

Manual para el tratamiento de efluentes domiciliarios aplicando tecnologías basadas en la naturaleza

Paso a paso desde la fase de proyecto hasta la fase de construcción y operación del sistema.

Manual de tratamiento de efluentes domiciliarios con tecnologías basadas en la naturaleza.

Autores:

Aldana Farabello
Andrea Arocena
Fernando Raffo

Edición:

Noviembre de 2023.

Proyecto Adaptación al cambio climático en ciudades y ecosistemas costeros vulnerables del río Uruguay

Este manual ha sido elaborado en el marco de la implementación del proyecto regional (Argentina-Uruguay) Adaptación al cambio climático en ciudades y ecosistemas costeros vulnerables del río Uruguay. Se ha recibido una donación del Fondo de Adaptación para su realización y se implementa a través de CAF (Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe). Los componentes regionales del proyecto son ejecutados por PNUD (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo) y los componentes nacionales son ejecutados, respectivamente, por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina y por la Corporación Nacional para el Desarrollo de Uruguay, siendo los ministerios de ambiente de ambos países los promotores del proyecto.



Fernando Carlos Raffo

Colonia Hugues – Entre Ríos
fcraffo@gmail.com

Es Ingeniero Civil – Magíster en Ingeniería Ambiental (Fac. Regional Concepción del Uruguay - Universidad Tecnológica Nacional - UTN).

Su especialidad son soluciones basadas en los ecosistemas para problemas relacionados al manejo de efluentes líquidos domiciliarios e industriales, para la reducción de la huella hídrica y de carbono.

Actualmente se desempeña como docente investigador de las carreras de ingeniería civil e ingeniería electromecánica, en el postgrado en Ingeniería Ambiental y coordina el grupo de energías limpias y adaptación al cambio climático en la FRCU, desde 2012.

En el ámbito privado se desempeña como consultor técnico para proyectos de reúso de efluentes para riego forestal y generación de biogás a partir de lagunas de tratamiento en frigoríficos avícolas y producción primaria intensiva de animales, desde 2016.

En el ámbito familiar desarrolla un proyecto de producción sustentable y economía circular en el emprendimiento “El Bosque Pequeño” en Colonia Hugues, Colon, Entre Ríos.



Aldana Farabello

Concepción del Uruguay – Entre Ríos
aldanafarabello@gmail.com

Arquitecta UBA / Magister en “Arquitectura de gran escala e Ingeniería Civil”, Politécnico de Milano / Co-Coordinadora de la Red Pro Tierra Argentina / Co-Fundadora de Fauna Cultural y ambiental.

Se especializa en soluciones basadas en la naturaleza a pequeña y mediana escala. Sus ejes principales de enfoque son la construcción con tierra y otros elementos naturales, diseño bioclimático y diseño el paisaje local (litoral), tratamientos de efluentes domiciliarios.

Actualmente está promoviendo la construcción sustentable en el ámbito público: Asesora técnica del Proyecto de adaptación al Cambio Climático para la Costa del Río Uruguay y en el Municipio de C.del U, impulsando proyectos sustentables y de Economía Circular para la producción sustentable del Hábitat.

Paralelamente a encargos privados, participa en distintas instituciones y ONGs en actividades que promuevan la arquitectura con tierra, permacultura y regeneración.



Andrea Arocena

Concepción del Uruguay – Entre Ríos
andrearocena2012@gmail.com

Albañil, capacitadora en construcción tradicional.

Escuela Municipal de Arte y Oficios “Héroes de Malvinas”. Es estudiante avanzada de Arquitectura (Fac. de Arquitectura y Urbanismo - Universidad de Concepción del Uruguay - UCU).

Actualmente se desempeña como capacitadora en el oficio de la albañilería en construcción tradicional del oficio “Auxiliar de Albañil en Construcciones Tradicionales”, en la Escuela Municipal de Arte y Oficios “Héroes de Malvinas”, desde el 2022.

En el ámbito facultativo, se encuentra realizando su tesis de adaptación al cambio climático con construcción natural, es decir, BIOCONSTRUCCIÓN en la ciudad de Concepción del Uruguay, Entre Ríos.



ÍNDICE

Introducción

Capítulo 1: Aproximaciones

- Problemática
- Generalidades
- Diseño
- Ubicación general

Capítulo 2 - Sistema Primario

- Definición
- Precámaras
- Dimensionamiento de cámaras sépticas
- Materialización
- Mantenimiento
- Rendimiento
- Alternativas comerciales
- Potencialidades y limitaciones

Capítulo 3 - Sistema secundario

- Definición
- Humedal de flujo subsuperficial
- Dimensionamiento
- Materialización
- Mantenimiento
- Cámara de salida
- Potencialidades y limitaciones

Capítulo 4- Sistema terciario

- Definición
- Humedales de flujo libre
- Zanjas de infiltración
- Pozos absorbentes
- Potencialidades y limitaciones
- Alternativas de reúso
- Vegetación

Capítulo 5 - Ejemplos

- Vivienda familiar
- Complejo Turístico

ANEXOS

Ordenanza 131/22

Biodiversidad en Humedales Artificiales



Introducción

En este manual se describen las tecnologías basadas en la naturaleza para la solución de la problemática relacionada con el tratamiento del agua residual de las ciudades ribereñas del río Uruguay.

Para ello se toma como base la reciente Ordenanza N° 131-2022, promulgada por la ciudad de Colón, (Entre Ríos, Argentina), la cual ordena el tratamiento de efluentes domiciliarios en las zonas periurbanas que no cuentan con servicio de red cloacal.

En la misma se describen los diferentes componentes del sistema de tratamiento: primario, secundario y terciario y se fijan los límites de vuelco para el suelo y cursos superficiales. Se desalienta la construcción de pozos negros como sistema de infiltración y se promueve la implementación de tecnologías de humedales para los sistemas secundarios y terciarios.

Como una manera de difundir esta ordenanza a todos los actores intervinientes, es que se decidió en el equipo de ACC, la elaboración de este manual con el objetivo de brindar información destinada a todos los niveles: público en general, profesionales y constructores.

Una vez que se desarrollen las capacitaciones complementarias para la implementación de la ordenanza y se observe la aplicación de los contenidos del manual, se podrá ampliar el mismo hacia las demás ciudades que componen el **proyecto regional “Adaptación al cambio climático en ciudades y ecosistemas costeros vulnerables del río Uruguay”**.



Capítulo 1: Aproximaciones

Problemática

Generalidades

Diseño

Ubicación general

Este capítulo contiene una introducción a la problemática de los efluentes domiciliarios y su tratamiento alternativo, aplicando soluciones basadas en la naturaleza. Incluye generalidades con respecto a los componentes, el diseño y la ubicación recomendada.

Problemática

De la Crisis Climática.

Teniendo en cuenta el momento de crisis climática actual, dónde se ponen en juego la estabilidad de elementos que permiten la vida sobre la tierra, el agua como fuente de vida pasa a tomar un papel fundamental.

Nuestra región litoraleña es probablemente una de las más dotadas por este precioso don. Quizá por su abundancia es que no sabemos apreciar realmente su valor. Lo cierto es que, frente a las condiciones adversas de los escenarios presentes y futuros, nos vemos obligados a repasar el **cómo** estamos utilizando el agua y modificando a partir de ello su **calidad**. Adicionalmente, lo que nos trae la crisis climática actual, nos está afectando en su **cantidad**. Nos vemos influenciados por periodos históricos de extrema sequía, pero también de catstróficas inundaciones e indudablemente debemos buscar e implementar alternativas que nos permitan sobrellevar éstos, cada vez más recurrentes, escenarios extremos.

Del territorio local, y su evolución.

La problemática asociada a la falta de tratamiento de los efluentes cloacales se viene intensificando en los últimos años con el crecimiento poblacional, lo que ha llevado a la construcción de viviendas residenciales fuera de la zona de cobertura de las redes cloacales de las ciudades. Esto sumado a la falta de planificación del crecimiento urbano, normativas de referencia y utilización de tecnologías no adecuadas para el tratamiento, ha generado un impacto ambiental sobre el recurso hídrico superficial y subterráneo de las comunidades

En el siglo pasado, la tecnología más utilizada para tratar los efluentes cloacales de las viviendas era la construcción de una cámara séptica compartimentada de importantes dimensiones y un pozo absorbente como sistema de infiltración.

Su aplicación en zonas rurales o periurbanas de baja densidad poblacional daba una respuesta aceptable para el tratamiento de efluentes, pero a medida que se fueron poblando y densificando las viviendas comenzaron a existir problemas de contaminación de napas freáticas y vuelcos superficiales de efluentes sin estabilizar. Sumado a esto la falta de provisión de agua potable por redes, terrenos con superficies reducidas y suelo poco absorbente, han generado una problemática que no solo impacta en el ambiente, si no también es un potencial riesgo para la salud pública.

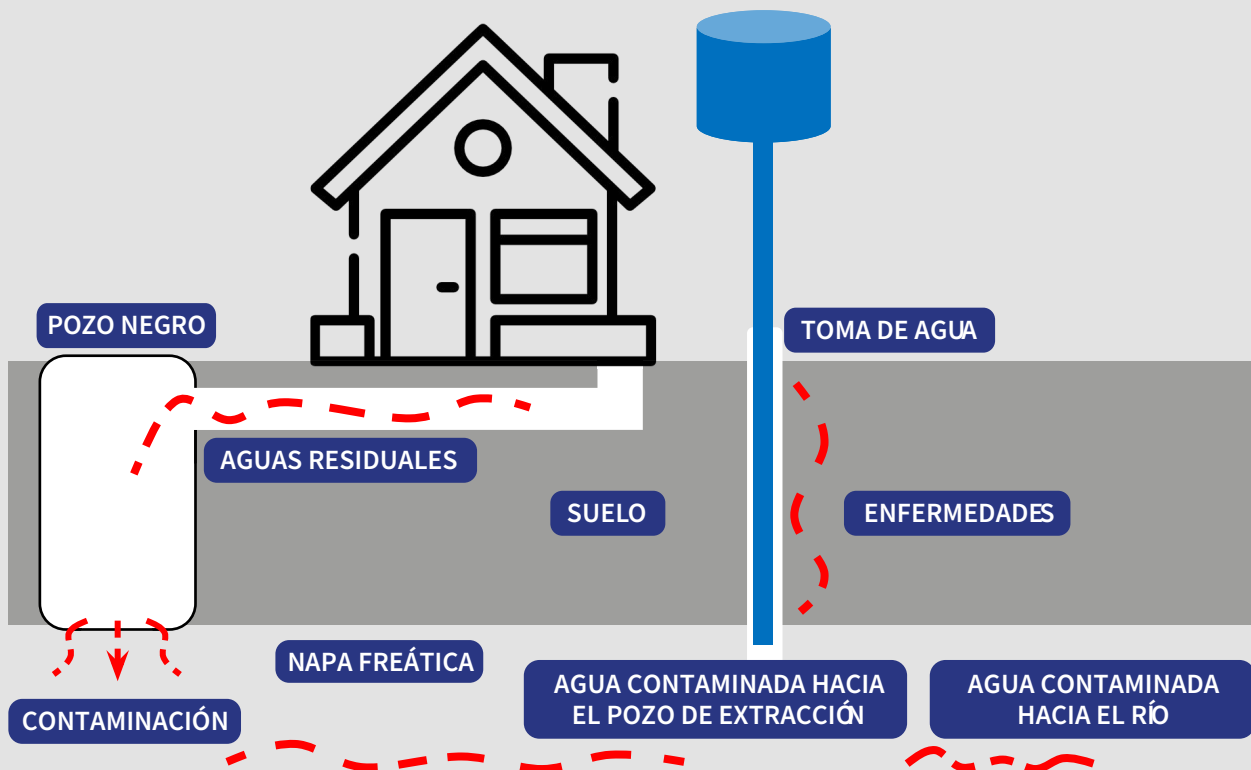


Figura 1. Contaminación de la napa freática (elaboración propia).

