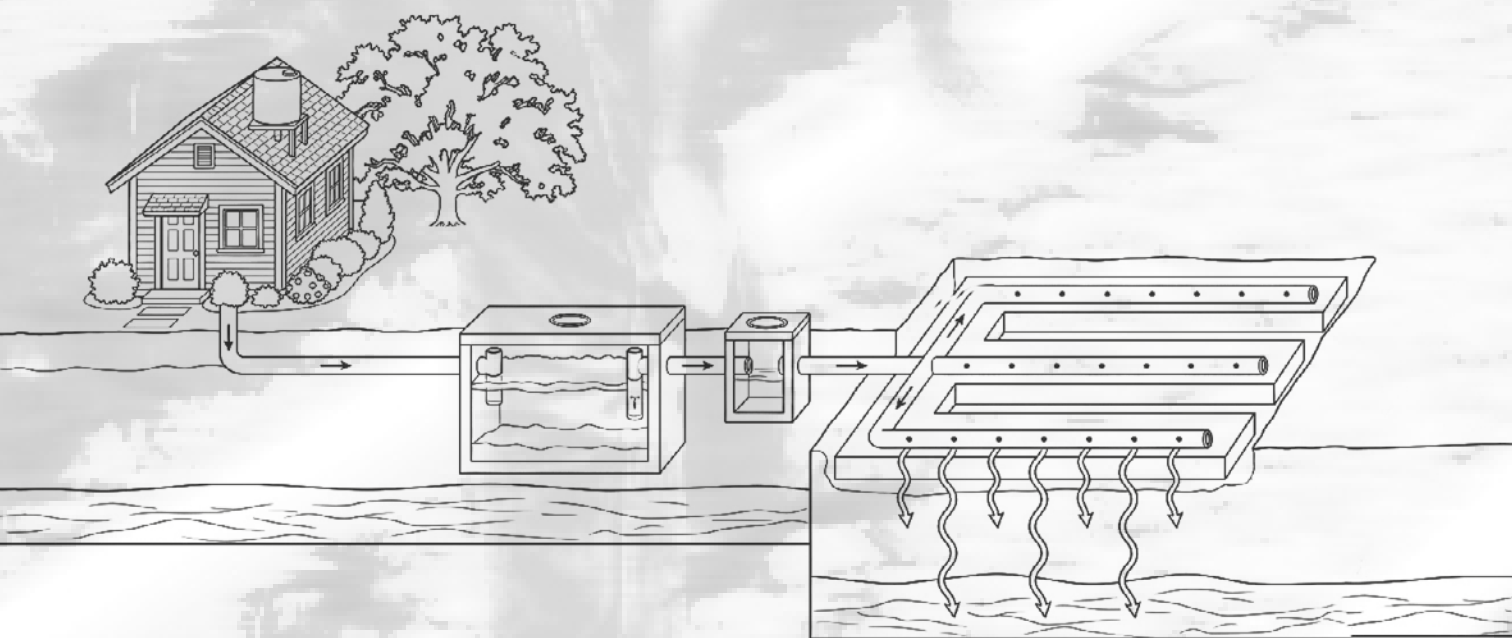


Tecnologías de saneamiento de pequeña escala

V1

VIVIENDAS INDIVIDUALES



El presente documento cuenta con el auspicio y aval del Consejo Hídrico Federal



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



COMISIÓN DE
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



COHIFE



Hidroar
Hidrogeología y ambiente

Tecnologías de saneamiento de pequeña escala

VIVIENDAS INDIVIDUALES

Tecnologías de saneamiento de pequeña escala

VIVIENDAS INDIVIDUALES

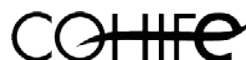
El presente documento cuenta con el auspicio y aval del Consejo Hídrico Federal



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



COMISIÓN DE
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



Hidroar
Hidrogeología y ambiente

Mariñelarena, Alejandro

Tecnologías de saneamiento de pequeña escala: V1. Viviendas individuales / Alejandro Mariñelarena. - 1a ed. ilustrada. - Villa Elisa: Alejandro Mariñelarena, 2026.

Libro digital, PDF

Obra completa

ISBN 978-631-01-5802-0

V1 Archivo Digital: descarga

ISBN 978-631-01-5938-6

1. Saneamiento. 2. Tratamiento de Aguas Residuales. 3. Protección del Medio Ambiente. I. Título.

CDD 600

Diseño de portada, interiores e ilustraciones:

U-Diseño / www.udiseno.com.ar

© 2026, Alejandro Mariñelarena. Algunos derechos reservados. Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

Se permite libremente la copia, distribución y comunicación pública de este libro digital en su formato original, siempre que se reconozca la autoría, no se realice un uso comercial de la obra y no se modifique, transforme o adapte el texto de ninguna manera.

Para ver una copia de esta licencia, visite: creativecommons.org

Prólogo

Esta obra fue concebida como corolario y conclusión de muchos años de estudio y trabajo dedicados a un tema sobre el que nuestra sociedad tiene todavía una gran deuda pendiente: alcanzar el objetivo que toda la población tenga acceso a un servicio de saneamiento de calidad.

En la provincia de Buenos Aires, los cordones periféricos de todas las ciudades grandes y medianas (cabeceras de partidos), más de 400 pueblos rurales de menos de 2000 habitantes y toda la población rural dispersa, no disponen de servicios cloacales. Esa situación se replica en todo el país, afectando a más del 42 % de la población.

Los organismos de administración del Estado (gobiernos provinciales y municipales), las empresas y las Cooperativas a cargo de los Servicios de Agua, no brindan directivas claras de cómo se deben gestionar adecuadamente las aguas residuales en esas zonas sin servicios centralizados. En el acervo popular eso se resuelve con pozos absorbentes (pozos ciegos), como única alternativa, con la consecuente contaminación de los acuíferos subterráneos y el riesgo sanitario que ello implica para la población que se abastece de agua para consumo con perforaciones someras.

TECNOLOGIAS DE SANEAMIENTO DE PEQUEÑA ESCALA es un manual de técnicas que recopila, describe y aporta los principios básicos para el diseño y construcción, de los métodos más utilizados en el mundo para el saneamiento en casas individuales (sistemas autónomos) y en pequeñas comunidades (sistemas comunitarios).

El objetivo es presentar una serie de alternativas tecnológicas adecuadas a la escala y a las características físicas de cada lugar, que le permita a los habitantes de barrios suburbanos, pueblos rurales, barrios cerrados, establecimientos turísticos y población dispersa en zonas sin conexión a un sistema de alcantarillado, reemplazar el uso del pozo ciego por tecnologías eficientes y acceder al derecho básico de un saneamiento que les garantice seguridad sanitaria y un ambiente saludable. También pretende poner a disposición de las administraciones municipales los fundamentos para reglamentar la gestión de las aguas residuales y de los constructores particulares, las herramientas para diseñar sistemas de tratamiento adecuados a cada situación.

Para garantizar una amplia difusión y disponibilidad se presenta como una publicación de acceso libre y gratuito desde la web, lo que considero una justa retribución a la sociedad por todo lo recibido de la Universidad pública y del Sistema Científico, ámbito en el que me formé y desarrollé toda mi carrera. El archivo completo se puede descargar en [HTTPS://SEDICI.UNLP.EDU.AR/](https://sedici.unlp.edu.ar/)

El formato y diseño editorial fue pensado para que el archivo o parte del mismo se pueda pasar a papel con una impresora normal de oficina, para quienes prefieran o necesiten tener el documento impreso.

Resulta difícil después de tantos años de actividad hacer una lista exhaustiva de todas las personas que de una forma u otra influyeron y me ayudaron a reunir los criterios y conocimientos condensados en esta obra. Muchas horas de estudio, análisis de casos y discusiones críticas con mis compañeros de trabajo Hugo Di Giorgi y Jorge Donadelli y con mis discípulos Ramiro Simonetti y Joaquín Córdoba han sido la base fundamental. A ello se sumaron las consultas de colegas amigos como Gustavo San Juan, Enrique Angheben, Eduardo Kruse, Soledad Ruiz, Carlos Dellarciprete, Guillermo Jelinski, Paula Ramirez, Romina Schiaffino, Lucila Lantschner, para buscar soluciones técnicas a diferentes problemas; las consultas de numerosos tesis de doctorado y maestría con sus temas de trabajo y las de tanta gente que sin conocerme, me planteó sus problemas particulares a través de un correo electrónico y me enfrentó al desafío de brindarles respuestas técnicas para resolverlos. Debo mencionar el apoyo y colaboración, en diferentes momentos y proyectos, de Alejandra Guido, Mariana Trejo, Marisa Espósito, Luciana Lugones, Juan Laborde entre otros tantos amigos. A todos estaré siempre muy agradecido.

Mi reconocimiento más especial es para mi familia, para mi esposa Pety Gutiérrez que siempre me apoyó y se hizo cargo, con abnegación y sin reclamos, de la sobrecarga familiar que implicaron tantas de mis horas dedicadas a estos temas, y a mis hijos Rodrigo y Rocío que siempre me dieron satisfacciones y orgullo.

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

La información y las opiniones vertidas en esta publicación no representan las de los organismos patrocinantes que figuran en la portada y deben considerarse como responsabilidad exclusiva del autor.

Las marcas comerciales mencionadas en el texto son al simple efecto de dar un ejemplo concreto de un determinado producto, pero no implica una exclusividad.

El contenido de esta obra puede reproducirse o transmitirse, de forma total o parcial, libremente con fines de investigación, estudio, crítica o revisión y fundamentalmente utilizarse para obras de saneamiento públicas o privadas. Para ser utilizada en productos o emprendimientos comerciales se deberá solicitar autorización expresa del autor/editor.

Índice

Capítulo 1	Introducción	16
	Las aguas residuales domiciliarias	19
	Problemas sanitarios y ambientales	19
	Generación de aguas residuales	20
	Separación de aguas grises y negras	21
	El tratamiento más frecuente	22
	Sistemas de tratamiento autónomo	23
Capítulo 2	Tratamiento primario	24
	Cámara séptica	26
	Tipos de cámara séptica	30
	Biodigestor comercial	33
	Construcción	38
Capítulo 3	Tratamiento secundario	40
	El suelo como receptor final del agua residual	41
	El suelo y su función depuradora	43
	Estudio del suelo del lugar	45
Capítulo 4	Tecnologías de tratamiento por infiltración en el suelo	52
	Zanjas de infiltración	54
	Lecho de infiltración	63
	Trinchera	65
	Pozo absorbente	68
	Sistema de infiltración mixto	73
Capítulo 5	Tecnologías de tratamiento por biofiltración	76
	Humedal construido	78
	Biofiltro anaerobio	82
	Biofiltro aerobio	84
	Biofiltro aerobio de paso simple (BPS)	88
	Biofiltro aerobio con recirculación (BR)	91

	Biofiltro con recirculación y desnitrificación (BRD)	94
Capítulo 6	Disposición y reúso de las aguas residuales tratadas	100
	Infiltración	101
	Vuelco superficial	101
	Recarga de acuíferos	102
	Riego	102
	Sistemas de riego	103
	Desinfección	103
	Cloro	104
	Estructura	104
	Funcionamiento	105
	Mantenimiento	105
	Bibliografía general	106
	Bibliografía específica	107

CAPÍTULO 1

Introducción

Por RESOLUCIÓN 64/292 del 28 de julio de 2010, la ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES UNIDAS reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento. En su texto exhorta a los ESTADOS a proporcionar un suministro de agua potable y saneamiento saludable, limpio, accesible y asequible para todos. Contó con el voto afirmativo de 122 ESTADOS, entre ellos Argentina. No obstante, según el [PLAN NACIONAL DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO](#) de Argentina de 2017, nuestro país presenta un atraso significativo en la cobertura de agua y cloacas. Allí se estima que 39,8 millones de personas residen en áreas urbanas (2015), de las cuales el 87 % tienen acceso a agua por red pública y el 58 % a cloacas.

El desarrollo de las zonas periurbanas sin una planificación adecuada, sin servicios esenciales como la provisión de agua potable y saneamiento, implica condiciones habitacionales poco dignas, con altos riesgos sanitarios. Además, la falta de infraestructura de saneamiento, es causa de contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, lo que empeora la situación porque dificulta la disponibilidad de fuentes de agua limpia para abastecer a la población.

La concepción tradicional del saneamiento urbano consiste en instalar redes colectoras que conducen las aguas residuales hasta plantas depuradoras convencionales que, luego de tratarlas, las vierten en el cuerpo de agua superficial más cercano. Las nuevas urbanizaciones deben incorporarse a la red preexistente pero esa infraestructura no puede crecer indefinidamente. Los proyectos de extensión de redes suelen enfrentar problemas técnicos y económicos que hacen que su desarrollo sea más lento de lo deseado. Además, la capacidad de transporte de líquidos de los conductos colectores y la capacidad de las plantas de tratamiento, imponen límites insalvables.

Una concepción moderna del saneamiento modifica el viejo paradigma centralista e incorpora nuevas tecnologías adecuadas a la escala, la cantidad y la densidad territorial de la población servida. En las áreas suburbanas de las grandes ciudades, igual que en las poblaciones medianas y pequeñas (pueblos rurales < 5000 habitantes), las aguas residuales se gestionan con sistemas comunitarios, más pequeños, donde los líquidos de las redes colectoras se depuran con ecotecnologías sencillas, extensivas, más

económicas y de bajo mantenimiento, principalmente con humedales construidos. La población rural dispersa, por su baja densidad de habitantes, no justifica la construcción y mantenimiento de redes colectoras cloacales y utiliza sistemas de saneamiento autónomos, individuales para cada casa.

Mientras no se concretan los proyectos de saneamiento, ampliación de las redes urbanas o construcción de sistemas comunitarios, el 42 % de la población urbana sin servicio de cloacas, y toda la población rural, dispersa o agrupada en pequeños pueblos, debe gestionar sus aguas residuales mediante **sistemas de saneamiento autónomos, que son los que resuelven el problema del tratamiento y la disposición final del agua dentro del lote de la vivienda**. Pero a diferencia de quienes cuentan con servicios centralizados, estos grupos poblacionales no reciben directivas técnicas desde los centros administrativos, los municipios o los concesionarios del servicio, por la falta de reglamentaciones que definan qué sistemas se deben utilizar, cómo funcionan, ni cómo se deben construir. Como consecuencia se utilizan tecnologías no adecuadas a las características de la zona o construidas sin criterios técnicos y sanitarios apropiados, generando problemas sanitarios y ambientales.

Los sistemas autónomos suelen considerarse como una herramienta de saneamiento provisoria, hasta lograr el objetivo de conectar todos los domicilios a un sistema de saneamiento centralizado (urbano o comunitario). Ese criterio de centralizar el tratamiento es adecuado para zonas periurbanas, donde la densidad poblacional es elevada y el uso de sistemas autónomos puede afectar la dinámica y calidad de los acuíferos subterráneos. No obstante, los tratamientos autónomos pueden considerarse como tecnologías de uso permanente, que pueden cumplir con los objetivos de saneamiento en forma adecuada y sostenible, tanto en los aspectos sanitario como ambiental, por muchos años. El 25 % de las viviendas de ESTADOS UNIDOS utiliza métodos de tratamiento autónomos descentralizados, lo que equivale a unos 25 millones de unidades, y alrededor de un tercio de los nuevos desarrollos se diseñan con este tipo de sistemas (USEPA, 2002).

Estas tecnologías pueden brindar soluciones sanitarias seguras donde la población no supera determinadas densidades, desde pequeños pueblos rurales hasta la población rural dispersa, incluyendo escuelas, emprendimientos productivos familiares y emprendimientos turísticos como hosterías, campings y comedores. También en urbanizaciones de baja densidad como barrios cerrados y clubes de campo, donde cada unidad habitacional cuenta con un lote de dimensiones holgadas.

Este libro presenta una recopilación de las tecnologías de saneamiento autónomo más reconocidas, aceptadas y utilizadas, explica las condiciones necesarias y las limitaciones para su aplicación y brinda una descripción detallada de su estructura, funcionamiento, dimensionamiento y construcción. El objetivo principal es que los municipios, los profesionales de la construcción, las empresas prestatarias de servicios y los usuarios,

encuentren los fundamentos y criterios técnicos para definir, recomendar, reglamentar y construir las tecnologías que mejor se adapten a las características físicas y ambientales de cada lugar.

LAS AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS

Las aguas residuales domiciliarias son las aguas que se usan en la casa para todas las actividades domésticas: cocinar, lavar platos, pisos, ropa, manos, usar el inodoro, la ducha, etc. El agua que ingresa limpia por la red pública de abastecimiento o por la perforación a la fuente subterránea, después de ser usada, contiene restos de comida, grasas, detergentes, materia fecal, orina, jabón, papel, cabellos, etc. Esos son los residuos habituales de todas las casas. Pero también puede contener sustancias no frecuentes (y peligrosas), si volcamos por los desagües de piletas y rejillas restos de materiales que se deberían desechar por otras vías como insecticidas, pinturas, solventes, aceites, combustibles, removedor de pinturas, ácidos, soda cáustica, etc.

PROBLEMAS SANITARIOS Y AMBIENTALES

En los barrios suburbanos y en los pueblos donde no hay servicio de cloacas, las aguas residuales domiciliarias se devuelven al ambiente a través del suelo, mediante un pozo absorbente (pozo ciego) o se vuelcan directamente sobre el terreno, en una zanja o en un arroyo, sin tratamiento. Los contaminantes que contienen esas aguas residuales, pueden afectar nuestra salud y deteriorar el ambiente en el que vivimos y desarrollamos nuestras actividades.

Los materiales particulados inorgánicos como arena, tierra y polvo, que se producen al barrer, lijar, rasquetear, y los orgánicos como trozos de papel, fibras vegetales, cáscaras de frutas y semillas, que no se degradan o lo hacen lentamente, enturbian el agua, reducen la penetración de la luz necesaria para la fotosíntesis que realizan las algas y plantas acuáticas y luego se depositan en el fondo afectando las comunidades de los sedimentos.

La materia orgánica, como materia fecal, papel higiénico, restos de alimentos, jabones, grasas, detergentes, favorece el desarrollo de bacterias que degradan esos componentes, consumen el oxígeno del agua y producen olores desagradables.

En ese proceso, además, se libera el contenido de nitrógeno y fósforo (nutrientes), que favorece el desarrollo desmedido de algas y malezas acuáticas (eutrofización).

La materia fecal contiene microorganismos patógenos (bacterias, virus, parásitos), que se transmiten por el agua y son causantes de enfermedades como hepatitis, cólera, disentería, diarreas, giardiasis, etc.

Otros contaminantes tales como aceites, ácidos, pinturas, solventes, venenos, etc., pueden deteriorar la calidad del agua superficial o subterránea por sus efectos tóxicos

y afectar el ciclo de vida de diferentes comunidades, inclusive la humana. Cuando estos contaminantes son volcados en un pozo, pueden migrar a través del fondo y contaminar los acuíferos subterráneos o impermeabilizar la superficie absorbente, por lo que se acumulan y el pozo debe ser vaciado periódicamente.

Para preservar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, minimizar los riesgos de contraer enfermedades y de causar daños ambientales, es necesario depurar las aguas residuales, antes de devolverlas al ambiente. Con un tratamiento sencillo, pero adecuado, se pueden eliminar la mayoría de estos contaminantes y evitar los deterioros ambientales que producen.

GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Para el diseño y funcionamiento adecuado de un sistema de tratamiento es necesario conocer la cantidad de aguas residuales que se deben tratar. No es sencillo medir la cantidad de agua residual producida en una casa. Se puede estimar que en una vivienda urbana, conectada a un suministro oficial de agua potable, habrá un consumo aproximado de 200 a 250 litros por persona por día ($L / p \times d$), lo que se traduce en una producción de aguas residuales de $160 - 200 L / p \times d$.

En el área periurbana y en los barrios populares, el acceso al agua de consumo suele hacerse a través de redes informales o clandestinas, con menor presión y disponibilidad. En estos casos y en las viviendas rurales con provisión de agua subterránea, la producción de aguas residuales se puede estimar en $80 - 100 L / p \times d$.

El aporte de contaminantes por habitante varía de un lugar a otro por diversas cuestiones, como el nivel socioeconómico, aspectos culturales, cantidad y tipo de alimentos que se consume, las formas de preparación y las formas de manejo de los residuos, entre otras.

Para su estudio con vistas a diseñar un sistema de tratamiento o evaluar su eficiencia, los contaminantes del agua residual se agrupan en parámetros generales. Los materiales particulados sedimentables se analizan como **Sólidos Suspendidos** (SS), las grasas y aceites flotantes como **Sustancias Solubles en Éter Etílico** (SSEE), los residuos orgánicos oxidables, incluyendo los restos de comida y las excretas, como **Demanda Química de Oxígeno** (DQO), la fracción biodegradable como **Demanda Bioquímica de Oxígeno** (DBO). La materia orgánica y las excretas contienen cantidades proporcionales de nitrógeno y fósforo, que se analizan como **Nitrógeno Total** (NT) y **Fósforo Total** (PT).

Las cantidades promedio de contaminantes aportados por persona y por día son 90 g de SS, 125 g de DQO, 60 g de DBO, 12 g de NT y 3 g de PT. Esas cantidades conforman una unidad denominada **Habitante Equivalente** (HAB. EQ.) Las concentraciones de contaminantes en las aguas residuales dependen de la disponibilidad y del uso de agua de la población.

Parámetro	Hab. eq. (g/d)	Conc. (mg/L)
DQO	125	400 – 600
DBO	60	250 – 300
SS	90	300 – 450
NT	12	40 – 60
PT	3	10 – 15

TABLA I. Principales contaminantes generados por persona y por día y concentraciones más frecuentes en las aguas residuales domésticas.

SEPARACIÓN DE AGUAS GRISES Y NEGRAS

En la mayoría de las casas, todas las aguas residuales de diferentes orígenes salen mezcladas, por una misma cañería. Pero no todas son iguales. El 80 % del N y del P, y prácticamente todos los microorganismos peligrosos para la salud, potenciales productores de enfermedades, provienen de las excretas (materia fecal y orina), o sea, del inodoro. Las aguas del inodoro se llaman **«aguas negras»**. El resto de las aguas de la casa (cocina, pileta de lavar, lavarropas, ducha) son las **«aguas grises»**, contienen pocos microorganismos patógenos, y tienen muy bajo riesgo de infectarnos. Si se mezclan y salen juntas, **todas son «aguas negras»**.

Cuando se construye una casa nueva, es recomendable que las «aguas negras» y las «aguas grises» salgan por cañerías independientes para tratarlas y disponerlas por separado. Las «aguas negras» son una fracción menor, de un cuarto a un tercio del volumen total y contienen casi la totalidad de los microorganismos patógenos o sea del riesgo sanitario. Después de un tratamiento primario pequeño se pueden infiltrar en el suelo, eliminando el riesgo de contacto y contagio de enfermedades. Las «aguas grises», por otro lado, se pueden tratar y luego infiltrarlas en el suelo igual que las «negras», o reusarlas para riego de huertas o jardines o volcarlas en cursos superficiales previa desinfección sin riesgos para la salud y el ambiente. Esta alternativa de separación de «aguas negras» y «grises» implica construir dos tratamientos, con el consiguiente incremento de costos, pero en caso de pretender o necesitar el reúso de agua, es muy recomendable separarlas para no manipular y dispersar en la superficie del terreno potenciales microorganismos patógenos.

Habitualmente las casas se construyen con una única salida para todas las aguas residuales, pensada para ser conectada a una red colectora cloacal. De manera que cuando se diseña un sistema de tratamiento autónomo para una vivienda ya construida, no queda más alternativa que hacer un solo tratamiento para todas las aguas. Separar «aguas negras» y «grises» en esos casos suele ser costoso y complicado. Eventualmente, se pueden separar sin obras demasiado grandes los desagües del lavarropas y de la pileta de la cocina, que conducen una fracción importante del agua que se usa en la casa y que normalmente están conectados a una pared, no al piso. Si la pared es lindera con el exterior, es más fácil conducir esas aguas hacia afuera de la casa.

EL TRATAMIENTO MÁS FRECUENTE

La tecnología más utilizada para disponer las aguas residuales en los barrios sin servicio de cloacas es el pozo absorbente, denominado indistintamente «pozo ciego» o «pozo negro» en la cultura popular, para referirse a un pozo angosto y profundo cavado en la tierra, donde se vuelcan todas las aguas de la casa, con o sin tratamiento previo. Estas instalaciones generalmente son construidas por «poceros» idóneos, que aprenden el oficio por tradición oral, de forma empírica y muchas veces sustentan su conocimiento en creencias y saberes sin fundamentos técnicos concretos y sin tener en cuenta ciertas reglas mínimas que garantizan la seguridad de las personas y el buen funcionamiento del sistema. La tecnología así utilizada, en algunos casos puede ser efectiva, pero en su mayoría es defectuosa y genera problemas, a veces graves. Entre las malas prácticas más frecuentes y sus consecuencias se pueden mencionar:

- Utilizar el pozo sin tratamiento primario previo (cámara séptica), porque se acumulan materiales no biodegradables y se impermeabilizan las paredes.
- Construir el pozo sin la pared interior, porque lo hace inestable con riesgo de derrumbe.
- Construir pozos donde la napa está muy alta, porque se llena de agua desde el fondo.
- Construir el pozo muy profundo para que tenga capacidad de almacenamiento es un contrasentido. El agua se debe absorber por las paredes, no se debe acumular en el pozo.
- Cavar el pozo hasta la napa. El agua se purifica si se filtra a través del suelo. Si el fondo llega a la napa no hay tratamiento y se contamina el acuífero.
- Construir una tapa poco resistente o improvisada, porque implica un riesgo de caída para las personas.
- Ubicar el pozo en un lugar bajo del terreno, porque se llena con agua de lluvia.

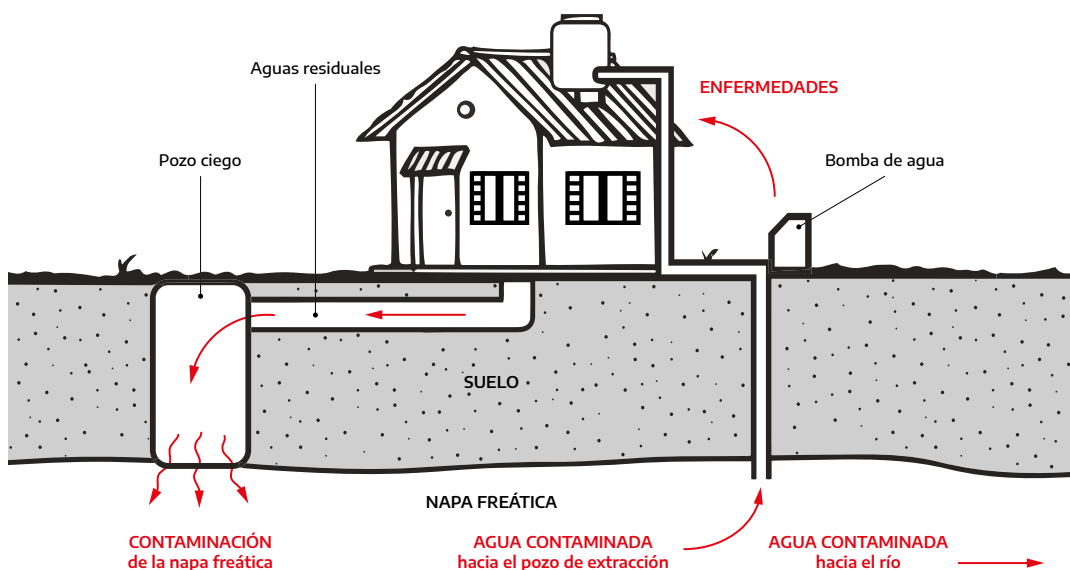


Figura 1. Riesgo sanitario por el uso de pozos absorbentes con defectos de construcción o en zonas no adecuadas.

Queda claro que las fallas estructurales de construcción, de la pared interna o de la tapa, implican un riesgo físico para los habitantes de la vivienda, y que hacer el pozo más profundo, incrementa el riesgo de contaminación del acuífero subterráneo. En áreas suburbanas, donde no hay una buena provisión de agua potable, muchas viviendas se abastecen con perforaciones propias y bombeadores conectados a la primera napa, lo que cierra un circuito de contaminación fecal con los pozos de las viviendas circundantes (figura 1).

El uso del pozo sin tratamiento primario permite el ingreso de sólidos que producen anaerobiosis y olores, y de aceites y jabones que impermeabilizan las paredes y el fondo, limitando la absorción de los líquidos. Esto hace necesario el vaciado por medio de un camión atmosférico, cuyo servicio es costoso y cuando se torna muy frecuente, algunos vecinos resuelven la situación conectando un caño de rebalse desde la tapa del pozo hasta la zanja pluvial de la calle, lo que genera un ambiente insalubre y desagradable en el barrio (figura 2). Todos estos vicios constructivos generan riesgos sanitarios (infecciones), económicos (vaciado frecuente), físicos (desmoronamientos, caídas), estéticos (olores y aspectos desagradables) y ambientales (contaminación del agua).

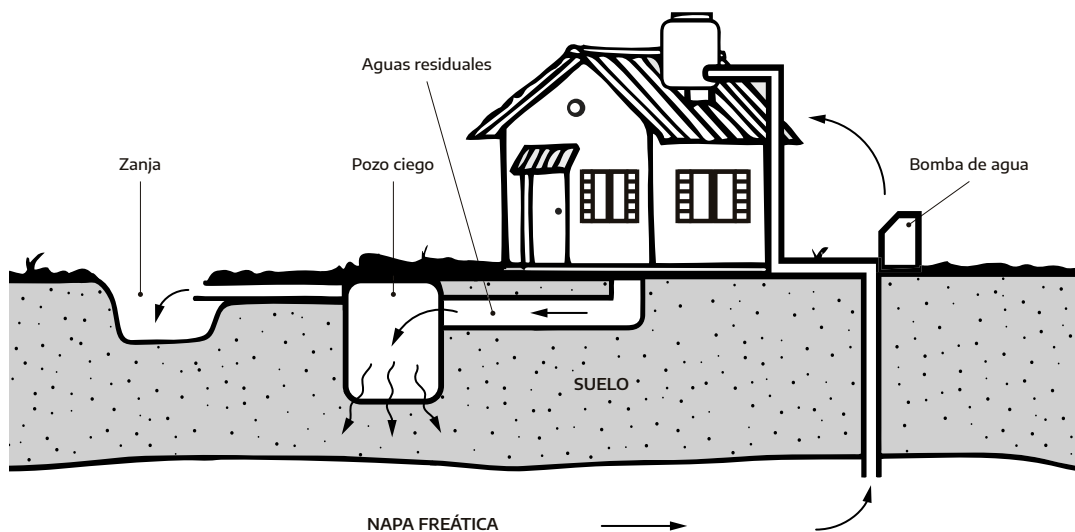


Figura 2. Riesgo sanitario por desagüe de aguas residuales crudas en la vía pública.

SISTEMAS DE TRATAMIENTO AUTÓNOMO

Los sistemas de tratamiento autónomo deben resolver el problema del tratamiento y la disposición final del agua dentro del lote de la vivienda. Todos tienen una etapa de tratamiento primario (TP) destinada a retener materias sedimentables (sólidos) y flotantes, y una etapa de tratamiento secundario (TS) destinada a filtrar, retener y eliminar partículas finas, microorganismos y restos orgánicos disueltos en las aguas. El agua purificada termina infiltrada en el suelo. En casos excepcionales pueden tener un vuelco superficial a una zanja pluvial o un cuerpo de agua.

CAPÍTULO 2

Tratamiento primario

Las aguas residuales domésticas contienen materias que flotan como grasas y aceites o partículas que sedimentan, como arena, tierra, semillas, fibra vegetal, cáscaras de frutas, materia fecal, trozos de papel, plásticos, cabellos, etc. El tratamiento primario tiene la finalidad de separar y retener esos materiales no disueltos para que no pasen al sistema de tratamiento secundario.

Todas las aguas de la casa deben pasar por un TP. Si las «aguas negras» y «grises» salen por conductos separados, cada uno deberá tener su TP independiente.

Al pasar por el TP, los materiales sedimentables (sólidos) del agua residual, se depositan en el fondo formando una capa de lodos, y los materiales flotantes (grasas) forman una costra en la superficie. El TP retiene hasta un 80 % de los sólidos sedimentables y un 30 - 40 % de la carga orgánica del agua residual. Estos materiales quedan retenidos en el interior del TP y el agua sale clarificada. La fracción biodegradable de los materiales retenidos será disuelta y digerida lentamente por una comunidad de microorganismos anaerobios.

Los materiales orgánicos más difíciles de digerir, junto con la fracción inorgánica, se acumulan y deben ser vaciados periódicamente, cada tres o cinco años. Aunque el agua que sale del TP se vea clara, todavía contiene carga orgánica, microorganismos patógenos (quistes de parásitos, bacterias y virus), nutrientes de nitrógeno y fósforo y otros contaminantes. Para proteger la salud y el ambiente, estos líquidos todavía requieren un tratamiento adicional, un tratamiento secundario adecuado.

El TP se realiza mediante una cámara séptica (CS) o un biodigestor (BD), que tienen el mismo principio de funcionamiento y cumplen la misma función. En algunos casos es conveniente o necesario agregar también una cámara desgrasadora (CD).

