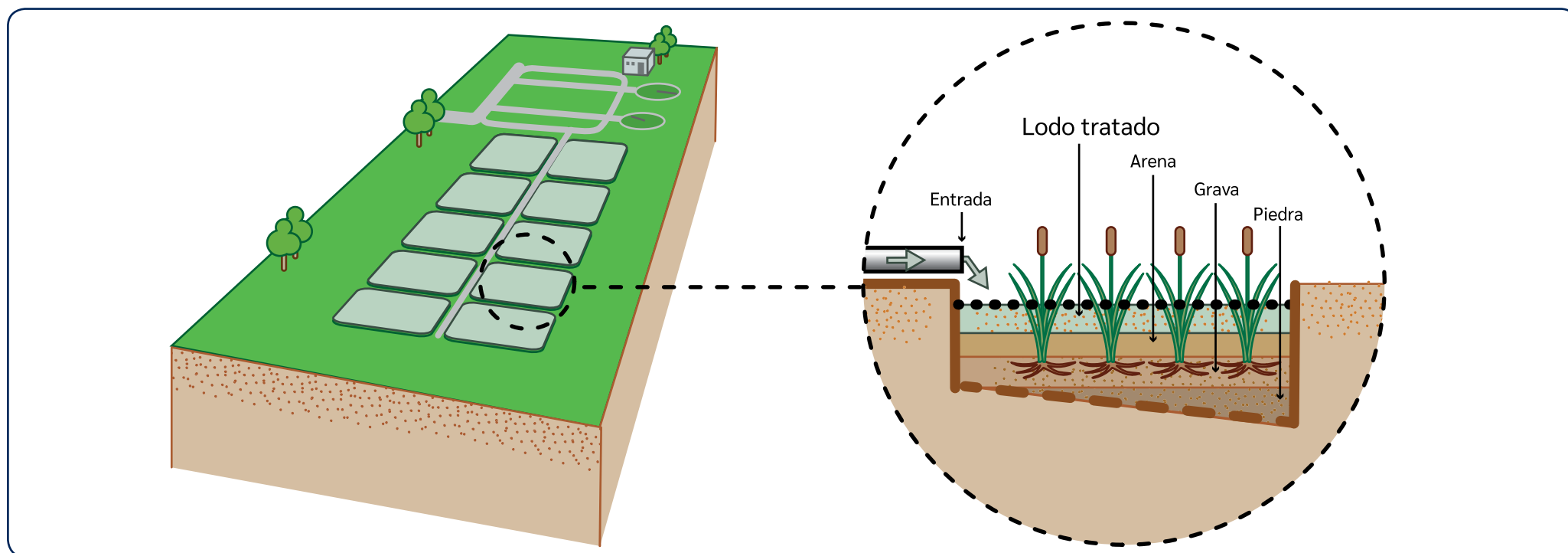


Figura 37. Humedales de tratamientos de lodos.

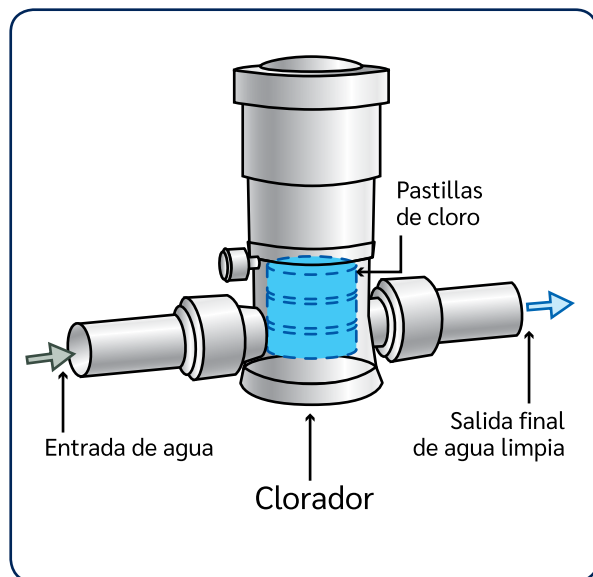


Figura 38. Desinfección.

12.7 Desinfección.

Los efluentes tratados todavía contienen microorganismos patógenos y deben ser desinfectados antes de su vertido a un curso receptor.

Como se explicó en la primera sección de este manual, el cloro es un poderoso agente oxidante que se utiliza como desinfectante eficaz en el tratamiento del agua potable y también de las aguas residuales. El cloro se puede agregar al agua en forma líquida, como hipoclorito de sodio (NaOHCl , lavandina), o en forma sólida, como hipoclorito de calcio (Ca(OHCl)_2 , en pastillas). Cuando se agrega hipoclorito al agua se forma ácido hipocloroso (HOCl) y el aumento de pH resultante promueve la formación del anión, OCl^- , que es una forma libre de cloro. Debido a su naturaleza oxidativa, el cloro libre reacciona destruyendo los compuestos reducidos que contengan las aguas residuales, sulfuros, hierro ferroso, materia orgánica y amoníaco. La materia orgánica incluye los microorganismos patógenos mencionados.

El cloro se agrega al efluente final por goteo o con una bomba dosificadora (cloro líquido) o con un contenedor de pastillas (cloro sólido), intercalado en el paso del agua residual previo a una pileta de contacto que asegura la mezcla y un tiempo mínimo (15 minutos) de reacción (**Figura 38**).

La cantidad de cloro reactivo necesario para desinfectar un volumen de agua, se conoce como demanda de cloro y se define como la diferencia entre la concentración de cloro inicial y de cloro residual, después de 15 minutos de contacto. La demanda de cloro de los efluentes de tratamientos biológicos convencionales oscila entre 10 y 25 mgCl/l .



Para ampliar información sobre este tema, consultar:

- **García Serrano, J. y A. Corzo Hernández (2008)**

<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/2474>

- **Huertas, R.; C. Marcos; N. Ibarguren y S. Ordás (2013).**

<http://www.comunidadism.es/herramientas/guia-practica-para-la-depuracion-de-aguas-residuales-en-pequenas-poblaciones>

13 Tecnologías para sistemas comunitarios

Los sistemas comunitarios están conformados por un tratamiento primario (cámara séptica hasta 200 habitantes o tanque Imhoff, hasta 1000 habitantes) y un tratamiento secundario y terciario realizado mediante algún tipo de humedal construido. Los fundamentos del tanque Imhoff ya fueron explicados y los de la cámara séptica se describen con los sistemas autónomos. Los diferentes tipos de humedales construidos se detallan a continuación.

13.1 Humedales de flujo superficial

Se utilizaron durante muchos años para tratamiento de aguas residuales crudas con un tratamiento primario previo, preferentemente en zonas rurales ya que pueden generar olores o proliferación de mosquitos. Actualmente se utilizan principalmente como tratamiento terciario o pulido de efluentes de PTARs. Se diseñan con una impronta de 5 – 10 m²/PE.

Un sistema de humedales de flujo superficial con una carga de 60 Kg DBO/Ha.d, 70 Kg TSS/Ha.d y 15 Kg NTK/Ha.d puede producir un efluente que cumple con el estándar de tratamiento secundario de 30 mg/l de DBO y SST y 10 mg/l de NTK. La eliminación del fósforo depende de las condiciones físico-químicas que se generen dentro del humedal.

13.2 Humedales de flujo subsuperficial horizontal

Consiste en una cubeta cavada en la tierra, impermeabilizada, rellena de un material poroso (arena, grava, piedra partida) y vegetada con especies acuáticas (halófitas) emergentes. Si el suelo presenta un elevado contenido de arcillas se impermeabiliza compactando el fondo, en caso contrario se dispone un film de polietileno (**Figura 39**).

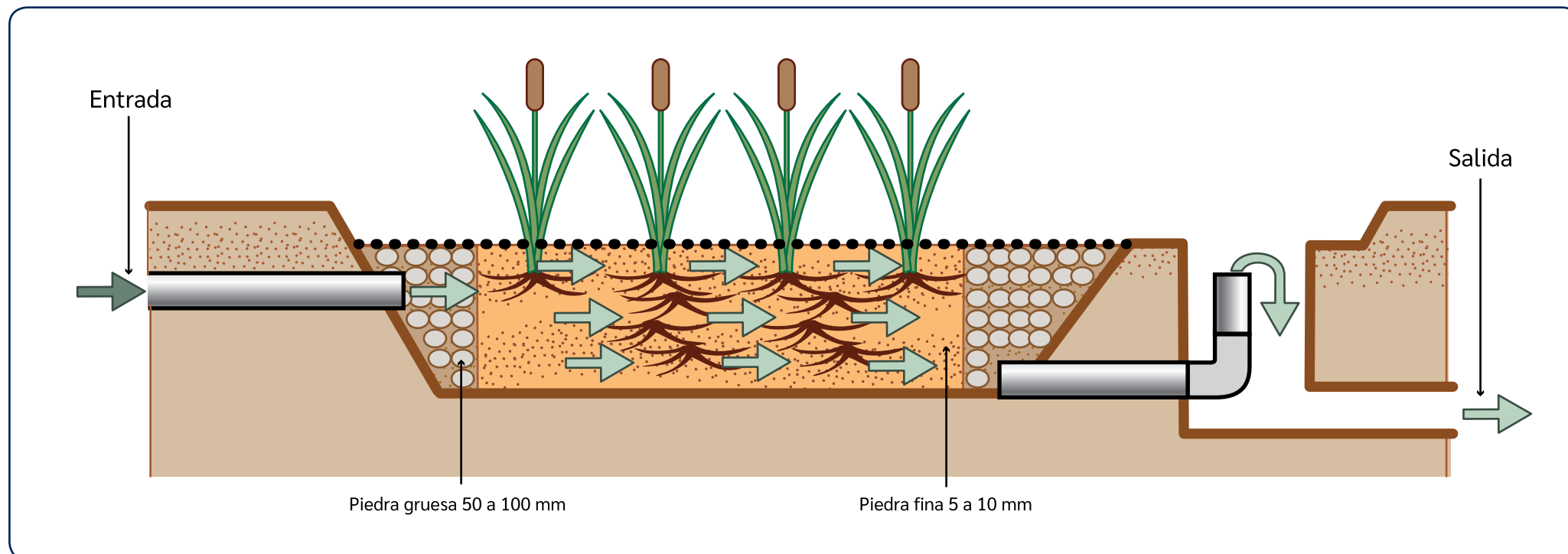


Figura 39. Humedales construidos. Flujo horizontal (SSF).

El agua residual que llega desde el tratamiento primario (cámara séptica, tanque Imhoff) ingresa y se distribuye en el ancho de la cubeta mediante un caño perforado. Circula en sentido horizontal, con muy baja velocidad a través del medio poroso y entre las raíces de las plantas (rizósfera). La comunidad microbiana que se desarrolla sobre el relleno y las raíces, absorbe y se nutre de los residuos presentes en el agua. Al llegar al extremo opuesto, es colectada por una estructura similar a la de entrada, que desemboca en una cámara con un regulador de nivel.

La cubeta funciona siempre llena (relleno saturado) y la superficie del agua se mantiene unos centímetros por debajo de la superficie del medio granular, mediante el regulador de nivel de la salida. Tales condiciones garantizan la ausencia de olores, mosquitos y evitan el contacto con el agua séptica.

Se utilizan para el tratamiento de casas individuales (autónomo) hasta pequeñas poblaciones (comunitario). Se diseñan a razón de 5 – 6 m²/PE y pueden alcanzar una remoción del 90 % de la carga orgánica (DBO) y de los sólidos totales (ST).

13.3 Humedales de flujo vertical

Consiste en una cubeta cavada en la tierra, limitada por terraplenes e impermeabilizada con un film de PE, PVC o por arcilla compactada, que contiene un material filtrante plantado con especies acuáticas. El mismo está compuesto por capas de grava o arena de tamaño seleccionado, las más gruesas en el fondo y las más finas en el nivel superior. En superficie se dispone una red de caños perforados que distribuye los líquidos por toda el área del lecho (**Figura 40**).