Del concepto “Agua” para nuestra sociedad.

Si tomamos en cuenta que una sociedad configura su desarrollo y experiencia, a partir de la forma de relacionarse con su entorno, entonces debemos revisar nuestra relación como sociedad moderna con el agua, uno de los elementos esenciales del ambiente, y en ello, uno de los elementos esenciales de la vida.

Como sociedad occidental y moderna, tendemos a simplificar nuestra percepción del agua, viéndola principalmente como un recurso que podemos utilizar y modificar para satisfacer nuestras necesidades. A menudo, no reflexionamos sobre su importancia vital y la manera en que nuestras acciones afectan directamente nuestra propia existencia y la salud del medio ambiente dónde se ponen en juego la estabilidad de elementos que permiten la vida sobre la tierra, el agua como fuente de vida pasa a tomar un papel fundamental.

Generalidades

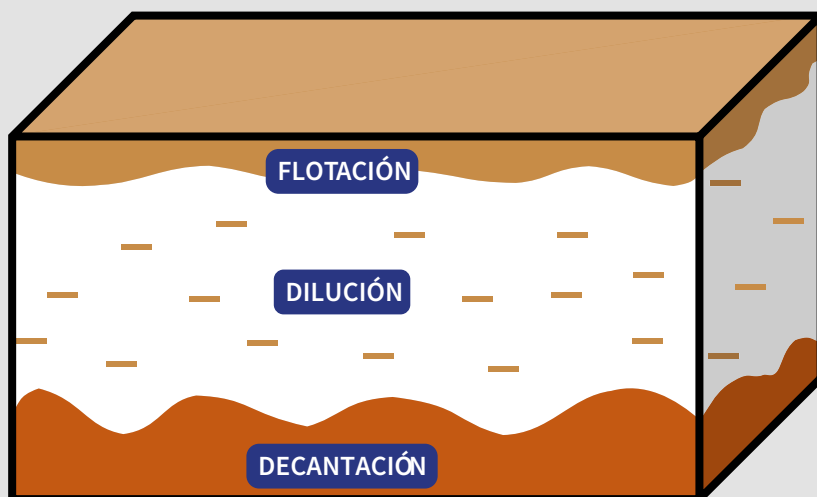
Por lo tanto, cuando hablamos de sistema de tratamiento, nos referimos a una sumatoria de componentes que en su conjunto van a brindar una solución a la problemática que se intenta resolver. Para cada uno de estos componentes van a existir diversas alternativas que van a ser viables desde lo técnico y desde lo ambiental y que van a ser mencionadas en este trabajo, desarrollándose las que según al criterio de los autores son las más adecuadas, para que su resultado sea sustentable.

¿A qué nos referimos con sustentable?

- Apropriadas al ambiente, tienen que utilizar recursos renovables y no sobrepasar la capacidad de carga de los ecosistemas en los que se insertan.
- Apropriadas para cumplir su función, tienen que dar respuesta al problema -productivo o doméstico- de que se trate de manera eficaz y eficiente.
- Apropriadas por la gente, tienen que ser de bajo costo, de fácil manejo y manutención, de sencilla comprensión y reproducibles a escala local.

El sistema va a estar compuesto por tres componentes bien definidos, los cuales cumplen procesos de tratamiento distintos en cada etapa. Desde el punto de vista físico las sustancias que afectan el estado natural del agua en el efluente se pueden presentar de la siguiente manera: sustancias que flotan, sustancias que decantan, sustancias que están diluidas.

Figura 2. Estado de las sustancias contaminantes en el efluente (elaboración propia).



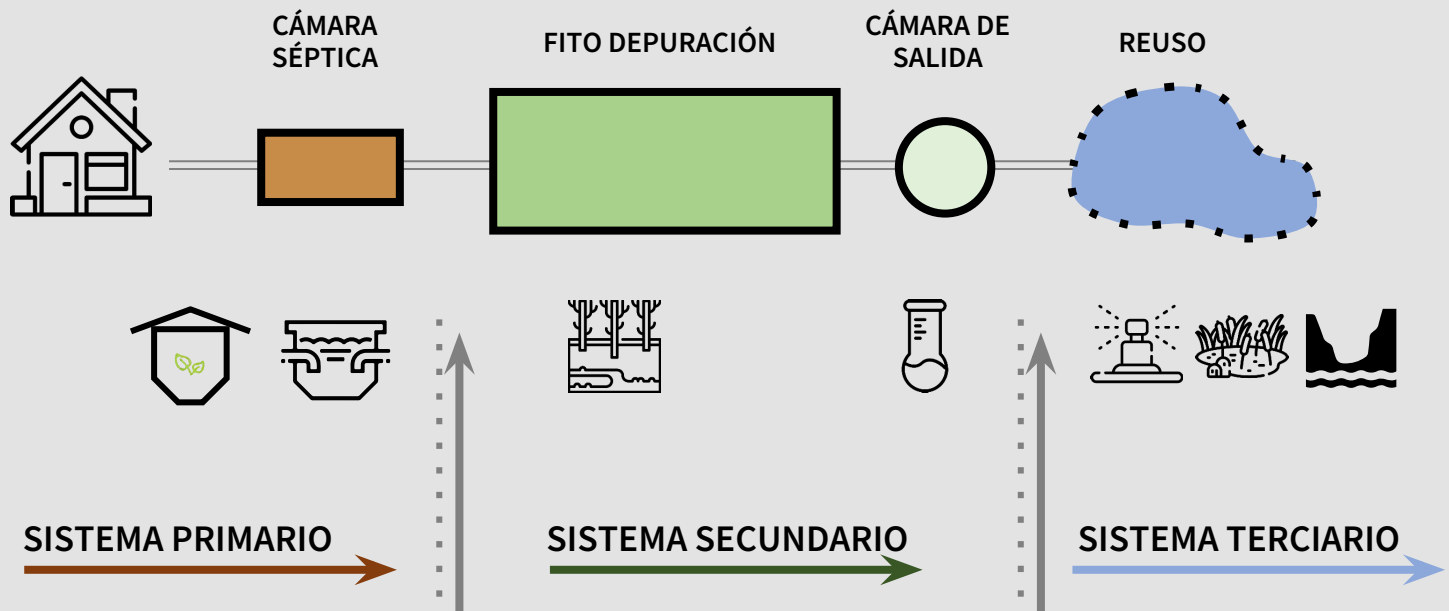


Figura 3. Esquema general (elaboración propia).

Para tratar correctamente el efluente, en estos tres estados de las sustancias, necesitaremos distintos sistemas:

Un sistema primario, el cual es el encargado de retener en gran porcentaje las sustancias en flotación y en decantación. Siendo este, un recipiente de cierto volumen aislado del oxígeno. Donde actúan con predominancia las bacterias anaeróbicas. Es aquí en donde se recibe el efluente, materializado por una cámara séptica doble, triple o biodigestor.

Un sistema secundario con predominancia de bacterias facultativas y aerobias, materializada por un humedal de flujo subsuperficial el que se encuentra impermeabilizado. Este sistema, es el encargado de sintetizar correctamente los parámetros contaminantes del agua.

Una cámara de toma de muestras que se encuentra a la salida del sistema secundario y es la unión entre este sistema y el terciario a la vez de ser el punto en donde se toman las muestras. Opcionalmente luego de esta cámara se podrá tomar el efluente tratado para ser reutilizado como riego forestal o de parques y jardines con los recaudos del caso.



Un sistema terciario que podrá materializarse con un humedal de flujo libre, una zanja de infiltración y por último un pozo absorbente que tendrá como objetivo utilizar el suelo como cuerpo receptor del efluente ya estabilizado.

NOTA: se hace saber que existen alternativas al sistema propuesto en este manual. Una de ellas sería el “baño seco” que al no generar el efluente, las heces son compostadas de manera sólida. Además existen sistemas de separación de efluentes en Aguas Grises (descarga de bachas, lavabos, lavarropas, bidet y duchas) y Aguas Negras (sola descarga de inodoros). En las llamadas Aguas Grises, tenemos escasa presencia de agentes biológicos patógenos, que son aquellos capaces de producir enfermedades al ser humano, lo cual facilita su tratamiento en un sistema separado. Los beneficios de separar el sistema, es que al llegar al sistema terciario, el uso para reutilización del agua es mayor en cuanto a sus posibilidades. Al aliviar considerablemente el caudal del efluente, implica un menor mantenimiento del sistema primario de las aguas negras.

A los fines de complementar la ordenanza 131-2022 es que en el presente manual se elige desarrollar el sistema unificado de tratamiento para todos los efluentes domiciliarios a tratar.

Diseño

Para el diseño del sistema se tomará como parámetro hidráulico de cálculo el caudal, expresado en litros de efluente generado por habitante de la vivienda por día.

Este valor para el caso de la ordenanza 131-22 se fija en 225 litros/día y está relacionado con la dotación de agua potable sugerida por la OMS de 200 a 250 litros, por habitante por día. En ningún caso podrá ser menor a 600 l/día por vivienda.

También es importante conocer la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas residuales domésticas en bruto. En la siguiente tabla se listan una serie de parámetros con sus valores medios expresados en las unidades correspondientes y que nos van a servir para poder comparar las metas de tratamiento exigido por la ordenanza.