La CD retiene principalmente sustancias flotantes (aceites y grasas) y por ella sólo deben pasar las aguas de la piletta de la cocina. La CD es necesaria en los locales comerciales de comidas o en las casas donde la CS está muy alejada del origen de las aguas, para evitar obstrucciones de los caños por depósitos de grasas. La CS o el BD pueden retener y

metabolizar las cantidades de aceites y grasas de uso habitual de una vivienda familiar. Las unidades que conforman el TP se deben limpiar periódicamente. En esas ocasiones hay que tener algunos cuidados personales (usar guantes y antiparras) y ambientales, acerca de cómo y dónde se vuelcan los sólidos acumulados.

CÁMARA SÉPTICA

Estructura

Una cámara séptica es un recipiente estanco, con una estructura de ingreso de líquidos y otra de salida. Su capacidad o tamaño depende de la cantidad de agua que se usa en la casa o de forma indirecta, del número de personas que utilizan el servicio. Preferentemente tiene forma de prisma rectangular, el doble de largo respecto del ancho y la profundidad, con la circulación del agua en el sentido de la dimensión mayor (figura 3).

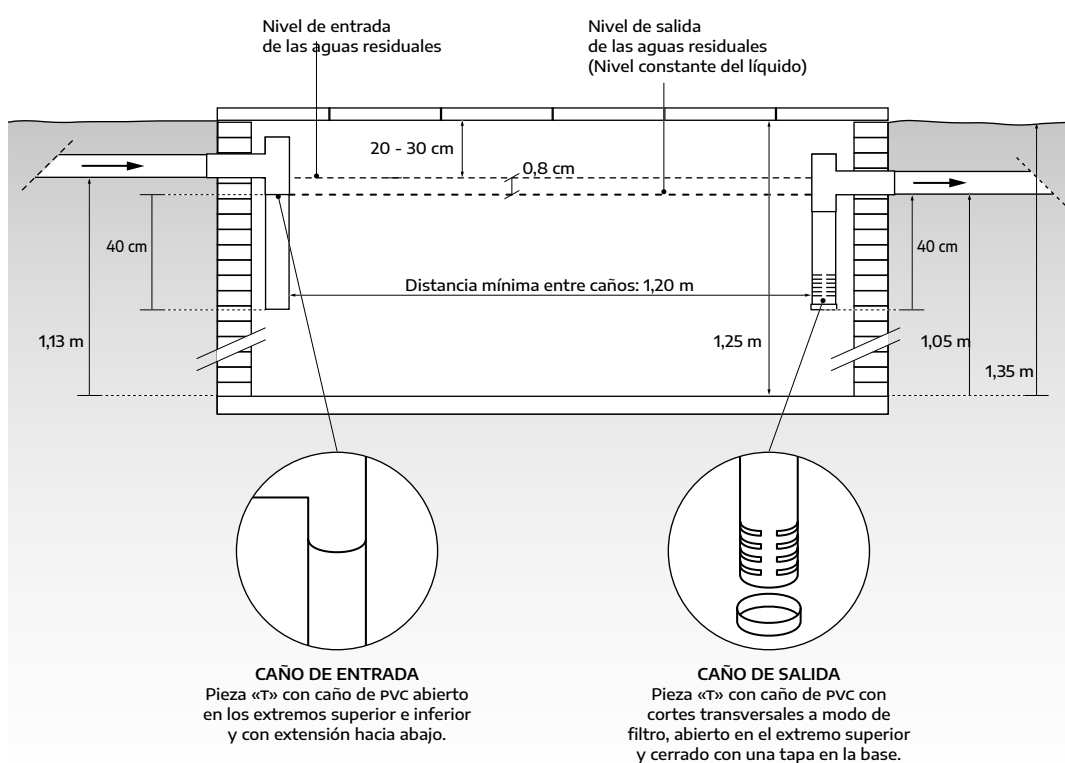


Figura 3. Esquema de una cámara séptica.

Los caños de ingreso y de salida se ubican en las paredes más alejadas. El de salida está colocado 5 – 8 cm más bajo que el de entrada, y define el nivel del agua dentro de la cámara. Ambos caños, dentro de la cámara, tienen una pieza «T», colocada en forma vertical y prolongada hacia abajo con un trozo de caño. La prolongación de la «T» del caño de salida lleva una tapa en el extremo inferior y una serie de ranuras de 2 – 3 mm de ancho que actúan como filtro de sólidos finos. Esa prolongación también puede contener un filtro de tela mosquitera que se saca y limpia esporádicamente (imágenes 1 y 2).



Imágenes 1 y 2. Filtro de salida de la cámara séptica.

Las CS grandes ($> 5 \text{ m}^3$), se dividen en dos o más compartimientos, mediante tabiques transversales al sentido de flujo. Esto mejora mucho la separación y retención de sólidos. Si se coloca un solo tabique, se ubica a $\frac{2}{3}$ de la longitud de la cámara. Si se colocan dos, el primero se ubica en la mitad y el segundo a $\frac{3}{4}$ de la longitud. Los tabiques están sellados contra las paredes y el fondo, sobresalen del nivel del líquido y tienen una o más ventanas estrechas a la mitad de la profundidad del agua (40 cm debajo de la superficie), que permiten el paso del agua, pero retienen los lodos y la costra flotante.

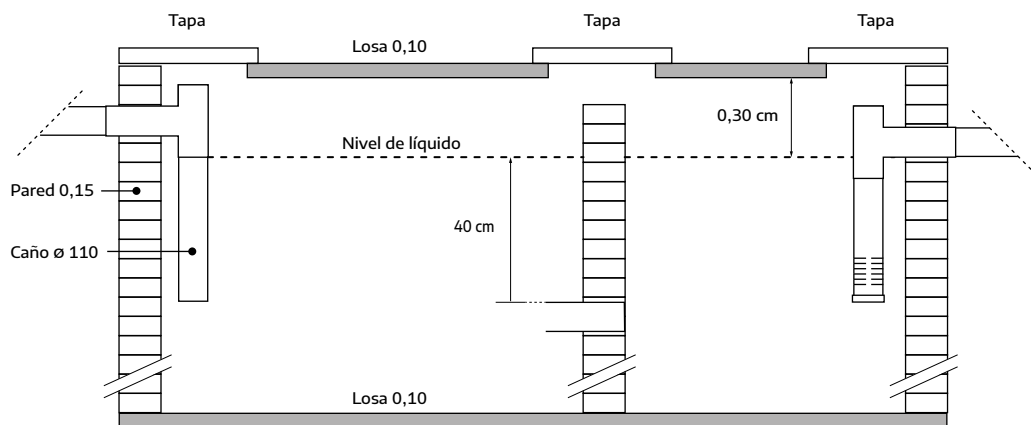


Figura 4. Cámara séptica de dos compartimientos.

Entre la superficie del líquido y la tapa de la cámara queda un espacio de aire, de 20 - 30 cm de altura. La tapa es una losa de hormigón armado, con una abertura para inspección y limpieza sobre los caños de entrada y salida, y otra en el centro, para el vaciado, cada una con su tapa. La tapa de la cámara también puede estar hecha con varias losas rectangulares iguales, que se pueden mover independientemente unas de otras (figura 5).

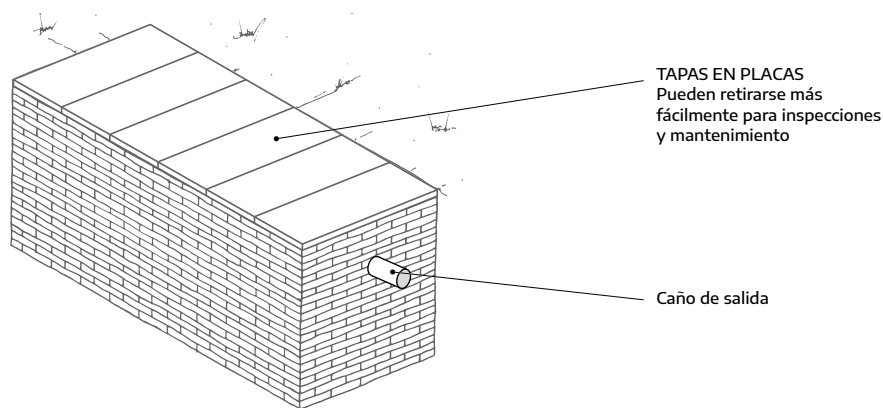


Figura 5. Tapa hecha con losas.

Funcionamiento

La cámara séptica funciona siempre llena. A medida que entra agua residual por un extremo, una cantidad igual de agua clarificada sale por el otro, por rebalse. El agua, cuando ingresa a la cámara, pierde velocidad. Los sólidos pesados sedimentan y se depositan en el fondo formando una capa de lodo. Los sólidos livianos flotan y forman una costra en la superficie del agua. Entre una y otra capa queda una fase líquida que contiene materiales disueltos (materia orgánica, nutrientes) y partículas muy pequeñas. Esa agua clarificada es la que sale y pasa a la etapa de tratamiento secundario. La «T» del caño de ingreso evita que el líquido que entra disturbe la costra superficial, y la «T» del caño de salida impide que se escapen sólidos flotantes (figura 6).

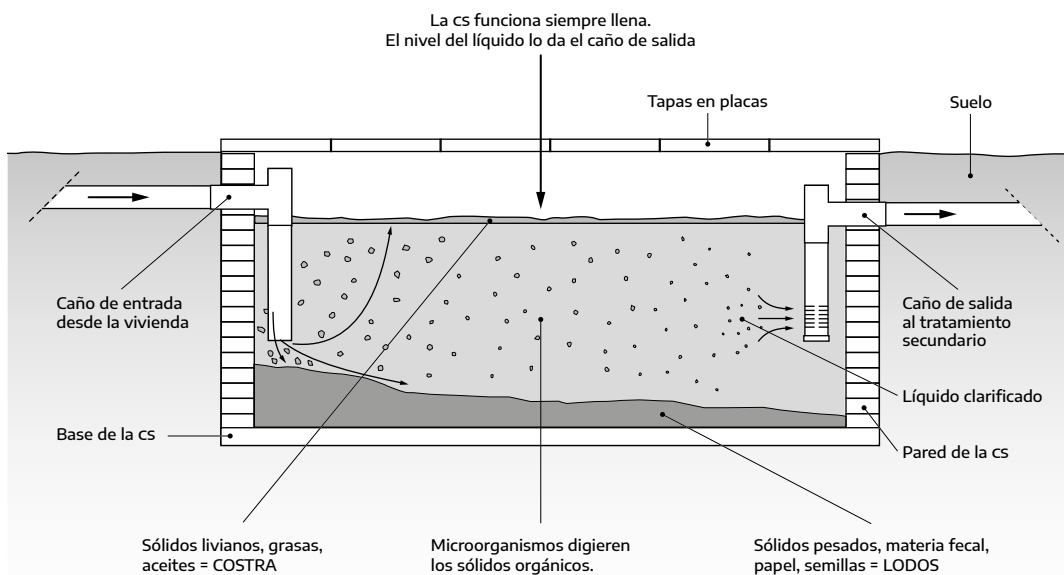


Figura 6. Funcionamiento de la cámara séptica.

Si la cámara tiene algún tabique, la mayor parte de los sólidos queda en el primer compartimiento. En algunos casos los sedimentos del fondo se resuspenden por corrientes convectivas. El tabique tiene por función evitar que lleguen al caño de salida. La colocación de un filtro en el caño de salida mejora mucho la calidad del efluente. Dentro de la cámara se desarrolla una comunidad microbiana anaerobia (no necesita oxígeno), que lentamente disuelve y digiere los contaminantes biodegradables retenidos en la superficie y el fondo, los que prácticamente desaparecen. Los materiales inorgánicos y los orgánicos no biodegradables se acumulan, pero ocupan un volumen pequeño. Periódicamente (cada tres o cinco años), la cámara debe ser vaciada con un camión atmosférico.

Dimensionamiento

El principal parámetro de dimensionamiento de una CS es el tiempo de residencia hidráulica, es decir, el tiempo promedio que debe permanecer el agua dentro de la cámara, que debe ser de entre 24 y 36 horas. Además del espacio que ocupa el líquido, que debe ser entre una vez y una vez y media la cantidad de agua que se usa en la casa por día, el volumen de la CS debe contemplar el espacio de aire que queda entre el agua y la tapa, el espacio que ocuparán la acumulación de lodos en el fondo y la costra en la superficie, en el periodo entre limpiezas.

TABLA II.

PARÁMETROS DE DISEÑO DE CÁMARA SÉPTICA	
Parámetro	Valor
Altura cámara de aire	0,20 - 0,30 m
Profundidad mínima	1 m
Relación Largo/ Ancho	2:1
Tiempo de residencia hidráulica	24-36 hs.

Para dimensionarla se debe conocer el consumo de agua de la casa por día o estimar el consumo por persona por día. A ese caudal se le debe sumar un volumen de 40 L/hab × año para acumulación de lodos y 0,7 m³ de acumulación de costra. La profundidad mínima debe ser de 1,00 m, para garantizar que no se resuspendan los lodos del fondo. En la TABLA III se proponen las dimensiones de cámaras para diferente número de personas, de diferentes volúmenes según sea del medio urbano o medio rural. Al definir el volumen de la cámara séptica es recomendable no aferrarse estrictamente al número de personas y a las medidas de la TABLA. Siempre es conveniente construir una cámara un poco más grande de lo necesario. En las TABLAS se puede observar que el incremento de las dimensiones, y por lo tanto el de los materiales y los costos entre un tamaño y el siguiente, no es demasiado. Hacer una CS más grande asegura un mejor funcionamiento y una necesidad de vaciado menos frecuente. Por eso se sugieren rangos de tamaño cada 2 o 5 personas. El tamaño mínimo recomendado es de 1000 L (hasta 4 personas) y luego se agregan 250 L cada 2 personas en el medio rural y 500 L cada 2 personas en el medio urbano.

MEDIO URBANO				
P	Vol (L)	largo (m)	prof (m)	ancho (m)
1 a 4	1000	1,5	1	0,7
6	1500	1,8	1	0,8
8	2000	2,2	1	0,9
10	2500	2,5	1	1
15	3500	2,9	1,1	1,1

MEDIO RURAL				
P	Vol (L)	largo (m)	prof (m)	ancho (m)
1 a 4	1000	1,5	1	0,7
6	1250	1,6	1	0,8
8	1500	1,8	1	0,8
10	2000	2	1	1
15	2500	2,5	1	1

TABLA III. Medidas de CS para diferentes cantidades de usuarios y dotación por persona.

TIPOS DE CÁMARA SÉPTICA

- Cámara séptica de mampostería hecha en obra.
- Cámara séptica prefabricada de cemento premoldeado (comercial).
- Cámara séptica prefabricada de plástico (comercial).
- Cámara séptica construida con materiales reciclados (tambores de 200 L)

Construcción de una cámara séptica de mampostería hecha en obra

Paredes de mampostería, de ladrillos comunes de 15 cm, sobre un fondo de hormigón armado, revestidos totalmente, fondo y paredes, con un alisado de concreto (cemento-arena 1:2, más hidrófugo).

- 1 - Se hace un pozo de las medidas exteriores de la cámara.
- 2 - Se hace una losa de hormigón con malla CIMA en el fondo.
- 3 - Se levantan las paredes hasta el nivel de la tapa, dejando los caños de entrada y salida incluidos en las paredes a las alturas correspondientes.
- 4 - Se impermeabiliza el piso y las paredes interiores de la cámara con concreto 1:2 con hidrófugo.
- 5 - Se hace un molde con las medidas de las losas que conforman la tapa de la cámara.
- 6 - Se hacen tantas losas como para cubrir la cámara.
- 7 - Se conecta el desagüe de la casa al caño de entrada de la cámara y el de salida al tratamiento secundario (figura 7).

Cámara séptica prefabricada de cemento premoldeado (comercial)

En el mercado se venden cámaras sépticas prefabricadas, de cemento premoldeado. Consisten en un cilindro vertical, fabricado en dos mitades, para armarlo en la obra.

En lados opuestos de la pared tienen los orificios para instalar las conexiones de entrada y salida. Los caños de entrada y salida quedan muy próximos y pueden generar cortocircuitos en el flujo del agua. Para evitarlos, es muy importante que tenga un tabique central divisor y piezas «T» en los caños de entrada y salida.

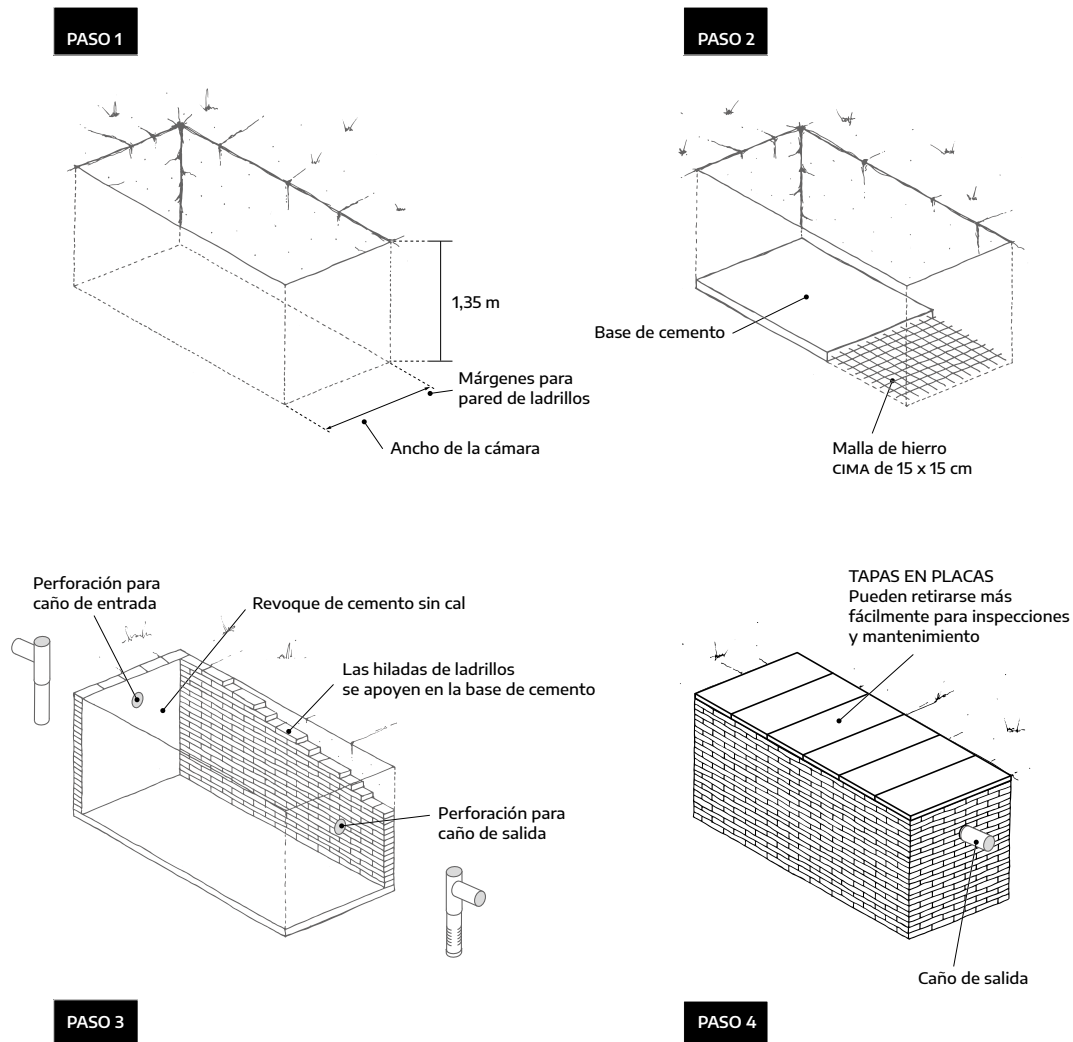


Figura 7. Pasos en la construcción de una cámara séptica de mampostería.

Estos productos suelen estar contruidos con moldes muy gastados o mal hechos, por lo que las piezas no calzan de forma ajustada y es difícil lograr que la cámara sea estanca. Además, suelen ser de pequeño volumen, insuficiente para servir a la cantidad de gente que sugiere el fabricante. Esa falencia se puede salvar colocando dos cámaras en serie (Imágenes 3 y 4).

Hay empresas que ofrecen tanques de plástico reforzado, cilíndricos, de muy variadas capacidades, para colocar enterrados en forma horizontal, normalmente utilizados para almacenamiento de líquidos, agua o combustibles. Estos tanques pueden ser utilizados

como cámaras sépticas, con un rendimiento similar a las rectangulares, pero debe verificarse la instalación de las piezas «T» correspondientes en los caños de entrada y de salida. (Imagen 5).



Imágenes 3 y 4. Cámaras sépticas prefabricadas de cemento premoldeado.



Imagen 5. Capacidad 1000 litros.

Cámara Séptica construida con tambores plásticos reciclados

Para la construcción de una cámara séptica de pequeño volumen, para 1 a 2 personas, se pueden utilizar tanques o tambores plásticos reciclados de la distribución de materias primas industriales a granel.

Materiales a utilizar

- Un tambor de 200 L
- Caño de 63 mm
- Piezas «T» de 63 mm

1 - Se localiza el caño de salida de los desagües de la casa y se verifica el diámetro.

2 - Se compran el o los tambores, los caños y las piezas necesarias, de las medidas adecuadas para hacer las conexiones.

- 3 - Se dibuja sobre las paredes de los tambores la ubicación de los caños de entrada y de salida. La entrada 15 cm por debajo del nivel de la tapa y la salida, del lado opuesto, 5 - 7 cm por debajo de la entrada.
- 4 - Se agujerean los tambores y se colocan las piezas sin pegamento para verificar que todo está correcto.
- 5 - Se cava un pozo de un diámetro 10 cm mayor que la CS para que el tambor quepa holgado, y de una profundidad 10 cm mayor de necesaria para que el caño de la casa coincida con el caño de entrada de la cámara séptica.
- 6 - Se coloca una capa de 5 - 10 cm de arena en el fondo para asentar el tambor.
- 7 - Se coloca el tambor con las perforaciones orientadas correctamente, se asienta en la arena y se nivela para que quede vertical.
- 8 - Se colocan los caños de entrada y salida, las piezas «T» y el caño de conexión a la casa.
- 9 - Se pegan las conexiones y se sellan los caños de entrada y salida contra las paredes del tambor.
- 10 - Se llena el tambor de agua y se rellena con tierra el espacio entre el tambor y el suelo, regando para que se asiente bien. Se puede llenar con suelo-cemento que le dará más firmeza. También se puede hacer en la superficie, alrededor del tambor, un anillo de hormigón con hierro de 6 mm, para evitar deformaciones o aplastamientos de la CS. Como las CS cilíndricas o circulares son menos eficientes, debido a la poca distancia entre la entrada y la salida del efluente, es recomendable incorporar un tabique separador central o más cerca de la salida. Si el volumen de un tambor es insuficiente, se pueden utilizar dos conectados en serie, uno a continuación del otro (Imágenes 6 y 7).



Imágenes 6 y 7. Cámara séptica construida con dos tambores plásticos reciclados.

BIODIGESTOR COMERCIAL

Un dispositivo que puede reemplazar a una cámara séptica es un biodigestor comercial de material plástico, que se adquiere en corralones de materiales de construcción. Algunas empresas comercializan los mismos tanques de agua de abastecimiento, con el agregado de los caños de entrada y de salida con el nombre de cámara séptica o biodigestor.

Esos productos no suelen ser muy eficientes. Los biodigestores tienen un aspecto similar a los tanques de agua pero con el agregado de algunas estructuras internas específicas, como un fondo cónico para acumulación y digestión anaerobia de los lodos, un sistema simple para la extracción y secado de los lodos y un filtro interno que favorece la salida de un efluente mejor clarificado (figura 8).

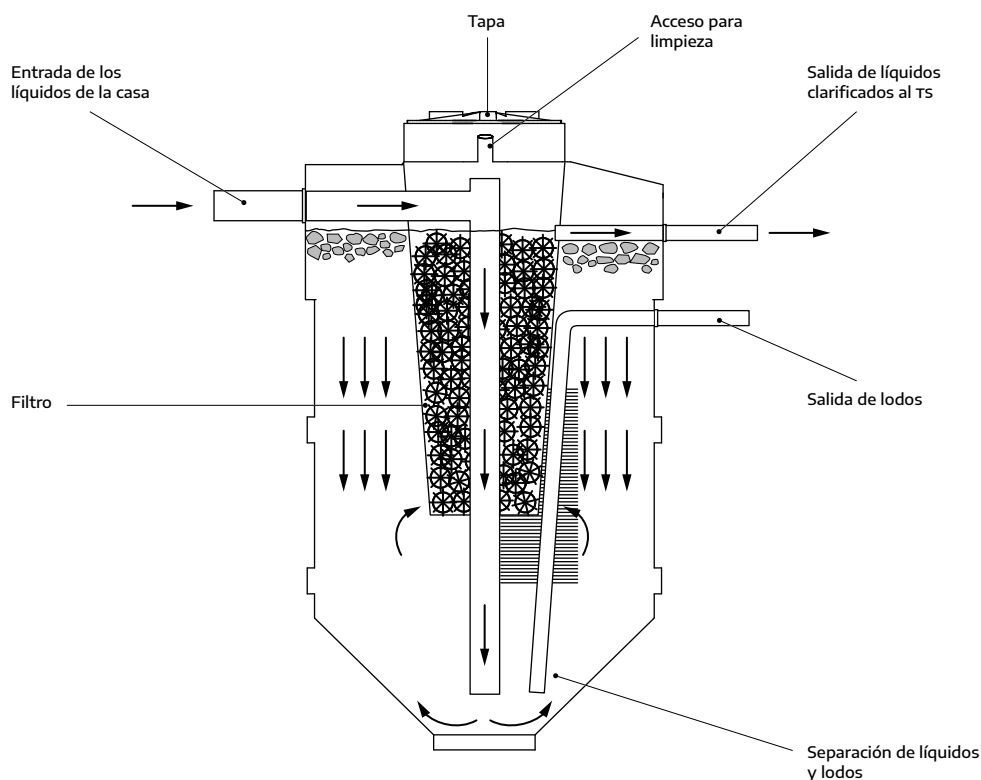


Figura 8. Estructura interna y funcionamiento de un biodigestor.

El principio de funcionamiento es el mismo descrito para la cámara séptica. Las paredes laterales y la tapa no son tan rígidas y resistentes y pueden colapsar por presión. Al instalarlos se deben seguir estrictamente las indicaciones del fabricante. Sobre la tapa se debe colocar una losa de protección para poder transitar.

Los biodigestores disponibles en el mercado local que cuentan con las estructuras internas adecuadas para garantizar un proceso eficiente, una buena calidad de efluente, un manejo sencillo y una variabilidad de tamaños que pueden satisfacer diferentes necesidades son: biodigestores ROTOPLAS de 600, 1300 y 3000 L, biodigestores WATERPLAST de 600 y 1100 L, biodigestores DURA + de 850 y 1200 L, y biodigestores INECA de 750 y 1500 L (Imagen 8).



Imagen 8. Biodigestor comercial.

A las aguas residuales de una casa ocupada por una familia tipo, se les puede aplicar un tratamiento primario con un biodigestor de 850 o 1100 L. Las tareas de operación y mantenimiento de estos productos son sencillas y no necesitan mucha capacitación. El efluente de un biodigestor, igual que el de una cámara séptica, no está totalmente purificado y necesita un tratamiento secundario.

Mantenimiento de la cámara séptica

Una cámara séptica requiere muy poco mantenimiento y hacerlo es muy sencillo. Una vez por año se debe controlar:

- El nivel del agua. Debe estar a la altura de la «T» de salida. Si está por debajo o se observa la presencia de raíces dentro de la cámara, indica falta de hermeticidad o fisuras y por lo tanto pérdidas.
- El espesor de la costra flotante y de la capa de lodos del fondo (sondeando con una varilla).

La capa de sedimentos del fondo y la costra superficial con el tiempo aumentan de espesor. La costra no debe superar la altura de la boca superior de la «T» de salida. Entre la superficie del sedimento y la boca de la rama inferior de la «T» de salida, debe haber 30 cm de agua libre. Cuando no se cumplen esas condiciones o el sedimento y la costra exceden el 30 % del volumen total, es necesario vaciar la cámara. Lo recomendable será realizar limpiezas periódicas cada 3 o 5 años. El espesor de lodo acumulado se puede medir con un palo con un estropajo como indica la figura 9.

- La limpieza de la «T» de entrada.
- Limpiar el filtro de la «T» de salida. Antes de sacar el filtro de la «T» de salida para limpiarlo o reemplazarlo, se debe bajar el nivel de la cámara por debajo del caño de salida para evitar que los sólidos que se desprenden del filtro salgan de la cámara (figura 9).

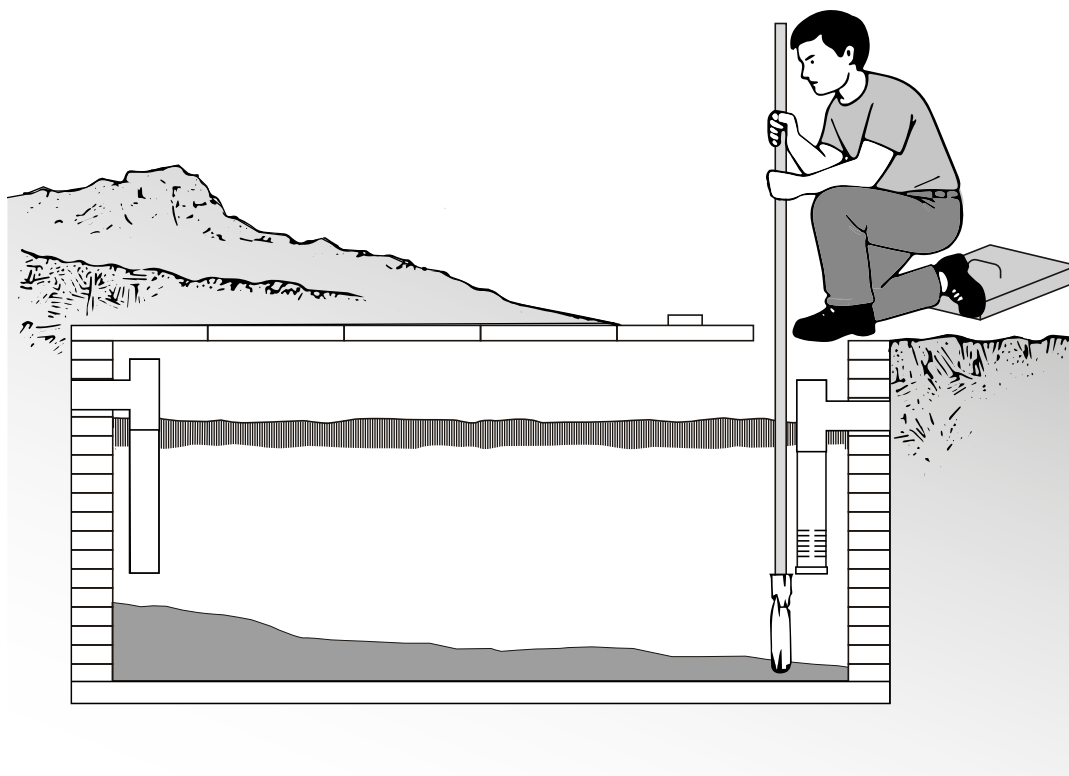


Figura 9. Medida de acumulación de lodos para mantenimiento.

Recomendaciones

En la casa se pueden usar los productos de limpieza habituales (lavandina, detergentes, desinfectantes) en las cantidades «normales». No es necesario agregar ningún producto comercial para mejorar el funcionamiento de la cámara séptica. Nunca se debe enviar el agua de lluvia a la cámara séptica. Esto produce un efecto de lavado que le baja el rendimiento y perjudica al tratamiento secundario.



IMPORTANTE: NUNCA SE DEBE INGRESAR EN UNA CÁMARA SÉPTICA.
Normalmente hay ausencia de oxígeno y presencia de gases tóxicos y/o explosivos.

CÁMARA DESGRASADORA

Las aguas residuales domésticas contienen grasas y aceites, producto de la preparación de comidas y del lavado de platos. Ese contenido se incrementa mucho si se vuelca

el aceite «quemado» luego de freír, en el sumidero de la pileta de la cocina, costumbre muy poco recomendable. Las grasas y los aceites no son solubles, no se disuelven en el agua. El detergente de cocina y el agua caliente, los dividen en millones de pequeñas gotitas que son arrastradas por el agua en una forma que se llama «emulsión».

No es aconsejable eliminar estas aguas en las zanjas pluviales, ya que las grasas y los aceites flotan y se descomponen, generando aspectos y olores desagradables. Esto se puede evitar con un dispositivo sencillo, la cámara desgrasadora.

La cámara desgrasadora debe formar parte del tratamiento primario de las aguas residuales que contienen mucha concentración de grasas y aceites, como es el caso de locales gastronómicos, de casas donde se cocina para muchas personas, donde se descarta mucho aceite o donde la conexión a la cloaca o al sistema de tratamiento autónomo está lejos de la casa. Una casa convencional donde vive una familia puede no tener una CD y enviar las aguas de la cocina directamente a la CS.