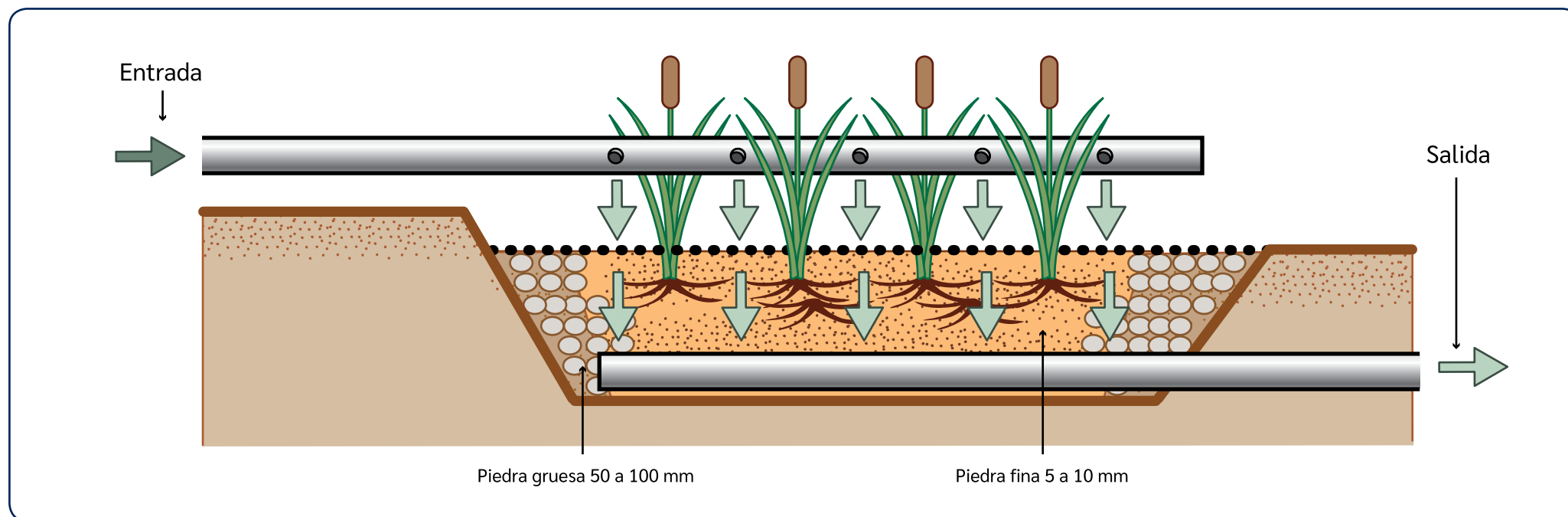


Figura 40. Humedales construidos. Flujo vertical.

En la base se dispone una red de caños perforados (la red de drenaje), que recoge el líquido tratado y lo conduce a una cámara de salida, fuera del sistema. Los caños de la red de drenaje tienen una rama ascendente abierta a la atmósfera y cuando el sistema está drenado, cumplen la función de ventilación y aireación del lecho.

Los humedales de flujo vertical se operan aplicando el agua residual por pulsos, alternados con periodos de drenaje y descanso. El agua que proviene del tratamiento primario se acumula en una cámara de bombeo y desde allí es enviada por pulsos que la dispersan por toda la superficie de la cubeta. Finalizado el pulso, el agua se infiltra lentamente a través del relleno y sale por el fondo a través de la red de tubos de drenaje. Durante el pasaje de un pulso a través del relleno, la comunidad microbiana (biofilm) que lo recubre, absorbe los compuestos orgánicos disueltos, mientras que los sólidos quedan adheridos y luego son digeridos. Posteriormente al pasaje del pulso el relleno se drena y el aire que ingresa aporta oxígeno que le permite al biofilm metabolizar los compuestos orgánicos y completar la nitrificación del amonio.

Esta modalidad de funcionamiento permite alcanzar una transferencia de oxígeno mucho mayor que en el flujo horizontal. Se diseñan a razón de 3 – 4 m²/PE y pueden lograr una remoción de 90 – 95 % de la carga orgánica, de los sólidos totales y del amonio.

13.4 Humedales de flujo vertical Sistema Francés

El denominado Sistema Francés, es un tipo especial de humedales de flujo vertical que procesa aguas residuales crudas, evitando la necesidad de tratamiento primario; solamente se aplica un desbaste con rejillas. El agua pasa sucesivamente por dos etapas de humedales de flujo vertical, que son complementarias en el proceso de depuración. La primera etapa está dividida en tres celdas iguales, cada una de las cuales recibe líquidos por pulsos durante 3 – 4 días y luego descansa 6 – 8 días. El efluente deriva a una segunda cámara de bombeo que alimenta por pulsos las dos cubetas de la segunda etapa. El sistema se diseña a razón de 2 m²/PE y obtiene la misma eficiencia que el humedal vertical (**Figura 41**).

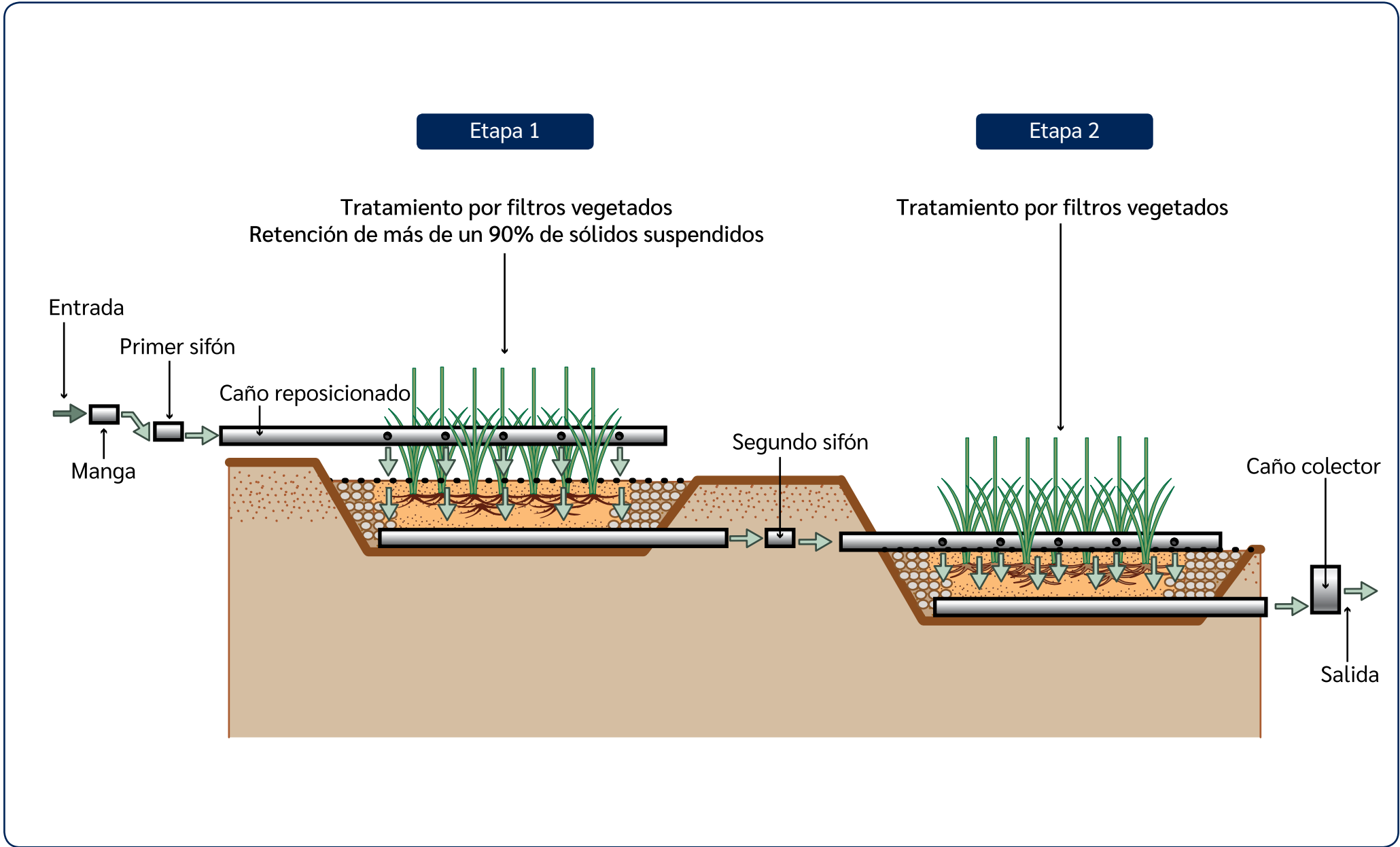


Figura 41. Humedales construidos. Flujo vertical. Sistema Francés.

14 Tecnologías para sistemas autónomos

Los sistemas autónomos se aplican en zonas sin servicio de cloacas. Están conformados por un tratamiento primario (cámara séptica o biodigestor) y un tratamiento secundario realizado mediante algún sistema de infiltración en el suelo. Si el suelo es poco permeable, el tratamiento secundario se hace mediante un humedal o cantero y luego el efluente se dispone por riego o se vuelca en una zanja.

En la mayoría de las casas todas las aguas residuales se mezclan y salen juntas por una misma cañería de desagüe.

Donde se puede, es recomendable separar las aguas del inodoro (denominadas aguas negras), que tienen riesgo sanitario por contener microorganismos patógenos, del resto de las aguas de la casa (aguas grises) originadas en cocina, duchas, lavarropas. Ambos efluentes se tratan por separado con una cámara séptica y un sistema de infiltración. Si el suelo es poco permeable las aguas negras, que son una fracción pequeña, se infiltran y el tratamiento secundario de las aguas grises, sin riesgo sanitario, se hace mediante un humedal subsuperficial horizontal (humedal o cantero). La salida del humedal se puede infiltrar, reutilizar para regar un jardín, frutales o cercos, o disponer en la zanja pluvial.

Cuando todas las aguas residuales salen mezcladas, se deben tratar como aguas negras.



Para ampliar información sobre este tema, consultar:

- **Mariñelarena, A. (2006).**
https://www.ilpla.edu.ar/prueba/wp-content/uploads/2021/07/manual_sistemas_tratamiento-Alejandro-Marinelarena.pdf
- **OPS/CEPIS/03.80 UNATSABAR (2003).**
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf

14.1 Cámara séptica o biodigestor

Una cámara séptica es una caja estanca, que funciona siempre llena. A medida que ingresa agua residual por un extremo, una cantidad similar emerge por el otro extremo mediante rebalse. Su tamaño depende de la cantidad de agua que se usa en la casa o del número de personas que utilizan el servicio. El agua debe permanecer 24 hs dentro de la cámara, en consecuencia, ésta debe tener el volumen del agua que se usa en la casa por día (**Figura 42**).