PARÁMETROS	UNIDADES	VALOR MEDIO
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) ₅	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	500
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	100.000
Coliformes Totales	NMP/ 100ml	1.000.000
Sólidos Sedimentables en 2 h.	ml/l	10
Aceites y Grasas (SSEE)	mg/l	100
Fósforo Total	mg/l	15
Nitrógeno Total	mg/l	60

Tabla 1 Parámetros físicoquímicos y bacteriológicos de efluentes cloacales. Valores adaptados de Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. METCALF & EDDY, INC. (Elaboración propia)

Ubicación general

Los sistemas podrán ubicarse de diversas maneras, con los componentes juntos o separados, esto va a depender de la forma y nivel del terreno, de la ubicación de la vivienda, de las limitaciones establecidas en reglamentaciones locales como por ejemplo distancias a ejes medianeros, retiros de frente, etc. Como criterio general se recomienda que los sistemas se ubiquen en la parte más baja del terreno para que pueda funcionar por gravedad sin la necesidad de utilizar bombas. Se deberá cuidar que las escorrentías superficiales (aguas de lluvia) no ingresen o corran por encima de ninguno de los componentes del sistema.

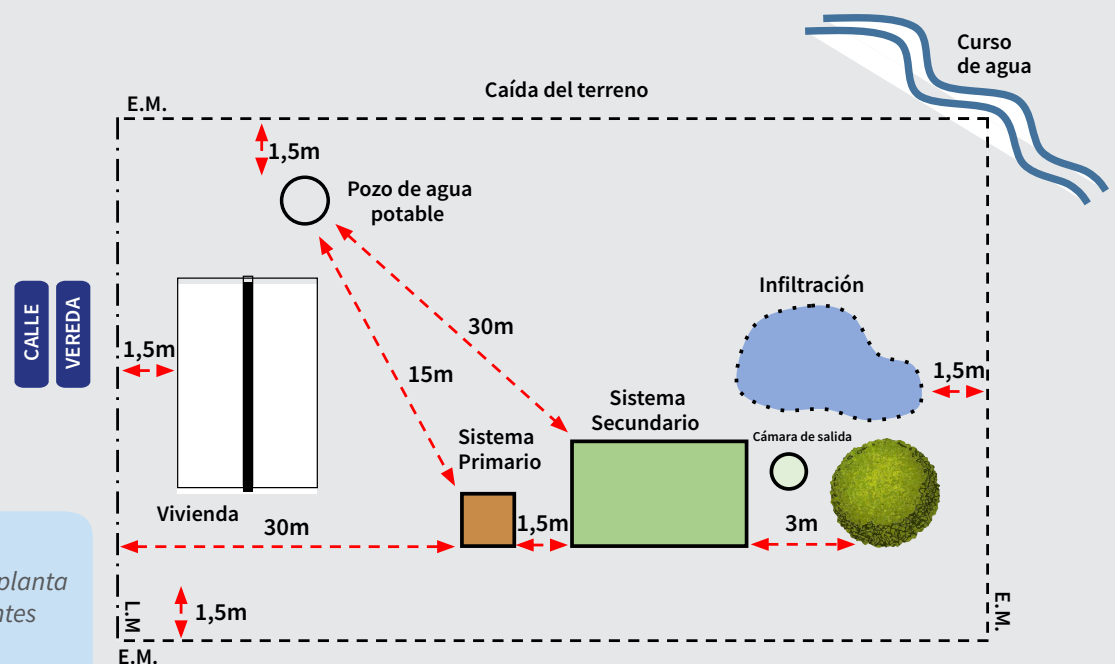


Figura 4. Ubicación con respecto a la vivienda en planta de los distintos componentes del sistema

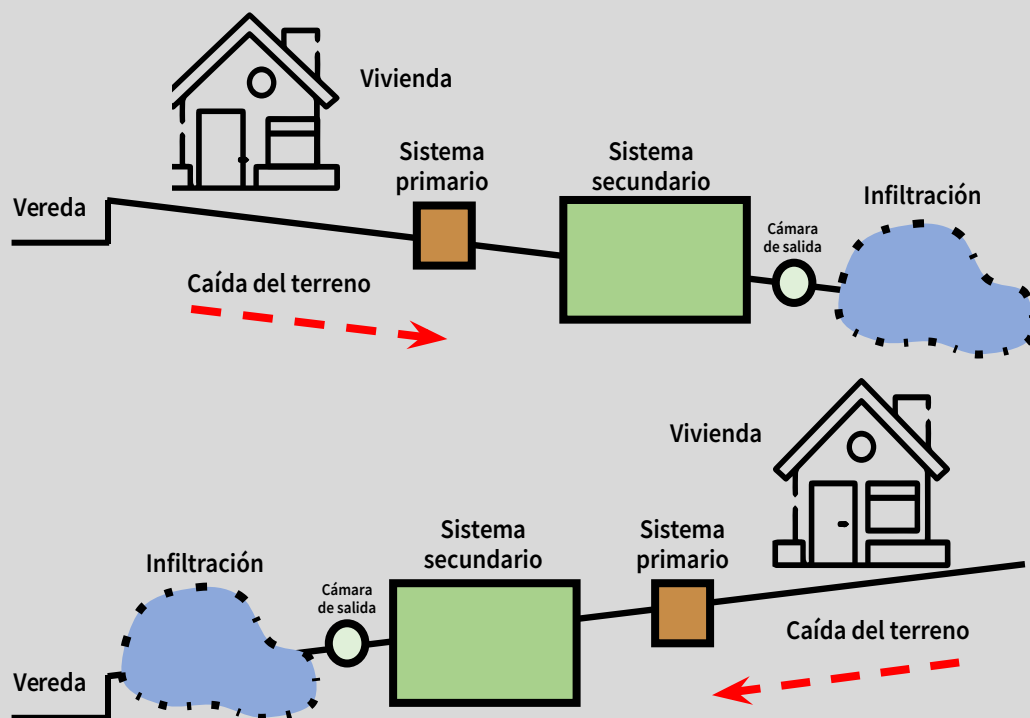


Figura 4 (b). Ubicación con respecto a la vivienda de acuerdo a la pendiente de los distintos componentes del sistema (elaboración propia).

El sistema primario debe ubicarse lo más cercano posible a la vivienda para evitar tendidos de cañerías extensos ya que el efluente crudo tiene un gran contenido de sólidos que pueden sedimentarse. Hay que tener en cuenta que estos sistemas requieren un mantenimiento anual y por ello debe preverse el ingreso de un vehículo (camión liviano) que retire los lodos. Para esto se debe dejar un pasillo libre de tres metros de ancho, o estar a no más de 30 metros de la calle que es la distancia a la que suelen llegar las mangueras de los camiones atmosféricos. Se recomienda guardar las distancias detalladas en la Tabla 2.

DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD RECOMENDABLES		
DISTANCIA A:	CÁMARA SÉPTICA	SISTEMA DE INFILTRACIÓN
Edificación	1.50 metros	500
Límite de la propiedad	1.50 metros	11.50 metros
Árboles de gran porte	3.00 metros	1.50 metros
Caminos y senderos	1.50 metros	5.00 metros
Línea municipal - máximo (camión atmosférico)	30 metros	1.50 metros
Curso de agua existente (arroyo, cañada, etc.)	10 metros	Sin restricciones
Pozo de agua potable	20 metros	5 metros

Tabla 2. Valores adaptados de Normas de estudio, criterios de diseño y presentación de proyectos de desagües cloacales para localidades de hasta 30.000 habitantes. Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento. Argentina 1993.



Capítulo 2: Sistema primario

Definición

Precámaras

Dimensionamiento

Materialización

Mantenimiento

Rendimiento

Alternativas comerciales

Potencialidades y limitaciones

Este capítulo contiene una descripción detallada de los componentes del sistema primario con foco en cámaras sépticas compartimentadas. Incluye definiciones, criterios de dimensionamiento, técnicas constructivas, recomendaciones para el mantenimiento y los rendimientos esperados.

Definición

Es el componente del sistema en donde predominan las bacterias anaeróbicas que se desarrollan sin la presencia de oxígeno, por lo que es fundamental nunca ventilarlo. Las bacterias anaeróbicas son muy eficientes en la remoción de los sólidos totales, suspendidos o disueltos presentes en el efluente y por ende en la reducción de la materia orgánica que se concentra en los mismos. Por diseño se busca facilitar que todos los sólidos sedimentan al fondo de las cámaras para que sean digeridos como barros por las bacterias, a la vez que las sustancias más livianas que el agua como las grasas y aceites no pasen en forma directa hasta lograr su degradación y sedimentación. De ahí que las cámaras tienen compartimentos para hacer más eficiente este proceso y las conexiones presentan codos que impiden el pasaje de la parte superficial del efluente.