Por la CD sólo pasan las aguas que conduce el caño de desagüe de la pileta de la cocina antes de llegar a la CS. Su función es evitar que una cantidad excesiva de grasas y aceites lleguen al sistema de tratamiento primario donde pueden dificultar o recargar el trabajo de la comunidad bacteriana. También evitar que grasas y aceites se depositen adheridas a las paredes de los caños de conducción y produzcan obstrucciones en caso de conductos muy largos. Generalmente se coloca en el lado exterior de la vivienda, lo más cerca posible de la pileta de la cocina.

Estructura

La cámara desgrasadora es una caja estanca, con un caño de entrada de líquidos y uno de salida, ubicados en caras opuestas. Está dividida por un tabique transversal al sentido de flujo, sellado a las paredes laterales, que sobresale del nivel del agua y que no llega al fondo, dejando un espacio libre. El tabique divide el volumen de la CD en dos recintos uno mayor cerca de la entrada y uno menor del lado de la salida. El caño de entrada tiene un codo hacia abajo. El caño de salida se ubica en la cara opuesta, unos centímetros más bajo que el de entrada, y define el nivel del agua en la cámara. También tiene un codo hacia abajo o una pieza «T», con una prolongación hacia abajo. La cámara desgrasadora puede ser de forma cúbica, cilíndrica o prismática, figuras 16 a 17.

PARÁMETROS DE DISEÑO CÁMARA DESGRASADORA	
Parámetro	Valor
Tiempo de residencia hidráulica	30 min.

Funcionamiento

El agua que ingresa pierde velocidad y temperatura, lo que favorece que se rompa la emulsión de grasas y aceites. Las pequeñas gotitas se asocian en gotas mayores y flotan. El tabique, que sobresale de la superficie pero no llega al fondo, obliga al agua a

pasar por debajo, favoreciendo que las sustancias que flotan queden retenidas frente al tabique y se solidifiquen en la superficie, formando una costra que debe ser retirada periódicamente como parte del mantenimiento. El caño de salida con el codo o la pieza «T», garantiza que el agua que sale no arrastre materiales que flotan en la superficie.

Construcción

Una cámara desgrasadora se pueden construir con mampostería de ladrillos y cemento o se pueden comprar como productos comerciales prefabricados, hechas de cemento premoldeado o plástico PVC (figura 10, e Imágenes 9 a 12). También se pueden construir en forma casera con materiales reciclados como un envase de pintura de 20 L u otros recipientes.

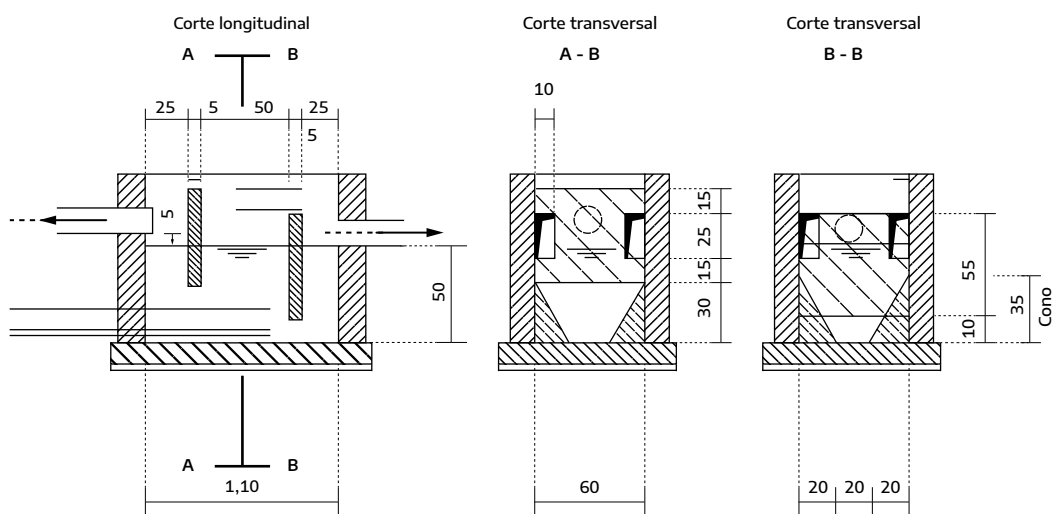


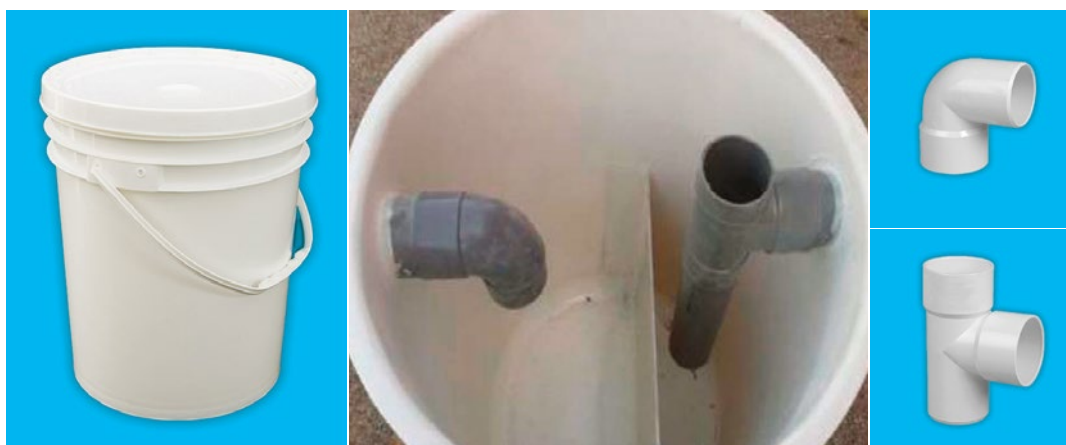
Figura 10. Esquema de una cámara desgrasadora.



Imágenes 9 y 10. Cámaras desgrasadoras comerciales de cemento.



Imágenes 11 y 12. Cámaras desgrasadoras comerciales de plástico.



Imágenes 13 a 16. Cámara desgrasadora construida.

CAPÍTULO 3

Tratamiento secundario

La función principal del tratamiento secundario es eliminar las partículas pequeñas, los microorganismos y las sustancias disueltas que se escapan de tratamiento primario. El proceso implica poner en contacto las aguas ya clarificadas, con una comunidad de microorganismos que filtra, retiene, absorbe y se alimenta de esos contaminantes que todavía contiene el agua y así completa la depuración. Hay diversas tecnologías aplicables en sistemas autónomos, que permiten realizar un tratamiento secundario intensivo al agua residual que ya atravesó el tratamiento primario. Las que aquí se presentan se pueden dividir en dos grandes grupos:

A – Las tecnologías que utilizan la infiltración en el suelo como tratamiento secundario y disposición final del agua en el ambiente en un mismo paso.

B – Las tecnologías que utilizan estructuras específicas, los biofiltros, para realizar el tratamiento secundario y luego la infiltración en el suelo como disposición final.

Las primeras son tecnologías más sencillas, que requieren menos mantenimiento, pero que sólo se pueden aplicar en lugares donde el suelo reúne ciertas características adecuadas de estructura y permeabilidad. Los sistemas de biofiltros presentan diferentes grados de complejidad y necesidad de mantenimiento, pero se pueden utilizar en cualquier lugar y son particularmente útiles donde se pretende hacer un reúso del agua tratada para riego y los efluentes eventualmente se pueden volcar en un cuerpo de agua superficial (zanja o arroyo). El sistema más adecuado para cada situación dependerá de la estructura y permeabilidad del suelo del lugar, de la disponibilidad de terreno, de la disponibilidad de agua y de la necesidad o interés en el reúso del agua residual tratada.

EL SUELO COMO RECEPTOR FINAL DEL AGUA RESIDUAL

La mayoría de los sistemas autónomos, realizan una disposición final del agua residual ya tratada, como parte del tratamiento o posterior al mismo, por debajo de la superficie del suelo, mediante un sistema de infiltración, más o menos profundo. Esto forma parte del proceso de depuración porque termina de purificar el agua utilizando la capacidad de filtración del suelo y de su comunidad microbiana natural. Además, es la forma de disposición final que permite devolver el agua al ambiente en forma segura, sin riesgo de contacto humano con el agua séptica y recargar los acuíferos cerrando el ciclo hidrológico.

Los suelos son muy variables de un lugar a otro, incluso dentro de un mismo lote. Para definir si el suelo de un sitio determinado es apto para aplicar un sistema de infiltración como tratamiento secundario, es necesario considerar dos características principales: **el espesor de suelo no saturado y la permeabilidad.**

El espesor de suelo no saturado o drenado

Es la profundidad de suelo que contiene aire en los espacios entre las partículas y que actúa como elemento filtrante activo en el tratamiento. El suelo drenado se extiende desde la superficie hasta llegar a una condición limitante que puede ser el acuífero (nivel freático o napa) o un estrato impermeable (rocoso o arcilloso), (figura 11). La existencia de una condición limitante se estudia haciendo una perforación hasta encontrar el agua o la roca, o consultando a una persona con experiencia y conocimiento de los suelos del lugar.

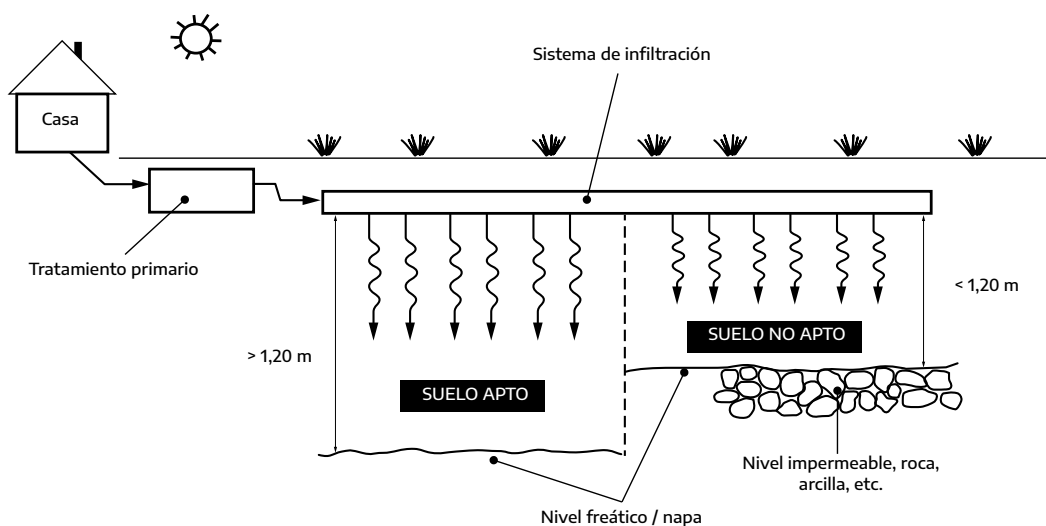


Figura 11. Estructura del suelo, estrato drenado y condiciones limitantes.

La permeabilidad del suelo

Es la capacidad del suelo para permitir el paso del agua. Para analizar la permeabilidad de un determinado suelo hay dos criterios básicos. Uno es estudiar la textura y estructura del suelo, es decir, el tamaño de las partículas que lo componen (granulometría), cómo se acomodan entre sí y qué tamaño de espacios dejan entre ellas. Este análisis lo debe realizar un profesional especializado, con experiencia en estudios de suelos. El otro criterio es realizar un ensayo de infiltración, que nos permite medir empíricamente cuánta agua limpia puede absorber el suelo en un determinado tiempo. Para este análisis hay un procedimiento simplificado, relativamente sencillo, que se describe más adelante en este manual y que puede hacer cualquier persona. El resultado se expresa como una velocidad de infiltración, o sea cuantos centímetros de agua se infiltran por hora o cuantos minutos demora en infiltrar un centímetro. El resultado del ensayo de infiltración permite definir tres condiciones posibles: que la permeabilidad del suelo es excesiva, adecuada o insuficiente.

En los suelos que contienen piedra, grava y/o arena, la permeabilidad suele ser excesiva ($< 2 \text{ min/cm}$ o $> 30 \text{ cm/h}$). El agua infiltra muy rápido porque los espacios que quedan entre las partículas son muy grandes y por lo tanto el suelo no tiene suficiente capacidad de filtración y retención de contaminantes. La purificación del agua residual es insuficiente y puede contaminar los acuíferos.

En suelos con mucha arcilla, la permeabilidad es insuficiente ($> 24 \text{ min/cm}$ o $< 2,5 \text{ cm/h}$). Las partículas del suelo y los espacios entre ellas son muy pequeños, el agua no infiltra fácilmente o lo hace muy lentamente y se acumula en la superficie.

Los suelos con permeabilidad adecuada son los que permiten una velocidad de infiltración de entre 2 y 24 min/cm (entre 2,5 y 30 cm/h).

EL SUELO Y SU FUNCIÓN DEPURADORA

El suelo participa en el proceso de depuración del agua mediante dos mecanismos, como un filtro físico y como un filtro biológico. El suelo está compuesto por granos muy pequeños. La superficie del suelo donde penetra el agua residual, retiene la mayor parte de las partículas finas y microorganismos que todavía contiene el agua después del tratamiento primario. Actúa como un filtro fino. La flora microbiana propia del suelo, cuando recibe materia orgánica y nutrientes con el agua residual, desarrolla una comunidad de microorganismos (biofilm), que absorbe y se alimenta de los contaminantes y actúa como un filtro biológico.

El biofilm que se forma sobre la superficie de infiltración, deja poros más finos que los propios del suelo, lo que aumenta la eficiencia de retención de partículas y por lo tanto la capacidad para purificar el agua. Por otro lado, los poros más finos limitan la cantidad de agua que puede penetrar. Si agregamos agua residual **en exceso**, el biofilm bacteriano crece demasiado en espesor y se hace impermeable. El agua no infiltra, el sistema de tratamiento se inunda y el agua residual sin tratamiento puede aflorar en el terreno.

El ensayo de infiltración expresa cuánta agua «limpia» puede absorber el suelo. Pero el agua residual, aun con un buen tratamiento primario, está lejos de ser agua limpia, porque todavía contiene muchas partículas finas, materia orgánica disuelta y microorganismos. **Por esa razón, la tasa de aplicación de agua residual ($\text{L/m}^2 \times \text{d}$), suele ser mucho menor que la tasa que se mide en el ensayo de infiltración.**

No obstante es proporcional y se obtiene de una tabla que relaciona el resultado del ensayo de infiltración con la tasa de agua residual aplicable. Las tasas recomendadas de aplicación de aguas residuales varían entre 25 y 50 $\text{L/m}^2 \times \text{d}$, según la permeabilidad del suelo. Respetando esos valores, un sistema de infiltración puede tener una vida útil de 20 a 30 años sin evidenciar problemas hidráulicos, con una purificación adecuada del agua y sin generar problemas ambientales.

Todos los sistemas de infiltración propuestos en este manual tienen una estructura similar. Sobre la superficie de infiltración del suelo se coloca una capa de arena y sobre ésta, una capa de piedra. El agua que llega desde el TP se distribuye sobre la piedra que la dispersa sobre el área del sistema. La arena debajo de la piedra optimiza la distribución del agua por toda la superficie de tratamiento y hace una primera filtración fina.

En muchos protocolos se propone colocar la piedra directamente sobre el suelo. Está demostrado (Siegrist et al., 2000), que la superficie de suelo que está en contacto con una cara de la piedra queda impermeabilizada y no permite el paso del agua, lo que puede reducir el área de infiltración hasta en un 50 %. La arena en contacto con el suelo no impide que el agua infiltre por toda el área del tratamiento.

Sobre la superficie de las piedras y de los granos de arena que moja el agua al pasar, también se desarrolla el biofilm microbiano que retiene y consume parte de los contaminantes. Así, por filtración y actividad microbiana, se reduce la cantidad de partículas y carga orgánica que llega a la superficie del suelo y minimiza el riesgo de colmatación.

Una vez que el agua penetró en el suelo a través del filtro que impone el biofilm superficial, fluye hacia abajo por los espacios libres que quedan entre las partículas del suelo drenado. La mayor parte de los materiales pequeños que llegan a penetrar en la matriz del suelo, incluidos bacterias y virus, quedan adheridos a las partículas del suelo por fuerzas eléctricas, de manera que el agua después de atravesar unos 30 cm de suelo no saturado, prácticamente no contiene microorganismos. Las bacterias que se adhieren a las partículas del suelo crecen formando una comunidad (menos numerosa que la de la superficie porque recibe menos alimento) pero que sigue absorbiendo los restos de materia orgánica disuelta y purificando el agua. Después de atravesar 1,20 m de suelo drenado, el agua tiene una calidad aceptable para incorporarse a los acuíferos sin representar un riesgo de daño sanitario o ambiental.

El riesgo más frecuente de contaminación de acuíferos por sistemas de infiltración es por el arrastre de nitratos, un compuesto de nitrógeno (N) sumamente soluble, producido por la oxidación del N orgánico y amoniacal, que puede migrar a los acuíferos con el agua tratada. Para minimizar el contenido de nitratos del agua que infiltra, se utilizan barreras reactivas (Robertson et al, 2000; Schipper et al., 2010), que consisten en un manto de arena mezclada con viruta, aserrín o cartón picado, que funcionan como fuentes de carbono de liberación lenta, que estimula un proceso microbiano anaerobio, la desnitrificación, que transforma los nitratos en nitrógeno molecular (N₂) que se elimina como gas a la atmósfera.

En los sistemas de infiltración se puede generar una barrera reactiva para eliminar nitratos, mezclando la arena que se coloca en el fondo del sistema, con un 20 - 30 % (v/v), de aserrín de madera no tratada con conservantes químicos. La arena al drenarse

retiene mayor cantidad de agua y puede desarrollar un ambiente anaerobio en las zonas más profundas. En esas condiciones se favorece el proceso de desnitrificación que elimina nitratos y minimiza su migración a los acuíferos (figura 12).

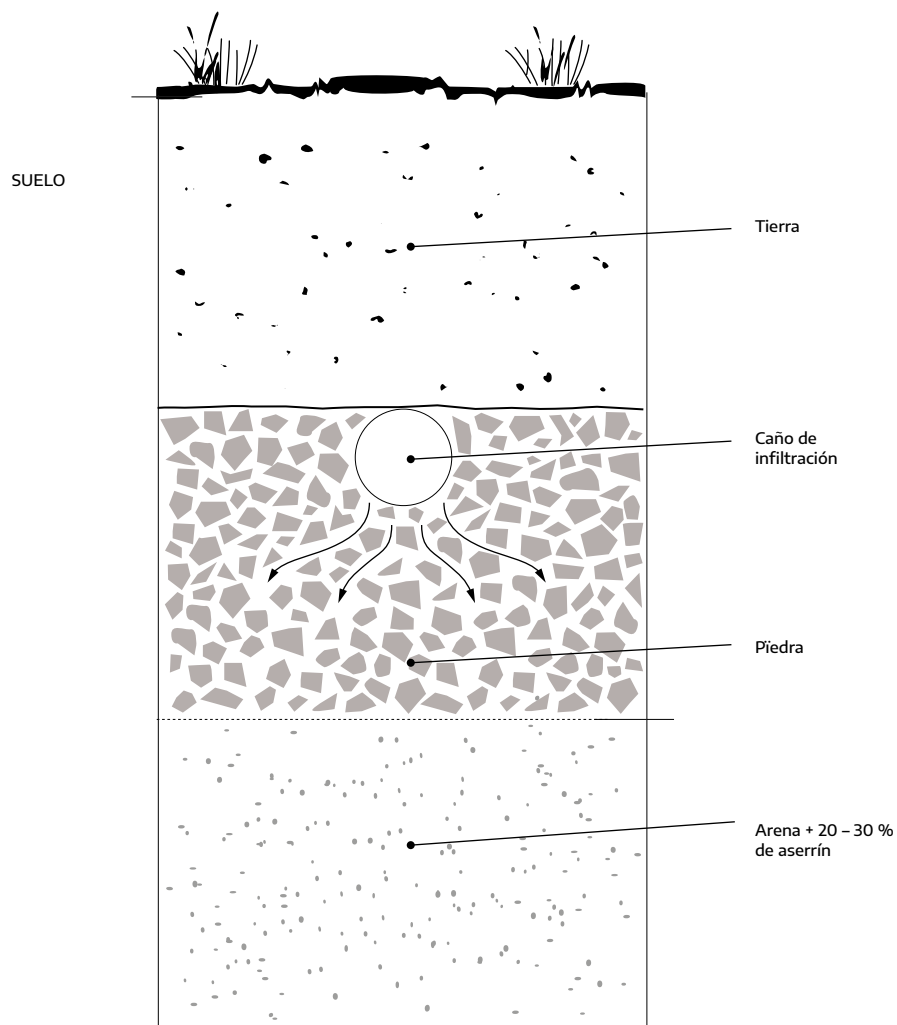


Figura 12. Estructura de una barrera reactiva para eliminar nitratos.

ESTUDIO DEL SUELO DEL LUGAR

Espesor del suelo drenado. Condición limitante

Para conocer la profundidad del nivel freático o la existencia de condiciones limitantes y su localización, lo más práctico es consultar un profesional constructor de la zona con experiencia en excavaciones o perforaciones, que nos puede brindar esa información. De no conseguirla se debe hacer una perforación hasta la profundidad necesaria de acuerdo a la tecnología a utilizar, mediante un barreno, una pala vizcachera o una hoyadora mecánica (figura 13).

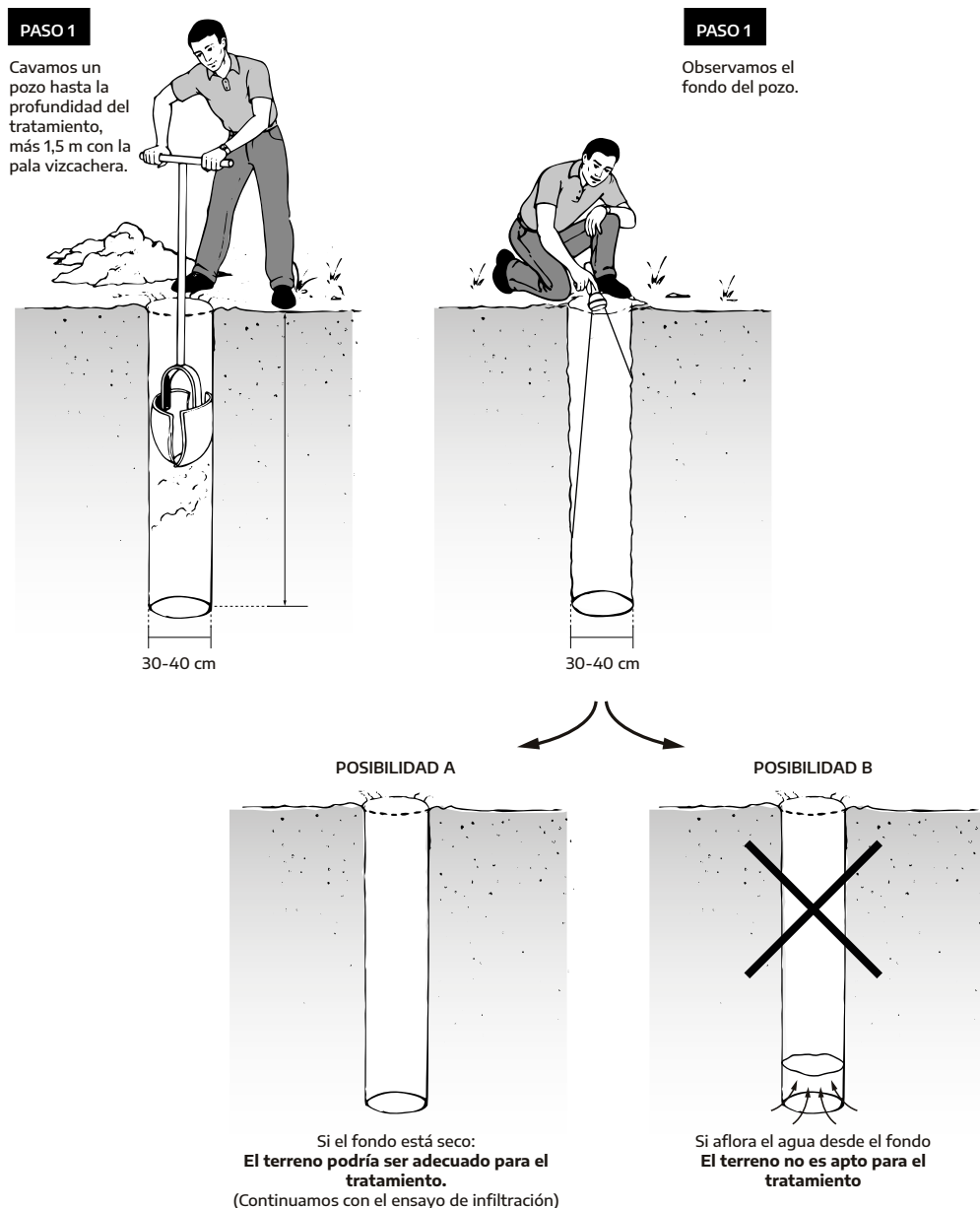


Figura 13. Estudio de la existencia de una condición limitante en el suelo del lugar.

Permeabilidad. El ensayo de infiltración

El ensayo de infiltración es un procedimiento de campo que nos permite establecer la cantidad de agua que puede absorber el suelo en un determinado tiempo. El procedimiento para cada alternativa de tratamiento varía en cuanto a la cantidad de pozos de prueba y su profundidad, pero en esencia es básicamente lo mismo.

Procedimiento

Primero hay que definir el lugar donde se ubicará el sistema de tratamiento en el lote. En ese lugar se deben hacer los pozos de prueba, de 20 a 30 cm de diámetro, hasta

la profundidad que tendrá el sistema de tratamiento elegido. Los pozos de prueba se hacen con pala de punta, pala vizcachera u hoyadora.

Para las zanjas de infiltración se hacen 6 pozos de 60 a 90 cm de profundidad, distribuidos en el área destinada al tratamiento, para un lecho de infiltración, con 3 pozos es suficiente. Para una trinchera se hacen 2 pozos de 1,5 m de profundidad. Para un pozo absorbente se hace un pozo de prueba hasta la profundidad planeada (figura 14).

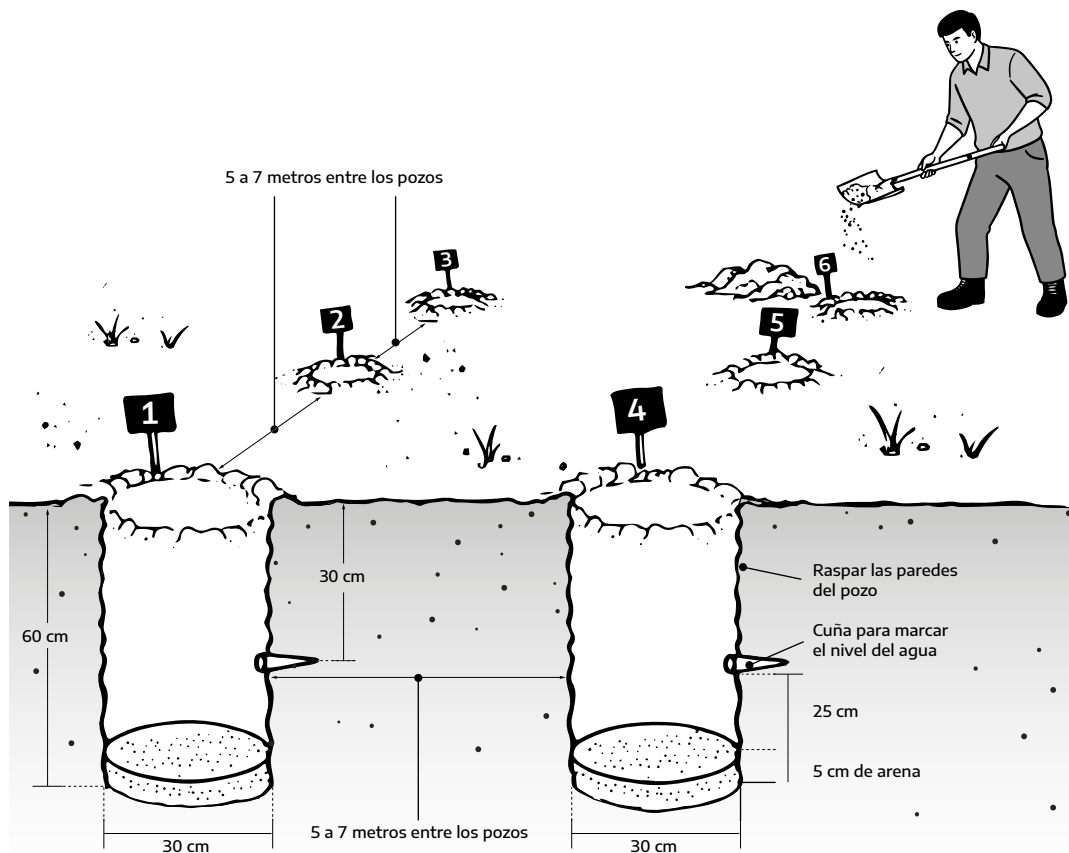


Figura 14. Pozos para el ensayo de infiltración.

Una vez hechos los pozos, se raspan las paredes para que no queden compactadas por el paso de la herramienta usada para cavar.

- En el fondo de los pozos se coloca una capa de 5 cm de arena.
- Dentro de cada pozo se coloca, una pequeña cuña de madera clavada en la pared.

En los pozos para zanjas y para lecho, la cuña se coloca a 30 cm por debajo del nivel del suelo, donde estará el caño perforado de distribución del agua residual dentro del tratamiento. Para la trinchera o el pozo absorbente, la cuña va a 50 cm por debajo

del nivel del suelo, que es la profundidad a la que ingresa el caño que llega desde la cámara séptica.

- Sobre la boca de cada pozo se coloca un arco de hierro de 4,2 mm o de madera que permite tener un punto fijo para medir la profundidad del agua (figura 15).
- Se llenan los pozos con agua y se los mantiene llenos durante varias horas, agregando agua cuando sea necesario, para saturar el suelo. Esta es la condición en que el suelo absorbe menos agua.
- Luego se comienza el ensayo.
- Se llena el primer pozo con agua hasta la marca. Se mide la distancia desde el arco sobre la boca del pozo hasta la superficie del agua y se anota esa medida como valor inicial o de tiempo cero (figura 15).

La distancia entre el arco y la superficie del agua se mide con una cinta métrica. También se puede medir con una varilla (de madera o plástico) con una pelota de telgopor de 10 cm de diámetro insertada en el extremo inferior. En este caso, se coloca la varilla en el pozo de manera que la pelota de telgopor se apoye y flote sobre el agua, y se hace una marca en la varilla a la altura del arco que servirá de referencia en las lecturas (Figuras 16).

- A partir del tiempo cero de cada pozo, se mide la distancia desde el arco hasta la superficie del agua en cada uno, cada 30 minutos.
- Después de cada medición se completa el agua hasta la cuña, de manera que cada periodo de medición comienza con la misma profundidad inicial.
- Se repite la misma operación en todos los pozos, por orden de numeración.
- Se repiten las mediciones hasta obtener en cada pozo 3 medidas consecutivas bastante similares, normalmente después de hacer 4 o 5 mediciones.
- Alcanzada esta condición, se calcula la velocidad de infiltración.

Ejemplo

Primero se calculan las diferencias entre cada lectura final después de 30 minutos y la lectura inicial de cada pozo:

3ª medición final (xx cm) – medición inicial (xx cm) = xx cm / 30 min.

4ª medición final (xx cm) – medición inicial (xx cm) = xx cm / 30 min.

5ª medición final (xx cm) – medición inicial (xx cm) = xx cm / 30 min.

Luego se hace el promedio entre esos últimos valores de cada pozo: (Med 3 + Med 4 + Med 5) / 3 = xx cm / 30 minutos.

Luego se hace el promedio entre todos los pozos: (Pozo 1 + Pozo 2 +...+ Pozo n) / n = Valor de infiltración del suelo: xx cm / 30 minutos.

- Ese valor multiplicado por 2, nos da la infiltración en **cm/h**.
- El valor de infiltración en cm/h, dividido por 60 minutos, nos dice los minutos que tarda en infiltrarse un cm, **min/cm**.

Se considera un suelo con **tasa de infiltración aceptable**, si el nivel baja entre **2,5 y 30 cm/h** o lo que es lo mismo, demora entre **2 y 24 minutos** para descender un centímetro.