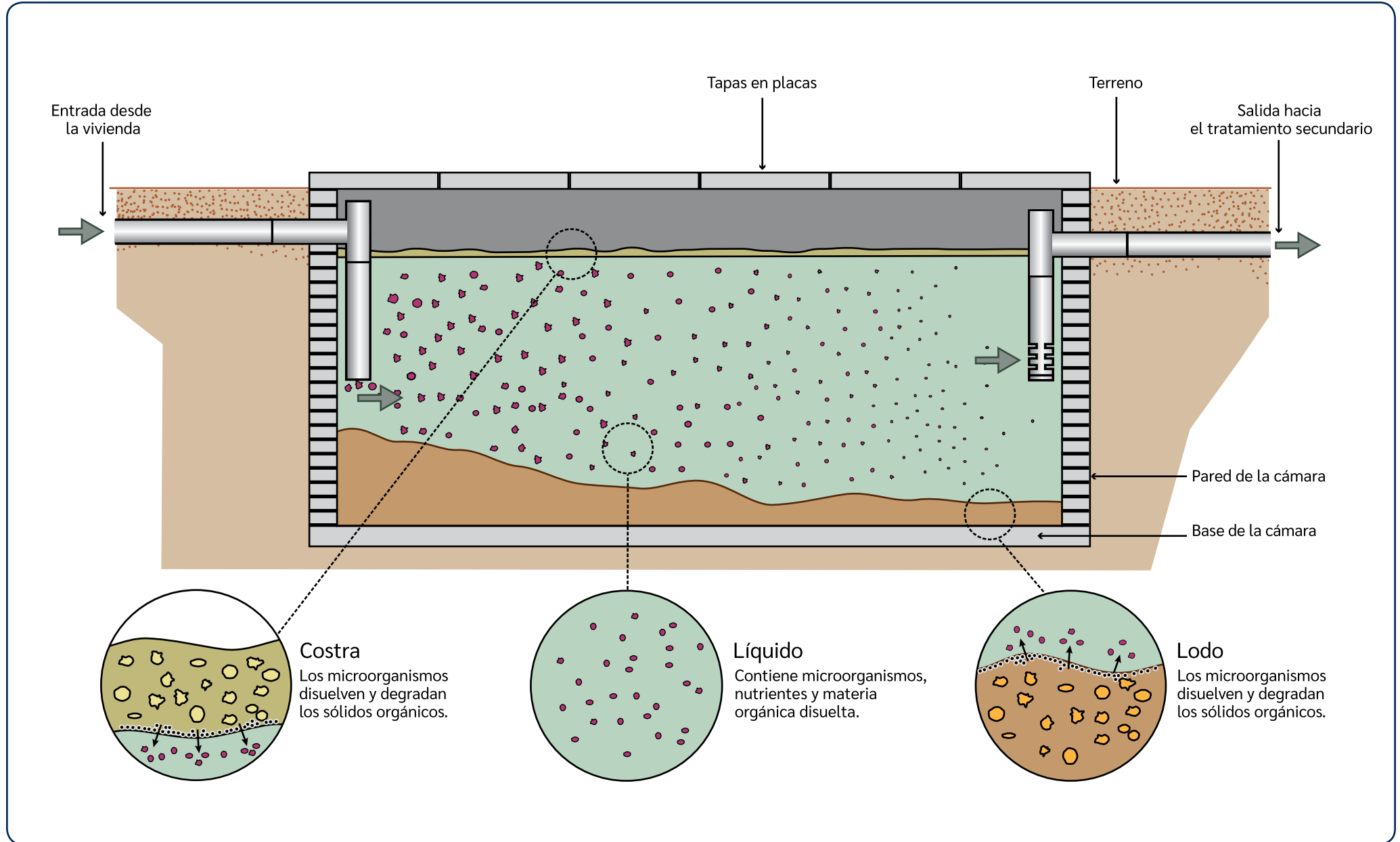


Figura 42. Tratamiento primario. Cámara séptica.

Presenta forma de prisma rectangular con la circulación del agua en el sentido de la dimensión mayor. Los caños de ingreso y egreso se ubican en las paredes distantes y tienen pantallas o piezas “T”, colocadas en forma vertical, para impedir que el ingreso disturbe la superficie y que la salida arrastre materiales flotantes. Para mejorar la calidad del efluente, en la T de salida se puede colocar un filtro que retiene el material particulado fino.

El agua que ingresa a la cámara pierde velocidad, los sólidos pesados sedimentan y se depositan en la base formando una capa de lodo. Los sólidos livianos flotan y forman una costra en la superficie del agua. Entre las distintas capas se dispone una fase líquida que contiene sustancias disueltas, coloides (materia orgánica, nutrientes) y partículas muy pequeñas. El agua clarificada rebalsa e ingresa a la etapa de tratamiento secundario.

En la cámara se desarrolla una comunidad microbiana anaeróbica que lentamente digiere los contaminantes biodegradables retenidos en la superficie y el fondo. Los materiales inorgánicos y los orgánicos no biodegradables o recalcitrantes se acumulan, motivo por el cual la cámara debe ser vaciada con un camión atmosférico periódicamente (cada dos o tres años).

Tradicionalmente las cámaras sépticas se construyen de mampostería, aunque en el mercado se venden cámaras sépticas prefabricadas, de cemento premoldeado, con forma de cilindro vertical. Los caños de entrada y salida se encuentran próximos entre sí y pueden generar cortocircuitos en el flujo del agua. Es muy importante que al armarlas se coloquen pantallas o piezas T y un tabique divisor.

El principio de funcionamiento de un “biodigestor” es el mismo de la cámara séptica, sin embargo, presenta algunas ventajas como el fondo cónico con un sistema para extraer lodos y un filtro interno que debe atravesar el agua antes de salir, lo cual mejora la calidad del efluente. Se deben instalar siguiendo estrictamente las indicaciones del fabricante, porque las paredes y tapa de plástico pueden colapsar (**Figura 43**).

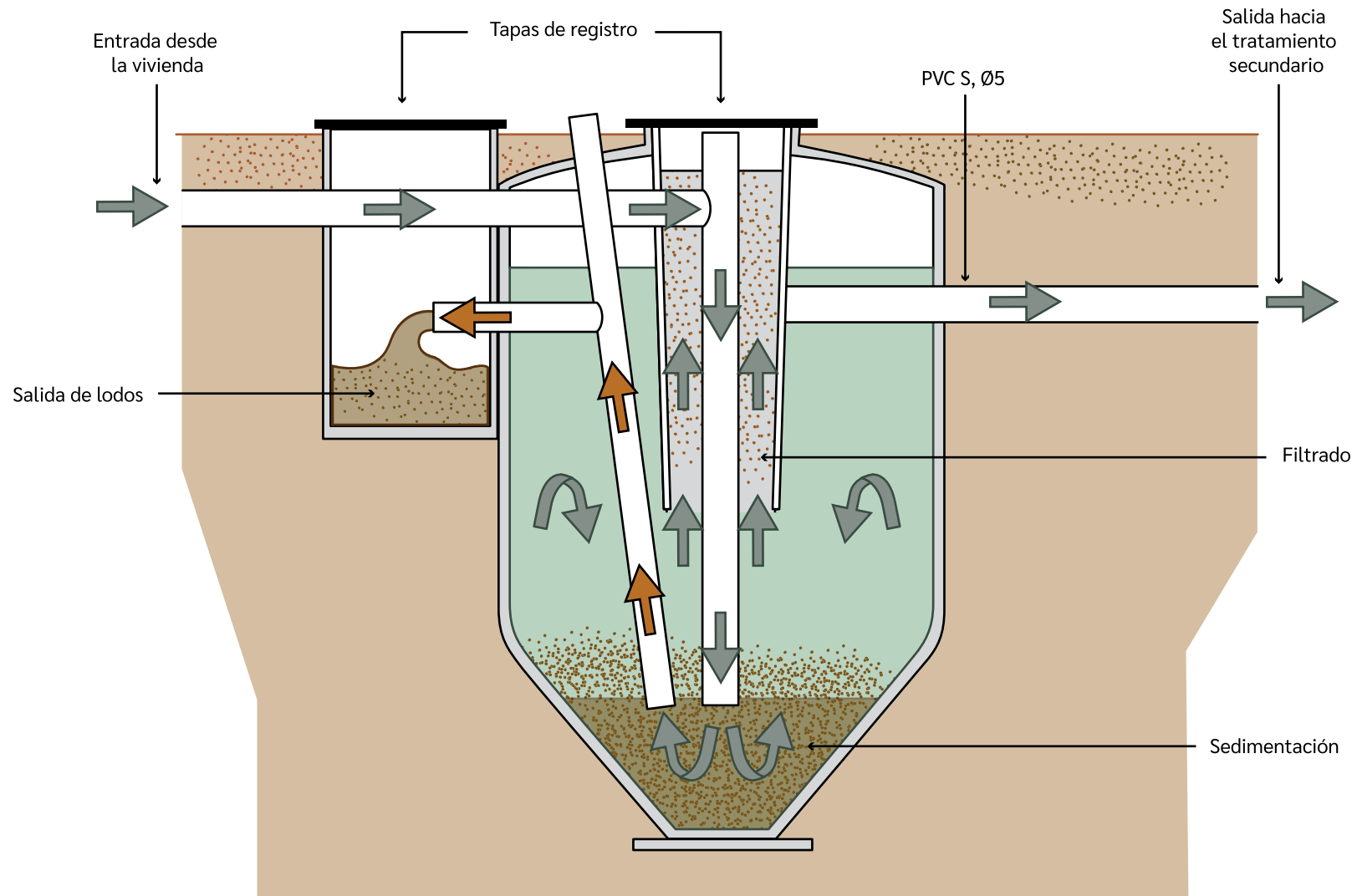


Figura 43. Tratamiento primario. Biodigestor.



Para ampliar información sobre este tema, consultar:

- Martín García, I.; J. R. Betancort Rodríguez; J. J. Salas Rodríguez; B. Peñate Suárez; J. R. Pidre Bocado y N. Sardón Martín (2006).

<https://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf>

Es importante mencionar que el agua que sale de los tratamientos primarios se debe infiltrar o requiere un tratamiento adicional antes de ser dispuesta en un curso receptor.

14.2 Pozo absorbente

Los términos pozo “negro” o pozo “ciego” se usan indistintamente, como sinónimos, para referirse a un pozo cavado en la tierra donde se disponen las aguas residuales domésticas, sin tratamiento previo. Esa práctica cultural es poco efectiva, peligrosa y favorece la contaminación del agua subterránea.

Un pozo absorbente es una excavación circular de 1,2 a 2,0 m de diámetro y de 2 a 6 m de profundidad que internamente tiene una pared circular para darle estructura e impedir que se desmorone. La misma se construye dejando espacios abiertos entre los ladrillos (en panal de abeja), para que el agua pueda salir lateralmente e infiltrarse. El fondo presenta una capa de 0,30 m de piedra partida de 0,05 – 0,10 m para evitar que el agua que ingresa golpee en el fondo y lo impermeabilice.

El espacio de 0,15 – 0,20 m que se dispone entre la pared de material que le da estructura y la pared de tierra de la excavación debe ser relleno de piedra para asegurar la porosidad y la permeabilidad. En la parte superior debe tener una tapa circular de hormigón armado, que se apoya en la pared estructural con un acceso para inspección y desagote; y un caño de ventilación de 100 mm, de una altura mínima de 2,5 m a los cuatro vientos (**Figura 44**). El fondo debe estar por lo menos 1,20 – 1,50 m por encima del nivel freático, para garantizar ese espesor de filtrado a través del suelo.

El pozo absorbente no puede recibir sólidos ni grasas debido a que se acumulan e impermeabilizan las paredes y el fondo, por lo cual requiere que el agua pase previamente por un tratamiento primario (cámara séptica). El pozo absorbente está desaconsejado en muchas regiones y debe utilizarse sólo en casos donde no es posible aplicar otra tecnología.