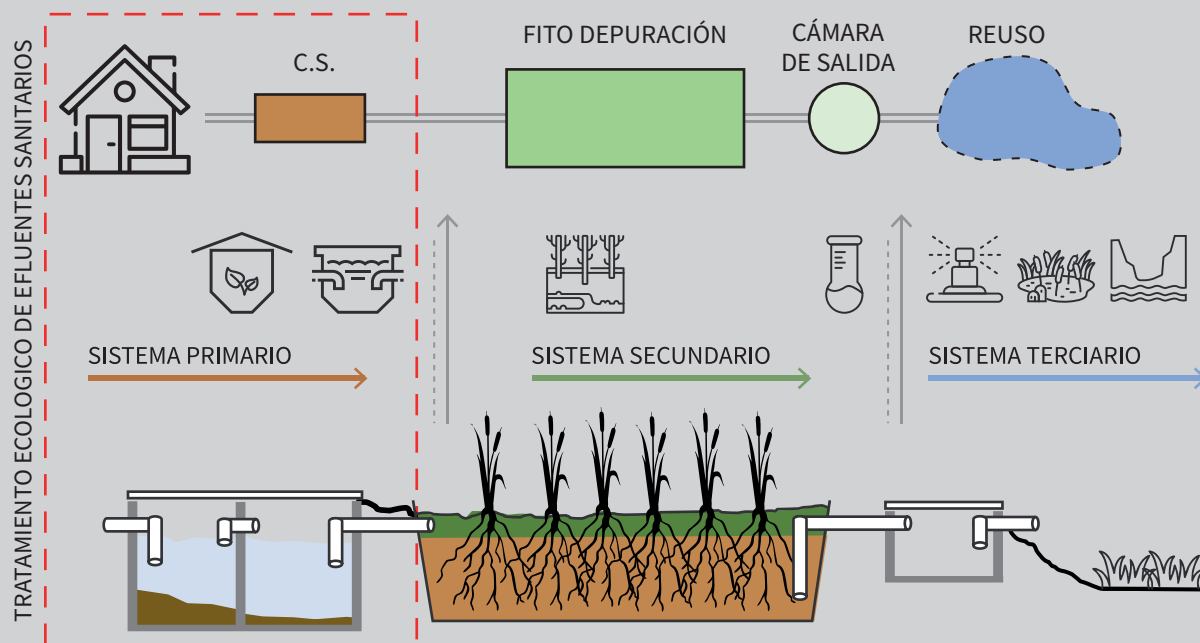
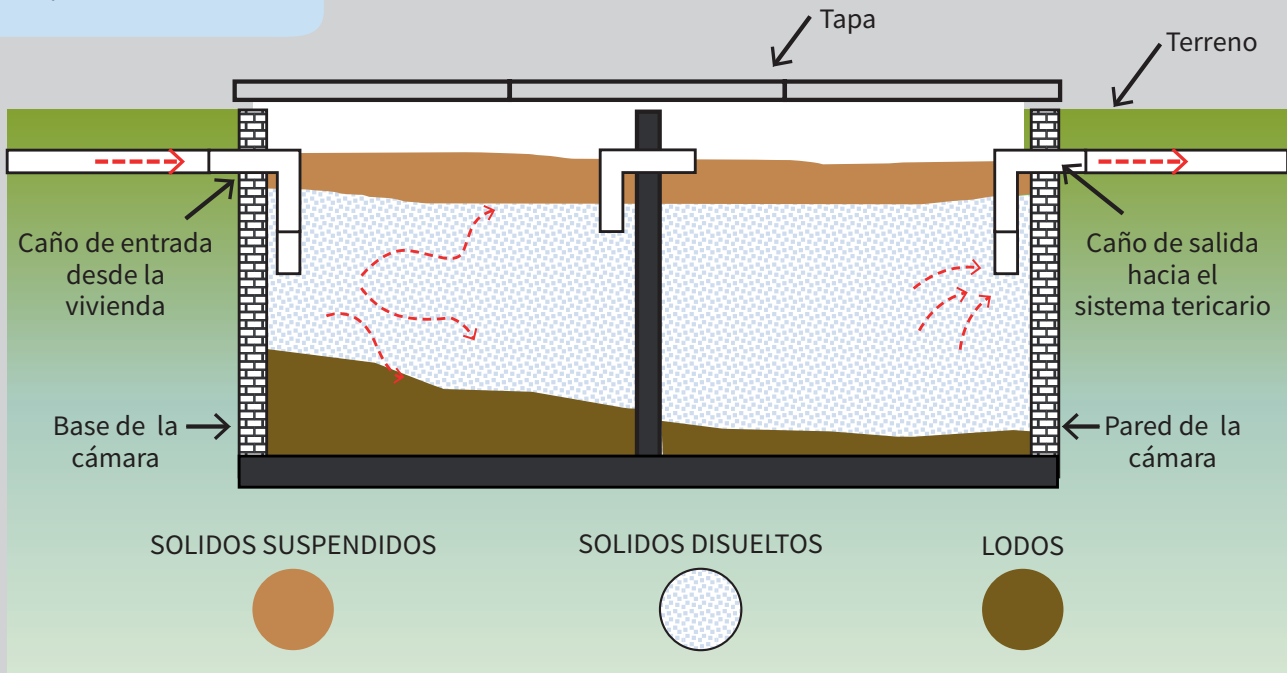


Figura 5. Esquema general del sistema primario.

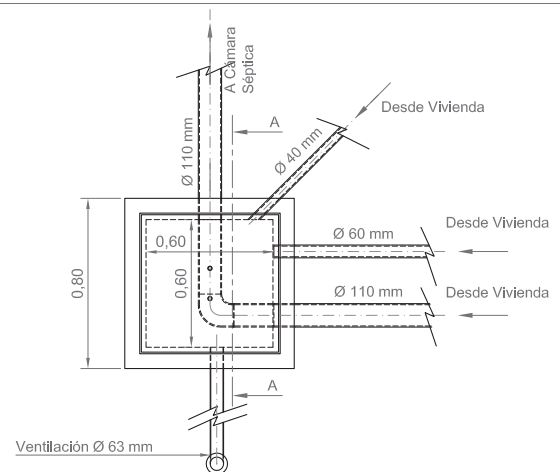
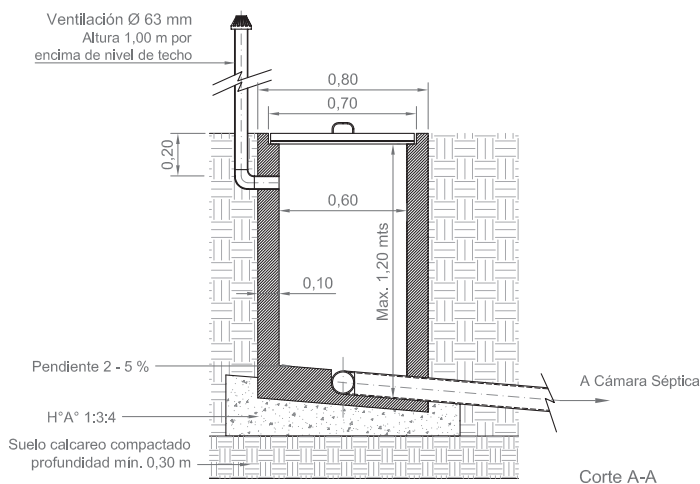


Figura 6. Distribución de los sólidos en la cámara compartimentada.



Precámaras

Las precámaras se utilizan para optimizar el rendimiento del sistema primario, ya que brindan la posibilidad de poder realizar conexiones de nuevos servicios que se pueden agregar, sin la necesidad de modificar el ingreso a la cámara, como así también el de realizar la ventilación del sistema primario interno de la vivienda en el caso de que esta no lo tuviera.



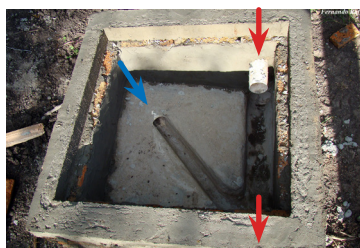


Figura 8. Sentidos de escurrimiento en una precámara

Precámara de mampostería o pre moldeada

Si en la vivienda no se hubiera realizado la ventilación del sistema primario, esta puede realizarse como última opción en la precámara. Cuando esto ocurre hay que asegurarse que el caño de ingreso al primer compartimento de la cámara séptica lo haga por debajo del nivel del pelo de agua, ya que de no hacerlo estaríamos ingresando oxígeno desde la precámara, cuestión que no sería favorable para el correcto funcionamiento de este sistema anaeróbico como ya se ha mencionado.

También de acuerdo al uso que se le da a la vivienda se pueden construir o adquirir una trampa de grasas o grasera externa además de la que generalmente se coloca en los bajo mesada de las cocinas que cumplen también la función de sifón.

Actualmente hay una gran variedad de modelos construidos de materiales plásticos con entradas múltiples de 63 mm y salida de 110 mm con tapa de inspección lo que permite su fácil acceso y limpieza.

Dimensionamiento

En el dimensionamiento de cámaras sépticas, el parámetro de cálculo utilizado es el tiempo de detención hidráulico (TDH), que asegure una permanencia de al menos 24 horas del caudal de diseño. Para ello el volumen útil del sistema debe ser igual o mayor al caudal.

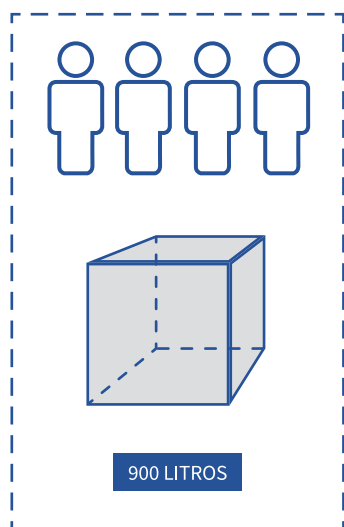
Este valor para el caso de la Ordenanza N°131-2022 se fija en 225 litros/día y está relacionado con la dotación de agua potable sugerida por la OMS de 200 a 250 litros, por habitante por día. En ningún caso podrá ser menor a 600 l/día por vivienda familiar.

Este tiempo se estima en función de lograr el objetivo de tratamiento esperado y que los procesos biológicos de degradación anaeróbica puedan desarrollarse normalmente, además de asegurar un volumen de retención de lodos que permita una frecuencia de limpieza de al menos un año.

Para ello tomando una familia tipo de cuatro personas a razón de 225 l/personas x 4 personas, obtenemos un volumen útil de 900 litros.

En cuanto a la distribución de los volúmenes en las cámaras triples se realiza de la siguiente forma:

Volumen 1: 50 %; Volumen 2: 25 %; Volumen 3: 25 %





Esta distribución obedece que en la primera cámara es en donde se van a depositar la mayor cantidad de sólidos y es por eso que toma el 50 % del volumen total disponible para que la frecuencia de limpieza sea la mayor posible.

En cuanto al número de compartimientos el mínimo es dos, pero se recomienda que sean tres para mejorar la eficiencia del tratamiento.

En planta se puede presentar en forma cuadrada o rectangular, dependiendo la utilización de uno u otro diseño, del espacio disponible y de la unión con los demás componentes del sistema.

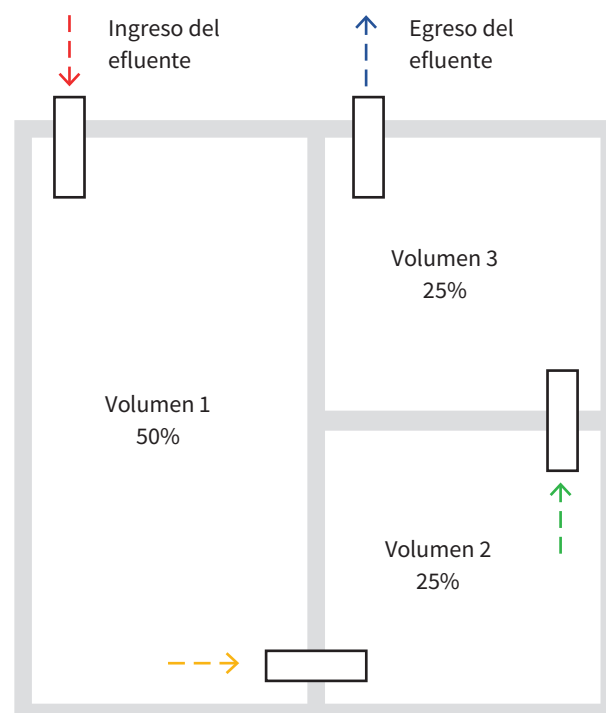


Tabla 3. Recomendaciones para el diseño de sistemas primarios (elaboración propia).

Descripción	Cantidades
Volumen útil	225 litros p/ persona
Volumen útil mínimo	600 litros
Numero de compartimentos	De 2 a 3
Profundidad del tirante	Mínimo 0.90 m
Conexiones	Caños de PVC 110 mm (mínimo)

La colocación de las cañerías de ingreso y de egreso en cada compartimento debe realizarse de manera cruzada para aprovechar al máximo el volumen disponible, generando una circulación del líquido lo más distribuida posible. Debe evitarse enfrentar las cañerías de ingreso y egreso.

Para garantizar un correcto funcionamiento del sistema, se debe fijar el tirante de altura de agua de 90 cm (mínimo) para cámaras unifamiliares de 1000 a 1500 litros. Esta altura está relacionada a cuestiones constructivas y de mantenimiento ya que profundidades mayores son más complejas a la hora de construir y profundidades menores acortan la frecuencia de limpieza de 6 meses a 1 año.