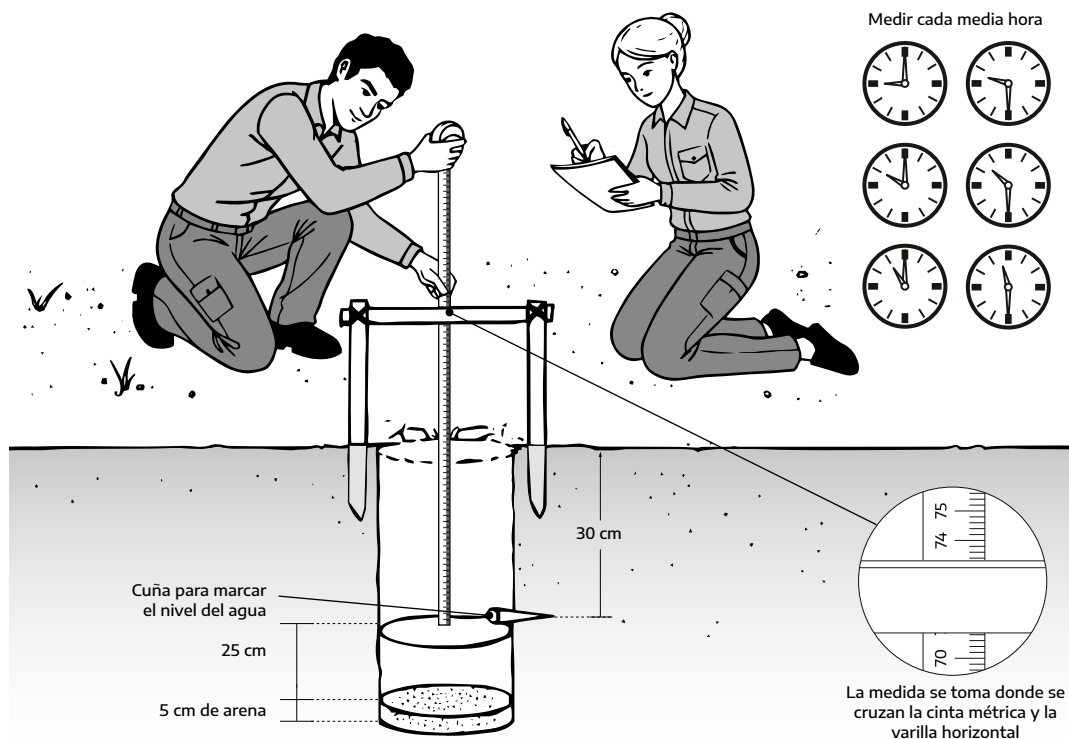


Figura 15. Pozos para el ensayo de infiltración.

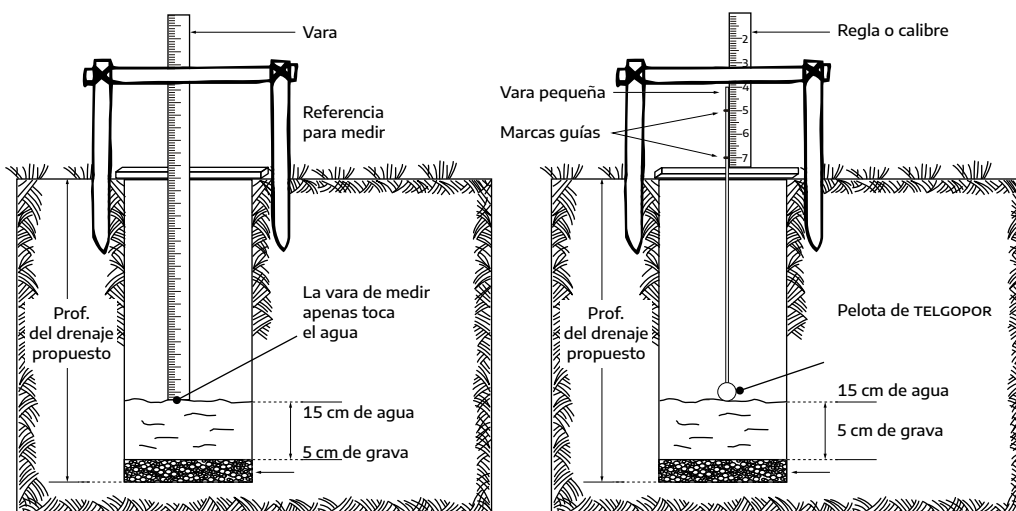


Figura 16. Pozos para el ensayo de infiltración.

En la TABLA IV se presentan los posibles resultados del ensayo de infiltración y su aplicación. La primera columna de la izquierda muestra varios intervalos de tasas de infiltración (min/cm), que son los posibles resultados de las mediciones en los pozos, en suelos de condiciones aceptables. La segunda columna muestra esas tasas expresadas en cm/h. La tercera columna indica las tasas de aplicación ($L/m^2 \times d$), correspondientes a esos intervalos, que es la cantidad de agua residual que se puede volcar en esos suelos. Las columnas cuarta y quinta, indican los metros cuadrados de superficie de infiltración que se necesitan por persona, en zonas rurales y urbanas respectivamente.

TABLA IV. Tasas de infiltración medidas, tasas de aplicación de agua residual, y área de infiltración necesaria por persona para cada situación.

TASA			L/P.D	
Infiltración		Aplic.	100	180
min/cm	cm/h	litros/ $m^2 \times d$	$m^2/pers.$	$m^2/pers.$
< 2	> 30	*	*	*
2 – 7	30 – 8.5	52	2	3,5
8 – 12	7.5 – 5	40	2,5	4,5
13 – 16	4.6 – 3.8	35	3	5,5
17 – 20	3.5 – 3	30	3,5	6,5
21 – 24	2.9 – 2.5	25	4	7
> 24	< 2,5	**	**	**
* Permeabilidad excesiva ** Permeabilidad insuficiente				

La TABLA IV indica que con tasas de infiltración de entre 2 y 7 min/cm se deberá calcular una superficie de infiltración de 2 m^2 por persona en zona rural ($100 L/p \times d$) y de 3,5 m^2 por persona en zona urbana ($180 L/p \times d$). Para tasas entre 8 y 12 min/cm, 2,5 m^2/p y 4,5 m^2/p respectivamente, para tasas entre 13 y 16 min/cm, 3 y 5,5 m^2/p y así siguiendo.

CAPÍTULO 4

Tecnologías de tratamiento por infiltración en el suelo

En esta sección se describen tecnologías de tratamiento secundario por infiltración en el suelo que funcionan por gravedad. El agua residual sale de la casa, pasa por el TP y se dirige al tratamiento secundario sin necesidad de impulso o fuente de energía. Para ello debe haber una mínima diferencia de nivel entre el origen (la casa) y el último punto (la infiltración). El suelo del lugar debe cumplir con las condiciones de espesor de suelo drenado y permeabilidad adecuada ya mencionados.

Se presentan cuatro alternativas: zanjas de infiltración, lecho de infiltración, trinchera y pozo absorbente. Estos sistemas se construyen y quedan ocultos bajo la superficie del suelo. No generan ningún impacto visual.

Se deben instalar en una zona del terreno que no se inunde cuando llueve. El lugar elegido para el tratamiento debe respetar una serie de distancias mínimas con los límites del terreno, las edificaciones propias y linderas, pozos de extracción y cuerpos de agua cercanos resumidos en la TABLA V, y en la figura 17.

DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD RECOMENDABLES		
Distancia a:	Cámara séptica	Sistema de infiltración
Curso de agua superficial	15 m	15 m
Pozo de agua potable privado	15 m	30 m
Pozo de agua potable público	150 m	150 m
Líneas de agua	3 m	8 m
Límites del terreno	1,5 m	1,5 m
Edificaciones	4,5 m	9 m

TABLA V

Una vez contruidos y tapados, sobre el sitio se puede caminar, instalar un jardín, frutales, etc. No se puede circular con vehículos, ni edificar.

Las zanjas y los lechos de infiltración distribuyen el agua residual en un área amplia. Son más sencillos de construir y más eficientes porque el agua se infiltra a poca profundidad

(60 – 70 cm) y tiene más espesor de filtrado a través del suelo antes de alcanzar el acuífero subterráneo, pero requieren mayor superficie de terreno. La trinchera es una zanja ancha, de 1,5 m de profundidad, requiere menos espacio que las zanjas y el lecho y es más fácil de construir que un pozo absorbente. El pozo absorbente tiene entre 2 y 3 metros de profundidad. Es más dificultoso para construir pero se usa donde hay poco terreno disponible. En todos los casos debe verificarse que el fondo del tratamiento, donde el agua penetra en el suelo, quede 1,5 m por encima del nivel freático, para minimizar el riesgo de contaminar el acuífero.

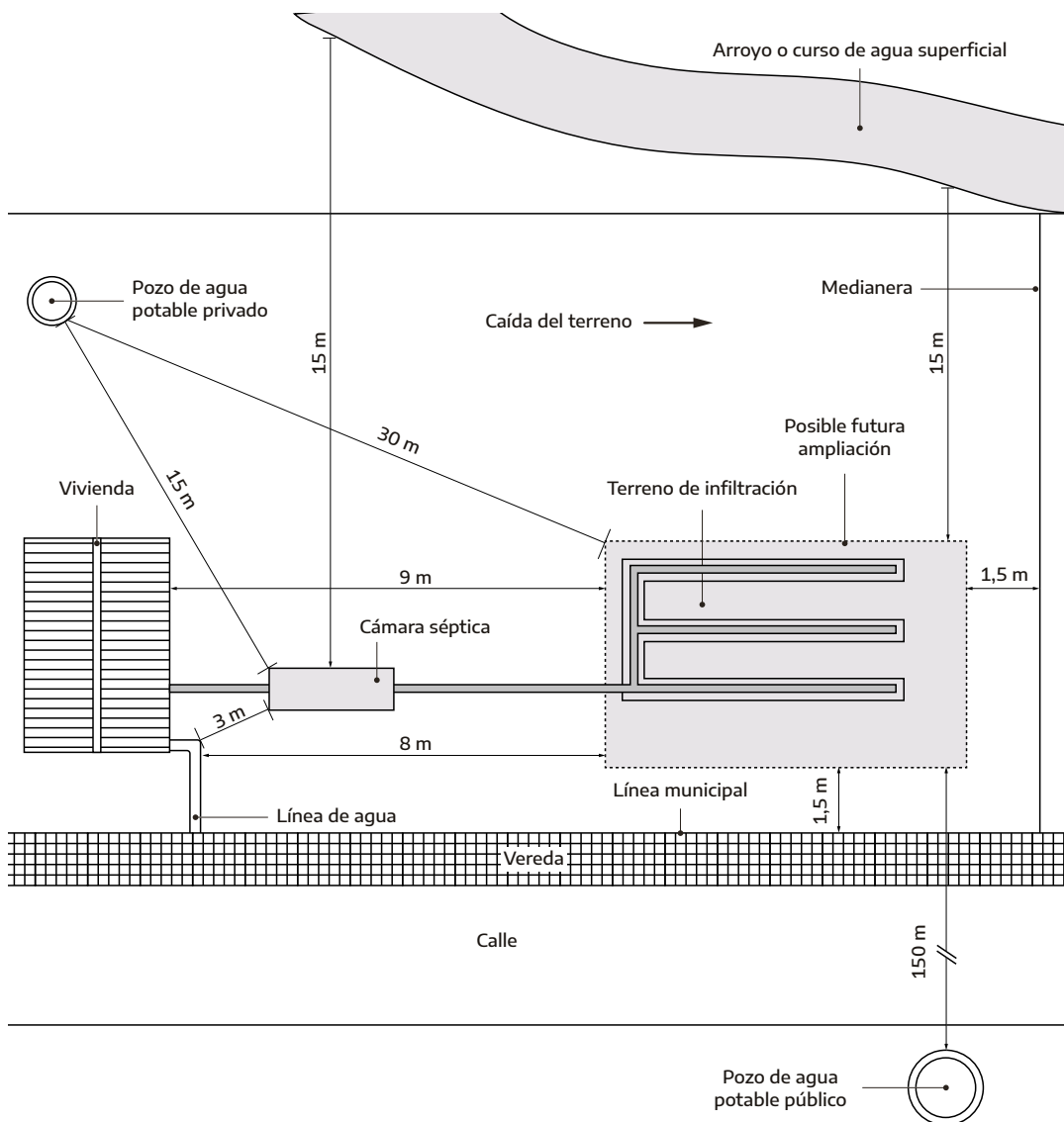


Figura 17. Distancias mínimas que debe respetar el sistema de tratamiento.

ZANJAS DE INFILTRACIÓN

Es una tecnología eficiente, económica y de fácil ejecución y se debe utilizar para reemplazar al pozo absorbente siempre que sea posible. En la literatura especializada se

puede encontrar esta tecnología con otros nombres como zanjas de oxidación, zanjas de nitrificación, terrenos de infiltración o drainfields en inglés.

Estructura

El sistema más sencillo y tradicional consiste en una red de caños perforados, colocados en zanjas rellenas con material granular (piedra, grava, escombros), y tapadas con tierra. Se utilizan zanjas de 0,60 – 0,90 m de ancho, de 0,60 – 0,90 m de profundidad, separadas 1,5 - 2 m entre sí.

El ancho depende de la permeabilidad del suelo. En suelos poco permeables, las zanjas se construyen más anchas para obtener mayor superficie de infiltración por metro lineal. Por otro lado, las zanjas más angostas favorecen la aireación del suelo. La profundidad de las zanjas depende de la profundidad a la que llega el caño que trae los líquidos desde el TP, para que el sistema funcione por gravedad.

La longitud de las zanjas depende del ancho elegido y del área necesaria para la cantidad de agua a tratar. El área está definida por la permeabilidad del suelo del lugar, como se ve en la TABLA IV del capítulo anterior. La red de distribución de líquidos se construye con caños de PVC para desagües cloacales de 110 mm. El efluente que llega del TP se conduce hacia las zanjas por una cañería sin perforaciones, con una pendiente de 1 %, y se conecta con los caños perforados de cada zanja con piezas «T» y codos. Los caños de las zanjas tienen una hilera de perforaciones de 10 – 12 mm, una cada 0,50 m y una tapa en el extremo distal. Los caños en las zanjas se colocan nivelados o con mínima pendiente ($\leq 1\%$), con la línea de perforaciones hacia abajo. También se pueden utilizar caños cribados o ranurados (imágenes 17 y 18).

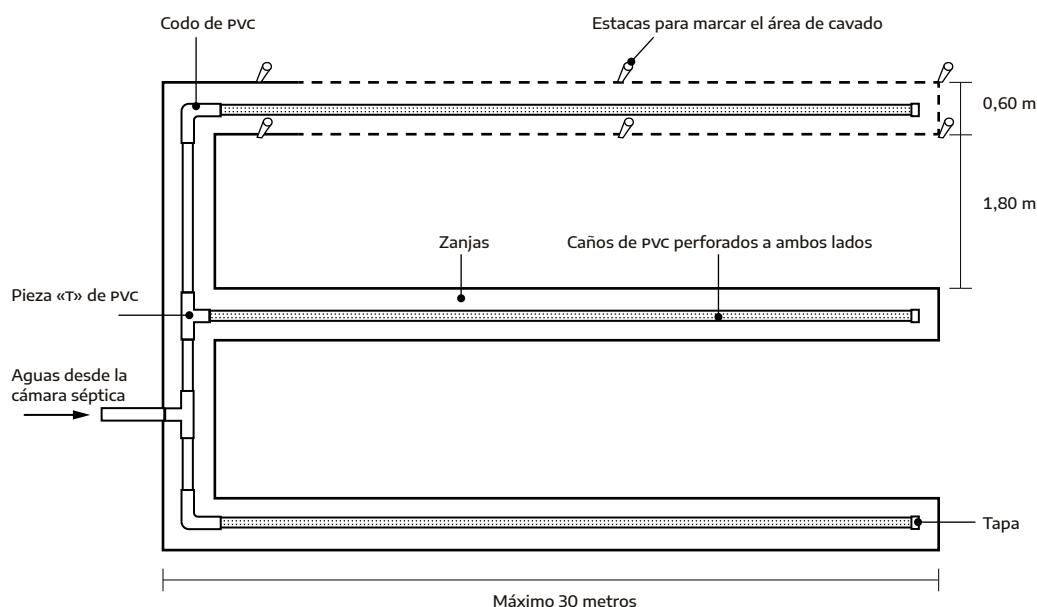
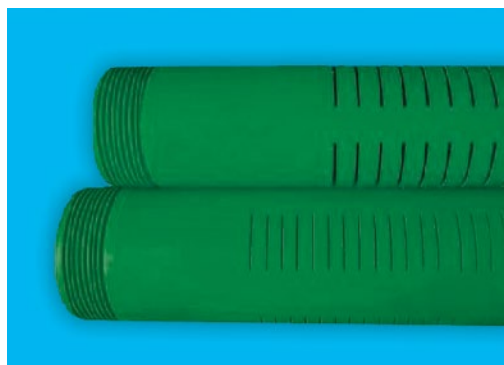


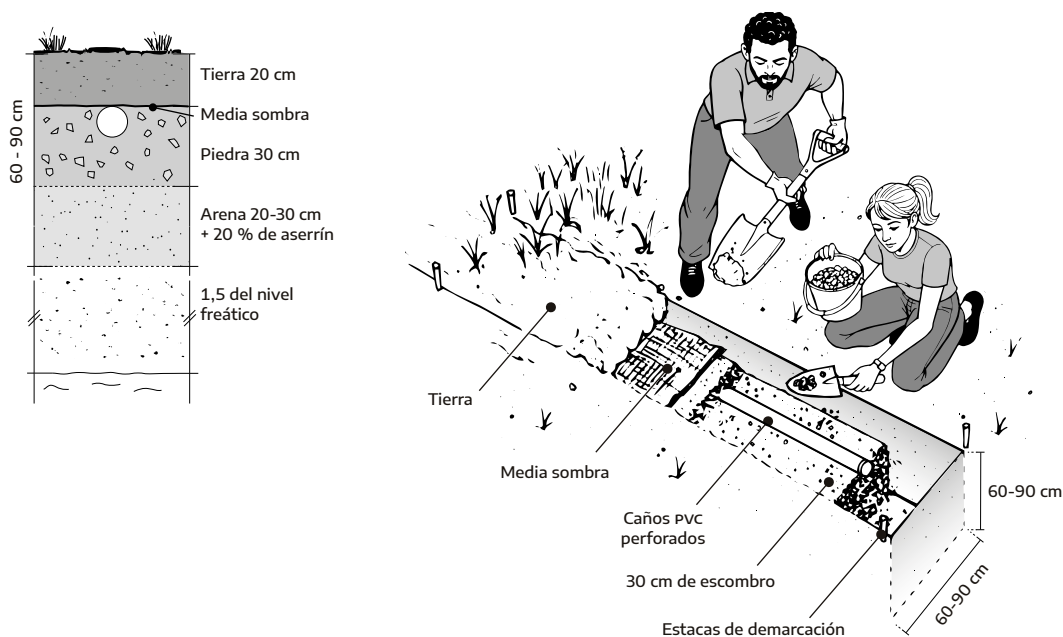
Figura 18. Estructura de la red de distribución.



Imágenes 17 y 18. Caños cribados y ranurados.

Sobre el fondo de las zanjas se coloca un espesor de un tercio de la profundidad (20 - 30 cm) de arena mezclada con un 20 - 30 % (v/v) de aserrín de madera no tratada que actúa como barrera reactiva para eliminar nitratos. Encima una capa de igual espesor de piedra partida, canto rodado, escombros sin polvo o cualquier material granular inerte, de 1 - 5 cm de diámetro medio hasta la altura de ingreso del caño que llega del tratamiento primario.

Como materiales alternativos se ha utilizado LECA (arcilla cocida liviana), vidrio molido, trozos de plástico, chips de neumáticos, etc. Por encima de la piedra se coloca el caño perforado, se nivela y se cubre con la misma piedra. Sobre el relleno se coloca una tela media sombra y encima se cubre con tierra, mínimo 20 cm de espesor, dejando un pequeño domo sobre las zanjas que luego se nivela cuando se asienta la tierra.



Figuras 19 y 20. Corte transversal y perspectiva de una zanja de infiltración.

Alternativas constructivas

En el sistema descrito, el efluente que sale del TP es conducido por gravedad a través de una cañería sin perforaciones con una pendiente de 1 %, que se ramifica y distribuye los líquidos en los caños perforados de las zanjas de forma más o menos equitativa. Es obvio que pequeñas diferencias de nivelación entre los caños de las zanjas, puede llevar a diferencias importantes de aporte de agua entre unas y otras.

Una alternativa que favorece una distribución más homogénea es colocar en la entrada del sistema de infiltración una cámara de distribución de la que sale una conexión hacia cada zanja, de manera que la cámara distribuya porciones del efluente a todas las ramas por igual. Para ello, la cámara se debe instalar bien nivelada y firme. Se puede utilizar una cámara de inspección convencional, estanca, de material no corrosible, con tapa para inspección, limpieza y mantenimiento, haciéndole las modificaciones necesarias (figura 21 e imagen 19).

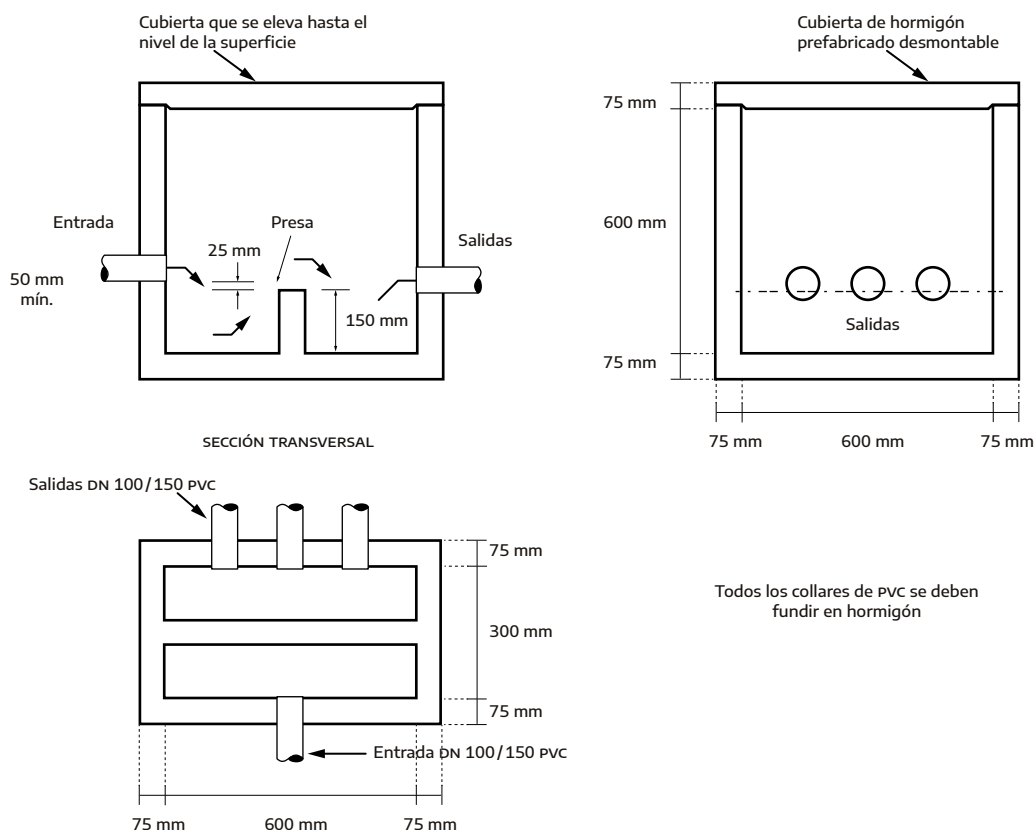


Figura 21. Esquema de una cámara repartidora.

Una opción para mejorar el rendimiento y asegurar una mayor vida útil del sistema, es poder sacar de servicio cada una de las zanjas de manera alternada, dejándole un período de descanso sin recibir agua. Para ello las salidas de los caños de la cámara de distribución se deben poder bloquear alternativamente, de a uno por vez, para darle descanso a las zanjas correspondientes. Si se elige esta alternativa es recomendable

construir el sistema con una zanja extra, es decir, si se calculan tres zanjas de una determinada longitud, construir cuatro. El sistema funcionará siempre con una zanja ocluida, que se alternará por otra cada cuatro o seis meses. Durante el tiempo de descanso, la superficie de infiltración en el fondo de la zanja se deshidrata y se resquebraja, recuperando el suelo su permeabilidad.



Imagen 19. Esquema de una cámara repartidora.

Otra alternativa es construir un sistema con zanjas sin relleno. Para ello se utilizan cámaras o bóvedas de plástico comerciales, que se colocan en las zanjas con la curvatura hacia arriba. Las bóvedas soportan el peso de la tierra y dejan el espacio hueco en su interior. Esta opción funciona mejor que las zanjas rellenas con piedra y arena, porque toda el área del fondo de la zanja se utiliza como superficie de infiltración. Además no es necesario extender el caño todo a lo largo de la zanja. En Argentina comercializan este tipo de cámaras las empresas SEPTKIT® y ROTOPLAS® (Imágenes 20 y 21).

Las cámaras tienen un costo importante, pero en parte se compensa con el ahorro en material de relleno y caños. En caso de autoconstrucción y con el fin de economizar, las cámaras se pueden improvisar con materiales reciclados.

Una posibilidad muy superadora es construir un sistema de distribución presurizado, ya sea en zanjas con relleno o zanjas vacías. La salida del TP vuelca en una cámara dosificadora, que es un tanque que contiene una bomba comandada por un flotante. Cuando el líquido alcanza cierto nivel en la cámara, el flotante acciona la bomba, que envía el líquido a las zanjas a través de las cañerías de distribución. En estos sistemas, los caños alojados en las zanjas son de un diámetro mucho menor, de 19 – 25 mm ($\frac{3}{4}$ - 1 pulgada), con agujeros de 3 – 5 mm, cada 50 cm. Cuando se acciona la bomba, los caños se llenan rápido y completamente, se presurizan, el líquido sale por todos los agujeros y se distribuye mejor a lo largo de toda la zanja. En el caño de cada zanja se coloca una válvula que permite sacar de servicio, alternativamente, una zanja por vez, cada 3 o 4 meses.



Imagen 20. Cámara de infiltración.

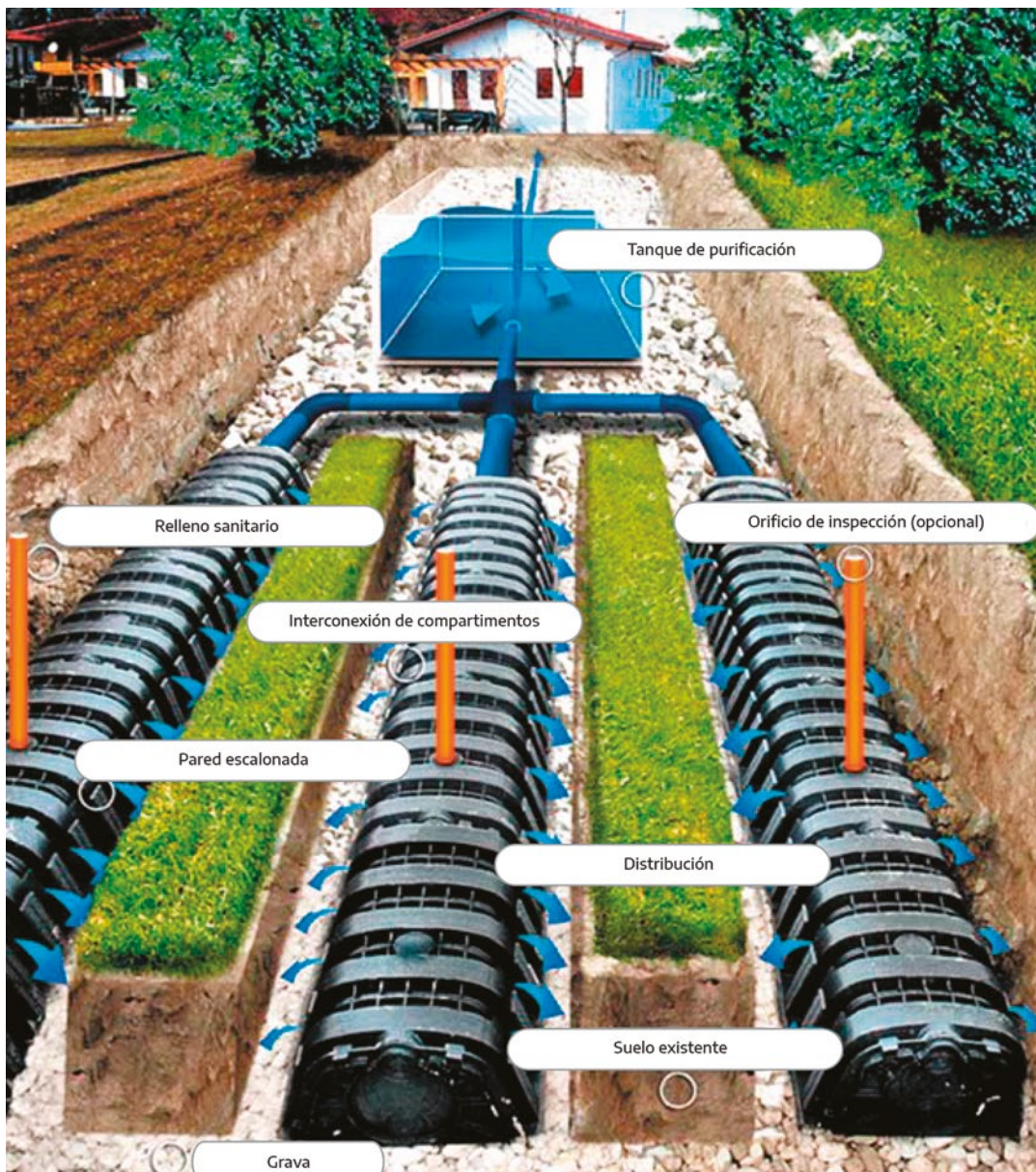


Imagen 21. Sistema de infiltración sin relleno.

En terrenos con pendiente mayor de 3 %, las zanjas se deben cavar siguiendo las curvas de nivel, para que los caños de distribución queden nivelados y el líquido se pueda distribuir a lo largo de las zanjas por gravedad (figura 22).

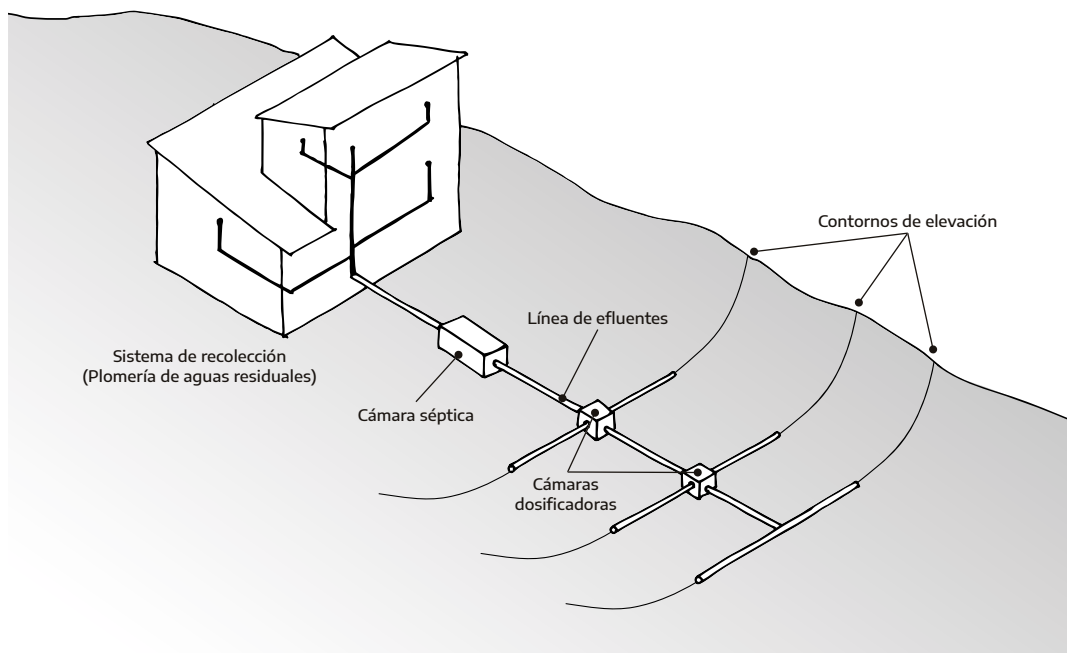


Figura 22. Zanjas cavadas siguiendo las curvas de nivel, en terrenos con pendiente.

La salida del TP vuelca en una cámara de distribución, de donde sale un caño para cada zanja y reparte el líquido en forma equitativa. La cámara debe estar bien nivelada.

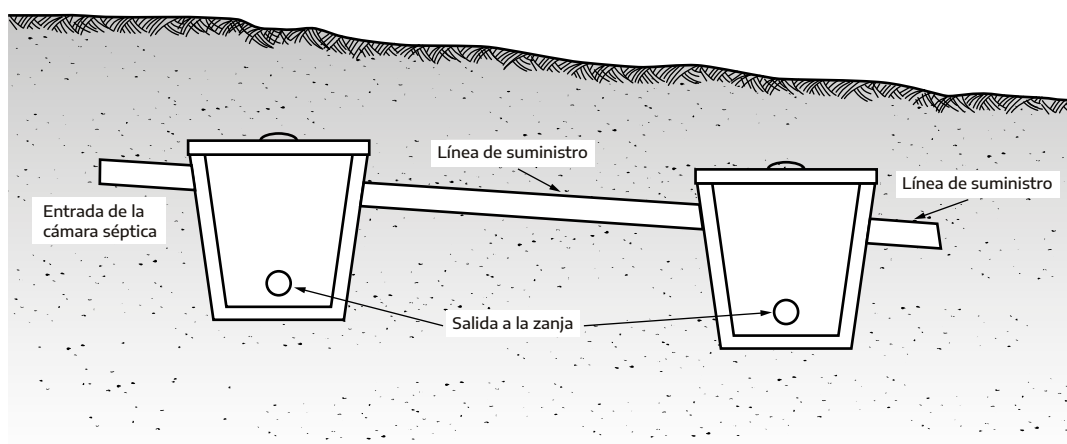


Figura 23. Cajas de cascada, distribuidoras entre zanjas en terrenos con pendiente.