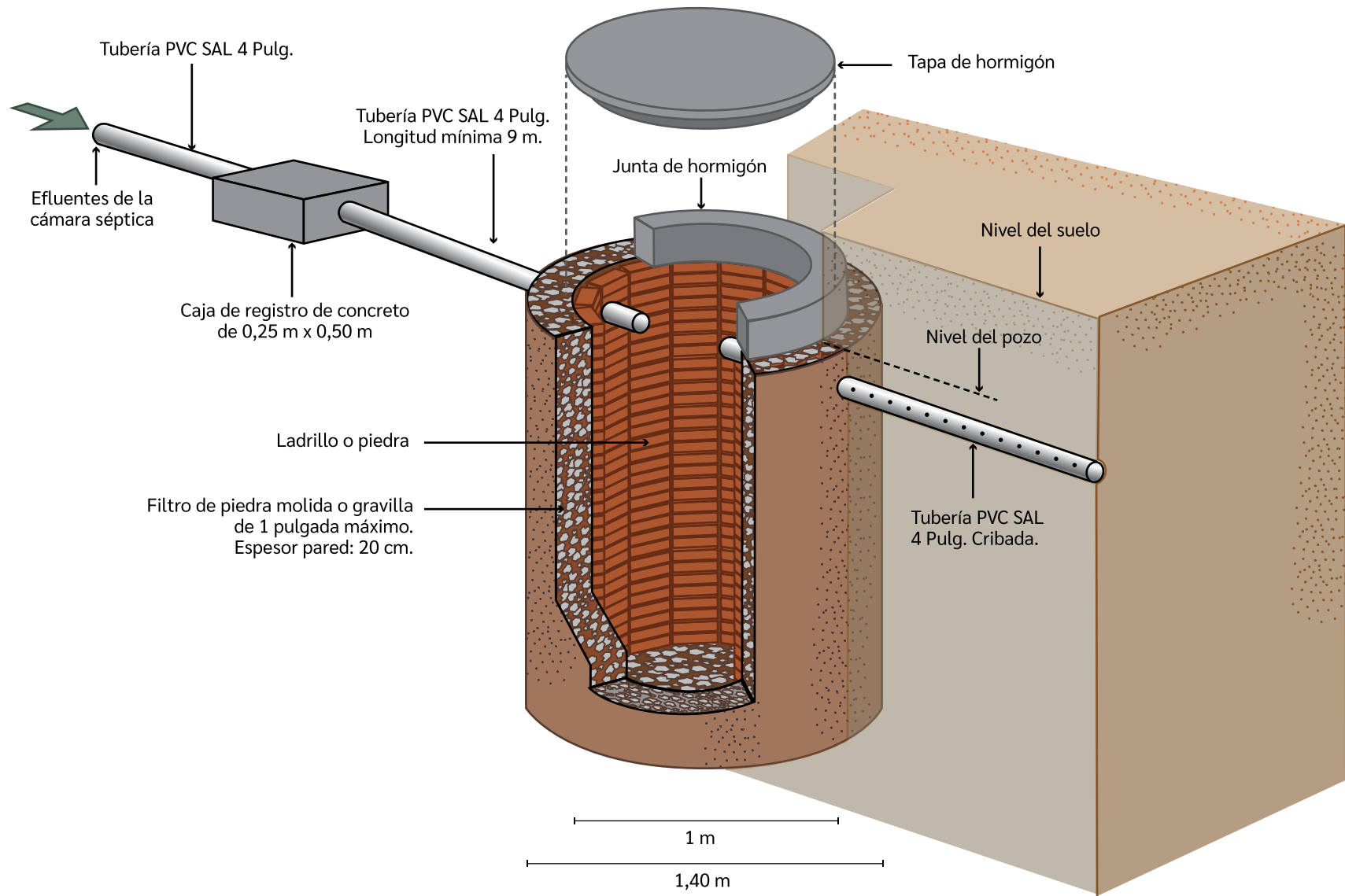


Figura 44. Tratamiento secundario. Pozo absorbente.

14.3 Terreno de infiltración

El terreno de infiltración es un dispositivo para dispersar, infiltrar y depurar las aguas residuales domésticas en el suelo, a través de la filtración y biodegradación. Requiere mayor superficie pero se utiliza como una mejor alternativa para reemplazar al pozo absorbente donde hay espacio disponible.

Consiste en una red de caños perforados, colocados en zanjas cavadas en el suelo, rellenas de material poroso (piedra, grava, escombro) y tapadas con tierra, que distribuye el agua en un área previamente definida (**Figura 45**).

El agua que proviene de la cámara séptica se distribuye por la red de caños, sale por los agujeros, transita en forma vertical mojando las piedras y alcanza el fondo de la zanja donde se infiltra en el suelo. Sobre las piedras se desarrolla una comunidad microbiana que absorbe y se alimenta de los desechos disueltos que lleva el agua. Los primeros centímetros de suelo, en el fondo de la zanja, funcionan como un filtro fino que retiene las partículas y los microorganismos patógenos y desarrolla una comunidad microbiana que se alimenta de los residuos. Cuando el sistema recibe más agua de la que puede absorber, la zanja acumula el excedente que luego se absorbe lentamente recargando el nivel freático.

El sistema no puede recibir sólidos ni grasas, porque tapan las cañerías e impermeabilizan el fondo de la zanja, por eso se requiere que el agua circule previamente por un tratamiento primario (cámara séptica). Entre el fondo de la zanja y el nivel freático, debe existir una zona no saturada, de 1,20 – 1,50 m, que garantice la filtración del material.

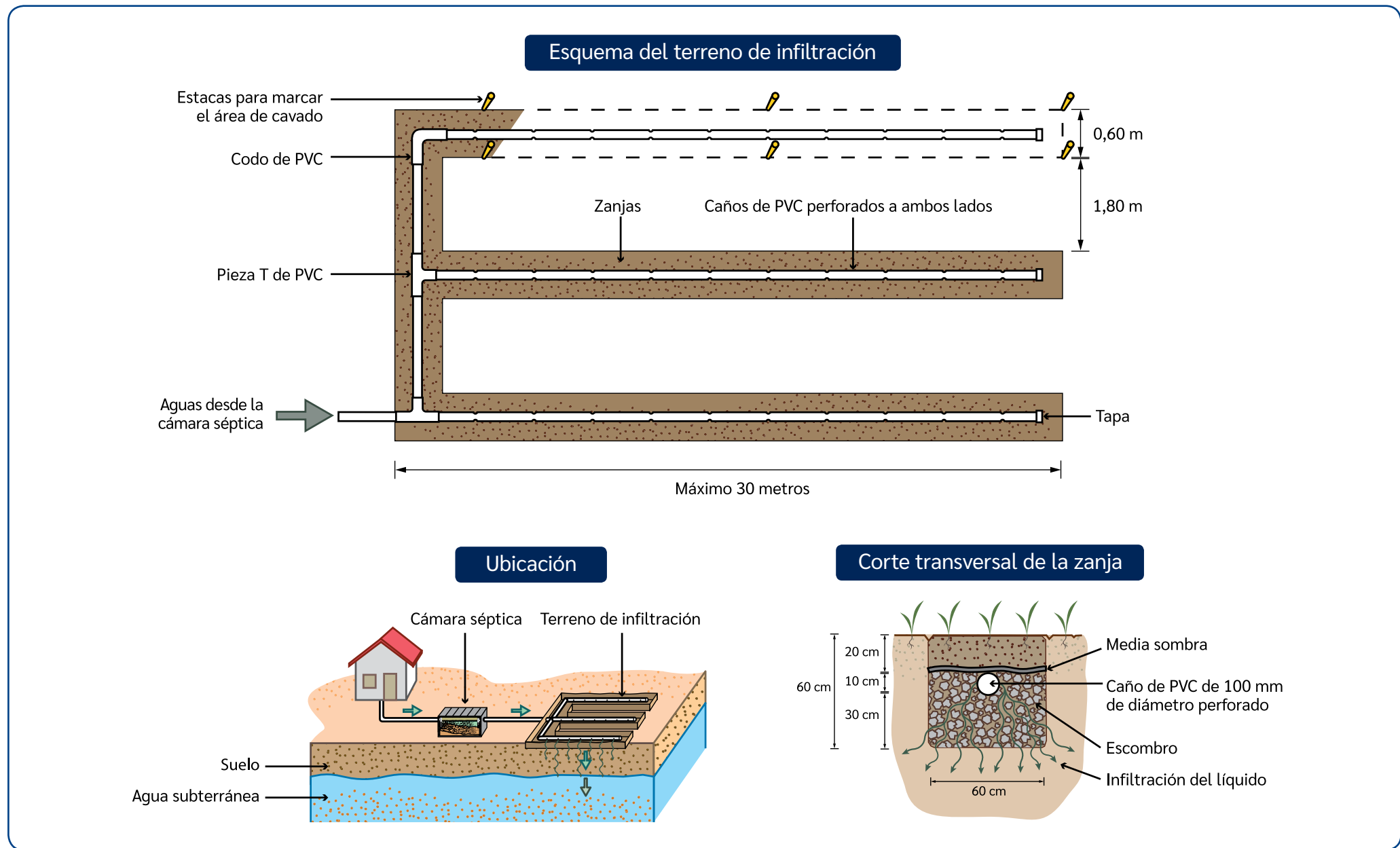


Figura 45. Tratamiento secundario. Terreno de infiltración.



Para ampliar información sobre este tema, consultar:

- OPS/CEPIS/03.83 UNATSABAR (2006).

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UNATSABAR%202005.%20Especificaciones%20t%C3%A9cnicas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20zanjas%20y%20pozas%20de%20.pdf

14.4 Humedal, cantero o biojardinería

Consiste en un humedal de flujo subsuperficial horizontal, de igual estructura y funcionamiento que el descrito para los sistemas comunitarios, adaptado a las dimensiones adecuadas para el tratamiento de agua residual de una casa.

El agua debe recibir un tratamiento primario (cámara séptica o biodigestor) y luego ingresar al humedal. Para tratamiento de aguas grises, se puede usar como parámetro de diseño un tiempo de residencia hidráulica de dos días y para aguas negras de cuatro días, suficiente para asegurar la depuración. En el cálculo debe tenerse en cuenta el volumen efectivo de la cubeta, que es el espacio libre que deja el material de relleno, normalmente un 40% del total. El efluente de salida se infiltra en el suelo, se reutiliza para riego o se dispone en un receptor superficial (**Figura 46**).

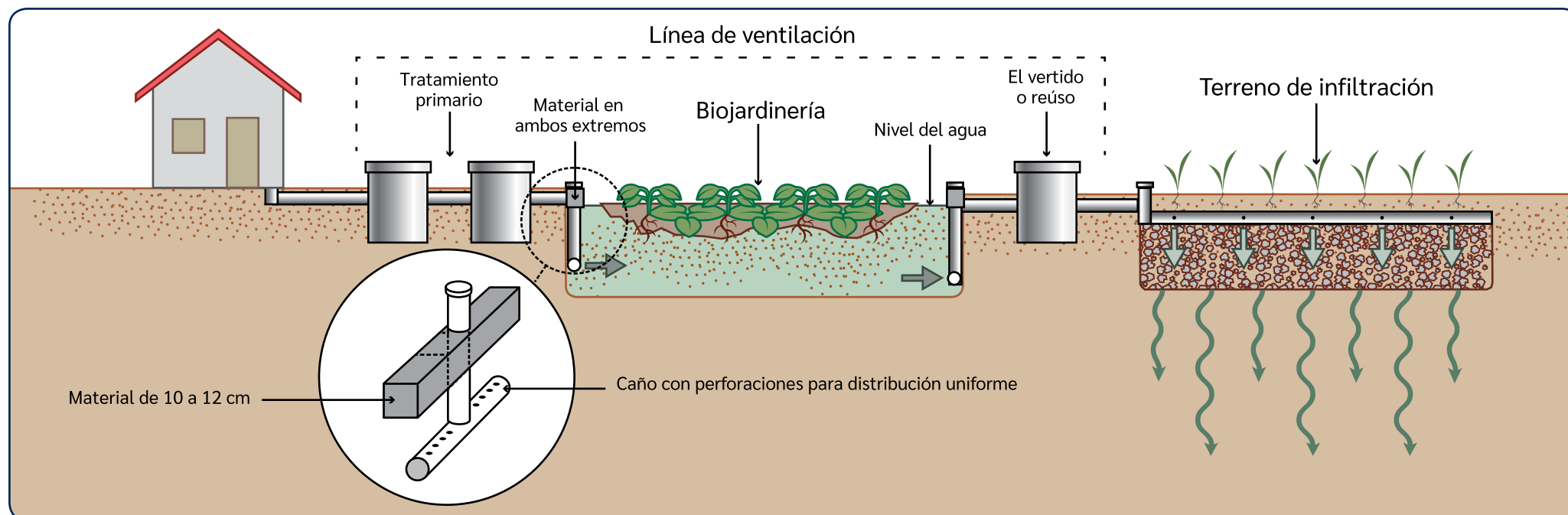
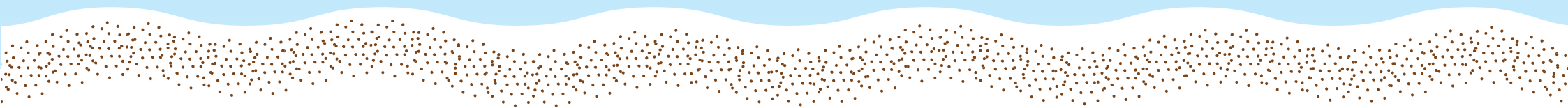


Figura 46. Tratamiento secundario. Humedal-cantero.