Para cámaras más grandes, por ejemplo de complejos turísticos, esta profundidad se puede adaptar, recomendando una altura de 1.20 m a 1.50 m.

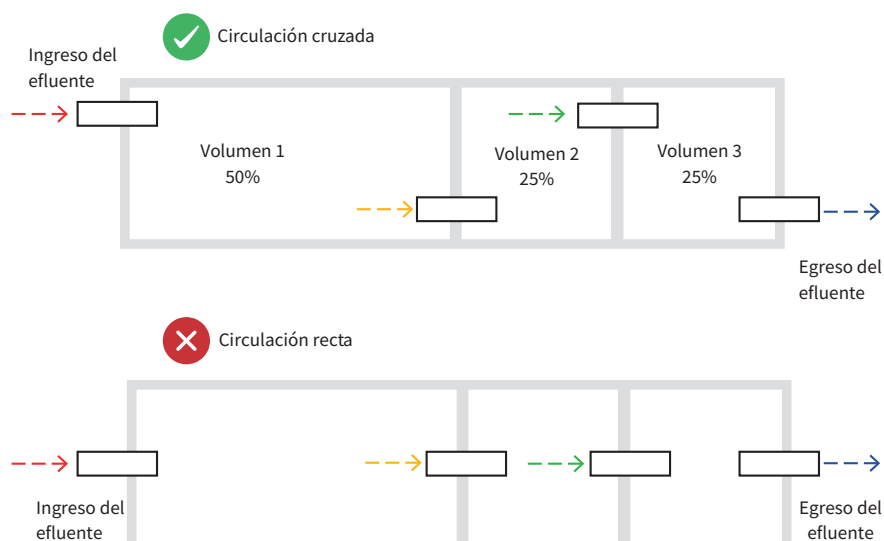


Fig. 10 Forma correcta e incorrecta de conexión en cámaras sépticas triples longitudinales

Materialización

Materiales:

La posibilidad de construir cámaras sépticas de mampostería nos permite montar una etapa acorde a cada situación, y con un costo moderado.

Revestimiento:

Como cualquier cámara construida en mampostería (bloques de cemento, ladrillos de campo, hormigón), debe revestirse con revoques impermeables o pintura epoxi para garantizar la estanqueidad del líquido.

De acuerdo al material elegido y las dimensiones de la cámara se tendrán que analizar las soluciones tecnológicas más adecuadas.



Figuras 11a y 11b. Imágenes de cámara séptica triple de sección cuadrada con una sola tapa para mantenimiento de los tres compartimentos.

Para el caso de cámaras de grandes dimensiones se puede utilizar tabiques de hormigón armado con estructura metálica de mallas de acero.

Cañería

La cañería de ingreso de toda cámara séptica familiar debe ser de PVC de 110mm de diámetro y pendientes comprendidas entre el 1 al 3 % para optimizar el transporte de la mezcla sólidos y líquidos de la salida del inodoro. Pendientes menores o mayores, y cañerías de menores diámetros podrían generar obstrucción de la misma por deposición de sólidos en el tiempo. La altura de los codos se toma como $\frac{1}{3}$ del tirante. Para la fijación de los codos se recomienda colocar como medida de seguridad tornillos auto perforantes galvanizados para evitar su desprendimiento.

Tapa

La cámara séptica se cierra con una tapa robusta, generalmente de hormigón armado, para permitir el tránsito de personas sobre ellas, bien identificada. De acuerdo al diseño la cámara puede quedar enterrada por una capa de suelo y quedar solo a la vista una tapa de inspección para la limpieza y en otros casos las tapas se construyen por tramos en obra y quedan a la vista. Para impedir el ingreso de insectos a la cámara o la generación de olores se puede utilizar un mortero de cal y arena para rellenar los espacios entre las paredes y la tapa que luego a la hora de ser removida para efectuar la limpieza se pueda retirar fácilmente.



Figuras 12a y 12b. Imágenes de cámara séptica de sección rectangular, con tapa corrida, elaborada en obra.



Figura 13a y 13b. Construcción con bloques cerámicos e impermeabilización con revoque de cemento y arena más hidrófugo.



Figuras 14a y 14b. Vista de cámaras dobles de tabiques de hormigón armado construido en obra y bloques de cemento con estructura de hierro, aprovechando los huecos a modo de encofrado perdido

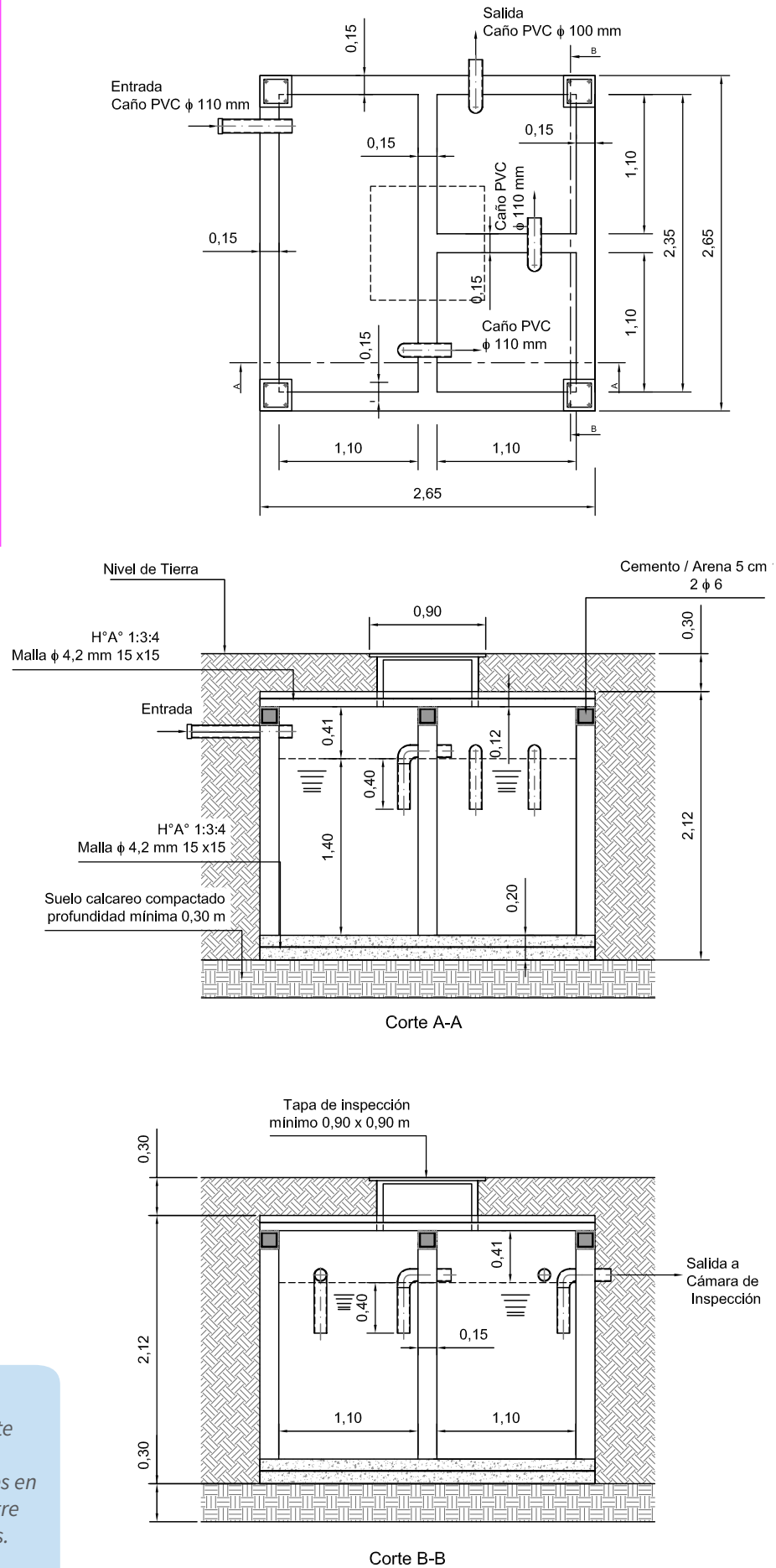


Figura 15a y 15b. Planos de una cámara correspondiente a una escuela rural de la localidad de Colonia Hugues en el Departamento Colón, Entre Ríos, capacidad 50 alumnos.

Mantenimiento

Como todo proceso biológico anaeróbico se generan barros o lodos que se van depositando en el fondo de las cámaras, los que luego de un tiempo deben ser retirados ya que de otra manera van disminuyendo el volumen útil del sistema y por ende su eficiencia. El periodo de tiempo entre limpiezas va a depender del uso, pero se recomienda una frecuencia de 1 a 2 años como máximo. En cuanto a la mejor época para realizarlo es en primavera ya que el aumento de la temperatura favorece la reproducción de las bacterias

Un dato a tener en cuenta es la utilización en exceso de productos de limpieza en base a cloro o similares para la eliminación de las bacterias patógenas, ya que así como se eliminan estas bacterias, también les ocurre algo similar a las benéficas que se encargan de realizar la degradación de la materia orgánica y se encuentran dentro del sistema de tratamiento. Es por ello que hay que tener presente en todo momento el uso racional de los productos de limpieza en el hogar así como también en lo posible su reemplazo por productos biodegradables.

Una forma de mejorar el rendimiento de las cámaras, sobre todo cuando se perciben malos olores es sembrar microorganismos efectivos que se encuentran en el mercado bajo diferentes nombres comerciales y se pueden presentar en soluciones líquidas o en polvo.

Rendimiento

De acuerdo a la bibliografía y a la experiencia de los autores se puede observar que los mayores rendimientos depurativos de la cámara séptica se encuentran en la remoción de patógenos (80 %) y de sólidos suspendidos (60%), mientras que para la carga orgánica sus rendimientos son medios y para los nutrientes muy bajos.

Pese a los buenos rendimientos alcanzados en algunos parámetros, este sistema por sí solo no alcanza para cumplir con los estándares exigidos por la ordenanza 131-2022, lo que demuestra que es necesario un segundo paso para poder alcanzar las metas de tratamiento requeridas.



PARÁMETRO	CONDICIÓN DE DISEÑO	RENDIMIENTO %	INGRESO AL SISTEMA SECUNDARIO
DBO5 (mg/l)	250	50	125
Sólidos totales ST (mg/l)	720	45	396
Sólidos suspendidos SS (mg/l)	220	60	88
Nitrogeno Total (mg/l)	40	5	38
Fosforo Total (mg/l)	8	10	7,2
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	1.000.000	80	200.000

Tabla 4. Rendimiento del sistema primario.
Elaboración propia.