Como alternativa se puede enviar una sola cañería hasta la primera zanja y allí colocar una caja de descarga o cascada que se conectará con cajas similares en cada zanja (figura 23).

Comenzando por la más alta, cada caja se llena con agua residual y luego se desborda a la caja de la siguiente zanja. El caño de entrada a una caja debe estar 2,5 cm más alto que el de salida hacia la siguiente. En cada caja, el caño que distribuye el líquido hacia la zanja, debe estar 5 cm más bajo que el caño de salida a la siguiente caja. Cuando el nivel de líquido dentro de la caja alcanza el nivel del caño de salida, recién pasa a la caja siguiente. De esta forma la primera zanja siempre recibe más líquido que la segunda, y ésta que la tercera. Las cajas deben ser estancas, hechas de un material no corrosible por los líquidos sépticos y deben tener una tapa removible al ras o por encima del nivel del suelo. En terrenos con pendiente es recomendable utilizar una cámara de distribución o un sistema de distribución presurizado.

Funcionamiento

El agua que viene del TP se distribuye por la red de caños, sale a través de las perforaciones, cae por los espacios que deja el relleno mojando las piedras, atraviesa la capa de arena y llega al fondo de la zanja donde se infiltra en el suelo. El objetivo es que el agua residual se distribuya homogéneamente por toda el área de infiltración. Esa función de distribución lateral en el ancho de las zanjas, la realizan las piedras y la arena. La distribución por gravedad, a través de caños de 110 mm, perforados, no es la forma más eficiente pero es la más sencilla, económica y que requiere menos atención y mantenimiento. En los sistemas con bombeo, como la cañería se presuriza, la distribución es más homogénea, lo que brinda una mayor probabilidad de buen funcionamiento. Por otro lado los sistemas presurizados necesitan una fuente de energía (conexión eléctrica) y un trabajo de inspección y mantenimiento del sistema de bombeo con cierta frecuencia. Cuando el sistema recibe más agua de la que puede absorber, el excedente se acumula en las zanjas y luego se absorbe lentamente por el fondo y las paredes. Después de atravesar 1,2 m de suelo no saturado el agua purificada se incorpora y recarga los niveles freáticos.

PARÁMETROS DE DISEÑO ZANJA DE INFILTRACIÓN	
Parámetro	Valor
Carga hidráulica ($\text{m}^3 / \text{m}^2 \times \text{d}$)	0,02 - 0,05
Carga hidráulica ($\text{L} / \text{m}^2 \times \text{d}$)	20 - 50
Profundidad de la Zanja (m)	0,05 - 0,90
Ancho de la Zanja (m)	0,50 - 0,90
Largo de la Zanja (m)	< 20
Separación entre ejes de Zanjas (m)	1,5 - 2,0
Separación del fondo al nivel freático (m)	> 1,2
Espesor de la cobertura (m)	> 0,2

Dimensionamiento

Para calcular las dimensiones del tratamiento se utiliza la TABLA IV. Si se construyen zanjas de 60 cm de ancho, la superficie de absorción de cada metro lineal de zanja será: $0,60 \text{ m}^2$ de fondo + $0,40 \text{ m}^2$ de pared ($0,20 \text{ m}^2$ de cada lado hasta la altura de la arena) = 1 m^2 de superficie de absorción. Si las zanjas son de 90 cm de ancho y 90 cm de

profundidad, con 30 cm de arena en el fondo, la superficie de absorción por metro lineal será de $0,90 \text{ m}^2 + 0,60 \text{ m}^2 \text{ de pared} = 1,50 \text{ m}^2$.

Ejemplos

Calcular un sistema para una casa donde viven 5 personas.

Resultado de ensayo de infiltración = 15 min/cm.

Según la TABLA IV, para 15 min/cm se pueden aplicar hasta $35 \text{ L/m}^2 \times \text{d}$.

En zona rural, donde se producen $100 \text{ L/p} \times \text{d}$:

- Caudal diario = $5 \times 100 = 500 \text{ L/d}$.
- $500/35 = 14,3 = 15 \text{ m}^2$.
- $15 \text{ m}^2/1 \text{ m}^2 \text{ por metro lineal} = 15 \text{ m de zanja}$.
- Se puede hacer un sistema con dos zanjas de 7,5 m o tres zanjas de 5 m de largo.

En el ámbito urbano, donde se producen $180 \text{ L/p} \times \text{d}$, el mismo caso sería:

- Caudal diario = $5 \times 180 = 900 \text{ L/d}$.
- $900/35 = 25,7 = 26 \text{ m}^2$.
- $26 \text{ m}^2/1 \text{ m}^2 \text{ por metro lineal} = 26 \text{ m de zanja}$.
- Se puede hacer un sistema con tres zanjas de 9 m o cuatro zanjas de 6,5 m de largo.

Construcción

Una vez definido el lugar y las dimensiones del terreno se procede a:

1 - Plantear sobre el terreno el trayecto del caño que trae el agua desde el TP y la ubicación de las zanjas del terreno de infiltración, marcándolas con estacas. Las zanjas no necesariamente deben ser rectas o paralelas entre sí. Pueden tener distintas alineaciones como muestra la figura 24, adecuándose a la disponibilidad de terreno.

Configuraciones posibles de cañerías:

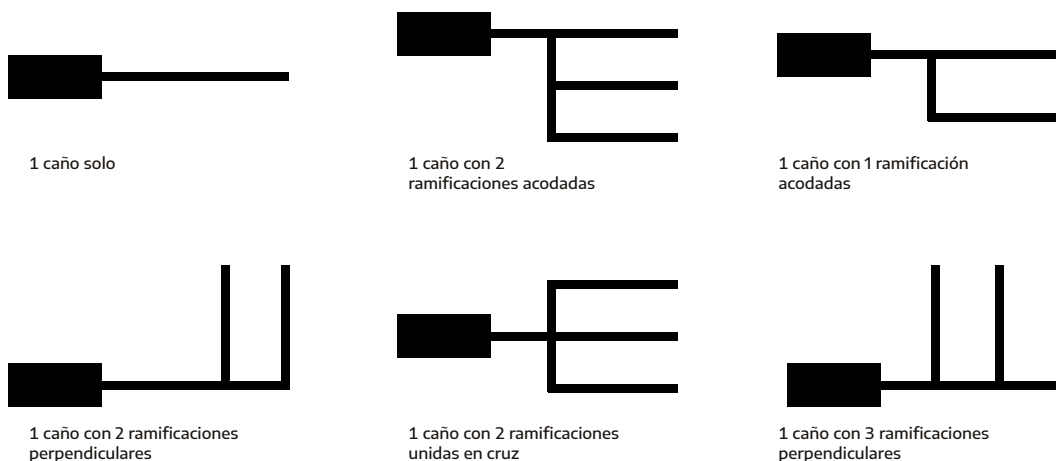


Figura 24. Versatilidad en la distribución de las zanjas de infiltración.

2 - Cavar la zanja y colocar el caño que viene del TP con una pendiente del 1 %.

- 3 - Cavar las zanjas del ancho elegido y hasta 40 cm de profundidad por debajo del nivel del caño que viene del TP.
- 4 - Colocar una capa de 20 cm de arena mezclada con 20 - 30 % (v/v) de aserrín de madera no tratada en el fondo de las zanjas.
- 5 - Colocar encima de la arena unos 20 cm del material de relleno elegido.
- 6 - Agujerear los caños con una hilera de perforaciones de 10 - 12 mm, cada 0,50 m.
- 7 - Armar sobre el relleno la red de distribución con los caños perforados. Las uniones entre caños se realizan con codos y piezas «T». Los caños llevan una tapa en el extremo distal.
- 8 - Nivelar los caños o darles una pequeña pendiente acomodando las piedras debajo.
- 9 - Hacer una prueba hidráulica enviando agua limpia por la red y ajustar el nivelado hasta verificar que se distribuya y llegue hasta el final de todos los caños.
- 10 - Agregar material de relleno hasta cubrir los caños.
- 11 - Colocar una malla de «media sombra» de trama cerrada, para evitar que el suelo se introduzca entre el material de relleno.
- 12 - Tapar las zanjas con tierra, dejando un pequeño montículo que luego se compactará naturalmente.

Recomendaciones

Como el sistema de depuración es un sistema biológico, no deben utilizarse en la limpieza de los artefactos sanitarios soda cáustica ni volcar en los desagües sustancias agresivas (como ácidos, solventes, venenos u otros tóxicos). El sistema funcionará mejor cuanto menos agua usemos, lo que implica un control del uso de este recurso en los artefactos sanitarios, haciendo un uso racional del agua.

LECHO DE INFILTRACIÓN

El lecho de infiltración es un dispositivo similar a las zanjas de infiltración, en el que los caños perforados que distribuyen los líquidos, en vez de estar ubicados en zanjas individuales, están alojados en una cubeta única, que tiene la misma estructura que las zanjas. El suelo del lugar debe reunir las mismas características que las requeridas para las zanjas. Es un sistema más compacto, ocupa algo menos de espacio pero la superficie de infiltración es sólo el fondo de la cubeta, no tiene el área de las paredes laterales de las zanjas. Eso también implica menor capacidad de aireación del subsuelo. Se utiliza donde hay limitación de espacio. Es una tecnología eficiente si se construye con una estructura adecuada y si se utiliza de acuerdo a las pautas de diseño. Es económica y de fácil ejecución y se debe utilizar para reemplazar al pozo absorbente siempre que sea posible.

Estructura

El lecho de infiltración consiste en una red de caños de distribución, colocados en una única cubeta cavada en el suelo. La cubeta lleva en el fondo una capa de 20 cm de espesor, de arena mezclada con 20 - 30 % (v/v) de aserrín de madera no tratada. Encima una capa de material granular (piedra, grava, escombros), de 20 cm, sobre la que se colocan los caños de distribución tapados con la misma piedra. El material de relleno se cubre con una tela media sombra y se tapa con tierra.

Las dimensiones de la cubeta son de 1 a 3 m de ancho y de 0,50 - 0,90 m de profundidad. La longitud depende del ancho elegido y del área necesaria para la cantidad de agua a tratar. El área está definida por la permeabilidad del suelo del lugar, de acuerdo a la TABLA IV. La disposición de los componentes y la estructura de la red de distribución son similares a las de las zanjas de infiltración. La red está formada por 2 o 3 caños perforados, separados 1 m entre sí y a 0,50 m de los bordes. Las dimensiones del sistema se calculan con los mismos parámetros que las zanjas de infiltración. El funcionamiento es también similar.

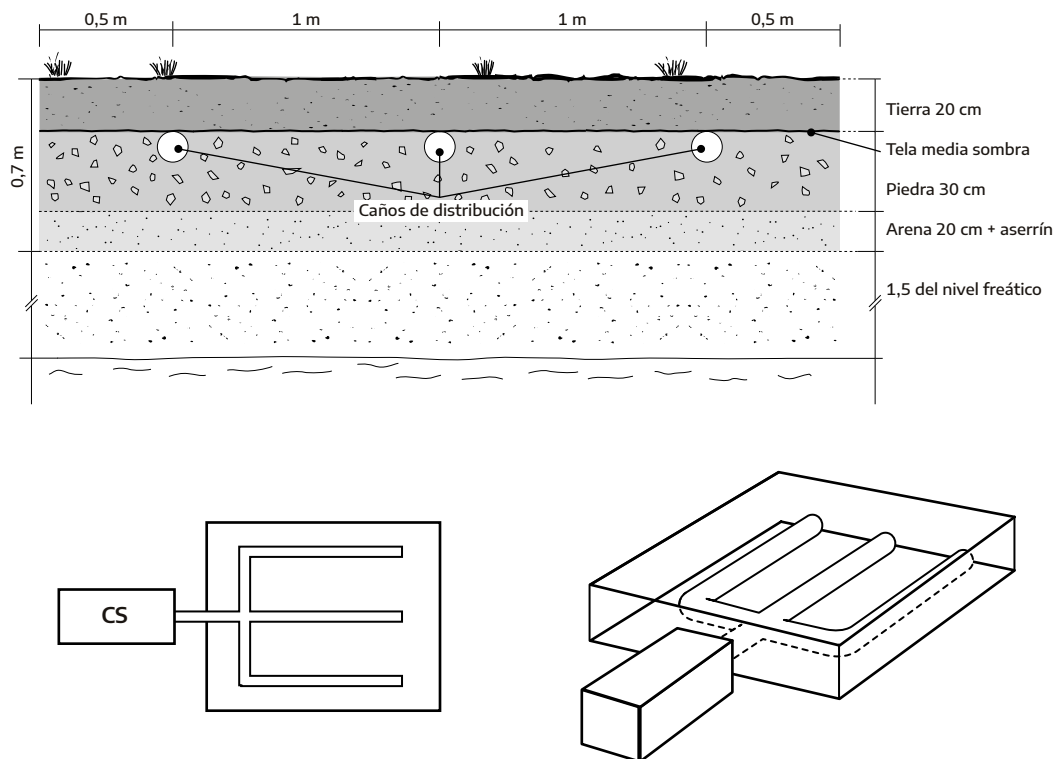


Figura 25. Lecho de infiltración. Corte, planta y perspectiva.



Imágenes 22 y 23. Lecho de infiltración.

PARÁMETROS DE DISEÑO LECHO DE INFILTRACIÓN	
Parámetro	Valor
Carga hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{d}$)	0,02 - 0,05
Carga hidráulica ($\text{L}/\text{m}^2 \times \text{d}$)	20 - 50
Profundidad del lecho (m)	0,05 - 0,90
Ancho del lecho (m)	< 3
Largo del lecho (m)	< 20
Número de tuberías por Lecho	≥ 2
Separación del fondo al nivel freático (m)	> 1,2
Espesor de la cobertura (m)	> 0,2

Dimensionamiento

Para calcular las dimensiones del tratamiento se utiliza la TABLA IV.

Si construimos el lecho de infiltración con una cubeta de 3 m de ancho, podemos calcular que la superficie de absorción será 3 m^2 por cada metro de longitud de la cubeta.

Ejemplos

Calcular un sistema para una casa donde viven 5 personas.

Resultado de ensayo de infiltración = 15 min/cm.

Según la TABLA IV, para 15 min/cm se pueden aplicar hasta $35 \text{ L}/\text{m}^2 \times \text{d}$.

En zona rural, donde se producen 100 L/p.d.

Caudal diario = $5 \times 100 = 500 \text{ L}/\text{d}$.

$500/35 = 14,3 = 15 \text{ m}^2$.

$15 \text{ m}^2/3 \text{ m de ancho} = 5 \text{ m de largo de cubeta}$.

Una cubeta de $5 \times 3 \text{ m}$, con 3 caños de 5 m de largo, separados 0,5 m de los bordes y 1 m entre sí.

En el ámbito urbano, donde se producen 180 L/p $\times$ d, el mismo caso sería:

Caudal diario = $5 \times 180 = 900 \text{ L}/\text{d}$.

$900/35 = 25,7 = 26 \text{ m}^2$.

$26 \text{ m}^2/3 \text{ m de ancho} = 8,66 \text{ m de largo de cubeta}$.

Una cubeta de $9 \times 3 \text{ m}$, con 3 caños de 9 m de largo, separados 0,5 m de los bordes y 1 m entre sí.

TRINCHERA

La infiltración en trinchera es una alternativa de las zanjas de infiltración utilizada en lugares con mucha limitación de espacio. Consiste en una zanja más ancha y más profunda, con el objetivo de incrementar la superficie de infiltración, pero mantiene la misma estructura y funcionamiento. La mayor profundidad permite incrementar el área lateral de infiltración, pero está limitada a 1,5 m por encima del nivel freático. El ensayo

de infiltración se debe hacer con pozos que lleguen a la profundidad del fondo de la trinchera. El ancho y el largo de la trinchera se definen para alcanzar la superficie de infiltración que surge de la permeabilidad del suelo y la cantidad de agua a tratar. Se utiliza la tasa de aplicación ($L/m^2 \times d$) correspondiente a ese resultado en la TABLA IV. Esta es otra tecnología que puede reemplazar el pozo absorbente. La excavación es más sencilla por ser menos profunda. La construcción tiene menor complejidad y se puede adaptar a la forma del terreno disponible, línea recta, ángulo recto, cruz, etc.

Estructura

La trinchera es una zanja de 1 – 1,5 m de ancho y 1 – 1,5 m de profundidad. En el fondo tiene una capa de un tercio de la profundidad (0,30 - 0,50 m) de arena mezclada con 20 - 30 % (v/v) de aserrín de madera no tratada y encima una capa de 0,30 - 0,50 m de piedra de 2 - 5 cm. Sobre la capa de arena, incluida en los primeros cm de la capa de piedra, lleva una cañería de ventilación, compuesta por un caño de 110 mm, con perforaciones o ranuras en todo el perímetro, con una tapa en el extremo más próximo al TP y una rama vertical abierta a la atmósfera en el otro extremo. Incluido en la superficie de la capa de piedra, se instala el caño que distribuye los líquidos que vienen del TP. Es un caño de 110 mm, que cubre todo el largo de la zanja, con una pendiente de 0,5 – 1 % hacia el final de la zanja, con una hilera de perforaciones de 10 – 12 mm, cada 0,50 m, apuntando hacia abajo, con una tapa en el extremo final. Sobre la piedra se coloca una tela media sombra y encima la cobertura con tierra.

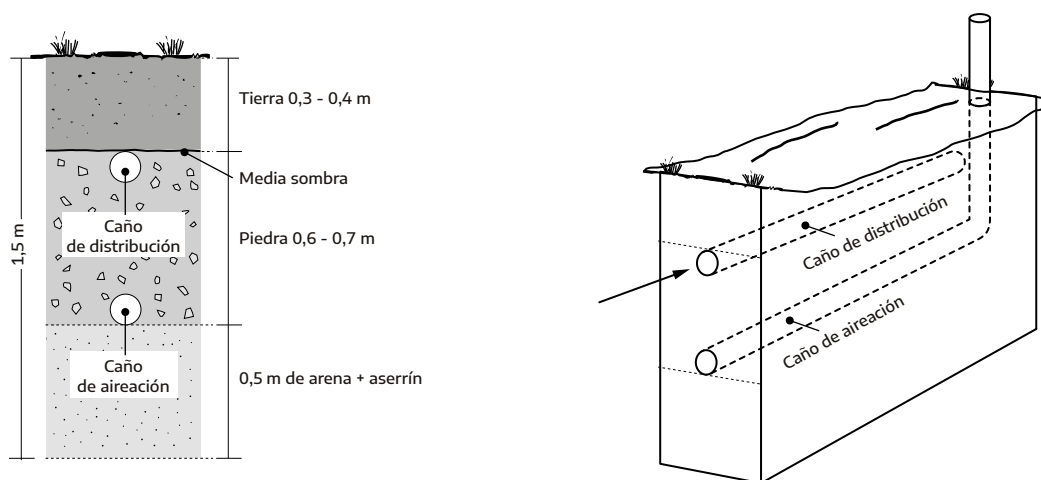


Figura 26. Trinchera, corte y perspectiva.

Funcionamiento

Como en todos los sistemas de infiltración el agua residual se purifica por filtración a través del suelo. El agua que viene de la cámara séptica ingresa a la trinchera por la cañería de distribución, sale a través de las perforaciones, cae mojando las piedras por los espacios que dejan éstas entre sí, se filtra a través de la arena y al llegar al fondo de la trinchera se infiltra en el suelo. El caño de ventilación mantiene el lecho de piedra aireado para que haya un metabolismo aerobio.

Cuando el sistema recibe momentáneamente más agua de la que puede absorber, la trinchera acumula el excedente que luego se absorbe lentamente por el fondo y las paredes. Después de atravesar 1,2 m de suelo no saturado el agua purificada se incorpora y recarga los niveles freáticos.



Imagen 24. Trinchera.

PARÁMETROS DE DISEÑO DE TRINCHERA	
Parámetro	Valor
Carga hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{d}$)	0,02 - 0,05
Carga hidráulica ($\text{L}/\text{m}^2 \times \text{d}$)	20 - 50
Profundidad de trinchera (m)	1,50
Ancho de trinchera (m)	1
Largo de trinchera (m)	< 10
Número de tuberías por zanja	2
Separación del fondo al nivel freático (m)	> 1,2
Espesor de la cobertura (m)	> 0,3

Dimensionamiento

Para calcular las dimensiones del tratamiento se utiliza la TABLA IV.

La trinchera tiene 1 m de ancho y 1,5 m de profundidad.

Podemos calcular que para cada metro lineal de trinchera la superficie de absorción será: 1 m^2 de fondo + 1 m^2 de pared ($0,5 \text{ m}^2$ de cada lado hasta la altura del manto de arena) = 2 m^2 de área de absorción por metro lineal de trinchera.

Ejemplos

Calcular un sistema para una casa donde viven 5 personas.

Resultado de ensayo de infiltración = 15 min/cm .

Según la TABLA IV, para 15 min/cm se pueden aplicar hasta $35 \text{ L/m}^2 \times \text{d}$.

En zona rural, donde se producen $100 \text{ L/p} \times \text{d}$.

Caudal diario = $5 \times 100 = 500 \text{ L/d}$.

$500/35 = 14,3 = 15 \text{ m}^2$.

$15 \text{ m}^2/2 \text{ m}^2$ por metro lineal = $7,5 \text{ m}$ largo de trinchera.

En el ámbito urbano, donde se producen $180 \text{ L/p} \times \text{d}$, el mismo caso sería:

Caudal diario = $5 \times 180 = 900 \text{ L/d}$.

$900/35 = 25,7 = 26 \text{ m}^2$.

$26 \text{ m}^2/2 \text{ m}^2$ por metro lineal = 13 m largo de trinchera.

POZO ABSORBENTE

Como ya se mencionó, los términos pozo «absorbente», pozo «negro» o pozo «ciego» se usan indistintamente, como sinónimos, en el lenguaje popular, para referirse a un pozo cavado en la tierra donde se vuelcan las aguas residuales domésticas, con o sin una etapa de tratamiento previo. No obstante, el pozo absorbente es un dispositivo con una estructura bien definida, diseñado para infiltrar y depurar aguas residuales en el suelo, que es eficiente si el suelo del lugar tiene las características adecuadas. Como todos los sistemas de infiltración, el pozo absorbente no puede recibir sólidos ni aceites, grasas y jabones, por lo que los líquidos que llegan al pozo, deben haber pasado obligadamente por un tratamiento primario.

Estructura

El pozo absorbente es una excavación de sección circular de 1,5 a 3 m de diámetro y de entre 2 y 4 m de profundidad. El fondo debe estar como mínimo 1,5 m por encima del nivel freático del lugar. En la construcción convencional sobre el fondo se coloca una capa de 30 cm de espesor de piedra partida, de 5 – 10 cm,, para evitar que el agua que ingresa golpee e impermeabilice la superficie de absorción. Internamente se levanta una pared cilíndrica que le da estructura y evita que se desmorone.

La pared se construye apoyada sobre la capa de piedra del fondo, dejando espacios abiertos entre los ladrillos (en panal de abeja, figura 25), para que el agua pueda salir

lateralmente e infiltrarse a través de la pared de tierra del pozo. La pared también se puede construir usando elementos prefabricados como cilindros de hormigón premoldeado con perforaciones (figura 26). Entre la pared de material y la pared de tierra de la excavación, debe quedar un espacio de 15 – 20 cm, que también se rellena de piedra para asegurar la porosidad y la permeabilidad de las paredes de tierra. El caño que trae el efluente del TP atraviesa la pared lateral hasta el centro del pozo, y ahí tiene un codo hacia abajo y una prolongación de caño de 0,50 m.

En la parte superior, al nivel del suelo, se coloca una tapa circular de hormigón armado, que se apoya en la pared estructural, con un acceso para inspección y desagote. A través de la tapa sale un caño de ventilación de 110 mm, desde la mitad de la profundidad del pozo hasta una altura mínima de 2,5 m sobre la superficie del terreno, a los cuatro vientos.

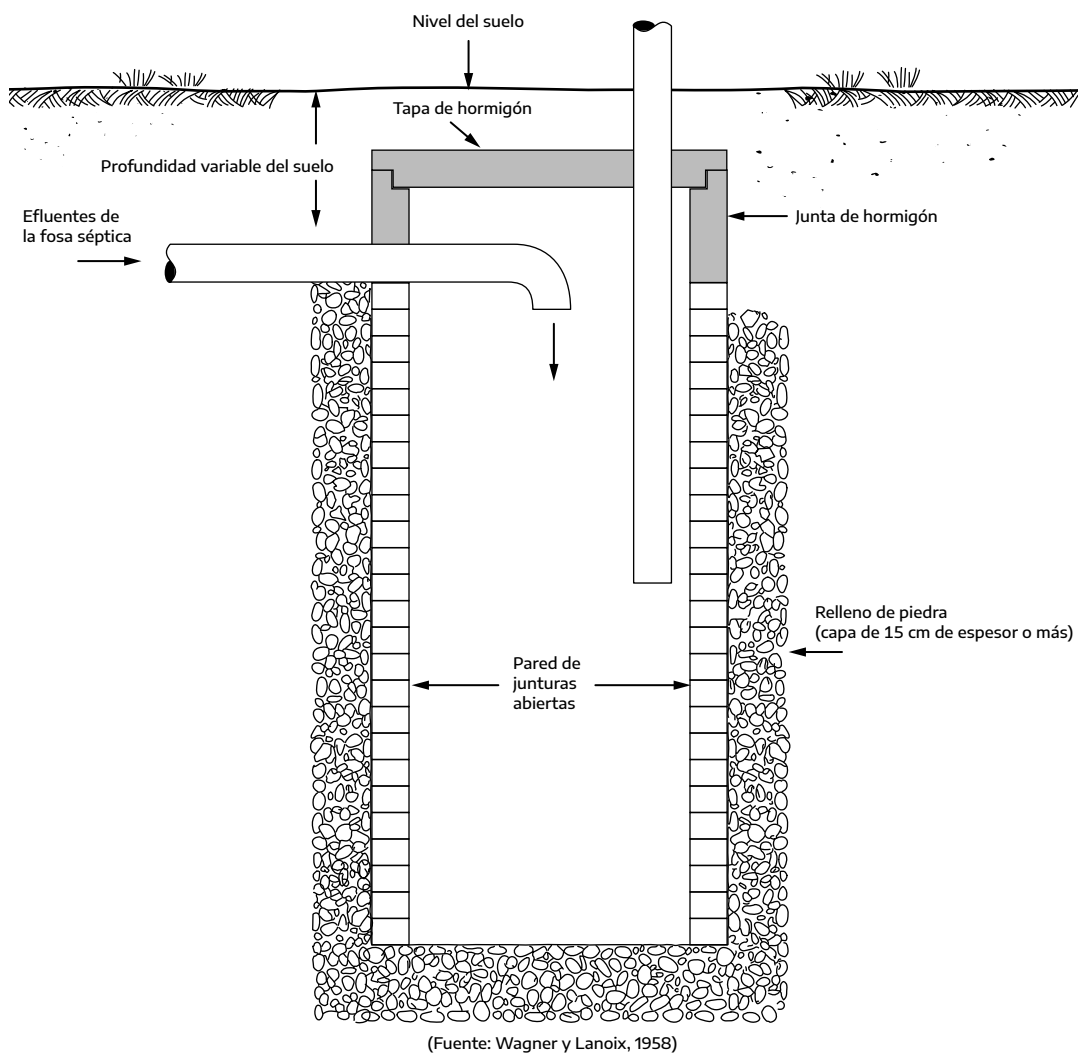


Figura 27. Corte de pozo absorbente de estructura convencional.



Imagen 25. Detalle de la pared interior.



Imagen 26. Cilindros premoldeados de hormigón.

Una alternativa estructural muy recomendable es construir el pozo relleno con piedra. En lugar de construir la pared interna, el pozo se rellena como los otros sistemas de infiltración, con varias capas de 0,5 m de espesor, una de arena mezclada con 20 - 30 % (v/v) de aserrín de madera no tratada en el fondo, encima una de piedra fina (2 - 3 cm), y encima una de piedra gruesa (5 - 10 cm) hasta la altura donde termina el caño de entrada. Encima del nivel de arena, incluida en la piedra fina, se coloca una cañería de ventilación, hecha con caño de 110 mm, ranurado en todo el perímetro, con un extremo conectado a una rama vertical que sale a la superficie para el ingreso de aire. En la superficie, alrededor de la boca del pozo, se construye un anillo de mampostería que queda unos 10 cm por debajo del nivel del terreno, donde se apoya la tapa de hormigón. El caño que trae el efluente del TP atraviesa el anillo hasta el centro del pozo, y ahí tiene un codo hacia abajo y una prolongación de caño de 0,50 m.

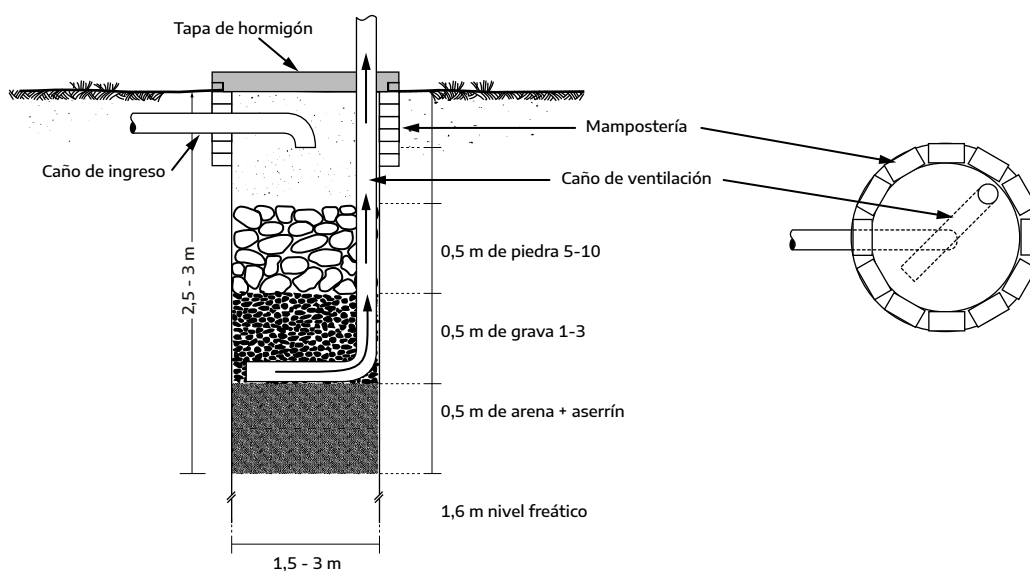


Figura 28. Pozo absorbente lleno de piedra. Corte y planta.

Funcionamiento

El pozo absorbente depura el agua por filtración a través del suelo que conforma el fondo y las paredes. En el pozo tradicional el agua que viene del TP cae sobre las piedras del fondo que la dispersa y se va infiltrando (absorbiendo) lentamente en el suelo, a través de la tierra del fondo y las paredes. El pozo relleno con arena y piedras funciona como el resto de los sistemas de infiltración descritos. Con el oxígeno atmosférico que ingresa por la ventilación, los compuestos orgánicos se degradan por metabolismo aerobio, que no produce olores. La arena por debajo de la piedra se oxigena mucho menos por su pequeña granulometría y permanece anaerobia. El contenido de aserrín o viruta de la arena aporta carbono orgánico que favorece el proceso de desnitrificación para evitar la migración de nitratos.

Después de atravesar 1,2 m de suelo no saturado (no inundado), el agua está filtrada y depurada como para incorporarse al nivel freático sin generar un impacto importante.

PARÁMETROS DE DISEÑO POZO ABSORBENTE	
Parámetro	Valor
Carga hidráulica ($\text{m}^3 / \text{m}^2 \times \text{d}$)	0,02 - 0,05
Profundidad del Pozo (m)	2 - 4
Diámetro del Pozo (m)	2 - 4
Separación del fondo al nivel freático (m)	1,5

Dimensionamiento

Para calcular las dimensiones del tratamiento se utiliza la TABLA IV. Con el dato de tasa de aplicación y sabiendo la cantidad de agua que va a recibir el pozo por día, se calcula el área de infiltración necesaria haciendo:

Caudal diario (L / d) / Tasa de aplicación ($\text{L} / \text{m}^2 \times \text{d}$) = m^2 de pared de pozo.

DIÁMETRO DEL POZO (m)	PROFUNDIDAD DEL POZO ABSORBENTE (m)				
	2	2,5	3	3,5	4
	ÁREA ABSORBENTE (m^2)				
1,5	9	11	14	16	18
1,6	10	12	15	17	20
1,8	11	14	17	20	22
2,0	13	16	19	22	25
2,2	14	18	21	25	28
2,4	16	20	23	27	31
2,6	18	22	26	30	34
2,8	19,4	19,4	28,1	32,5	36,9
3,0	21,2	21,2	30,6	35,3	40,1

TABLA VI. Diámetros y profundidades del pozo para alcanzar las áreas necesarias de absorción.