Bibliografía



BIBLIOGRAFÍA PRIMERA PARTE

Auge, M. (2005). Perforaciones hidrogeológicas. Curso para perforistas, Argentina. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/PerfHidrogeol.pdf>

Auge, M. (2006) Métodos y técnicas para el monitoreo del agua subterránea. La Plata, Argentina. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/Monitoreo.pdf>

Aguilar Ruiz P (2007). Apuntes sobre el curso de ingeniería sanitaria. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2766_C.pdf

Apuntes sobre captación de aguas subterráneas. Secretaria de infraestructura y política hídrica. Consejo hídrico federal. Universidad Nacional de La Pampa. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. 2018. Disponible en: http://www.cohife.org/Captacion_de_Aguas_Subteraneas.pdf

Banco Interamericano de Desarrollo. (2011) Evaluación para sistemas de bombeo de agua. Manual de mantenimiento. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/publicacion/13619/evaluacion-para-sistemas-de-bombeo-de-agua-manual-de-mantenimiento>

Barraque. Ch y otros (1979). Manual técnico del agua, tratamiento de las aguas de consumo. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/Manual%20Tecnico%20del%20Agua%20Filtracion%20Degremont.pdf>

Código Alimentario Argentino. 2021. Capítulo XII Agua potable, Artículo 982. Actualización 08/2021. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2018/05/capitulo_xii_aguas_actualiz_2021-08.pdf

Comisión Nacional del Agua (2019). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. Disponible en: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>

Comellas, E. (2014). Sistemas tarifarios alternativos para el cobro del agua potable. (Tesis de Maestría en Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, inédita). Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de Cuyo.

Guía para el Seguimiento General de las Aguas Subterráneas. Grupo de Trabajo Internacional 1. Utrecht Junio 2006. Informe n° GP 2006 – 1. Disponible en: <https://cupdf.com/document/guia-para-el-seguimiento-de-aguas-subterranas.html?page=1>

Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. Organización Panamericana de la Salud. Lima 2005. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55454>

Guías para la calidad de agua potable (Organización Mundial de la Salud). Volumen 1. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/37736>

Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen 1 Recomendaciones. Organización Mundial de la Salud, 2006. Disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OMS%202006.%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20calidad%20dl%20agua%20potable.pdf

Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403> Ginebra 2011. ISBN 978-92-4-354995-8 Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403>

Guía rápida para la vigilancia sanitaria del agua. para garantizar agua segura a la población. Santo Domingo, D.N.: OPS, 2013. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/4341>

Guías y criterios técnicos para el diseño y ejecución de redes externas de agua potable. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/aysa.pdf>

Ley provincial 11.820. Marco regulatorio para la prestación de los servicios públicos de provisión de agua potable y desagües cloacales) Disponible en:

<https://normas.gba.gob.ar/ar-b/ley/1996/11820/5008>

Ley provincial 5376 (Provisión de agua potable en todas las zonas de la provincia de Buenos Aires). Disponible en: <https://normas.gba.gob.ar/ar-b/ley/1948/5376/9816>

Decreto reglamentario 2923/49 (Aprueba la reglamentación de la Ley 5376). Disponible en: <https://normas.gba.gob.ar/ar-b/decreto/1949/2923/179308>

Manual de Instalación de Electrobombas Sumergibles. Rotor Pump. Disponible en: <http://www.rotorpump.com/pdf/Manual-de-instalacion-Rotor-Pump.pdf>

Manual de la Cloración. Asociación Española de abastecimientos de agua y saneamiento. Disponible en: <https://es.slideshare.net/eamartinelli/aeas-manual-de-la-cloracion>

Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas. Global Water Partnership (GWP). Red Internacional de Organismos de Cuenca (International Network of Basin Organizations, INBO). 2009. Disponible en: https://www.riob.org/IMG/pdf/RIOC_GWP_Manual_para_la_gestion_integrada.pdf

Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con Fines Múltiples. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo_de_muestreo_de_aguas_inta.pdf

Richard Owen, Muna Mirghani, Moustapha Diene, Albert Tuinhof y Paul Taylor. (2010) Gestión de aguas subterráneas en la GIRH. Manual de capacitación. GW- MATE. Disponible en: <https://www.argcapnet.org.ar/uploads/institucional/materiales/5a30385449880.pdf>

Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica. Resolución SIPH N°45/2019 - Anexo Reglamento de Aplicación de Normas Tarifarias. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-45-2019-328208>

Tuinhof A, Foster S., Kemper K., Garduño .H, Nanni M. 2002-2006 Gestión Sustentable del Agua Subterránea. Conceptos y Herramientas. Serie de Notas de Notas Informativas. Nota 9. Banco Mundial, publicada por el Banco Mundial, Washington D.C., EEUU. La traducción al español fue realizada por Héctor Garduño programa asociado a la GWP . Disponible en: http://ponce.sdsu.edu/Banco_Mundial_GWM_Briefing_9_sp.pdf

BIBLIOGRAFÍA SEGUNDA PARTE

Berland, J. M.; C. Boutin; P. Molle y P. Cooper (2001). Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales adaptadas a las pequeñas y medias colectividades (500-5.000 H.E). Guía: aplicación de la directiva del Consejo nº 91/271 del 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas urbanas residuales. ISBN 92-894-1690-4 Luxemburgo: Oficina de las publicaciones oficiales de las comunidades europeas. Disponible en: https://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/info/pdf/waterguide_es.pdf

Biofiltro. La Jardinera que Filtra las Aguas Grises para Reciclarlas. Disponible en: <https://docplayer.es/20791086-Biofiltro-la-jardinera-que-filtra-las-aguas-grises-para-reciclarlas.html>

García Serrano, J. y A. Corzo Hernández (2008). Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/2474>

Huertas, R.; C. Marcos; N. Ibarguren y S. Ordás (2013). GUÍA PRÁCTICA para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Confederación Hidrográfica del Duero (CHD). España. Disponible en: <http://www.comunidadism.es/herramientas/guia-practica-para-la-depuracion-de-aguas-residuales-en-pequenas-poblaciones>

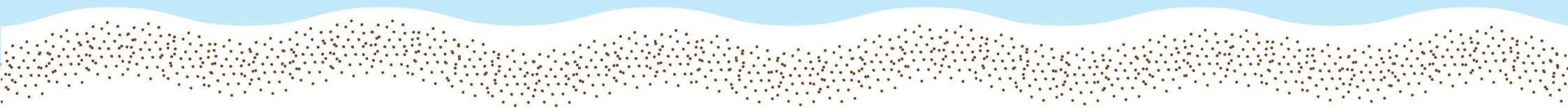
Mariñelarena, A. (2006). Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias. ISBN-13: 978-987-23109-0-5. Mariñelarena - FREPLA-TA Editores. Disponible en: https://www.ilpla.edu.ar/prueba/wp-content/uploads/2021/07/manual_sistemas_tratamiento-Alejandro-Marinelarena.pdf

Martín García, I.; J. R. Betancort Rodríguez; J. J. Salas Rodríguez; B. Peñate Suárez; J. R. Pidre Bocardo y N. Sardón Martín (2006). Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población Mejora de la calidad de los efluentes. ISBN: 84-689-7604-0 Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. Disponible en: <https://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf>

OPS/CEPIS/03.80 UNATSABAR (2003). Especificaciones técnicas para el diseño de tanques sépticos. CEPIS, Lima. Disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf

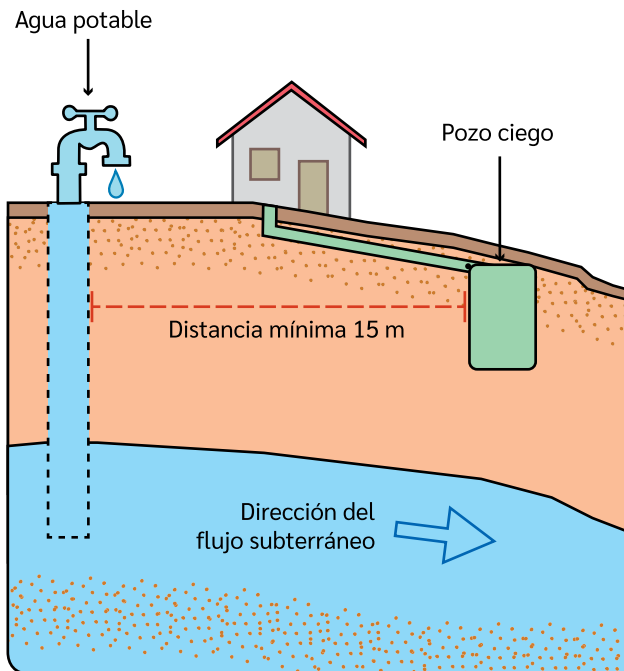
OPS/CEPIS/03.83 UNATSABAR (2003). Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y pozas de infiltración. CEPIS, Lima. Disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UNATSABAR%202005.%20Especificaciones%20t%C3%A9cnicas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20zanjas%20y%20pozas%20de%20.pdf

Fichas técnicas



LUGAR DE EMPLAZAMIENTO

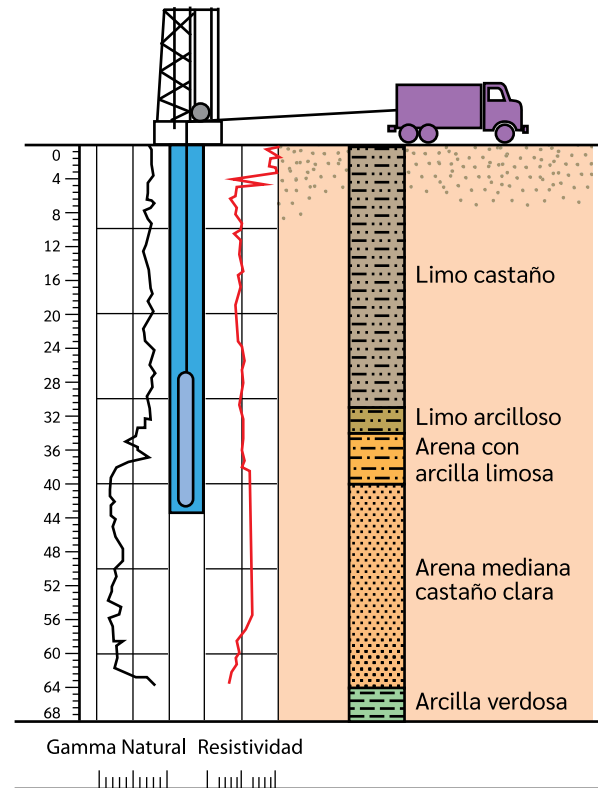
1. Ubicar en un área topográficamente elevada respecto de focos contaminantes (pozos ciegos, sistemas de tratamiento de efluentes, basurales, industrias u otros).
2. Considerar la normativa municipal o provincial para la ubicación de las perforaciones de abastecimiento (Ley 5376. Decreto 2923/49).