Alternativas comerciales

En el mercado se pueden hallar diversas propuestas técnicas con diferente materialidad.

Por un lado se encuentran cámaras sépticas premoldeadas de hormigón con diversas geometrías, en las que hay que verificar dimensiones para ver si se ajustan a lo requerido por la normativa de referencia y la existencia de compartimentos (al menos dos), que permitan hacer la separación de sólidos y de grasas.

Lo más difundidos son los digestores, que son unos cilindros de material plásticos con el fondo cónico y que en algunos modelos tienen diversos diseños que permiten separar los barros y dar mayor superficie de contacto con los microorganismos que degradan la materia orgánica, pero más allá de que se los promociona como un sistema integral, sus rendimientos depurativos se encuentran cercanos a los enunciados para las cámaras sépticas compartimentadas, por lo que conceptualmente se los ubica dentro del sistema primario de tratamiento.

Su principal ventaja es la rapidez de su instalación, pero queda a evaluar por los usuarios el costo inicial de los equipos y su mantenimiento a lo largo del tiempo.

Potencialidades y limitaciones

En la siguiente tabla se enumeran algunas de las principales características que hacen al alcance y las restricciones de estos sistemas, con el objeto de contribuir al análisis y la evaluación de las alternativas a considerar.



POTENCIALIDADES	LIMITACIONES
Son unidades necesarias para el tratamiento de aguas negras.	Tienen bajo nivel de tratamiento del efluente para cargas orgánicas y nutrientes comparado con otras etapas.
Pueden construirse de mampostería de diversos tipos, lo que facilita la autoconstrucción.	La construcción puede llevar un tiempo considerable de acuerdo a la tecnología implementada.
Tienen la capacidad de separar grasas y aceites lo que evita colocar graseras separadas.	Si no se respetan las variables del diseño recomendadas pueden tener inconvenientes de bajo tratamiento y alto mantenimiento.
Son muy eficientes para la remoción de patógenos y sólidos.	Requieren de un mantenimiento frecuente para la limpieza de barros.
En relación al costo total del sistema su incidencia no es significativa	Las alternativas comerciales incrementan el costo inicial de inversión.

*Tabla 5. Potencialidades y limitaciones del sistema primario.
Elaboración propia.*



Fernando Raffo

Capítulo 3:

Sistema secundario

Definición

Humedal de flujo superficial

Dimensionamiento

Materialización

Mantenimiento

Alternativas comerciales

Cámara de salida

Potencialidades y limitaciones

Este capítulo contiene una descripción detallada de los componentes del sistema secundario con foco en humedales de flujo subsuperficial. Incluye definiciones, criterios de dimensionamiento, técnicas constructivas, recomendaciones para el mantenimiento y los rendimientos esperados.

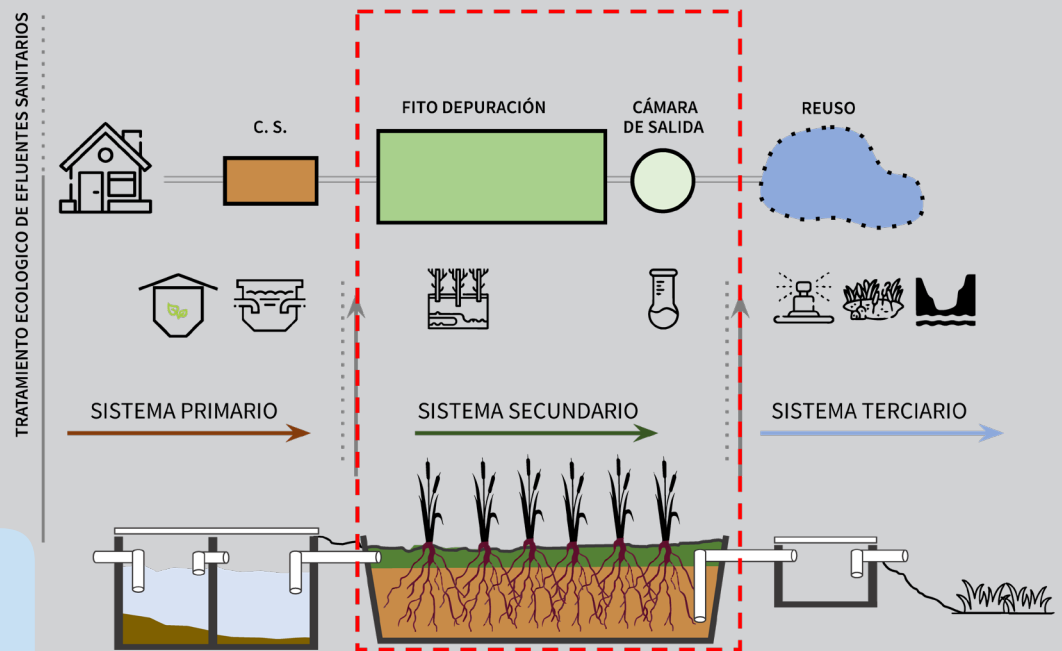


Figura 16. Esquema general sistema secundario (elaboración propia).

Definición

El sistema secundario consiste en un medio donde se recrean ciertas condiciones que se asemejan a la de los humedales naturales, de ahí que la técnica recibe el nombre de *humedales artificiales* o también *fitoremediación* o *fitodepuración*. Conceptualmente, se hace circular el efluente por un medio granular que actúa como un filtro muy eficiente, que capta todos los sólidos que no fueron retenidos en el sistema primario y es soporte para las plantas que toman los nutrientes presentes en el efluente y la utilizan para su crecimiento, generando biomasa.

Los humedales artificiales, además de generar la degradación óptima de la materia orgánica disuelta en el agua a nivel físico y biológico, minimizan la proliferación y supervivencia de microorganismos patógenos por competencia con otros microorganismos benéficos (bacterias, levaduras, hongos y protozoarios) que sobreviven gracias al oxígeno que inyectan las plantas a través de sus rizomas, por acción de la radiación solar que activa los procesos de fotosíntesis, junto a reacciones de oxidación de la rizósfera. Con esta técnica, el agua es acondicionada a características similares a las naturales, y puede ser dispuesta para un vertido al subsuelo o a aguas superficiales, o a riego con las precauciones del caso, sin riesgo de afectar estos recursos. Las bacterias predominantes en

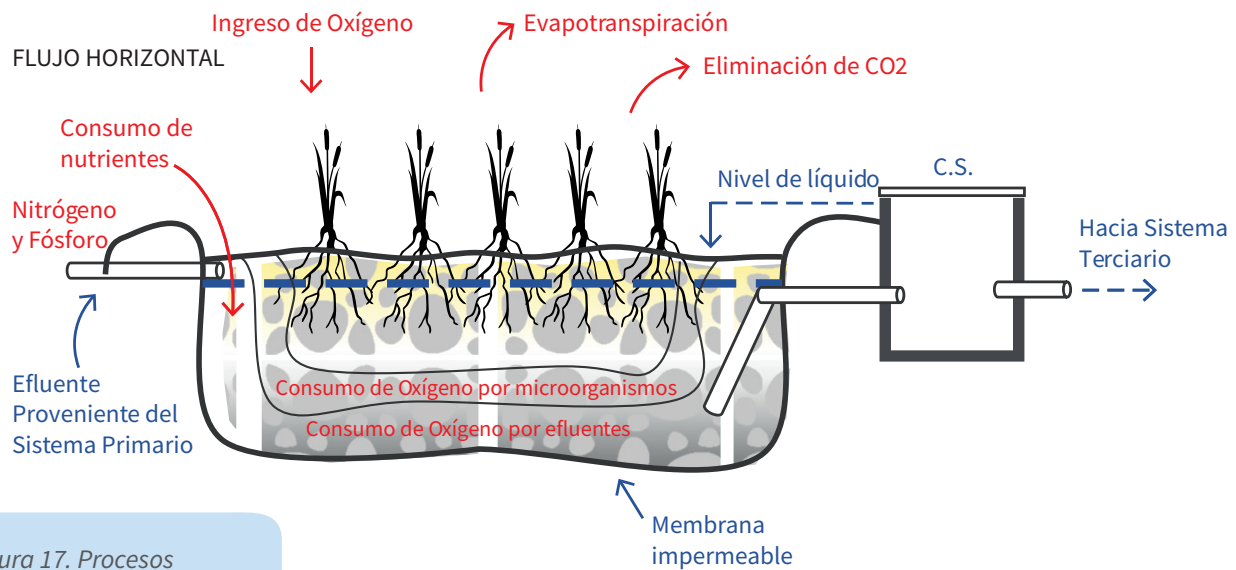


Figura 17. Procesos físico-químicos y biológicos dentro de un humedal

los humedales son las facultativas que pueden vivir con y sin la presencia de oxígeno y las aeróbicas que necesitan el oxígeno para sobrevivir. No es conveniente que existan en el humedal zonas anaeróbicas ya que no aportarán al tratamiento, siendo el primario la etapa en donde predominan estas bacterias.

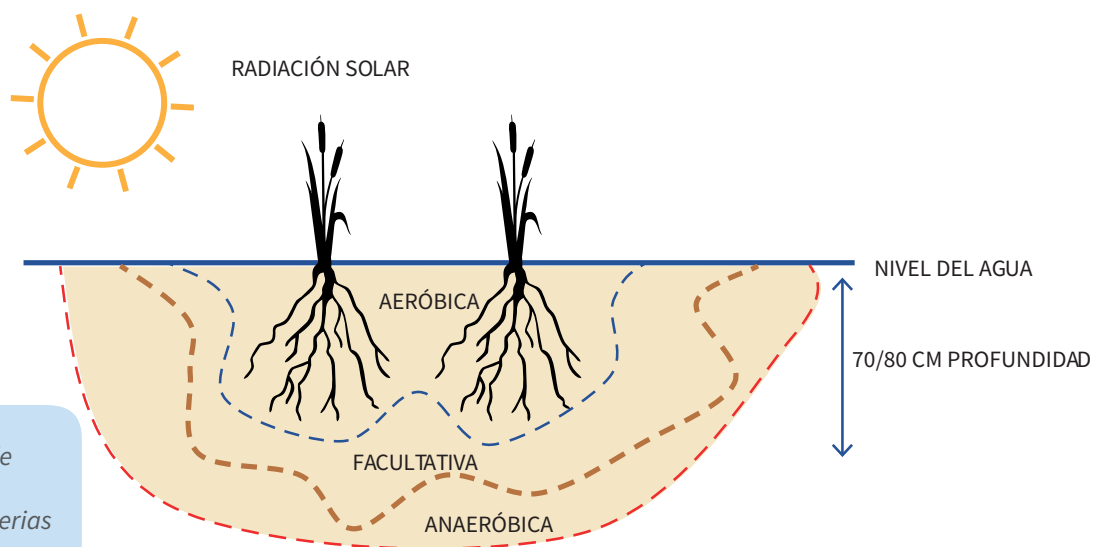


Figura.18 Influencia de la profundidad en el desarrollo de las bacterias facultativas



Humedal de flujo subsuperficial

Existen varios tipos de humedales artificiales, según la configuración de la alimentación, movimiento del agua dentro del mismo, y el tipo de material de relleno. El que se sugiere en este manual es el indicado por la ordenanza 131/2022 que es del tipo subsuperficial.