La TABLA VI presenta las áreas de pared correspondientes a pozos de diferentes diámetros y profundidades. En la línea superior se busca la profundidad que permite nuestro terreno y en esa columna se busca el área que necesita nuestro pozo. En la columna de la izquierda se ve el diámetro correspondiente. Siempre es preferible hacer el pozo un poco más grande para mayor seguridad.

Ejemplos

Calcular un sistema para una casa donde viven 5 personas.

Resultado de ensayo de infiltración = 15 min / cm.

Según la TABLA IV, para 15 min / cm se pueden aplicar hasta $35 \text{ L} / \text{m}^2 \times \text{d}$.

En zona rural, donde se producen $100 \text{ L} / \text{p} \times \text{d}$.

Caudal diario = $5 \times 100 = 500 \text{ L} / \text{d}$.

$500 / 35 = 14,3 = 15 \text{ m}^2$.

Para un nivel freático de 5 m, el pozo no puede tener más de 3,5 m de profundidad.

En la columna de 2,5 m profundidad, 15 m^2 de área absorbente corresponde a un pozo de 2 m de diámetro y en la columna de 3 m profundidad, 15 m^2 de área absorbente corresponde a un pozo de 1,6 m de diámetro.

En el ámbito urbano, donde se producen $180 \text{ L} / \text{p} \times \text{d}$, el mismo caso sería:

Caudal diario = $5 \times 180 = 900 \text{ L} / \text{d}$.

$900 / 35 = 25,7 = 26 \text{ m}^2$.

Para un nivel freático de 5 m, el pozo no puede tener más de 3,5 m de profundidad.

En la columna de 3 m profundidad, 26 m^2 de área absorbente corresponde a un pozo de 2,6 m de diámetro y en la columna de 3,5 m profundidad, 26 m^2 de área absorbente corresponde a un pozo de 2,4 m de diámetro.

Construcción

Teniendo definido el lugar de ubicación, el diámetro y la profundidad del pozo, marcar en el terreno el círculo de excavación.

Construcción convencional

- 1 - Cavar hasta alcanzar la profundidad definida.
- 2 - Una vez alcanzada emparejar bien la pared de tierra del pozo.
- 3 - Colocar en el fondo una capa de 20 - 30 cm de piedra partida de 5 - 10 cm.
- 4 - Apoyada sobre la piedra levantar la pared circular de ladrillos o colocar los elementos premoldeados, separados unos 15 - 20 cm de la pared de tierra.
- 5 - Rellenar ese espacio con piedra partida de 5 - 10 cm para asegurar la porosidad y la permeabilidad del suelo.
- 6 - Prolongar el caño que viene de la cámara séptica hasta el centro del pozo, colocar un codo apuntando hacia abajo y, si hace falta, agregar un trozo de caño hasta los 50 cm por debajo del nivel del suelo.

7 - Hacer la tapa del pozo. Puede ser una o varias losas que se apoyan sobre la pared. Deben permitir el acceso para inspección y desagote y el ingreso del caño de ventilación.

8 - Colocar el caño de ventilación de 110 mm, de una altura mínima de 2,5 m a los cuatro vientos. Eventualmente el caño de ventilación puede estar conectado al caño que viene de la cámara séptica. El pozo debe estar ubicado como mínimo a 1,5 m de la línea de edificación propia o lindera.

Construcción alternativa (recomendada)

- 1a - Cavar hasta alcanzar la profundidad definida.
- 2a - Una vez alcanzada emparejar bien la pared de tierra del pozo.
- 3a - Colocar en el fondo una capa de 50 cm de arena mezclada con 20 - 30 % (v/v) de aserrín de madera no tratada.
- 4a - Sobre la arena colocar la cañería de ventilación y conectar con la rama ascendente que sale a la superficie.
- 5a - Colocar una capa de 50 cm de piedra fina (2 - 3 cm).
- 6a - Encima colocar una capa de 50 cm de piedra gruesa (5 - 10 cm).
- 7a - Prolongar el caño que viene del TP hasta el centro del pozo, colocar un codo apuntando hacia abajo y, si hace falta, agregar un trozo de caño hasta los 50 cm por debajo del nivel del suelo.
- 8a - Levantar la pared circular sobre la piedra gruesa para apoyar la tapa del pozo.
- 9a - Hacer la tapa del pozo. Puede ser una o varias losas que se apoyan sobre la pared. Deben permitir el acceso para inspección y desagote y el ingreso del caño de ventilación.

SISTEMA DE INFILTRACIÓN MIXTO

Un sistema mixto es una combinación de un sistema de zanjas de infiltración y pozo absorbente, en el que los extremos distales de los caños de las zanjas se unen y desaguan en un pozo absorbente, normalmente de poca profundidad y relleno de piedra.

Se utiliza en zonas con muy baja permeabilidad, en el límite de lo aceptable o en instalaciones que pueden sufrir variaciones de caudal esporádicas pero importantes, como lugares de reuniones sociales o de actividades de fin de semana.

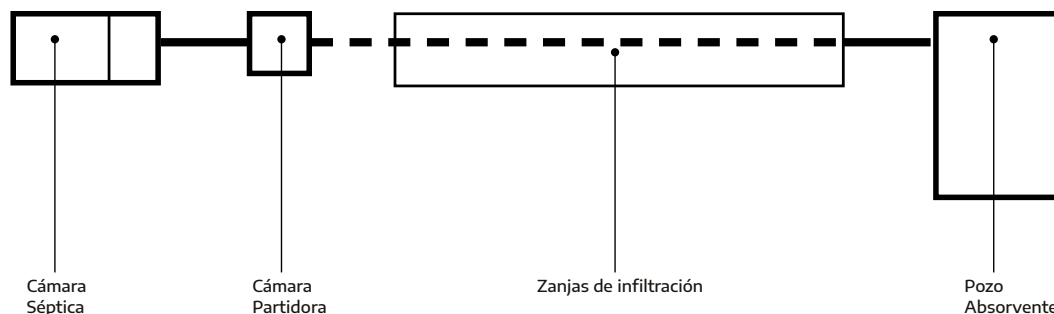


Figura 29. Sistemas de infiltración mixtos. Zanjas de infiltración, más pozo absorbente. Corte.

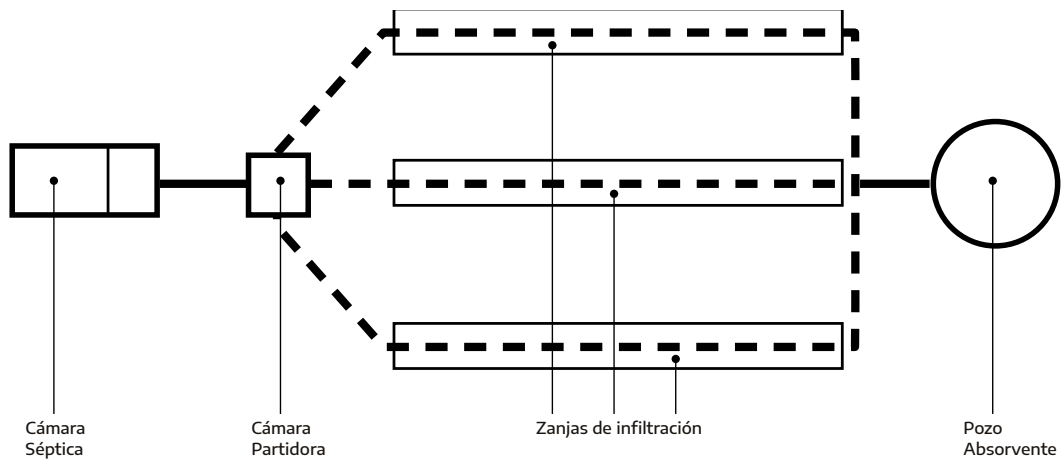


Figura 30. Sistemas de infiltración mixtos. Zanjas de infiltración, más pozo absorbente. Planta.

CAPÍTULO 5

Tecnologías de tratamiento por biofiltración

En los lugares donde las características del suelo no permiten infiltrar directamente el líquido que sale del tratamiento primario, se debe aplicar algún tipo de tratamiento secundario que mejore la calidad de esas aguas y permita infiltrarlas o reusarlas. En estos casos es muy recomendable la separación de aguas negras y grises y su tratamiento por separado. Las aguas negras, que son una pequeña fracción del total, después de este tratamiento secundario se pueden infiltrar en un área reducida, aunque el suelo sea poco permeable. Las aguas grises, la mayor proporción pero con mucho menor riesgo sanitario, se pueden reutilizar en prácticas de riego de jardines, frutales y, con ciertos cuidados especiales, también de huertas.

La biofiltración es un fenómeno complejo en el que el agua se purifica por una combinación de procesos físicos (filtración, sedimentación) que remueven sólidos suspendidos, químicos (adsorción) y principalmente biológicos (absorción, digestión).

Un filtro físico es una matriz o estructura porosa que, al ser atravesado por un líquido, retiene las partículas de tamaño mayor que los poros de la trama.

Un biofiltro, funciona como un filtro físico, pero además, la matriz estructural está tapizada de una comunidad microbiana que adhiere y retiene las partículas pequeñas que pasan lentamente a través de los poros y las sustancias disueltas con valor nutricional. Las sustancias biodegradables, particuladas y disueltas, son absorbidas y digeridas por los microorganismos, que las utilizan como alimento.

Se describen tres tecnologías de biofiltración como tratamientos secundarios:

- Humedales construidos
- Biofiltros anaerobios
- Biofiltros aerobios.

Estas tecnologías, además de resolver el problema de tratamiento en zonas con escasa o excesiva permeabilidad, se utilizan en regiones con escases de agua, donde se valora la reutilización del agua residual tratada por cuestiones de economía o de cuidado del recurso, aunque el suelo permita la infiltración directa. Los humedales construidos

en muchos casos se eligen por gusto estético. Si la permeabilidad es muy baja y no es posible la infiltración, el efluente final se puede volcar en un cuerpo receptor superficial (arroyo, laguna o zanja). En esos casos es recomendable instalar una etapa de desinfección previa.

HUMEDAL CONSTRUIDO

El humedal construido es una tecnología para el tratamiento secundario de aguas residuales ampliamente utilizada y recomendada como sistema autónomo para casas individuales, escuelas rurales, hosterías, campings, clubes de campo, etc. o como sistema comunitario para barrios y pequeños pueblos. Existen diferentes tipos de humedales construidos en función de cómo circula el agua. Aquí se propone utilizar humedales de flujo subsuperficial horizontal, una tecnología sencilla de construir, que requiere un mantenimiento mínimo y evita el contacto directo con el agua residual. La disposición del efluente final se hace por infiltración en el suelo o por reúso para riego.

Estructura

El humedal construido de flujo subsuperficial horizontal es una cubeta, estanque, rellena con material granular (piedra) y sembrada con plantas adaptadas a vivir en ambientes acuáticos. La cubeta puede ser de tierra, impermeabilizada con un film de polietileno o de PVC de 500 micrones de espesor o más y limitada por un borde de tierra apisonada (terraplén), de unos 20 cm más alto que el nivel del suelo. El borde evita que el agua residual rebalse y que ingrese agua de los alrededores durante los eventos de lluvia. La cubeta también puede ser de mampostería, con fondo de cemento y paredes de ladrillo. En ese caso la estanqueidad se logra con un revoque impermeable de cemento en el interior. Los humedales de mampostería suelen llamarse canteros. La cubeta debe ser más larga que ancha, en proporción 3:1, o 4:1, con un largo mínimo de 4 - 5 m, para asegurar que toda el agua cumpla con un tiempo de residencia medio. La profundidad de la cubeta es de 0,70 - 0,80 m, la del material de relleno de 0,50 - 0,60 m, y la del agua residual de 0,40 - 0,50 m, siempre 10 cm por debajo de la superficie del material de relleno.

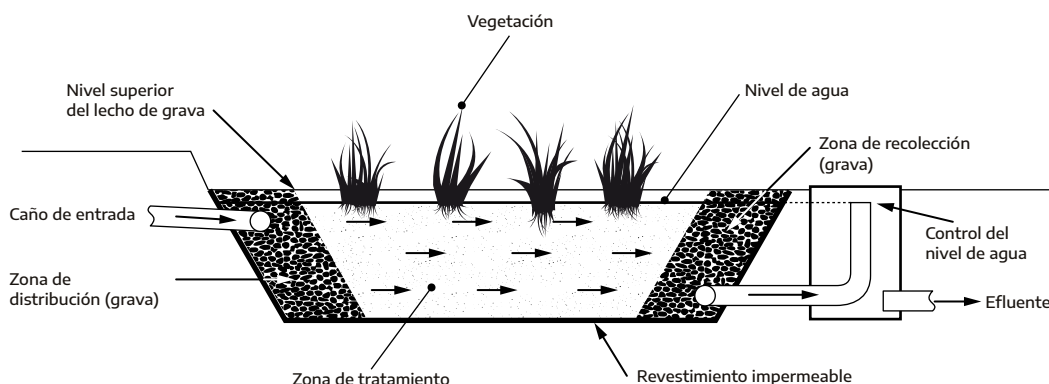


Figura 31. Estructura general de un humedal de flujo horizontal. Corte

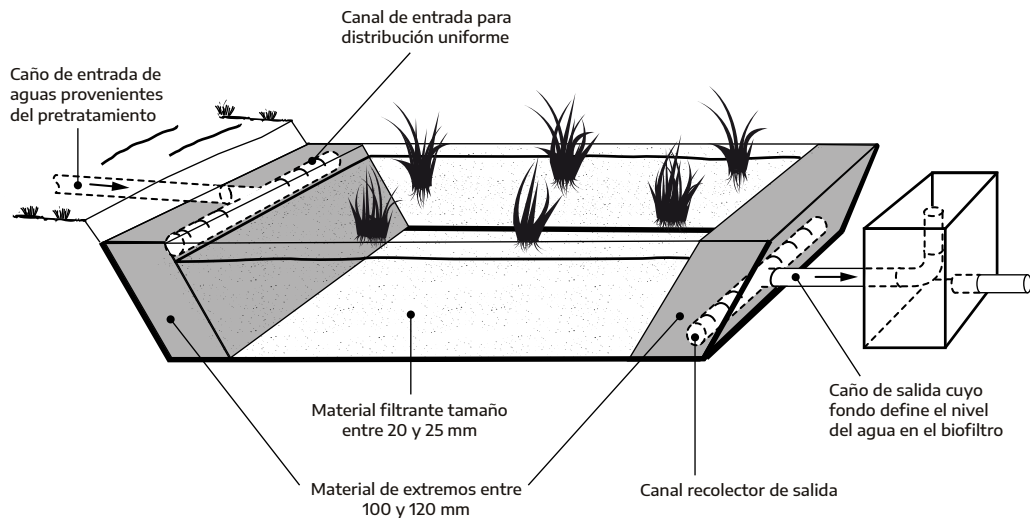


Figura 32. Estructura general de un humedal de flujo horizontal. Perspectiva.

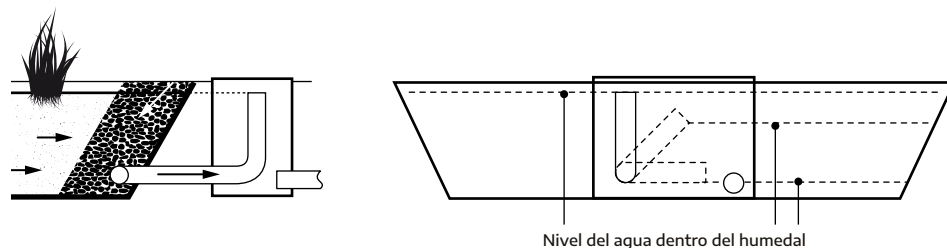


Figura 33. El aste de altura regula el nivel del humedal.

En un extremo tiene una estructura para la entrada de los líquidos que vienen del TP, que consiste en un caño que ocupa todo el ancho de la cubeta, cruzado al sentido de flujo, ubicado sobre el relleno o incluido en el mismo, cerca de la superficie. Es un caño de 63 - 110 mm, con perforaciones de 10 - 12 mm, cada 50 cm, con tapas en los extremos, que distribuye el líquido por todo el ancho de la cubeta. En el extremo opuesto de la cubeta, tiene una estructura similar para la salida del líquido tratado. Es un caño con orificios o ranuras, ubicado cerca del fondo, transversal al sentido de flujo, conectado, a través del terraplén, con una cámara de salida, de 60 x 60 cm y de la misma profundidad del humedal. Dentro de dicha cámara, el conducto se prolonga con un brazo móvil mediante un codo, que permite subir y bajar la boca del caño de salida y así regular el nivel del líquido dentro de la cubeta (figura 33). Como cámara de salida se puede utilizar una cámara de inspección comercial.

El relleno es piedra partida, canto rodado o escombros. Se han ensayado otros materiales como vidrio molido, trozos de plástico o chips de neumáticos, todos con buenos resultados. Lo importante es que el material tenga el tamaño adecuado. En la zona de la entrada, los primeros 0,5 - 1 m de la longitud de la cubeta y los últimos 0,5 m cerca de la salida, llevan material más grueso (5 - 10 cm), para evitar obstrucciones por depósito de sólidos o excesivo desarrollo de biomasa. En el centro de la cubeta el

material es más fino (1 – 2 cm), lo que le da más eficiencia al tratamiento por presentar más superficie para el desarrollo de la biomasa y facilita el arraigamiento de las plantas. La cubeta se siembra con plantas adaptadas a vivir en medios acuáticos como juncos (*Schoenoplectus*), totoras o espadañas (*Typha*), o achiras (*Canna*).

Funcionamiento

El agua que sale del tratamiento primario ingresa por un extremo de la cubeta y circula muy lentamente por dentro del material de relleno, entre las piedras y las raíces de las plantas, sin aflorar a la superficie. Las piedras del relleno se tapizan de una colonia microbiana (biofilm) que absorbe y se alimenta de los residuos orgánicos disueltos en el agua. Las partículas biodegradables finas que arrastra el agua residual se adhieren al biofilm y son licuadas y digeridas por los microorganismos.

Las raíces de las plantas absorben agua y nutrientes, aportan oxígeno y otros factores que favorecen y estimulan el metabolismo bacteriano. Además, ejercen un trabajo mecánico de abrir vías para la circulación del agua.

El agua sale purificada y clarificada. El nivel del líquido nunca debe aflorar en la superficie del relleno para evitar olores, cría de mosquitos y contacto con las personas. El nivel del agua se regula con la estructura dentro de la cámara de salida.

PARÁMETROS DE DISEÑO HUMEDAL CONSTRUIDO	
Parámetro	Valor
Residencia hidráulica	3 – 5 d
Carga hidráulica	4 – 5 cm/d
Carga orgánica	8 – 12 g BOD/m ² × d
Profundidad del filtro	0,5 – 0,6 m
Profundidad del agua	0,4 – 0,5 m
Superficie	4 – 5 m ² /p
Relación Largo/Ancho	3 : 1 – 4 : 1

Dimensionamiento

Los criterios racionales para dimensionar un humedal se basan en la cantidad de materia orgánica que puede metabolizar la comunidad microbiana y el tiempo que debe permanecer el agua dentro del sistema para alcanzar un grado de tratamiento adecuado. Ante la dificultad de medir la cantidad de contaminantes contenidos en el agua a tratar, resulta adecuado establecer un área de tratamiento por persona. Ese criterio se basa en que cada persona produce la misma cantidad de contaminantes por día, independientemente del consumo individual de agua.

Para humedales de casas individuales, los diferentes modelos de diseño coinciden en que un humedal de 5 m² por persona, permite obtener resultados satisfactorios. Las

dimensiones de la cubeta, largo y ancho, se pueden adecuar al lugar disponible para construir el humedal.

TABLA VII. Medidas de humedales para 4 – 12 personas sobre la base de 5 m²/persona.

Nº pers.	SUPERFICIE			
	Área (m ²)	Ancho (m)	Largo (m)	Rel. L/A
4	20	2,5	8	3,2
6	30	3	10	3,3
8	40	3,5	12	3,4
10	50	4	12,5	3,1
12	60	4	15	3,8

Construcción

- 1 - Definir las medidas del humedal y los materiales a utilizar. Cubeta de mampostería o tierra, impermeabilización, material de relleno.
- 2 - Definir el lugar donde se va a instalar el humedal dentro del terreno. Lo ideal es que esté cerca del TP y del lugar de vuelco.
- 3 - Marcar la ubicación del humedal y del caño que viene del TP con estacas.
- 4 - Cavar la cubeta de las medidas y la profundidad elegida. Conviene establecer previamente donde se va a colocar la tierra de la excavación.
- 5 - Cavar la zanja que alojará el caño que trae los líquidos desde el TP hasta el humedal.
- 6 - Colocar el caño y nivelarlo con una pendiente del 1 %.
- 7 - Confirmar que desde el nivel de llegada del caño hasta el fondo de la cubeta quedará la profundidad necesaria para el espesor de relleno diseñado. Si no, modificar la profundidad de la cubeta.
- 8 - Emprolijar los bordes, dejando un montículo de tierra de 20 cm de altura todo alrededor de la cubeta, que servirá para sujetar el film impermeabilizante y para evitar que ingrese agua de lluvia que se junta en el terreno.
- 9 - Nivelar y compactar el fondo de la cubeta, revisar que no queden piedras u objetos filosos y colocar una capa de arena o una capa de cartón para evita que se perfora el film.
- 10 - Colocar el film de polietileno y asegurarlo en los rincones con piedras o ladrillos para evitar que se mueva con el viento. El film se puede improvisar con un trozo de silobolsa sin roturas..
- 11 - Colocar los caños de entrada y de salida a las alturas correspondientes.
- 12 - Colocar piedra grande (5 – 10 cm) en las zonas de entrada y de salida. (gráfico).
- 13 - Colocar el relleno fino de la zona central.
- 14 - Hacer una prueba hidráulica. Llenar la cubeta y observar que el agua se distribuya en forma pareja y salga por todos los orificios del caño de entrada, que no pierda líquido, que salga correctamente por el caño de salida y llene la cámara de salida. Verificar que el nivel de agua alcance la profundidad adecuada ajustando la inclinación de la rama ascendente en la cámara de salida.

15 - Verificar de un día para otro que no descienda el nivel del líquido.

16 - Plantar y conectar el caño de salida del TP.

BIOFILTRO ANAEROBIO

Un biofiltro anaerobio (BA) es un reactor biológico que utiliza la misma comunidad microbiana anaerobia que se desarrolla dentro de una cámara séptica o de un biodigestor, pero creciendo adherida sobre una matriz porosa que le sirve de soporte y le brinda una superficie muy amplia para desarrollarse. De esta forma la biomasa microbiana no sedimenta y ocupa todo el espacio que debe atravesar el agua. Se propone una modalidad de biofiltro de flujo ascendente. Las aguas residuales fluyen de abajo hacia arriba a través del filtro, donde entran en contacto con la biomasa adherida y se produce la depuración anaerobia (Morel y Diener 2006). Los BA, como todos los tratamientos secundarios no pueden recibir sólidos sedimentables ni flotantes, por eso requiere de un tratamiento primario previo.

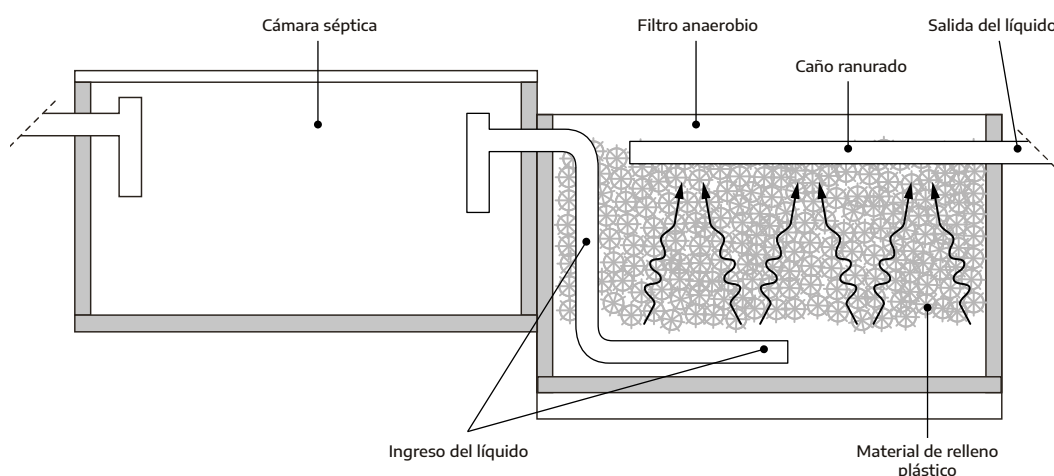


Figura 34. Esquema de un biofiltro anaerobio.

Estructura

El biofiltro anaerobio es una caja estanca, rellena con un material poroso. El caño que trae los líquidos desde el TP ingresa a través de una pared lateral, por encima del nivel de agua, y los conduce hasta el fondo. La estructura de salida es un caño en posición horizontal, ranurado o perforado, tapado en el extremo dentro del reactor, que atraviesa la pared opuesta a la entrada, 5 cm más abajo que ésta.

El material de relleno tradicional, que sirve de soporte para la biomasa bacteriana que realiza el tratamiento, está compuesto de piedra de 5 - 10 cm de diámetro. Para minimizar problemas de oclusión y facilitar la limpieza y el mantenimiento, se han ensayado diversos tipos de rellenos de material plástico flotante. Algunos son productos comerciales, como BIOFILL® o BIO-SYSTEM TOP®, con una superficie específica muy elevada (hasta 140 m²/m³), que incrementan mucho la eficiencia del sistema.

Como alternativa, se han ensayado rellenos conformados por cubos de espuma de goma de celda abierta, de 3 - 5 cm de lado o trozos de caño corrugado plástico de instalaciones eléctricas de 2 cm de largo. El relleno debe ocupar 80 - 100 cm de espesor en el reactor.

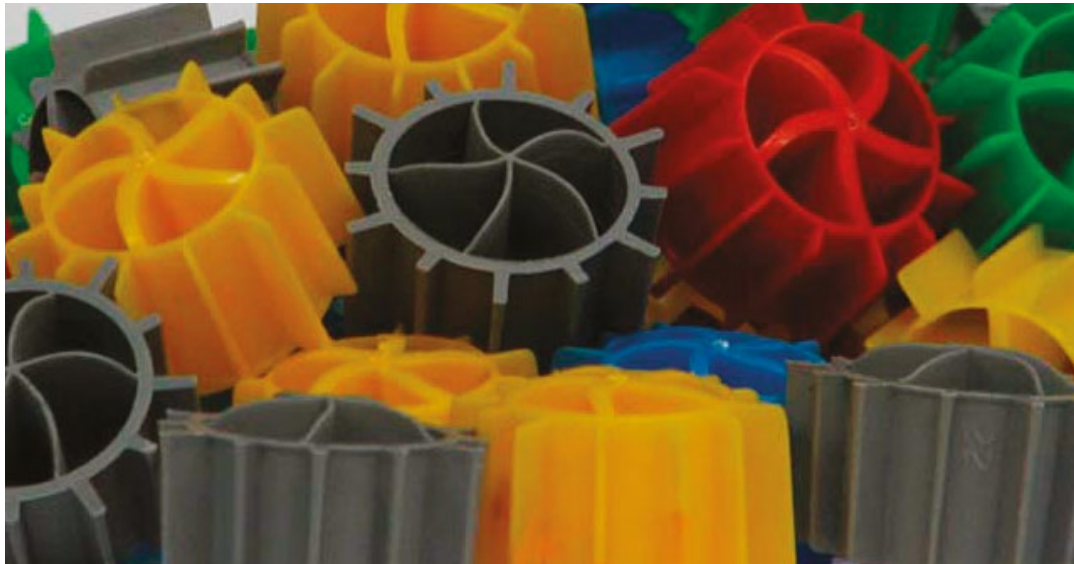


Imagen 27. Relleno plástico en el filtro anaerobio.

Un BA se puede construir con mampostería, como un compartimiento más de la cámara séptica, o como una instalación independiente. También se puede construir reciclando un recipiente de 200 - 1000 L.

Las cañerías de ingreso y salida deben tener acceso para limpieza y desobstrucción como las de la cámara séptica. El BA se puede instalar sobre el nivel del suelo o enterrado.

Funcionamiento

El funcionamiento del BA se basa en una combinación de procesos físicos (floculación, sedimentación) y digestión biológica anaerobia (fermentación ácida y metanogénesis). El agua residual que ingresa desde la cámara séptica, es dirigida hacia el fondo y asciende a través del material de relleno a una velocidad muy lenta. La comunidad microbiana (biofilm) que tapiza el relleno, absorbe y digiere los compuestos biodegradables disueltos que contiene el agua residual. Las partículas livianas que arrastra el efluente, se adhieren al biofilm y son disueltas y degradadas. Como el reactor no tiene ingreso de oxígeno ni de aire, en el interior se desarrolla un proceso metabólico anaerobio. Estos procesos son lentos. Por esa razón es muy importante que el agua tenga un tiempo de residencia de entre 1 y 1,5 días dentro del filtro para obtener un buen tratamiento. El metabolismo anaerobio genera gases oloresos por lo que es recomendable que tenga una ventilación a los cuatro vientos para evacuarlos.

Con el uso, el desarrollo de la biomasa bacteriana puede ocluir parte del material de relleno, lo que obliga al líquido a circular por algunos espacios preferenciales. Esto aumenta la velocidad de flujo, disminuye el tiempo de residencia hidráulica y la eficiencia del tratamiento. Los sistemas rellenos con piedra se deben lavar con agua a presión y deben tener una estructura de drenaje de fondo para evacuar los lodos acumulados. El proceso de lavado es dificultoso.

En los BA que utilizan relleno de material plástico flotante, éste se puede sacar y lavar afuera del reactor o sin sacarlo, simplemente agitando el líquido de manera que los componentes del relleno se golpeen entre sí. El exceso de biomasa se desprende y se deposita en el fondo donde se autodigiere. Eventualmente el lodo que se acumule en el fondo se puede evacuar con un drenaje o con un camión atmosférico, como la cámara séptica.

Dimensionamiento

El principal parámetro de diseño es el tiempo de residencia hidráulica (TRH). Para aguas negras que pasaron por un TP se recomienda un TRH de 1,5 – 2 días (24 – 48 horas) y para aguas grises 0,7 – 1,5 días (17 – 36 horas), de manera que el BA debe tener la misma capacidad que la cámara séptica. En el área rural el BA deberá tener 150 – 200 L por persona y en el área urbana 300 – 400 L por persona. El agua residual debe atravesar un espesor de entre 0,8 – 1,0 m de relleno para garantizar el contacto suficiente entre el agua y la biomasa. La tasa de carga hidráulica no debe superar $2,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{d}$ (m/d).

Mantenimiento

Durante el primer tiempo de funcionamiento la eficiencia del BA será baja hasta que se instale la comunidad bacteriana. Pero el líquido que llega desde el TP contiene la comunidad de microorganismos adecuada y acelera el proceso porque «inocula» el filtro para que el biofilm se desarrolle más rápidamente. Como en los TP, en los BA periódicamente hay que vaciar los lodos.

Los BA son una alternativa de tratamiento económica. Producen un efluente con bajas concentraciones de sólidos suspendidos y materia orgánica (DQO – DBO). No obstante, todavía contiene algunos gérmenes patógenos y nutrientes de N y P. Lo ideal es que el efluente vaya a un sistema de infiltración o se reúsa para riego. En este último caso debe ser por goteo, con cañerías en la tierra y bocas en cada una de las plantas a regar. Si se vuelca en un cuerpo receptor se debe agregar una etapa de cloración del efluente final antes del vuelco. Las tareas de limpieza de filtro y de vaciado de lodos pueden ser de riesgo sanitario por lo que deben hacerse con el equipamiento y la prevención adecuados.

BIOFILTRO AEROBIO

Los biofiltros aerobios descritos en esta sección son los que habitualmente se denominan filtros intermitentes de arena o de grava. Son sistemas diseñados para lograr un tratamiento secundario de alta calidad o avanzado. El efluente de un biofiltro

aerobio tiene muy bajo contenido de sólidos suspendidos y materia orgánica disuelta y la mayor parte del nitrógeno como nitratos. Es más fácil de infiltrar en el suelo que el efluente de un tratamiento primario, requiere menor superficie de infiltración y sólo necesita atravesar unos 30 cm de suelo drenado para alcanzar una calidad que no contamina los acuíferos subterráneos. También se puede volcar en un curso receptor superficial, previa desinfección.

Se presentan tres modelos que funcionan con la misma base conceptual: los Biofiltros de Paso Simple (BPS), los Biofiltros con Recirculación (BR) y los Biofiltros con Recirculación y Desnitrificación (BRD). Todos tienen la misma estructura básica y los mismos componentes que se describen a continuación. Luego se describirán en forma independiente las diferencias estructurales y funcionales particulares de cada uno.

Un sistema de biofiltro aerobio incluye: un tratamiento primario (CS o BD), una cámara de bombeo, con una bomba sumergible y un sistema de control, el biofiltro, que incluye una red de distribución de líquidos en la superficie, el material filtrante y una red de drenaje de fondo; y luego un sistema de disposición final. Los BPS pueden tener el fondo abierto e infiltrar directamente en el suelo.