POZO DE EXPLORACIÓN

Pozo de pequeño diámetro destinado a:

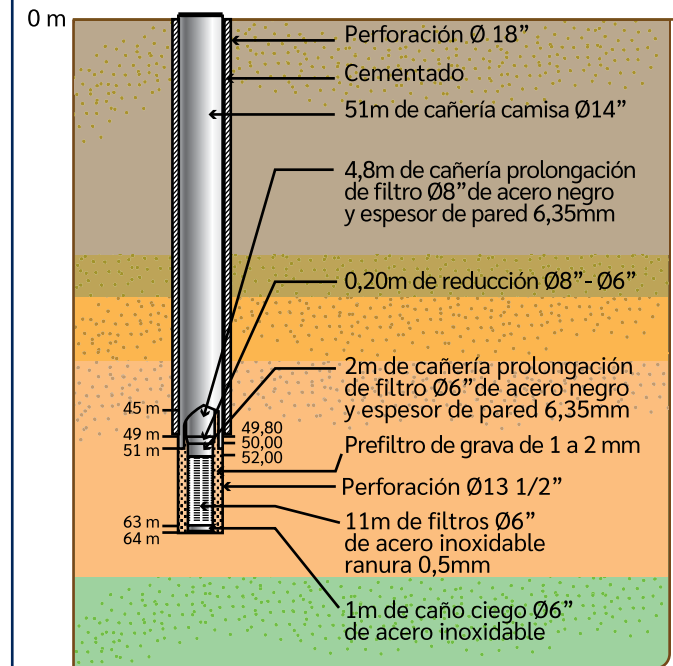
1. Identificar los sedimentos atravesados.
2. Reconocer sectores de mayor permeabilidad.
3. Medir parámetros geofísicos.
4. Definir la profundidad final y el diseño constructivo del pozo de explotación (depende del caudal requerido y de la productividad del acuífero).



POZO DE EXPLOTACIÓN

Pozo de mayor diámetro destinado a la producción de agua. Las tareas a realizar son:

1. Entubación (camisa y filtro).
2. Engravado.
3. Cementación.
4. Limpieza y desarrollo.
5. Ensayos de bombeo para determinar las características **del acuífero** (permeabilidad, transmisividad, almacenamiento) y **del pozo** (caudal característico, eficiencia).



Método utilizado para eliminar y desactivar microorganismos patógenos y garantizar la potabilidad del agua.

Cloro: reactivo desinfectante de gran poder bactericida, económico, de fácil empleo y gran efecto residual.

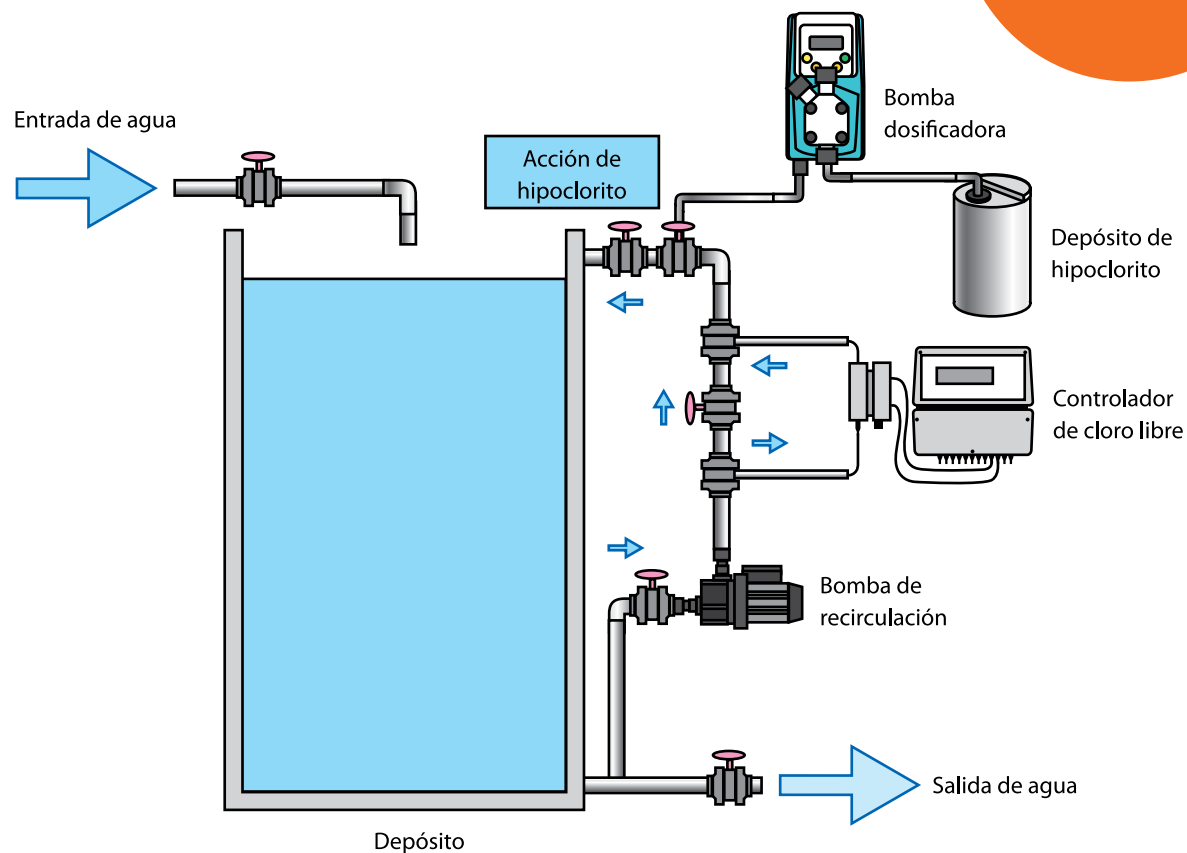
- LEY PROVINCIAL 11.820: Todas las aguas destinadas a consumo humano se deben desinfectar.
- CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO: Contenido mínimo de cloro activo residual de 0,2 mg/l para agua potable.

METODOLOGÍA DE CLORACIÓN

1. El punto de dosificación de cloro debe ubicarse a la entrada del depósito de abastecimiento.
2. Utilizar cloro o sus derivados (cloro gas, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio).
3. La dosis óptima de cloro produce un contenido de cloro libre residual de 0,2 a 1,5 mg/l al final del período de contacto.
4. Agregar cantidades crecientes de cloro al agua y medir su concentración a través del tiempo.
5. El cloro debe permanecer en contacto con el agua durante aproximadamente 20 minutos.
6. Utilizar bombas dosificadoras que incorporan el cloro en pequeñas cantidades.

CONTROL DEL CLORO ACTIVO RESIDUAL

- Realizar controles periódicos de la concentración de cloro activo residual en el tanque de abastecimiento y en la red de distribución.
- Utilizar técnicas colorimétricas o medidores digitales.



¡
IMPORTANTE
 Frecuencia
 diaria / semanal

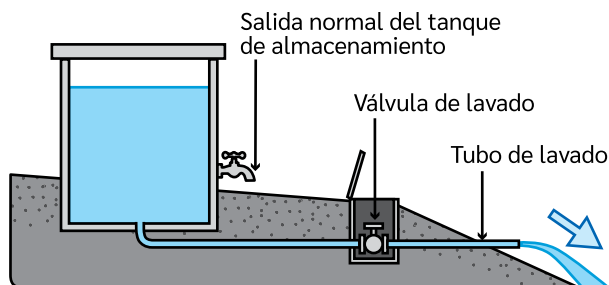


IMPORTANTE
Frecuencia anual

Método utilizado para evitar la proliferación de bacterias y garantizar la potabilidad del agua apta para consumo humano.

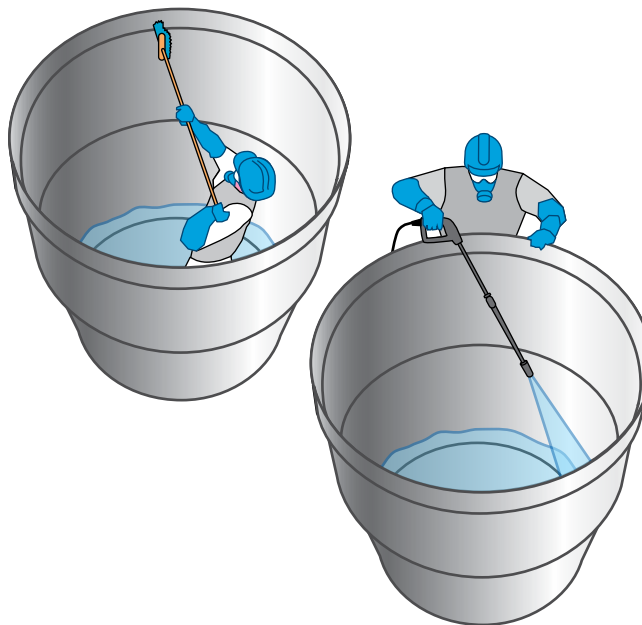
1 VACIADO DEL TANQUE

1. Abrir la válvula y drenar toda el agua contenida en el tanque o hasta un nivel mínimo de reserva de 50 cm por sobre la cañería de bajada.
2. Cerrar la válvula de bajada a la red de distribución.
3. Abrir la válvula de bypass para permitir que la bomba impulse agua directamente a la red.
4. Poner en funcionamiento manual la bomba, controlando que la presión no supere la altura del tanque para evitar roturas por sobre presión.
5. Abrir la válvula de limpieza dejando que el volumen mínimo escurra por la cañería, al tiempo que se procede a barrer el fondo.



2 LIMPIEZA DEL TANQUE

1. Utilizar un cepillo y agua a presión.
2. Prestar especial atención a la limpieza de las esquinas y uniones (en caso de equipos de hidrolavado, no utilizar una excesiva presión de lavado que pueda dañar la impermeabilización interna del tanque).
3. Mantener la válvula de salida abierta mientras se limpia el tanque.



3 DESINFECCIÓN DEL TANQUE Y ACCESORIOS

1. Llenar el tanque con agua limpia hasta la cuarta parte de su capacidad.
2. Agregar 1 litro de hipoclorito de sodio al 10% por cada 1000 litros de capacidad del tanque.
3. Llenar totalmente de agua el tanque asegurando la mezcla.
4. Dejar reposar por 24 horas. Si el tanque se necesita para uso urgente, duplicar la cantidad de cloro (reduce el tiempo de reposo de 24 a 8 horas).
5. Corroborar que el valor de cloro activo residual se encuentre entre 0,2 mg/l y 1 mg/l.
6. Vaciar completamente el tanque y desechar cuidadosamente el agua desinfectante.
7. Limpiar y desinfectar las mangueras conectadas al tanque.
8. Detener el bombeo manual de las perforaciones de explotación.
9. Abrir la válvula de bajada del tanque a la red de distribución.
10. Cerrar la válvula de bypass y restablecer el bombeo automático de las perforaciones.

MONITOREO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Práctica que tiene por finalidad establecer las características y el comportamiento hidrogeológico del acuífero para potenciar la eficiencia del sistema de abastecimiento.

- 1. Medición de niveles estáticos:** permite el reconocimiento de las variaciones hidrológicas, en la recarga, tendencias, cambios en la dirección del flujo.
- 2. Medición de niveles dinámicos:** permite conocer la evolución temporal y areal del cono de depresión y de los efectos regionales del bombeo.
- 3. Medición de los caudales de extracción:** permite controlar la dinámica de explotación.
- 4. Medición de los caudales característicos de los pozos de explotación (Q/s):** permite reconocer cambios en el rendimiento de los pozos de extracción.



METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

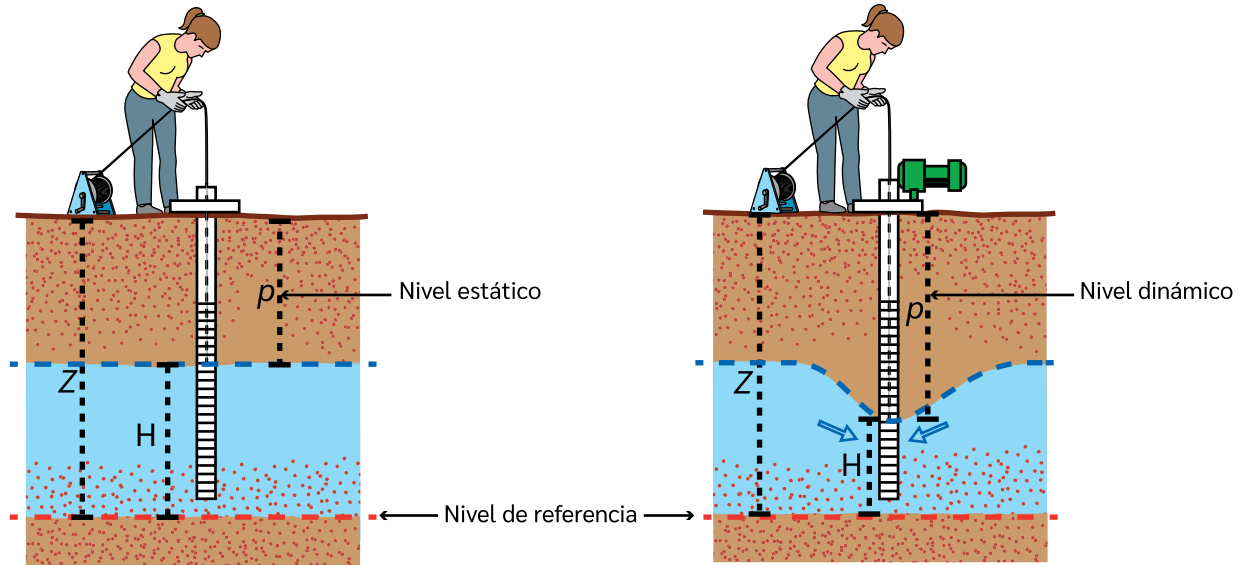
La medición del nivel de agua se realiza con una cinta métrica o sonda. Se conoce la cota del terreno, lo que permite calcular la altura hidráulica.

$$H = Z - p$$

H= Altura hidráulica

Z= Cota del terreno

p= Profundidad del agua en el pozo



1 Medición del nivel estático
Los pozos no deben estar afectados por la extracción de agua. En el caso de pozos de bombeo, se debe cesar la extracción y esperar 24 hs para la recuperación de los niveles.

2 Medición del nivel dinámico
Los pozos se encuentran influenciados por el efecto del bombeo.



IMPORTANTE
 Confirmar con el laboratorio interviniente el tipo de envases y soluciones conservantes

METODOLOGÍA DE MUESTREO

CADENA DE CUSTODIA	FÍSICO-QUÍMICO	MICROBIOLÓGICO
	FRECUENCIA SEMESTRAL	FRECUENCIA TRIMESTRAL
1 Identificación y etiquetado	<ul style="list-style-type: none"> · Rotular el envase con tinta indeleble 	<ul style="list-style-type: none"> · Rotular el envase con tinta indeleble · Esterilizarlo
2 Extracción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Enjuagar el envase 2 o 3 veces con el agua a muestrear 2. Recoger la muestra sin dejar aire (si se adiciona algún conservante contemplar el volúmen) 3. Tapar inmediatamente 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flamear la canilla 2. Dejar salir el agua unos minutos 3. Llenar el recipiente estéril dejando una cámara de aire 4. Tapar inmediatamente
3 Envasado	<ul style="list-style-type: none"> · Plástico o vidrio · Capacidad 1 litro · Cierre hermético 	<ul style="list-style-type: none"> · Plástico o vidrio previamente esterilizado · Capacidad 250 ml · Cierre hermético · Boca ancha
4 Acondicionamiento y transporte	<ol style="list-style-type: none"> 1. Guardar la muestra en un lugar fresco 2. Entregar a laboratorio en un tiempo máximo de 4 días 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Guardar en conservadora con hielo 2. Entregar a laboratorio en un tiempo máximo de 2 días

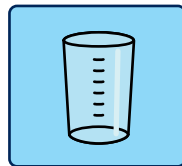
MATERIAL DE CAMPO



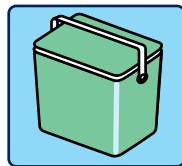
Envases rotulados para el muestreo
 o elementos para rotular
 (cinta o etiqueta autoadhesiva y fibra indeleble)



Planillas de registro, cuaderno y lápiz

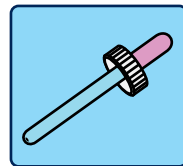


Dispositivo para recolectar la muestra



Conservadora con refrigerante

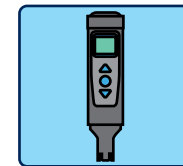
INDISPENSABLE



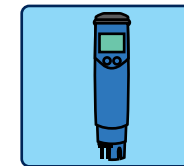
Gotero para incorporar soluciones conservantes
 (depende del parámetro a analizar)



GPS



Medidor de pH portátil



Conductímetro portátil

OPCIONAL



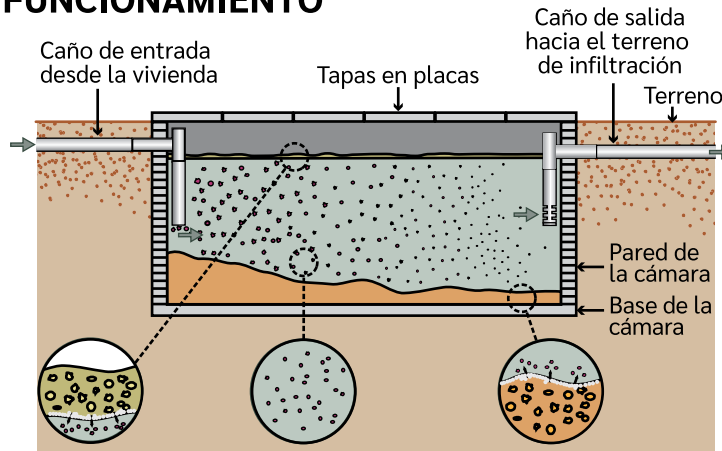
Agua destilada para limpieza de electrodos y sondas

La cámara séptica y el biodigestor son la primera etapa del tratamiento y se pueden utilizar en forma indistinta. Su función es separar la materia sólida (suspendida y sedimentada) del agua residual. El agua debe permanecer como mínimo 24 hs y a su salida requiere de un tratamiento adicional en un terreno de infiltración o humedal.

ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO

Cámara séptica

El agua residual ingresa por un extremo y emerge por el otro mediante rebalse. El tamaño depende de la cantidad de agua que se usa en la casa.



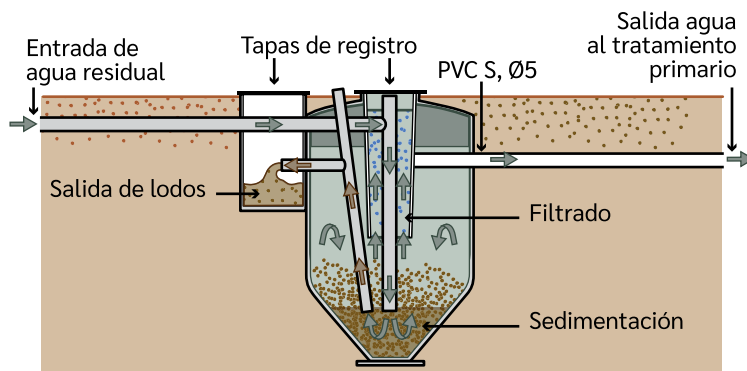
Costra:
Los microorganismos disuelven y degradan los sólidos orgánicos.

Líquido:
Contiene microorganismos, nutrientes y materia orgánica disuelta.

Lodo:
Los microorganismos disuelven y degradan los sólidos orgánicos.

Biodigestor

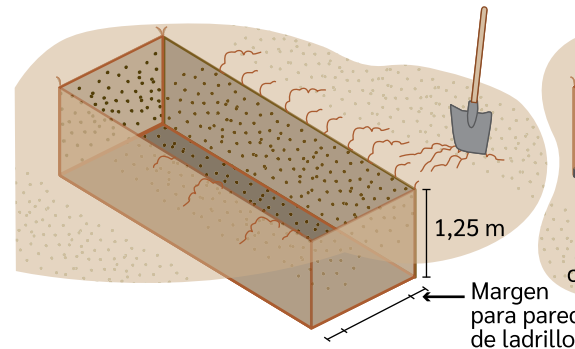
Funciona igual que una cámara séptica, aunque por su forma cónica mejora la calidad del efluente. Debe instalarse siguiendo estrictamente las indicaciones del fabricante para evitar roturas.



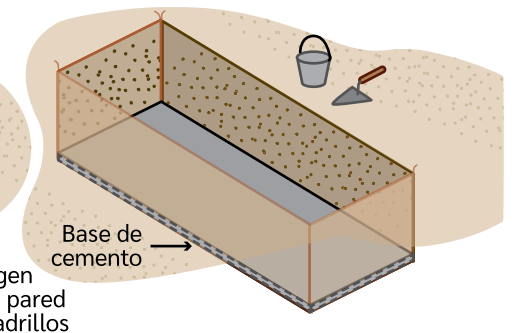
CONSTRUCCIÓN

La cámara séptica, se puede realizar por autoconstrucción utilizando conocimientos básicos de albañilería y herramientas sencillas.

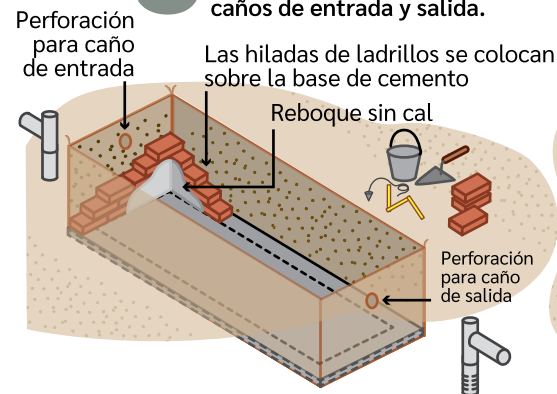
1 Excavar un pozo de 1,25 m de profundidad por un ancho y largo proporcional al dibujo.



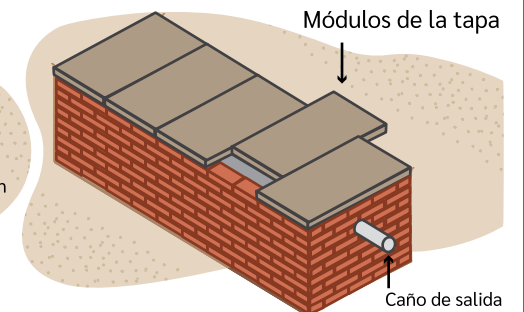
2 Realizar en el fondo una base de cemento.



3 Levantar las paredes sobre la base de cemento, dejando agujeros para los caños de entrada y salida.



4 Construir una tapa con módulos que se puedan remover, a fin de realizar inspecciones y mantenimiento.

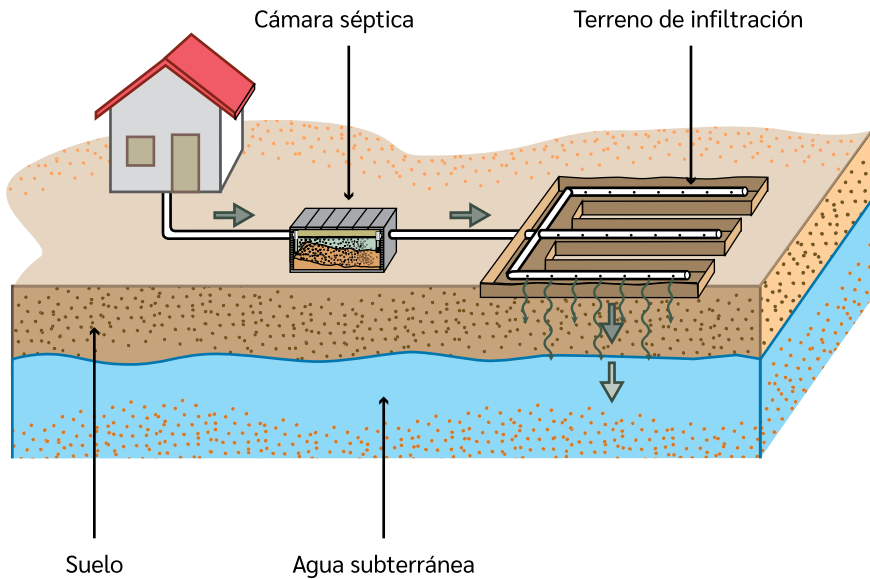


TERRENO DE INFILTRACIÓN

El terreno de infiltración recibe el agua de la cámara séptica o del biodigestor y la distribuye en zanjas, donde el suelo completa el tratamiento por filtración para que se incorpore purificada al acuífero.