En este humedal el tirante del líquido generalmente está oculto a la vista por unos 5 a 10 cm de piedras lo que trae aparejado las siguientes ventajas, no se producen olores, no hay posibilidades de que se críen vectores como los mosquitos y se puede circular encima del mismo aunque no es recomendable.

De acuerdo al movimiento del agua dentro del humedal se puede separar en flujo vertical y flujo horizontal.

El **humedal de flujo vertical** se utiliza cuando existe un desnivel entre la salida de la cámara séptica y el ingreso de este de al menos 2 metros en donde se puede colocar en el último compartimento de la cámara un dispositivo tipo sifónico que produce la descarga presurizada. El caso más común es cuando el nivel de salida de la cámara séptica queda muy por debajo del nivel de terreno natural, por lo que se hace necesario instalar en el último compartimento una bomba del tipo cloacal que permita el pasaje de sólidos y que aspira el efluente enviándolo a la cañería de ingreso. Sobre la salida de la bomba aparte de poner uniones dobles para poder hacer el recambio del equipo sin necesidad de desarmar la instalación se coloca una válvula de retención para mantener el caño de impulsión lleno.

Figura 19. Movimiento del líquido dentro del humedal de flujo vertical.

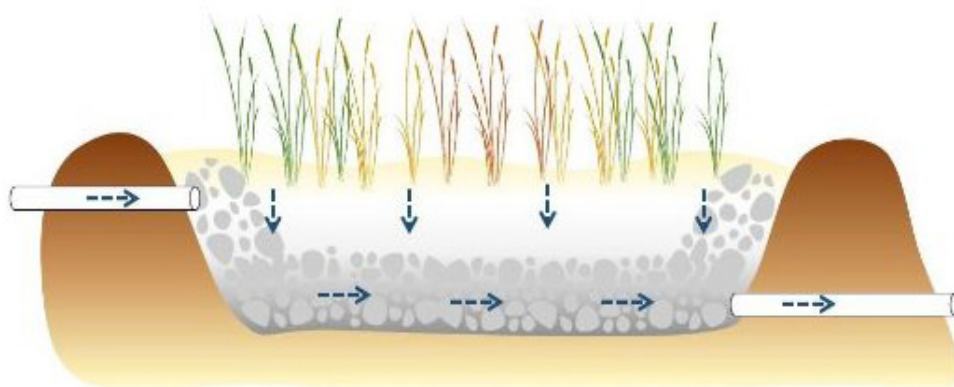




Figura 20 (izq.): vista de la prueba hidráulica de la cañería de ingreso, luego se recubre con 10 cm de piedras. Figura 21 (der.): vista de la cañería de captación en donde falta conectar los caños de los respiraderos para que trabajen a presión atmosférica evitando sellos hidráulicos de aire que dificultan el vaciado del humedal.

El armado del filtro se realiza de forma diferente a los sistemas horizontales, colocando las piedras más grandes en la parte superior e inferior del mismo. La ventaja que poseen es que la distribución del efluente en el humedal es uniforme en toda el área disponible. La relación geométrica entre ancho y largo no es significativa pudiendo hacerse de forma cuadrada o circular.

El **humedal de flujo horizontal** es el más utilizado, ya que es el más sencillo de materializar y operar. El armado de los filtros es de forma perpendicular al sentido del escurrimiento del efluente, tanto para las cañerías de ingreso y la de salida.

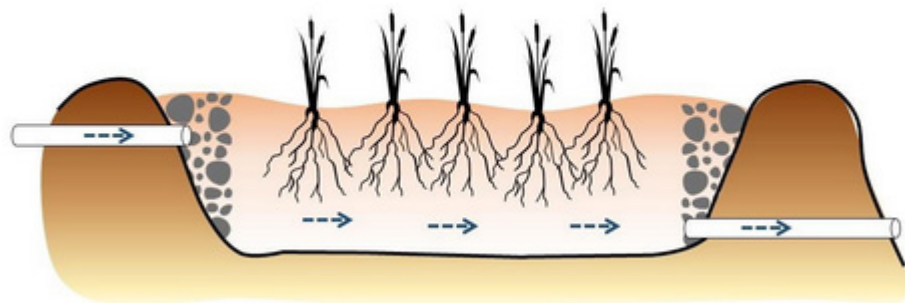


Figura 22. Movimiento del líquido dentro del humedal de flujo horizontal.

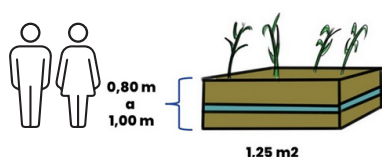


Dimensionamiento

Para el dimensionamiento del humedal vamos a tomar las siguientes consideraciones que forman parte de la ordenanza 131/2022 y que contemplan el caudal de diseño, el tiempo de residencia hidráulico y las metas de tratamiento, que se resume en la siguiente tabla:

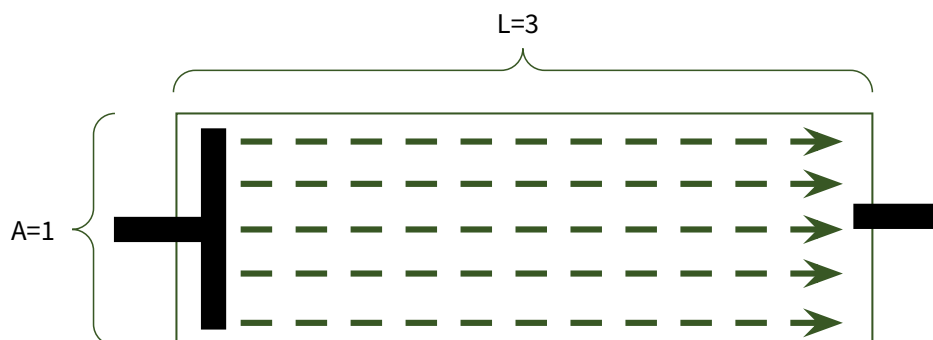
PARÁMETRO	RECOMENDACIÓN
Superficie	1,25 m ² por persona
Superficie mínima	4 m ²
Profundidad	0,8 m – 1,0 m
Relleno	Piedra y Arena
Vegetación	Palustres: Carrizo (<i>Phragmites australis</i>) Vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) A razón de 4 a 5 plantas por metro cuadrado.

Tabla 6. Recomendaciones para el diseño de sistemas secundarios. Elaboración propia.



La superficie del humedal será lo más rectangular posible en relación 1:2 o 1:3 (ancho – largo) para lograr mayor eficiencia en cuanto al diseño hidráulico, pero de acuerdo a la superficie del terreno o el lugar disponible podrá tener otras relaciones o incluso formas más orgánicas (circulares o elípticas).

Figura 23. Relación adecuada de ancho largo para humedales subsuperficiales





Cabe aclarar que en la bibliografía específica existen diferentes metodologías de cálculo para el dimensionamiento de humedales artificiales, muchas de ellas tomadas del análisis de proyectos en funcionamiento y ajustadas en base a estos resultados.

Materialización

Excavación y aislación

Primeramente se debe excavar el pozo en donde se construirá el humedal de acuerdo al diseño, esta excavación se puede hacer de forma manual o con máquina, generalmente minicargadoras con retroexcavadora y pala frontal. En algunos casos cuando el diseño integra a la cámara séptica y el humedal se realiza una sola excavación con diferentes profundidades.

La aislación debe garantizar la estanqueidad del agua, para lo cual se pueden materializar con membranas plásticas de PVC o HDPE siguiendo las recomendaciones de los fabricantes en cuanto a los recaudos en su colocación y en los métodos de unión en caso de tener que realizarlos. Los métodos más comunes son por fusión por temperatura o química. Los espesores recomendados son de 500 a 1000 micrones (0.5 a 1 mm respectivamente). Si el terreno presenta irregularidades que pudieran dañar a la membrana se sugiere colocar una capa de arena de relleno de unos 5 cm en el fondo de la excavación para protección mecánica y poder nivelar el fondo del humedal.

La pendiente de fondo es del 1 % (1cm/metro), siendo el punto más alto el caño de ingreso y el más bajo el caño de salida.

Otra opción es construir el humedal con mampostería de bloques o ladrillos con revoque impermeable de manera similar a las cámaras sépticas. Esta solución es más viable cuando se utilizan diseños compactos que integran al sistema primario con el secundario.



Figura 24 (izq.): excavación manual para un humedal familiar. Figura 25 (der.): Excavación con máquinas para un humedal de mayor tamaño.



Figuras 26 a; 26b y 26c. Ejemplos de impermeabilización con membranas

Distribución de los áridos

Tanto las cañerías de entrada como de salida, deben estar cubiertas por el árido de mayor tamaño que utilizemos, garantizando así una buena circulación del efluente y minimizando las obstrucciones.

Los áridos antes de ser colocados deberán de estar limpios, para garantizar una mejor vida útil del sistema. En el caso que el proveedor no ofrezca áridos limpios, se deberán limpiar en obra mediante agua a presión. La elección de los áridos se realizará de acuerdo a la disponibilidad en la zona donde se ejecutará la obra, deberán evitarse fletes extensos ya que incrementarían los costos.

En el caso de no encontrar una arena lo suficientemente gruesa, se recomienda utilizar un agregado de piedra, evitando siempre la arena fina, ya que con el paso del tiempo termina impidiendo el correcto paso del flujo, disminuyendo así la vida

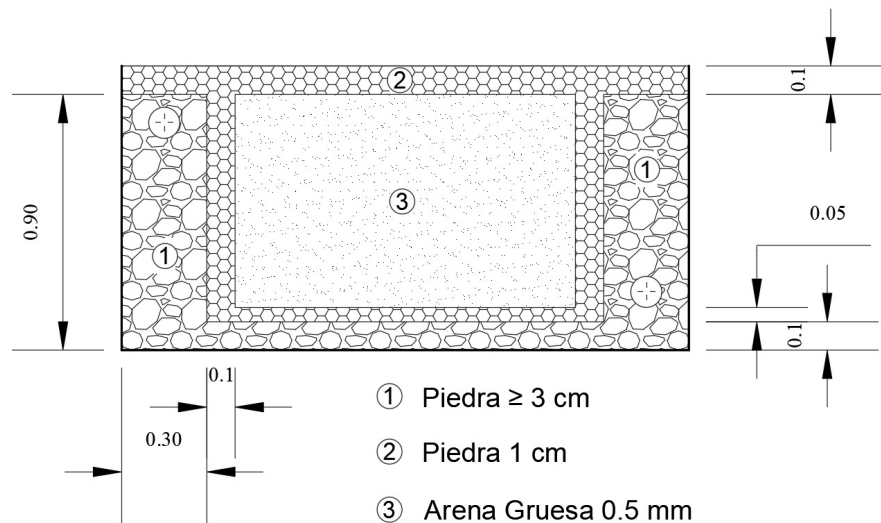


Figura 27. Distribución de áridos para sistemas familiares.