Las aguas residuales con tratamiento primario (salida de CS o BD), se dosifican en forma intermitente, por pulsos, sobre la superficie del biofiltro, que es un lecho de material poroso (arena, grava o relleno sintético). Cada pulso se infiltra a través del material de relleno y sale por el drenaje de fondo que lo vehiculiza al sistema de disposición final o se infiltra en el suelo. Los biofiltros aerobios se utilizan para casas individuales, escuelas rurales, complejos turísticos y pequeñas comunidades.

Estructura

La etapa de tratamiento primario consiste en una CS o un BD de tamaño adecuado a la cantidad de líquidos a tratar. Es recomendable que tenga un filtro a la salida. La cámara de bombeo es un recipiente estanco, de un volumen similar al del agua a tratar cada día. La dosificación de los líquidos se realiza mediante una bomba eléctrica sumergible, comandada por un temporizador, programado para enviar los pulsos de la duración, volumen y frecuencia elegidos. La cámara debe tener un interruptor flotante que impida el funcionamiento de la bomba si no hay suficiente nivel de líquido.

La dispersión del agua residual sobre la superficie del biofiltro se realiza mediante una red de distribución de caños de PVC rígido, de entre 19 y 50 mm (0,75 y 2,0 pulgadas), que consta de un caño principal, ciego, del que salen caños laterales perforados. El caño principal se coloca contra un borde del biofiltro y de él sale un caño lateral cada 50 cm. Los caños laterales tienen orificios de 3 a 6 mm, orientados hacia los lados, cada 50 cm.

El biofiltro se instala en una cubeta de tierra, plástico o de mampostería estanca o abierta en el fondo. Si es estanca, sobre el fondo tiene una capa de 10 - 15 cm de espesor,

de piedra de 10 a 20 mm, que contiene la red de drenaje. El drenaje está hecho con uno o más caños de 63 - 110 mm, ranurados o con orificios de 8 - 10 mm, cada 50 cm. Un extremo tiene una rama vertical, que sale por encima de la superficie del material de relleno, abierto a la atmósfera, para ventilar el manto filtrante. El otro extremo atraviesa la pared del filtro a la altura del fondo y conecta con el sistema de disposición final. Si el drenaje tiene más de un caño, éstos se unen dentro del filtro y sale uno solo a través de la pared. Sobre la capa de piedra del drenaje se coloca el material filtrante, normalmente en un espesor de 60 - 90 cm. Si el material filtrante es muy fino (arena), sobre la piedra se coloca una capa de grava intermedia (3 - 5 mm) o un geotextil permeable.

Originalmente los biofiltros se diseñaban con arenas de granulometría seleccionada como material de relleno. Alternativamente se han ensayado otros tipos de materiales como arenas más gruesas, gravas, vidrio molido, cenizas, chips de TELGOPOR (poliestireno), chips de neumáticos, espuma de goma, turba y materiales textiles. Es importante que el material de relleno no se disuelva con el agua o con algo de acidez que ésta pueda contener, y que esté libre de polvo.

El volumen de la red de distribución debe tener aproximadamente $1/5$ del volumen de cada pulso definido en el diseño. Esa capacidad garantiza que cuando se pone en funcionamiento la bomba y envía un pulso, la red se llene, se presurice, salga la misma cantidad de líquido por cada orificio y el líquido se distribuya en forma uniforme por toda la superficie del filtro. La red de distribución puede estar apoyada sobre el material filtrante o incluida en una capa de grava intermedia (3 - 6 mm) en la superficie del filtro o también, suspendida sobre el filtro. Es recomendable que la red de distribución se vacíe entre dosis. Para ello los caños laterales deben tener un orificio hacia abajo en cada extremo.

El sistema de disposición final es un sistema de zanjas de infiltración de una dimensión adecuada a la cantidad de líquidos a tratar y a la permeabilidad del terreno. Si el biofiltro está instalado en el suelo, debe tener un borde de unos 20 cm de altura alrededor para que no entre agua superficial cuando llueve. Es recomendable que tenga una cubierta, unos 30 - 50 cm por encima del relleno, que evite la exposición al sol, la lluvia, el frío, la caída de hojas de árboles y la salida de olores. La tapa debe permitir la ventilación, ya que la reaireación del relleno se hace desde la superficie.

Funcionamiento

El agua residual que sale del TP ingresa en la cámara de bombeo. Desde allí, la bomba envía pulsos del efluente a través de la red de caños de distribución, que se dispersa por toda la superficie del biofiltro. El líquido se infiltra a través del material de relleno, al llegar al fondo y sale por el sistema de drenaje o se infiltra en el suelo. Entre pulso y pulso, el filtro se drena totalmente.

Al pasar a través del filtro, el agua se purifica por una suma de procesos: físicos (filtración, sedimentación), químicos (adsorción) y principalmente biológicos (absorción, digestión).

La mayoría de las partículas quedan en la superficie del filtro. El relleno se recubre de una comunidad microbiana (biofilm) que absorbe los compuestos disueltos y coloidales que lleva el agua residual. Luego, cuando el filtro se drena e ingresa aire atmosférico, los microorganismos digieren los contaminantes en forma aerobia, con oxígeno molecular. La remoción de la carga orgánica (DBO) ocurre principalmente en los primeros 15 cm del relleno. No obstante, el espesor de 60 cm o más de material filtrante garantiza que, si la carga orgánica no es excesiva, en las capas más profundas del filtro se puedan desarrollar las bacterias nitrificantes que oxidan el amonio a nitratos.

La cantidad de dosis diarias influye sobre la calidad del efluente final. Es preferible usar mayor número de dosis pequeñas, porque el agua pasa a través del filtro en condiciones no saturadas y permanece más tiempo en contacto con el medio. Es importante que cada dosis se distribuya por toda la superficie del filtro y que entre las dosis haya un tiempo suficiente para que el filtro se drene y se oxigene a través de la superficie y los caños de drenaje.

Si se incrementan las tasas de carga hidráulica o de carga orgánica, disminuye la calidad del efluente final. Las bajas temperaturas pueden reducir el rendimiento por disminución de la actividad bacteriana.

Dimensionamiento

Los criterios básicos de dimensionamiento son las tasas de carga hidráulica ($L/m^2 \times d$) y de carga orgánica ($gDBO/m^2 \times d$) que puede recibir el filtro. Esas tasas dependen del tipo de filtro y de material de relleno utilizado.

La cantidad de agua a tratar (Q , L/d) está dada por el consumo de agua por persona y por la cantidad de personas que aportan al sistema.

La cantidad de dosis que se aplican por día depende del tipo de biofiltro que se utilice. El volumen de cada dosis estará definido por el caudal diario (Q) y la cantidad de dosis por día:

$$\text{Volumen de cada dosis (Vd)} = Q / \text{cantidad de dosis}$$

El volumen de cada dosis define el tamaño de la red de distribución, que debe ser de $1/5$ del volumen de la dosis, y de la bomba dosificadora, que debe poder enviar el volumen de cada dosis en pocos minutos.

La frecuencia de aplicación (tiempo entre dosis) resulta de la cantidad de dosis por día:

$$\text{Frecuencia de dosis (d/h)} = 24 \text{ h} / \text{cantidad de dosis} = 1 \text{ dosis cada } xx \text{ horas.}$$

Siguiendo estas pautas se ve que el volumen de cada dosis, el tamaño y potencia de la bomba, el volumen de la red de distribución, el diámetro de los caños, el tamaño de los orificios y la presión que alcanza la red, son variables interrelacionadas, para que los

contaminantes se distribuyan homogéneamente por la superficie del filtro y lograr un buen funcionamiento. Si el sistema es muy grande el filtro se divide en una o más celdas, lo que permite achicar las redes y las dosis, y lograr una distribución más uniforme.

BIOFILTRO AEROBIO DE PASO SIMPLE (BPS)

El biofiltro de paso simple es el sistema más sencillo. Se aplica en lugares donde el suelo tiene poca capacidad para purificar el agua, por exceso o por escasa permeabilidad, o porque presenta una condición limitante, niveles freáticos altos o presencia de roca a poca profundidad. La filtración y el tratamiento que no puede hacer el suelo, los realiza el biofiltro.

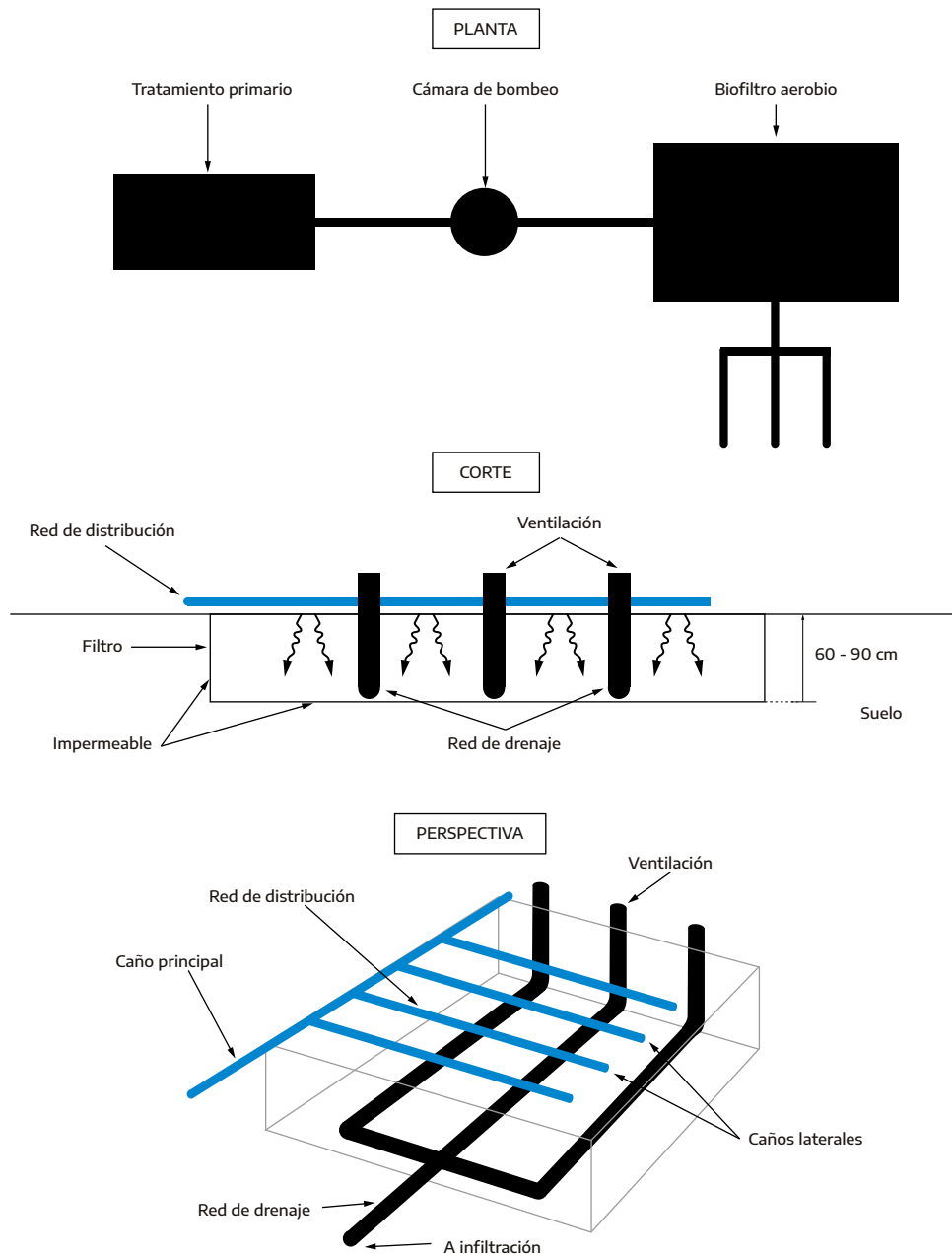


Figura 35. Biofiltro aerobio de paso simple con drenaje de fondo.

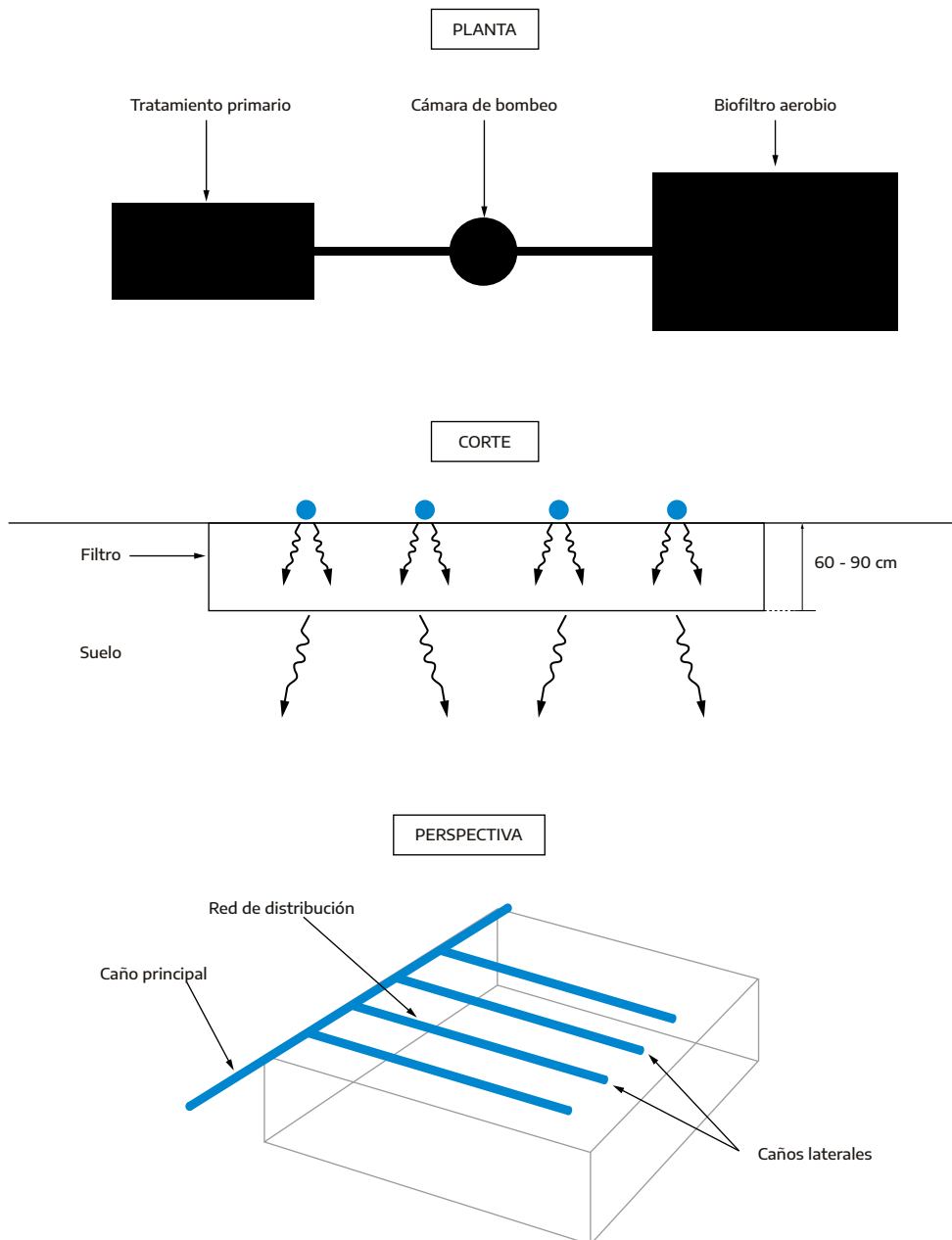


Figura 36. Biofiltro aerobio de paso simple sin drenaje de fondo.

En suelos con escasa permeabilidad (> 24 min/cm o condición limitante dentro de los primeros 2 m), el biofiltro de paso simple se instala en una cubeta estanca, excavada en la tierra e impermeabilizada con film de PVC o en una caja de plástico o mampostería con fondo cerrado y sistema de drenaje, que conduce los efluentes a un sistema de infiltración. Sobre suelos con exceso de permeabilidad (< 2 min/cm y sin condición limitante), se puede instalar en una cubeta de fondo abierto, sin sistema de drenaje. El material filtrante más usado en los biofiltros de paso simple es una capa de 60 - 90 cm de arena seleccionada, de tamaño efectivo de 0,25 a 0,75 mm y coeficiente de uniformidad $< 4,0$. La cantidad de finos ($< 0,074$ mm) debe ser menos del 3 % en peso.

Hay una prueba de campo sencilla para evaluar la permeabilidad de un material disponible en el lugar, si se desconoce su granulometría específica (ver prueba de permeabilidad). Si tiene fondo cerrado, la red de drenaje está contenida dentro de una capa de 10 - 15 cm de espesor, de piedra de 10 a 20 mm.

Sobre la piedra se coloca una capa de grava o un geotextil permeable, para que la arena no se introduzca entre la piedra. Encima de la arena se coloca otra capa de textil permeable para que no ingresen sólidos a la arena y encima del textil, la red de caños de distribución, que puede estar contenida en una capa de grava fina.

Alternativamente se pueden utilizar rellenos sintéticos como cubos de espuma de goma de celda abierta o tiras de material textil. En esos casos no se puede apoyar la red de caños de distribución sobre el material filtrante y debe tener una estructura portante adecuada.

Dimensionamiento

EPA/625/R-00/008 recomienda tasas de carga hidráulica hasta $80 \text{ L/m}^2 \times d$, tasas de carga orgánica hasta $24 \text{ gDBO/m}^2 \times d$, 12 - 24 dosis/d y dosis de hasta $5 \text{ L/m}^2 \times \text{dosis}$ (TABLA XX). Considerando una producción de aguas residuales de $100 \text{ L/p} \times d$ en zonas rurales y en $180 \text{ L/p} \times d$ en zonas urbanas y una concentración de salida después del TP de $40 \text{ gDBO/p} \times d$, se puede definir el tamaño del BPS con una superficie de 2 m^2 por persona en zona rural, lo que implica una carga hidráulica de $50 \text{ L/m}^2 \times d$ y una carga orgánica de $20 \text{ gDBO/m}^2 \times d$; y $2,5 \text{ m}^2$ por persona en zona urbana, lo que implica una carga hidráulica de $72 \text{ L/m}^2 \times d$ y una carga orgánica de $16 \text{ gDBO/m}^2 \times d$.

Ejemplo

Cálculo de un BPS para 10 personas en zona urbana

Caudal de agua residual: $180 \text{ L/p} \times d \times 10 = 1800 \text{ L/d}$

Carga orgánica: $40 \text{ gDBO/p} \times d \times 10 = 400 \text{ gDBO/d}$

Área por carga hidráulica: $1800 \text{ L/d} / 80 \text{ L/m}^2 \cdot d = 22,5 \text{ m}^2$

Área por carga orgánica $400 \text{ gDBO/d} / 24 \text{ gDBO/m}^2 \times d = 17 \text{ m}^2$

Área elegida: 25 m^2 , cubeta de $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$.

Cámara séptica: 2000 L

Cámara de bombeo: 2000 L

Cantidad de dosis/d = 24

Volumen c/dosis: $1800 / 24 = 75 \text{ L}$

Tiempo de bombeo = 3 min/dosis

Bomba dosificadora: $75 \text{ L} / 3 \text{ min} \times 60 \text{ min} = 1500 \text{ L/h}$

Volumen red distribución: $\text{Vol} / \text{dosis} / 5 = 75 / 5 = < 15 \text{ L}$

Red de distribución

Un caño principal de 25mm (1'), de 4,5 m, a lo largo de un lado de 5 m, con 9 caños laterales de 19 mm (3/4'), uno cada 0,5 m, de 4,5 m de largo, con orificios de 3 mm cada 0,5 m.

Verificación volumen red de distribución

Caño principal (1'): $0,49 \text{ L/m} \times 4,5 \text{ m} = 2,2 \text{ L}$

Caños laterales ($\frac{3}{4}$): $0,28 \text{ L/m} \times 4,5 \times 9 = 11,34 \text{ L}$

Volumen total: $2,2 + 11,34 = 13,5 \text{ L}$

Verificación caudal/orificio $\times$ dosis

9 caños laterales $\times$ 9 orificios = 81 orificios.

$75 \text{ L/dosis} / 81 \text{ orificios} = 0,9 \text{ L/orificio} \times \text{dosis}$

$75 \text{ L/dosis} / 25 \text{ m}^2 = 3 \text{ L/m}^2 \times \text{dosis}$

BIOFILTRO AEROBIO CON RECIRCULACIÓN (BR)

En los BR el agua residual pasa más de una vez a través del material filtrante, obteniéndose un efluente final de mejor calidad. Todos los BR son estancos y tienen drenaje de fondo. Las estructuras son las mencionadas para los BPS y las pautas de diseño las que indica la TABLA VIII. El líquido que pasó a través del biofiltro y es colectado por el drenaje de fondo, se dirige a una cámara partidora, que lo divide, y envía una porción hacia la cámara de bombeo (reciclo) y otra a la disposición final.

La fracción de líquido de retorno que va hacia el bombeo define la cantidad de veces que el efluente recircula a través del biofiltro. Se denomina la tasa de recirculación (R) y es un parámetro de diseño. Los valores habituales de R son entre 3 y 5. Si la cámara divide 3 partes hacia el reciclo y una hacia la disposición final, R es igual a 3 y el caudal de bombeo total es $3Q + 1Q = 4Q$. Si la cámara divide 4 y 1, R es igual a 4 y el caudal de bombeo total es $4Q + 1Q = 5Q$, donde Q es el caudal diario de aguas residuales crudas a tratar (m^3/d). Esta dinámica implica mayor caudal de bombeo ($Q_T = (Q \times R) + Q$), mayor cantidad de dosis y mayor frecuencia de aplicación, pero resulta en una mejor calidad del efluente final. Para que este sistema de recirculación funcione por gravedad, el biofiltro debe estar elevado, de manera que el fondo y la red de drenaje estén más altos que la cámara de bombeo.

La recirculación aporta varias ventajas al tratamiento. El líquido pasa varias veces por el filtro aumentando su depuración. El retorno del líquido filtrado a la cámara de bombeo diluye el líquido crudo que entra desde el TP, de manera que el biofiltro recibe dosis de un líquido con menor carga orgánica. La baja carga orgánica que ingresa al filtro con cada dosis, disminuye el consumo de oxígeno destinado a la materia orgánica y favorece la oxidación del nitrógeno amoniacal (nitrificación). Al volver el líquido nitrificado a la cámara de bombeo, ingresa en un ambiente anaerobio y con carbono orgánico, condiciones que favorecen la desnitrificación, el proceso metabólico bacteriano que permite eliminar el N total como N_2 a la atmósfera.

Una alternativa de manejo del reciclo es que todo el drenaje de fondo vaya hacia la cámara de bombeo y allí, una válvula con flotante (válvula de tanque), permite el ingreso de líquido mientras haya capacidad en la cámara y cuando ésta se llena, lo deriva a la infiltración. Durante la siguiente dosificación el nivel de la cámara baja y la válvula se

abre admitiendo el ingreso nuevamente. Con esta estructura, mientras no se generan aguas residuales (durante la noche), todo el líquido recircula y vuelve al tratamiento, mejorando su calidad más y más.

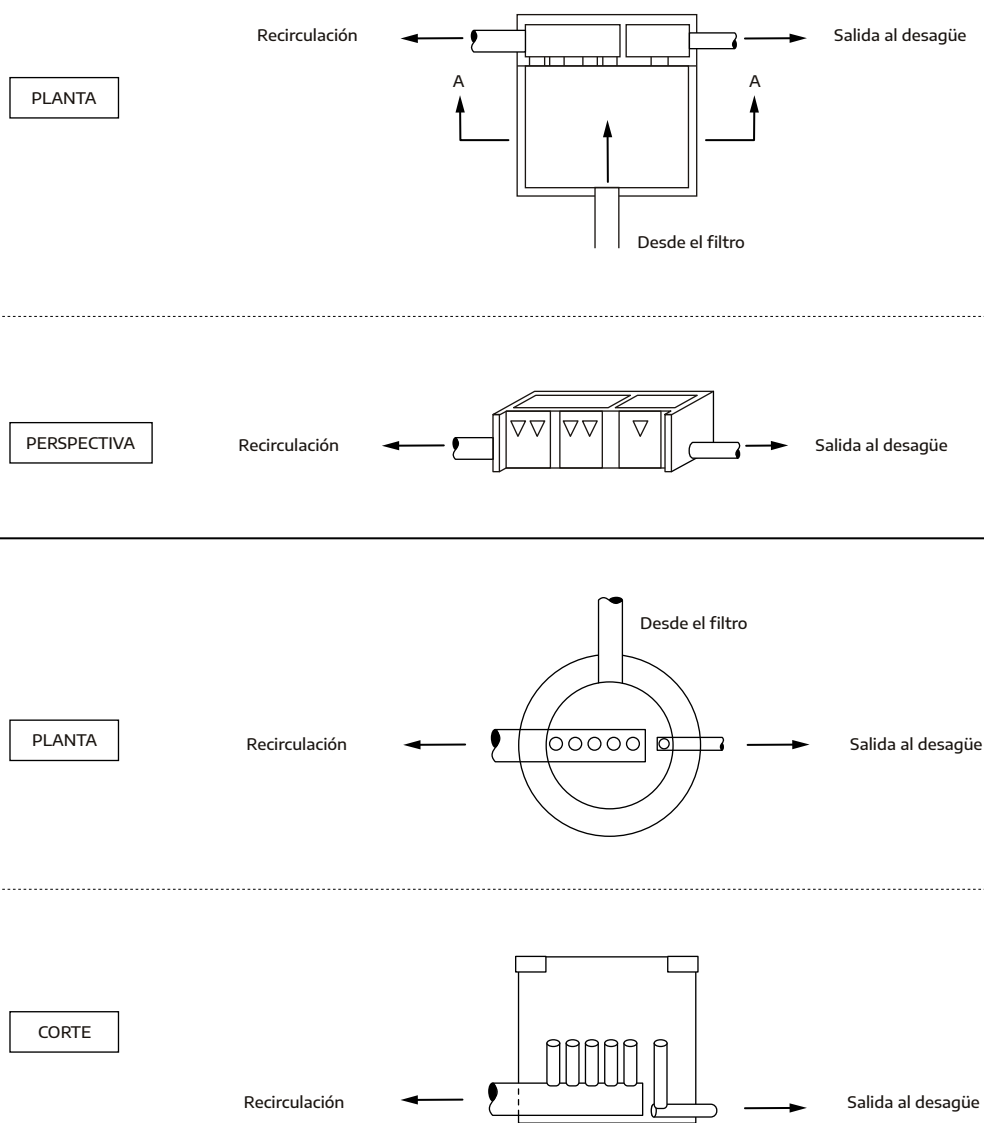


Figura 37. Dos esquema de cámara partidora.

El material filtrante más utilizado en los BR es una capa de 60 cm de espesor de grava fina de tamaño efectivo de entre 2 y 5 mm, con un coeficiente de uniformidad de 2.5. Está demostrado que con el incremento del tamaño de grano se pierde eficiencia de tratamiento, pero en los BR esa pérdida se compensa con la tasa de recirculación (IOWA DNR, 2007). También en estos sistemas se utilizan rellenos sintéticos como cubos de espuma de goma de celda abierta o tiras de material textil, que permiten cargas hidráulicas y orgánicas mayores y por lo tanto reducir el área necesaria o el tamaño de los filtros. Un BR bien diseñado y operado puede producir un efluente secundario

avanzado que tiene concentraciones medias de DBO_5 y SST de $< 10 \text{ mg/L}$ y el 90 % del amonio nitrificado. Además puede eliminar el 40 – 60 % o más del N total, por desnitrificación. La eliminación de bacterias coliformes fecales puede ser del 99 al 99,9 %.

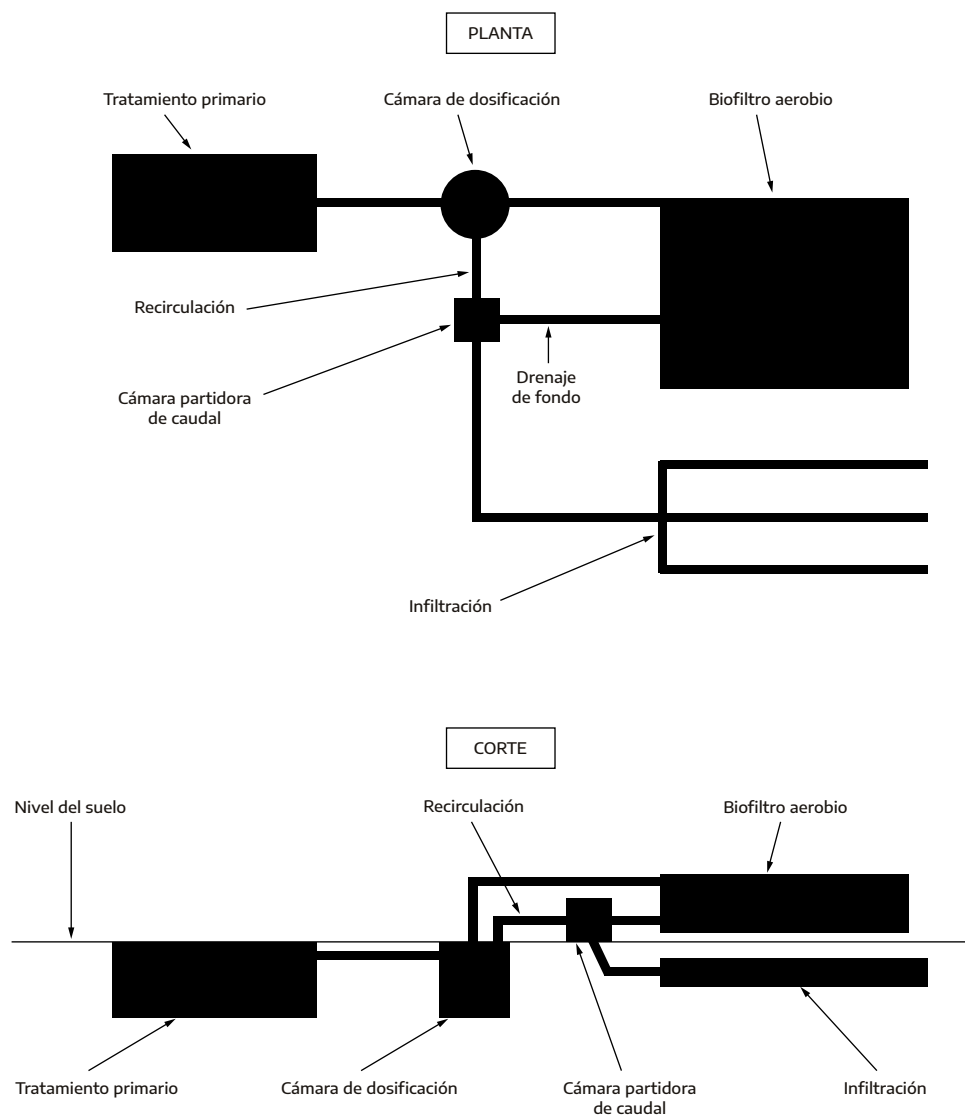


Figura 38. Esquema de un biofiltro aerobio con recirculación y desnitrificación.

Dimensionamiento

EPA/625/R-00/008 recomienda tasas de carga hidráulica hasta $200 \text{ L/m}^2 \times \text{d}$, tasas de carga orgánica hasta $40 \text{ gDBO/m}^2 \times \text{d}$, 48 dosis/d y dosis de hasta $8 \text{ L/orificio} \times \text{dosis}$ (TABLA VIII). En caso de usar un relleno alternativo como espuma de goma o textil se puede diseñar con una superficie de $0,5 \text{ m}^2/\text{p}$ lo que implica una carga hidráulica de $200 - 360 \text{ L/m}^2 \times \text{d}$ y una carga orgánica de $80 \text{ gDBO/m}^2 \times \text{d}$. Considerando una producción de aguas residuales de $100 \text{ L/p} \times \text{d}$ en zonas rurales y en $180 \text{ L/p} \times \text{d}$ en zonas urbanas y una concentración de salida después de la cámara séptica de $40 \text{ gDBO/p} \times \text{d}$, se puede

definir el tamaño del BR con una superficie de 1 m^2 por persona, lo que implica una carga hidráulica de $100 - 180 \text{ L/m}^2 \times \text{d}$ y una carga orgánica de $40 \text{ gDBO/m}^2 \times \text{d}$.

Ejemplo

Cálculo de un BR para 10 personas en zona urbana

Caudal de agua residual: $180 \text{ L/p} \times \text{d} \times 10 = 1800 \text{ L/d}$.

Carga orgánica: $40 \text{ gDBO/p} \times \text{d} \times 10 = 400 \text{ gDBO/d}$.

Área por carga hidráulica: $1800 \text{ L/d} / 150 \text{ L/m}^2 \times \text{d} = 12 \text{ m}^2$.

Área por carga orgánica $400 \text{ gDBO/d} / 40 \text{ gDBO/m}^2 \times \text{d} = 10 \text{ m}^2$.