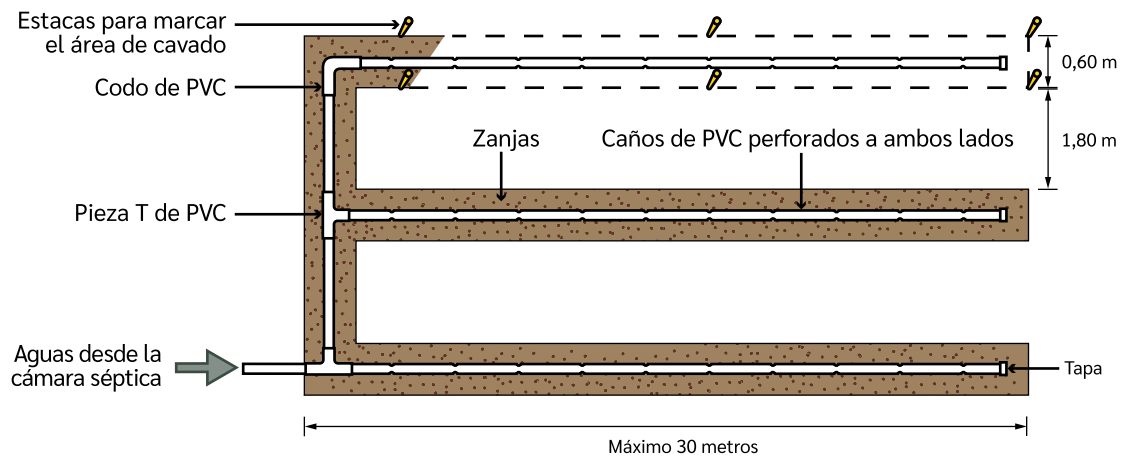
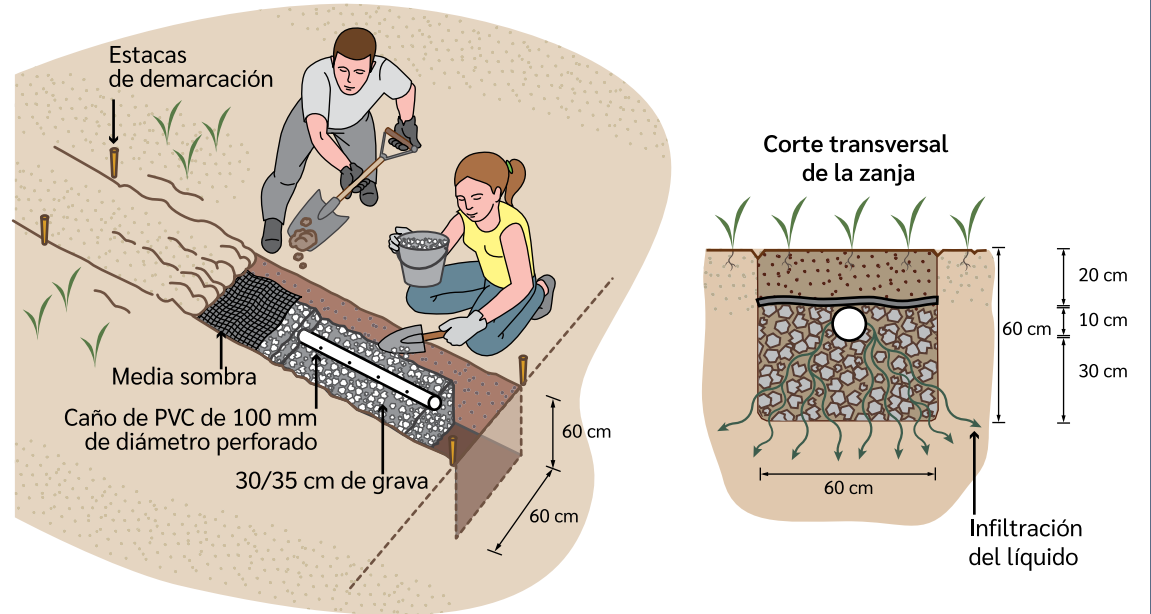
ESTRUCTURA

Es una red de caños perforados, colocados en zanjas con relleno de piedras y tapadas con el mismo suelo. Puede tener distintas configuraciones según la forma y dimensiones del terreno. Su tamaño depende de la cantidad de agua a tratar y del tipo de sedimento.



CONSTRUCCIÓN

El terreno de infiltración es de fácil realización y requiere de materiales económicos.

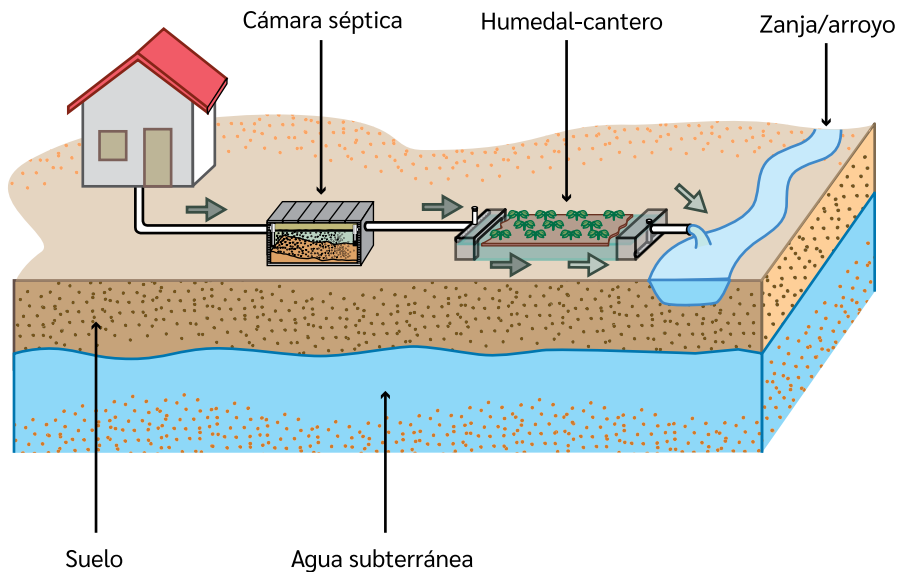


HUMEDAL-CANTERO

El humedal recibe el agua de la cámara séptica o del biodigestor y la purifica por filtración a través del relleno de piedra y de las raíces de las plantas. La salida se puede disponer en un arroyo o zanja, o se puede usar para riego de jardines, árboles o cercos vivos.

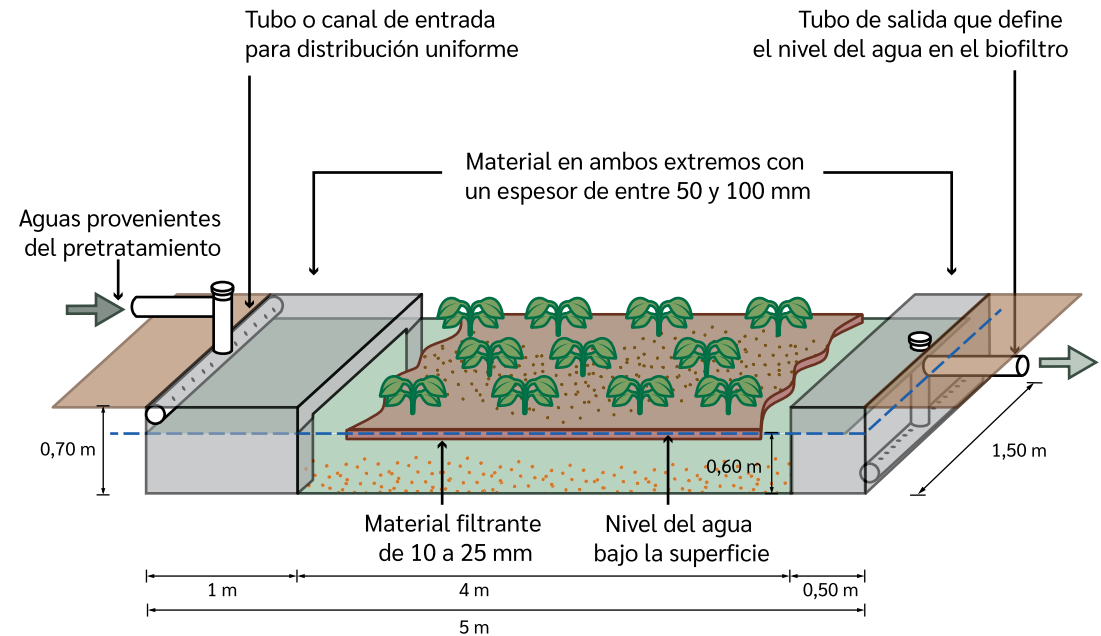
ESTRUCTURA

Es una cubeta cavada en la tierra, impermeabilizada con polietileno grueso y rellena de piedra. En un extremo un caño perforado distribuye el agua que viene de la cámara séptica en todo el ancho de la cubeta. En el otro extremo, un caño similar, recoge el agua tratada y la conduce a la salida.



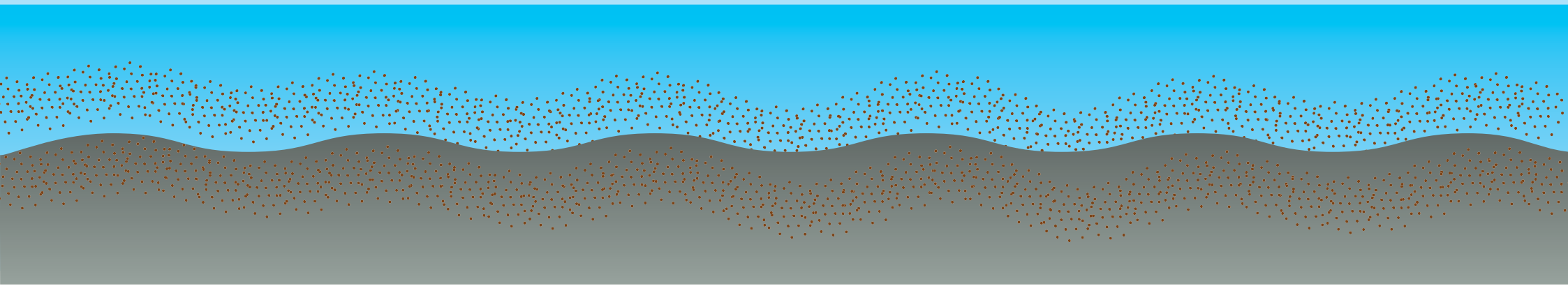
CONSTRUCCIÓN

Para realizar el humedal cantero se requiere de herramientas y materiales económicos y fáciles de conseguir.



Manual de procedimientos

PROVISIÓN DE AGUA POTABLE Y SISTEMAS DE SANEAMIENTO



PROGRAMA DE COOPERATIVISMO Y ECONOMÍA SOCIAL EN LA UNIVERSIDAD

Secretaría de Políticas
Universitarias



Ministerio de Educación
Argentina



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



UNIVERSIDAD NACIONAL
NOROESTE | BUENOS AIRES



UNICEN
Universidad Nacional del Centro
de la Provincia de Buenos Aires



UNIVERSIDAD NACIONAL • SAN ANTONIO DE ARECO

ISBN 978-950-34-2197-0



9 789503 421970