Área elegida: 12 m^2 , cubeta de $3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$.

Cámara séptica: 2000 L .

Cámara de bombeo y recirculación: 2000 L .

Tasa de recirculación: 3

Volumen total de bombeo: $1800 \times (3 + 1) = 7200 \text{ L/d}$.

Tasa de aplicación: $150 \text{ L/m}^2 \times \text{d}$.

Cantidad de dosis/ $\text{d} = 48$.

Volumen cantidad de dosis: $7200 / 48 = 150 \text{ L}$.

Tiempo de bombeo = 3 min/dosis .

Bomba dosificadora: $150 \text{ L} / 3 \text{ min} \times 60 \text{ min} = 3000 \text{ L/hq}$.

Volumen red distribución: $\text{Vol. c/dosis} / 5 = 150 / 5 = < 30 \text{ L}$.

Red de distribución

Un caño principal de 50 mm (2'), de $3,5 \text{ m}$, a lo largo de un lado de 4 m , con 7 ramas laterales de caño de 25 mm (1'), una cada $0,5 \text{ m}$, de $2,5 \text{ m}$ de largo, con orificios de 5 mm cada $0,5 \text{ m}$.

Verificación volumen red de distribución (ver TABLA IX)

Caño principal (2'): $1,96 \text{ L/m} \times 3,5 \text{ m} = 7 \text{ L}$.

Caños laterales (1'): $0,49 \text{ L/m} \times 2,5 \text{ m} \times 7 = 8,6 \text{ L}$.

Volumen total: $7 + 8,6 = 16 \text{ L}$.

Verificación caudal/orificio $\times$ dosis

$7 \text{ caños laterales} \times 5 \text{ orificios} = 35 \text{ orificios}$.

$150 \text{ L/dosis} / 35 \text{ orificios} = 4,3 \text{ L/orificio} \times \text{dosis}$.

$150 \text{ L/dosis} / 12 \text{ m}^2 = 12,5 \text{ L/m}^2 \times \text{dosis}$.

BIOFILTRO CON RECIRCULACIÓN Y DESNITRIFICACIÓN (BRD)

En lugares muy sensibles donde el objetivo es eliminar completamente el N del agua residual, el líquido que ya recirculó varias veces por el filtro y que la cámara partidora o la válvula de la cámara de bombeo derivan hacia la disposición final, se vuelca en una cubeta de desnitrificación. Esta es una cubeta de tierra o de mampostería, estanca, llena de un material rico en carbono y de biodegradación lenta, como la viruta de madera sin tratamiento de conservación con químicos.

La cubeta tiene el ingreso por un extremo y la salida por el lado opuesto y debe funcionar siempre saturada (llena de agua). En su interior se genera un ambiente anaerobio que favorece el proceso de desnitrificación, la oxidación de materia orgánica en anaerobiosis, mediante la reducción de los nitratos a nitrógeno molecular (N_2), que se elimina como gas a la atmósfera. La cubeta debe tener un volumen tal que considerando la porosidad de la viruta (aproximadamente un 50 %) el agua tenga un tiempo de residencia hidráulica de 1,5 – 2 días necesario para la desnitrificación.

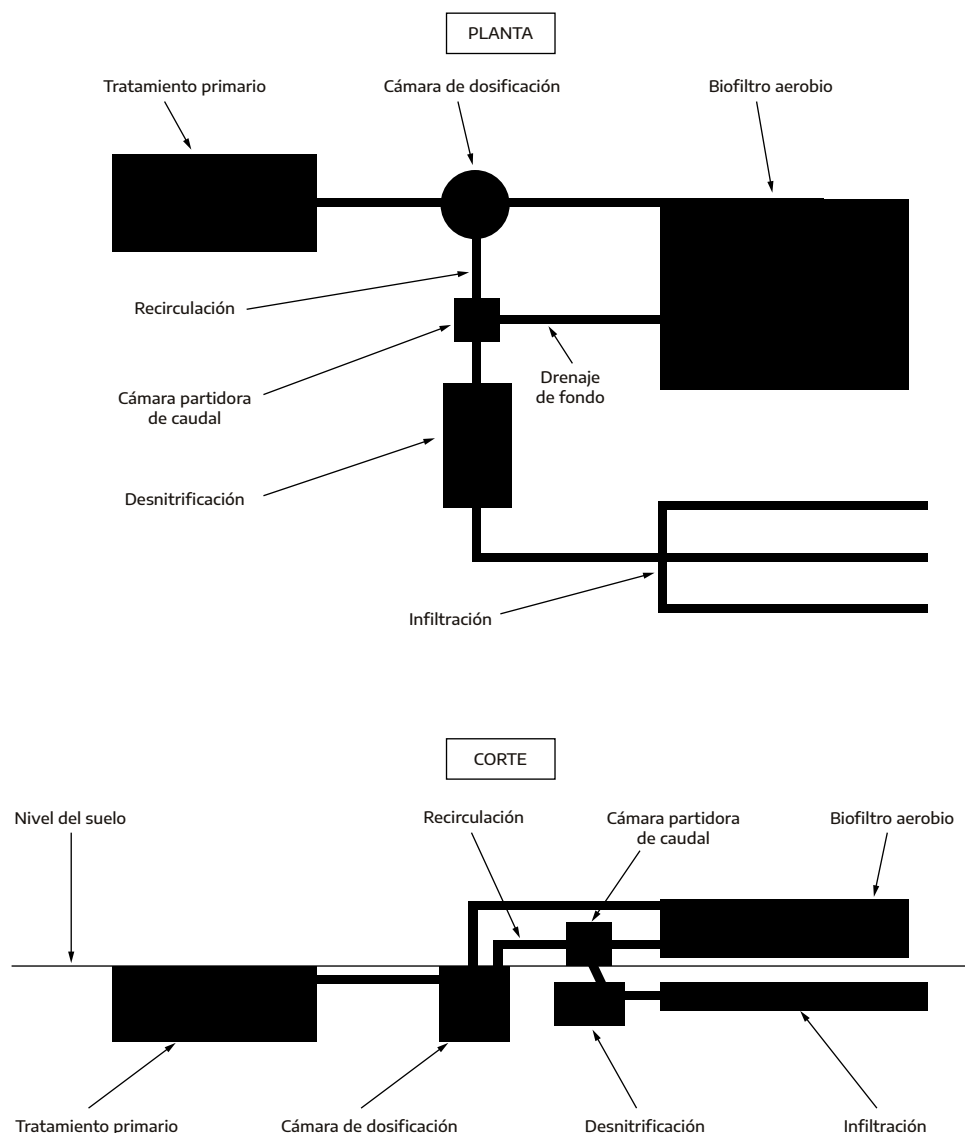


Figura 39. Esquema de un biofiltro aerobio con recirculación y desnitrificación.

Un Biofiltro con recirculación y desnitrificación bien diseñado y operado puede producir un efluente final con concentraciones medias de DBO₅ y SST de < 10 mg/L y reducción del 90 % o más del N total aplicado. La eliminación de bacterias coliformes fecales puede ser del 99 al 99,9 %.

Mantenimiento

- Una vez por año limpiar la red de distribución.
- Una vez por año calibrar el volumen de las dosis.
- Revisar el filtro cada 3 meses y eventualmente rastrillarlo.
- Si se encharca quitar una capa de 2 – 3 cm de arena. No es necesario reemplazarla hasta que el filtro llega a tener 45 cm de arena.
- La arena sacada se puede lavar y volver a usar.
- Revisar si la concentración de SS y DBO es la calculada.
- El descanso (secado) y rastrillo es lo mejor para mantener.

Prueba de permeabilidad para evaluar la arena a utilizar como material filtrante (método propuesto por normas europeas (EN) y CWA (UK)).

Materiales

Balde de 10 - 20 L.

Caño de 110 mm, 30 cm.

Grava 4 – 8 mm (5 – 10 L).

Arena, (el material a evaluar).

Recipiente graduado de 500 mL.

Cronómetro.

Procedimiento

- Cortar un tramo de caño de 110 mm de 30 cm de longitud (columna de prueba).
- Preparar un recipiente de 10 – 20 L (balde) con perforaciones laterales o en el fondo que permitan escapar el agua.
- Llenar el balde con grava de 4 – 8 mm hasta más de la mitad de la profundidad.
- Colocar la columna de prueba sobre la grava.
- Llenar la columna con 20 cm de la arena filtrante a probar, golpear la columna lateralmente hasta que el medio filtrante se acomode bien compactado.
- Verter en la columna 500 ml de agua limpia sin alterar la superficie de la arena.
- Cuando el agua se ha infiltrado completamente, comienza la prueba con un cronómetro.
- Verter 500 ml de agua en la columna y medir el tiempo demora en infiltrar completamente.
- Repetir al menos 5 veces seguidas esa operación luego de 5 segundos que haya culminado cada infiltración, midiendo el tiempo que demora cada una.
- Cuando el tiempo de infiltración se mantenga casi constante en infiltraciones consecutivas, usar el valor promedio de las últimas 5 mediciones.

Tiempos de infiltración constantes entre 30 y 60 segundos corresponden a tasas de infiltración de 1,6 y 0,9 x 10⁻³ m/s y se consideran adecuadas para utilizar ese material como manto filtrante.

PARÁMETROS DE DISEÑO BIOFILTRO AEROBIO	
Pretratamiento	Cámara séptica o biodigestor
Volumen cámara dosificadora	1 a 1,5 del caudal diario
RED DISTRIBUCIÓN	
Volumen red	Volumen dosis/5
DIÁMETRO DE CAÑOS	
Caño principal	1 – 1,5 pulgadas
Caño lateral	0,75 – 1 pulgadas
Separación caños laterales	0,5 m
Tamaño de orificios	3 – 4 mm
Distancia entre orificios	0,5 m
Cantidad de orificios	4/m ²
Grava superior red dist. 10 cm	3 – 6 mm
RED DRENAJE	
Caño drenaje	50 – 100 mm
Tamaño de orificios	8 – 10 mm
Piedra drenaje 15 cm	10 – 20 mm

TIPO DE FILTRO	PASO SIMPLE	RECIRCULACIÓN
Relleno	Arena	Arena
Tamaño efectivo (mm)	0,25 – 1,0	1,0 – 5,0
Uniformidad	≤ 4	≤ 2,5
Finos %	< 0,074	≤ 3 %
Espesor cm	60 - 90	60 - 90
Fondo	Drenaje - Abierto	Drenaje

DOSIFICACIÓN	PASO SIMPLE	RECIRCULACIÓN
Cantidad de dosis por día	12 – 24	48 – 72
Frecuencia	c/2 hs – 1 h	c/30 – 20 min
Volumen dosis	Caudal diario/cantidad de dosis	

CARGA	PASO SIMPLE	RECIRCULACIÓN
Tasa carga hidráulica (L/m ² × d)	40 – 60	120 – 200
Tasa carga org. (g DBO/m ² × d)	< 24	39
Área biofiltro	< 90 m ²	< 90 m ²
Tasa recirculación	---	3 – 5

EFICIENCIA	PASO SIMPLE	RECIRCULACIÓN
ss y DBO Conc. salida	< 10 mg/L	< 10 mg/L
NH ₄ Conc. Salida	< 5 mgN/L	< 5 mgN/L
Remoción N Total	15 - 40 %	40 - 60 %
Remoción CF	99 - 99,99 %	99 - 99,99 %

TABLA VIII.

CÁLCULO VOLUMEN CAÑOS			
Diámetro	Diámetro	Área interna	Volumen
cm	pulgadas	cm ²	L/m
1,9	0,75	2,8	0,28
2,5	1	4,9	0,49
3,75	1,5	11,0	1,10
5	2	19,6	1,96

TABLA IX.

CAPÍTULO 6

Disposición y reúso de las aguas residuales tratadas

Las aguas residuales tratadas se pueden infiltrar en el suelo, reusar en varias actividades o disponer en un cuerpo de agua superficial (mar, lago, río, zanja). En zonas periurbanas, normalmente se infiltran en el suelo mediante un pozo absorbente u otro método de infiltración,, o se vuelcan en una zanja pluvial de la calle, pero en muchos casos se podrían usar para regar un jardín, árboles frutales o un cerco vivo en el límite del terreno.

El reúso suele ser muy apreciado en zonas áridas o semiáridas con poca disponibilidad de agua, para minimizar la demanda y el consumo, optimizar el uso del suministro y reducir los costos del servicio. El principal reúso de agua tratada es para riego.

INFILTRACIÓN

Hay diversas formas de infiltración en el suelo ya descritas en esta obra. El agua que se infiltra, migra a través del suelo y se incorpora a los acuíferos subterráneos. Por tratarse de agua residual, lleva implícito un riesgo de contaminación con microorganismos patógenos, nitratos y otros compuestos. El riesgo depende del tipo de suelo (granulometría, estructura), distancia a la freática y calidad del agua infiltrada. Por eso es muy importante que se respeten las condiciones exigidas de permeabilidad del suelo (velocidad de infiltración 2 – 24 min/cm) y de profundidad del nivel freático (1,20 m por debajo del fondo del tratamiento).

El riesgo es de mayor importancia si el agua se incorpora a un acuífero que se usa como fuente para consumo humano. En esos casos el mayor peligro es la migración de microorganismos patógenos y de nitratos. Los compuestos orgánicos que contienen las aguas grises (detergentes, limpieza) no suelen ser un problema.

VUELCO SUPERFICIAL

En la mayoría de las áreas periurbanas sin servicio de cloacas de países de ingresos medios y bajos, el agua gris se descarga en superficie, sin tratamiento previo, causando deterioros ambientales relacionados con la salubridad (infecciones) y la calidad del agua del cauce receptor (consumo de oxígeno, fermentación, olores, eutrofización). Como ya se explicó, un tratamiento sencillo pero adecuado, puede mejorar mucho la calidad del agua que se vuelca y evitar esos problemas. Para el vuelco superficial se recomienda

un tratamiento primario (cámara séptica) y uno secundario (humedal), ya que luego de esas etapas el efluente puede cumplir con las exigencias de calidad de la legislación de vertido de efluentes. Se debe incluir una etapa de desinfección (cloración).

RECARGA DE ACUÍFEROS

La recarga de los acuíferos con agua residual se puede hacer intencionalmente, mediante una infiltración o no intencionalmente por riego excesivo en prácticas agrícolas, por pérdidas de cañerías o por derrames. Los suelos no saturados tienen buena capacidad filtrante como para retener material particulado, microorganismos patógenos, materia orgánica y fosfatos.

En zonas con niveles freáticos altos y poco espesor de suelo no saturado, el riesgo de contaminación es importante. Lo mismo ocurre en suelos muy permeables, con alto contenido de arenas o gravas, porque los microorganismos no son retenidos y pueden migrar hasta niveles muy profundos. En un suelo bien estructurado, no saturado, 1,2 m de espesor es suficiente para evitar el riesgo, si se infiltra agua gris con tratamiento primario.

En el agua subterránea las bacterias y virus pueden permanecer viables hasta 15 días, o sea que pueden migrar hasta donde llega el agua del subsuelo en ese tiempo en su dinámica habitual. Mediante estudios con freatímetros se puede determinar la velocidad y dirección del agua subterránea a través del subsuelo. Si se planea realizar una instalación de recarga de acuíferos con agua residual tratada, se debe ubicar respetando la distancia que puede recorrer en 15 días hasta las tomas de agua y con el mayor margen de seguridad posible.

RIEGO

Cuando se utiliza el agua gris tratada para riego, se deben tener en cuenta algunas características del agua para minimizar riesgos sanitarios y obtener los mejores resultados. Si el agua gris proviene de un sistema de suministro domiciliario, se puede considerar que el agua que llega a la casa es de una calidad aceptable, pero en el uso en el hogar se le incorporan contaminantes que pueden ser perjudiciales.

Se debe tener en cuenta el tipo de cultivo a regar, el tipo de suelo y el sistema de riego a usar. Nunca es recomendable el riego por aspersión o dispersores atmosféricos, por la producción de aerosoles que pueden transmitir infecciones por inhalación. El sistema de riego siempre debe ser por zanja o por goteo.

Cuando se riegan jardines o frutales no suele haber problemas de calidad del agua. Cuando se planea una producción hortícola, se deben tener en cuenta el tipo de producción y si esa producción tiene exigencias particulares respecto de la calidad del agua. Además hay que evaluar la cantidad de sales, contenido de Na relativo y algunos compuestos tóxicos específicos.

En zonas con alto consumo de agua ($> 100\text{L/p.d}$), difícilmente las aguas grises puedan causar daños a los cultivos porque son muy diluidas. En zonas de bajo consumo de agua, la misma cantidad de contaminantes (patógenos, productos químicos, de limpieza, solventes) estarán en mayor concentración.

El agua gris contiene muchos menos gérmenes patógenos que las aguas negras, pero puede haber excepciones. El lavado de pañales de tela o de ropa de niños que juegan en el pasto en contacto con excretas de perros o gatos, puede producir aguas muy contaminantes,, que superen la capacidad de reducción de los tratamientos. Además muchos patógenos producen formas de resistencia (huevos, quistes) que sobreviven a los tratamientos.

Otro aspecto a tener en cuenta es la concentración de sales (medida como conductividad eléctrica, CE), cuyo exceso puede afectar negativamente a los cultivos. Cada especie vegetal tiene su margen de tolerancia a la salinidad. Valores de CE entre 300 y 1500 $\mu\text{S/cm}$ no causan problemas a cultivos que no sean muy sensibles.

Otro aspecto importante es el contenido de Na. El exceso de sodio afecta tanto a las plantas (quemaduras de hojas y punta de tallos, muerte), como al suelo que puede perder estructura y permeabilidad. El sodio se incorpora al agua gris a través de los jabones de lavar. Hay que usar jabones con bajo contenido en sodio (Na) y en boro (B) que también puede afectar a los cultivos. Los detergentes no parecen tener un efecto negativo en los cultivos o en el suelo pero conviene minimizar el uso.

Sistemas de riego

Por lo expuesto acerca del contenido de patógenos, el contacto del agua gris con las partes comestibles del cultivo no es recomendable, por eso se propone evitar el riego por aspersión. El riego por goteo (subsuperficial) es muy recomendable y tiene muchas ventajas. Evita los aerosoles, un caño lleva el agua al lugar justo, en el momento que se necesita, no toca las partes comestibles, está bajo tierra o al ras del suelo. Se puede construir con materiales locales económicos. Puede ser móvil para desplazarlo de un lugar a otro. El riego por zanjas rellenas de hojarasca (paja, pasto seco, hojas, etc.) es un buen método. El agua se vuelca en las zanjas y corre y riega por gravedad. La hojarasca hace de esponja que retiene agua, evita el contacto del agua con la atmósfera (evaporación) y las personas (contaminación). Para evitar olores el agua debe tener un buen tratamiento previo.

DESINFECCIÓN

Las aguas residuales contienen microorganismos causantes de enfermedades intestinales transmitidas por el agua, entre los que se incluyen bacterias, quistes de protozoos y virus. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales autónomos, eliminan parte de esos microorganismos patógenos, pero el efluente final todavía contiene concentraciones importantes que son eliminados en el proceso de desinfección.

Hay muchos métodos para desinfectar aguas residuales que utilizan diferentes agentes físicos y químicos. Sin embargo para aplicaciones in situ, sólo algunos pocos reúnen las condiciones de ser sencillos, seguros y económicos.

Los métodos de desinfección por cloración, son los más comúnmente utilizados. La efectividad de la desinfección se mide mediante el recuento de bacterias indicadoras, generalmente del grupo de los coliformes fecales. Estos microorganismos son excretados con las heces por todos los animales de sangre caliente, por lo tanto están presentes en las aguas residuales en grandes cantidades, tienen la capacidad de sobrevivir en el entorno natural con mayor facilidad que muchas bacterias patógenas, y son fáciles de detectar y cuantificar.

CLORO

El cloro es un poderoso agente oxidante que se utiliza como desinfectante eficaz en el proceso de potabilización y en el tratamiento de 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 , pastillas). Cuando se agrega hipoclorito al agua se forma ácido hipocloroso (HOCL). El aumento de pH resultante promueve la formación del anión, OCL , que es una forma de cloro libre. Debido a su naturaleza oxidativa, el cloro libre reaccionará destruyendo los compuestos reducidos que contengan las aguas residuales, sulfuros, hierro ferroso, materia orgánica y amoníaco. La materia orgánica incluye los microorganismos patógenos mencionados. 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 un efluente de cámara séptica oscila entre 30 y 45 mgCL/L; para efluentes de tratamientos biológicos convencionales oscila entre 10 y 25 mgCL/L y para el efluente de un biofiltro aerobio, de 1 a 5 mgCL/L.

Estructura

La cloración con pastillas es el método más práctico para desinfectar las aguas residuales de los sistemas autónomos. A la salida del tratamiento se coloca una cámara de cloración con un dosificador sencillo (figura 40), donde se colocan las pastillas que se van disolviendo y liberando el cloro a medida que circula el agua residual. Luego se coloca una cámara de contacto, que debe tener un volumen proporcional al caudal de aguas residuales para obtener el tiempo necesario de desinfección (15 – 30 min) y algún tipo de tabiques o deflectores para lograr una buena mezcla. Estos elementos pueden ser de plástico, fibra de vidrio o cemento. La cámara de contacto debe tener una tapa que la proteja del ingreso de elementos extraños, pero debe ser fácilmente removible para mantenimiento e inspección.

Los dosificadores de pastillas están fabricados con plásticos duraderos y libres de corrosión. También se pueden fabricar utilizando elementos reciclados. Un dosificador

estático (sin bomba) de cloro líquido (lavandina), se puede construir en forma similar, aunque es difícil de lograr una dosificación continua y homogénea. Estos dosificadores no requieren de energía de funcionamiento. Los dosificadores mecánicos de cloro líquido son más confiables pero requieren energía eléctrica y mayor atención del operador ya que la bomba y el dosificador requieren inspección y calibración.

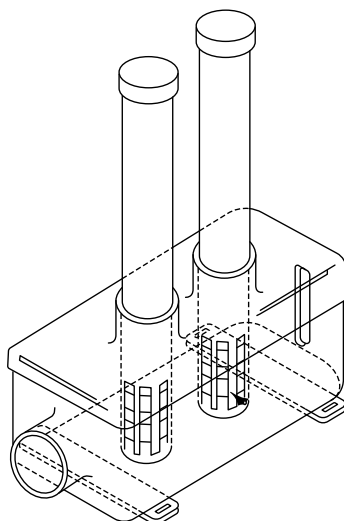


Figura 40. Esquema de un dosificador de cloro con pastillas.

Funcionamiento

Las aguas residuales que salen del tratamiento pasan a través de la cámara de cloración, donde se disuelve el hipoclorito y se produce cloro libre, y luego a la cámara de contacto donde permanecen el tiempo necesario para que ocurra la desinfección. El efluente ya desinfectado sigue a su punto de disposición final. El cloro libre y combinado son altamente tóxicos para la vida silvestre. La concentración excesiva de cloro reactivo en el efluente final es bastante común, por eso se recomienda el uso de zanjas largas antes de volcar las aguas desinfectadas en un cuerpo de agua superficial.

Mantenimiento

El sistema de desinfección debe diseñarse para minimizar los requisitos de operación y mantenimiento, y al mismo tiempo garantizar una buena desinfección. El mantenimiento de rutina de un sistema de cloración incluye el control del dosificador, la reposición de pastillas o de solución de hipoclorito, el ajuste de las tasas de flujo, la limpieza de la cámara de contacto y la toma de muestras para análisis de cloro residual. Esto implica un tiempo de dedicación de 6 a 10 horas por año. Se estima que los requisitos químicos son de 3 a 7 Kg de cloro libre o 60 a 140 L de lavandina común por año para una familia de cuatro personas. El mantenimiento no requiere de personal especialmente capacitado. Los riesgos de seguridad son mínimos pero se recomienda el uso de guantes y protección ocular para las tareas de limpieza y reposición de cloro.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

Collado, R. 2006. Soluciones actualizadas de saneamiento autónomo o no colectivo. Convenio colaboración entre Consorcio de aguas Bilbao-Bizkaia y el Departamento de CYTAMA de la Universidad de Cantabria.
<https://personales.unican.es/collador/Art%C3%ADculos,%20Cursos%20y%20Congresos/Art%C3%ADculo%20Saneamiento%20individual%20Collado.pdf>

Conventional and Non-Conventional Onsite Wastewater Treatment Systems - Requirements and Procedures. Los Angeles County Department of Public Health Environmental Health Land Use Program. July 2016.

<http://publichealth.lacounty.gov/eh/docs/permit/onsite-wastewater-treatment-system-requirements-procedures.pdf>

Hygnstrom, J.; W. Woldt and S. Skipton. 2002. Residential On-site Wastewater Treatment: An Overview University of Nebraska Cooperative Extension.
<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1101&context=extensionhist>

Kotoudjian, J. M. 2017. Plan Nacional de Agua Potable y Saneamiento (PNAPYS). Cobertura Universal y Sostenibilidad de los Servicios. Dirección Nacional de Agua Potable y Saneamiento. Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda.
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/interior_agua_plan_agua_saneamiento.pdf

Lindstrom, Carl. 2000. Greywater, what it is...how to treat it... How to use it. Greywater Action.
<http://www.greywater.com/index.htm>

Morel A., Diener S. 2006. Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland.
https://www.susana.org/_resources/documents/default/2-947-en-greywater-management-2006.pdf

Sasse, L. 1998. DEWATS. Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries. BORDA. Bremen Overseas Research and Development Association Industriestrasse 20, D-28199 Bremen.
https://www.susana.org/_resources/documents/default/3-1933-7-1522145573.pdf

USEPA/625/R-00/008. 2002 Onsite Wastewater Treatment Systems Manual Office of Water.
https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/2004_07_07_septics_septic_2002_osdm_all.pdf

BIBLIOGRAFÍA ESPECÍFICA**Barreras reactivas**

Robertson W. D., Blowes D.W., Ptacek C.J. Cherry J. A. 2000. Long-term performance of in situ reactive barriers for nitrate remediation. *Ground Water* 38:689-695.
<https://www.sas.rochester.edu/ees/ees217/Readings/CherryGW1.pdf>

Schipper, L. A., W. D. Robertson, A. J. Gold, D. B. Jaynes, S. C. Cameron. 2010. Denitrifying bioreactors-An approach for reducing nitrate loads to receiving waters *Ecological Engineering* 36(11):1532-1543.
https://www.researchgate.net/publication/222076496_Denitrifying_Bioreactors_-_An_Approach_for_Reducing_Nitrate_Loads_to_Receiving_Waters

Biofiltros aerobios

EPA/625/R-00/008. 2002. Onsite Wastewater Treatment Systems Technology Fact Sheet 10 Intermittent Sand/Media Filters USEPA Office of Water Washington, D.C.
https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/2004_07_07_septics_septic_2002_osdm_all.pdf

EPA 832-F-99-067. 1999. Wastewater Technology Fact Sheet. Intermittent Sand Filters USEPA Office of Water Washington, D.C.
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/isf.pdf>

EPA 832-F-99-079. 1999. Decentralized Systems Technology Fact Sheet. Recirculating Sand Filters Office of Water Washington, D.C.
https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/finalr_7e6.pdf

EPA-R10-PS-1005 and Washington State Department of Ecology. 2013. Evaluation of On-Site Sewage System Nitrogen Removal Technologies Recirculating Gravel Filter and Vegetated Denitrifying Woodchip Bed. DOH 337-139.
<https://doh.wa.gov/sites/default/files/2025-08/337-139-VRGF-WB-Final-ETV-Report.pdf>

Lesikar, B. y J. Enciso. Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras. Filtro de arena. L-5229S 8-00. Servicio de Extensión Agrícola de Texas, el Sistema Universitario Texas A&M.
<http://agpublications.tamu.edu/pubs/ewaste>
<https://ossf.tamu.edu/files/2023/01/L-5229S-8.00-Sand-filter-Spanish-version.pdf>

Cámara Séptica

CEPIS. OPS/CEPIS/03.80. 2003. Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural (UNATSABAR). Especificaciones técnicas para el diseño de tanques sépticos. Lima.
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UNATSABAR%202005.%20Especificaciones%20t%C3%A1cnicas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20

zanjas%20y%20pozas%20de%20.pdf

EPA 832-F-00-040. 2000. Decentralized Systems Technology Fact Sheet Septic System Tank.

<https://www.netafimusa.com/bynder/41F83C8D-A87C-4D14-9B42D7D17CF5110C-septic-system-tank.pdf>

Norma oficial mexicana NOM-006-CNA. 1997. Fosas sépticas prefabricadas. Especificaciones y métodos de prueba.

<https://sistemas.ifeqroo.qroo.gob.mx/normatividad/2.%20NOM-006-CONAGUA-1997.pdf>

Norma técnica IS.020. 2012. Tanques Sépticos. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Peru.

https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/IS.020.pdf

OPS/CEPIS/05.163 UNATSABAR. 2005 Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización. Lima.

<https://sswm.info/es/node/11903>

Desinfección

EPA/625/R-00/008. 2002. Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. Technology Fact Sheet 4. Effluent Disinfection Processes.

https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/2004_07_07_septics_septic_2002_osdm_all.pdf

Filtros Anaerobios

Comisión Nacional del Agua, México, D.F. 2015. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente. ISBN: 978-607-626-017-3.

https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015.%20Manual%20Filtros%20anaerobios%20de%20flujo%20ascendente.pdf

Morel A., Diener S. 2006. Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG). Dübendorf, Switzerland. https://www.susana.org/_resources/documents/default/2-947-en-greywater-management-2006.pdf

SASSE, L. 1998. DEWATS. Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries. BORDA. Bremen Overseas Research and Development Association Industriestrasse 20, D-28199 Bremen

https://www.susana.org/_resources/documents/default/3-1933-7-1522145573.pdf

Humedales construidos

Rosales Escalante. 2010. Manual para la construcción y mantenimiento de biojardineras. II Edición Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente (ACEPESA). <https://ugacostarica.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/05/biojardineras-2010-arte-final-sin-exesos1.pdf>

Latchinian, a. & D. Ghislieri. 2011. Autoconstrucción de sistemas de depuración de aguas cloacales. <https://lagotaconbotas.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/06/autoconstruccion-de-un-sistema-de-fitodepuracioc81n-aramis-latchinian.pdf>

García, J. & A. Corzo Hernández. 2008. Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. Universidad Politécnica de Catalunya. https://www.academia.edu/75411304/Depuraci%C3%B3n_con_humedales_construidos_gu%C3%ADa_pr%C3%A1ctica_de_dise%C3%B1o_construcci%C3%B3n_y_explotaci%C3%B3n_de_sistemas_de_humedales_de_flujo_subsuperficial_versi%C3%B3n_esborrany_

Tanner, C.; T. Headley & A. Dakers. 2011. Guideline for the use of horizontal subsurface constructed wetlands in on-site treatment of household wastewaters. National Institute for Water and Atmosphere Research LTD. Hamilton 3251 New Zealand. <https://www.envirolink.govt.nz/assets/Envirolink/909-GSDC85-Guidelines-for-use-of-constructed-wetlands-for-on-site-treatment.pdf>

Infiltración

Siegrist, R. L., E. J. Tyler, P. D. Jenssen. 2000. Design and Performance of Onsite Wastewater Soil Absorption Systems. National Research Needs Conference, Risk-Based Decision Making for Onsite Wastewater Treatment. Washington University, St. Louis, Missouri. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SIEGRIST%20et%20al.%202000%20Design%20and%20Performance%20of%20Onsite%20Wastewater%20Soil%20Absorption%20Systems.pdf

Pozo absorbente

CEPIS. OPS/CEPIS/03.83. 2003. Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural (UNATSABAR). Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y pozas de infiltración. Lima. 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

Talarico, C. A., H. C. Mazzei, I. Pagni y D. Talarico. Sistema estático de disposición de efluentes en el terreno: Zanjas de infiltración - Pozos absorbentes – Cámara séptica.

Unidad temática nº 5. UTN, FRBA.

<https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-tecnologica-nacional/ingenieria-civil-ii-int/zanjas-de-infiltracion/85185467>

USEPA 909-F-01-001 APRIL. 2001. Seepage Pits May Endanger Ground Water Quality.
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/seepagepits.pdf>

OPS/CEPIS/03.82. 2024. Especificaciones técnicas para diseño de pruebas de infiltración.
<https://agisa.b-cdn.net/wp-content/uploads/2024/10/Prueba-de-infiltracion.pdf>

Zanjas y lechos de infiltración

Hygnstrom, J.; W. Woldt and S. Skipton. 2002. Residential On-site Wastewater Treatment: Traditional Drainfield Systems for Effluent Treatment. Nebraska Cooperative Extension G02-1479-A.
<https://extensionpubs.unl.edu/publication/g1479/2008/pdf/view/g1479-2008.pdf>

Mancl, K. 2016. Septic Tank – Soil Treatment Systems For Ohio Rural Homes Bulletin 939 The Ohio State University.
<https://www.browntwp.org/site/assets/files/1090/e939-1.pdf>

Mariñelarena, A. 2006. Manual de autoconstrucción de sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias - FREPLATA Editores.
<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/150957>

EPA 832-F-99-075. 1999. Folleto informativo de sistemas descentralizados Tanque séptico - Sistemas de absorción al suelo.
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100MRBT.PDF?Dockkey=P100MRBT.PDF>