útil del sistema.

Para facilitar la colocación de los áridos, se utilizan tablas separadoras que se van retirando a medida que se van colocando los mismos.

Cuando se necesitan hacer humedales más grandes o con requerimientos de caudales concentrados en poco tiempo, por ejemplo la utilización de duchas al ingreso de actividades industriales, requiere una selección de áridos diferentes que atiendan a esta problemática, reemplazándose la arena por la piedra fina y luego piedras más grandes. Si bien esta solución resigna eficiencia en la filtración, mejora la operación hidráulica de los humedales y disminuye las posibilidades de obstrucciones.

Figuras 28a y 28b. Vista del armado del filtro de la cañería de ingreso.





Figura 29 (arriba): vista del llenado de áridos en un humedal del tipo familiar, se observan la colocación de las tablas separadoras, el caño de ingreso, las conexiones del caño de salida y en el centro el relleno de piedras del fondo.

Figura 30 (abajo) Vista del llenado de áridos en un humedal para industrias compacto, se observan la colocación de las tablas separadoras, el caño de salida y su ventilación que para este caso es de 160 mm. Falta la cobertura final con la piedra del tipo 2.



Canto Rodado del Río Uruguay
de 1.5 a 3 cm
1 de acuerdo a gráfico



Canto Rodado del Rio Uruguay
De 1 a 1.5 cm
2 de acuerdo a gráfico



Arena Limpia
De 0.4 a 0.6 cm
3 de acuerdo a gráfico



Piedra Basáltica Partida
De 3 a 5 cm
1 de acuerdo a gráfico





Piedra Basáltica Partida
De 2 a 3 cm
2 de acuerdo a gráfico



Piedra Basáltica Partida
De 0.5 a 1 cm
3 de acuerdo a gráfico



Figuras 31a a 31f. Áridos más utilizados en humedales subsuperficiales.

Cañería de ingreso

La cañería de ingreso se encuentra sobre todo el largo del borde de entrada a una altura tal que el eje de la cañería se encuentre a 15 - 20 centímetros por debajo de la superficie de los áridos aproximadamente.

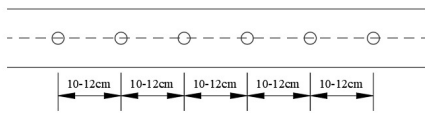
Esta cañería estará perforada a los costados, en el eje de la misma, con una separación de 10-12 centímetros entre ellas, desfasadas 5-6 centímetros las de un lado de la cañería con el otro. Estas perforaciones son de 10mm de diámetro y se realizan con un ángulo de 45° hacia abajo.

Tiene que estar perfectamente nivelada para asegurar que el líquido ingresante se distribuya uniformemente en toda su longitud. Al final del caño de ingreso se coloca una tapa ciega.



Detalle cañerías ingreso

Vista lateral



Vista superior

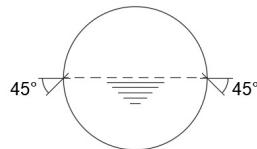
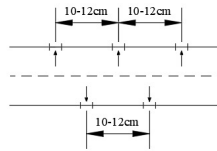


Figura 32. Detalle de la cañería de ingreso y vista de la prueba hidráulica para nivelar.



Cañería de salida

La cañería de salida del humedal se encontrará sobre todo el largo de la parte opuesta al de entrada, a una altura tal que el eje de la cañería se encuentre a 20 centímetros por encima de la superficie inferior del humedal. Esta cañería estará conectada por dos codos. Uno eleva el efluente hasta el nivel de la cámara de salida y el otro conecta la ventilación que sobresale de la superficie unos 80 centímetros.

La cañería de salida estará perforada por toda su superficie de manera aleatoria con una separación de 2,5 cm aproximadamente entre las perforaciones. Estas perforaciones tendrán un diámetro de 10 mm. Par asegurar que no ingresen áridos de menor tamaño se recubre este caño con una geomalla del tipo media sombra.



Figuras 33a; 33b y 33c. Vista del caño de salida antes y después de cubrirlo con la geomalla.



Plantación de la vegetación

Pasados unos 30 días del humedal en funcionamiento, se procederá a la colocación de las especies palustres seleccionadas, para ello se sacaran las plantas de las macetas si es que se adquirieron en un vivero o si se trajeron desde un humedal natural estarán a raíz desnuda. En ambos casos se limpiarán a conciencia evitando ingresar al humedal material fino como arcilla o limos.

La densidad se estima de 4 a 5 plantas de las especies carrizos o vetiver por metro cuadrado de humedal, para lo cual en humedales medianos o grandes se realizara una cuadrícula con hilos para asegurar esta distribución.



Figura 34a y 34b. Vistas de la plantación de carrizos en un humedal para sanitarios de un obrador vial.

Mantenimiento

Se debe garantizar que las escorrentías superficiales (aguas de lluvia) no ingresen al sistema, por lo que se debe realizar un “terraplén” de guarda de al menos 20 centímetros de altura con respecto al nivel del terreno natural.

Esta protección por diseño va a colaborar en que no tengamos problemas de taponamientos de áridos por arrastre de partículas finas por lluvia.

Con respecto al mantenimiento en general podemos decir que si el humedal ha sido bien dimensionado y utilizado según lo sugerido para estos sistemas no debería tener mayores problemas, salvo el mantenimiento de la vegetación palustre que se va a tener que podar 1 o 2 veces al año para incentivar su creci-

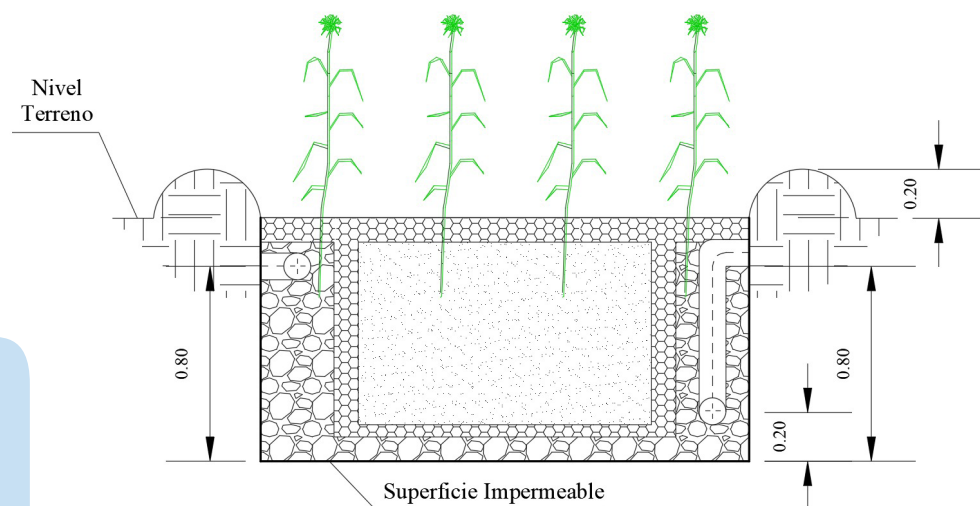


Figura 35. Vista de los terraplenes de guarda para escorrentías superficiales

miento para que siempre este necesitando nutrientes. También se deberán controlar la presencia de malezas y evitar el ingreso de personas y animales.

Se ha observado en humedales en funcionamiento problemas de elevación de nivel por efecto de taponamiento de las cañerías de ingreso y salida, muchas veces por falta de mantenimiento del sistema primario en donde el material solido del mismo ha ingresado a la cañería de ingreso tapando los agujeros del caño.

Esto también puede ocurrir en el caño de salida por el ingreso de áridos finos a la cañería o por compactación del sustrato.

Cuando esto ocurre en casos extremos se hace necesario remover las cañerías y efectuar la limpieza o recambio de las mismas conjuntamente con los áridos de las cercanías que forman el filtro.



Figura 36a (izquierda). Limpieza de una cañería de entrada.



Figura 36b (derecha). Limpieza de una cañería de salida.

Rendimiento

De acuerdo a la bibliografía y a la experiencia de los autores se puede observar que los mayores rendimientos depurativos del humedal de flujo subsuperficial se encuentran en la remoción de patógenos (97 %) y de carga orgánica (80%), y tienen un rendimiento aceptable para la remoción de los nutrientes, lo que los ubica como un componente necesario del sistema de tratamiento para cumplimentar con la normativa de vuelco.

Si bien en la Ordenanza 131-22 se listan otros parámetros, los más importantes son los mencionados anteriormente.

En general y por análisis de resultados de humedales funcionando desde hace varios años en la región, nos encontramos que los valores de la DBO se encuentran por debajo de los 50 mg/l, mientras que la concentración de patógenos es más variable y depende de otros factores como la concentración del efluente ingresante al sistema, el estado de la población bacteriana dentro del humedal y por ende la vegetación que la sostiene.

En **azul**: valores exigidos para vuelco en cursos superficiales.

En **naranja**: valores exigidos para vuelco a sistemas terciarios.

PARÁMETRO	SALIDA DEL SISTEMA PRIMARIO	RENDIMIENTO %	VALORES EN CÁMARA DE SALIDA	LÍMITES ORDENANZA 131 (COLÓN)
DBO5 (mg/l)	125	80	25	≤50 ≤100
Nitrógeno Total (mg/l)	38	60	15	≤20 ≤30
Fósforo Total (mg/l)	7,2	50	3.6	≤10 ≤10
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	200.000	97	6000	≤5000 ≤10000

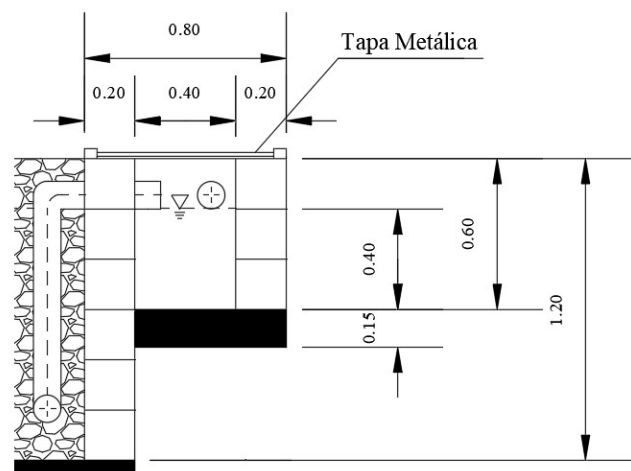
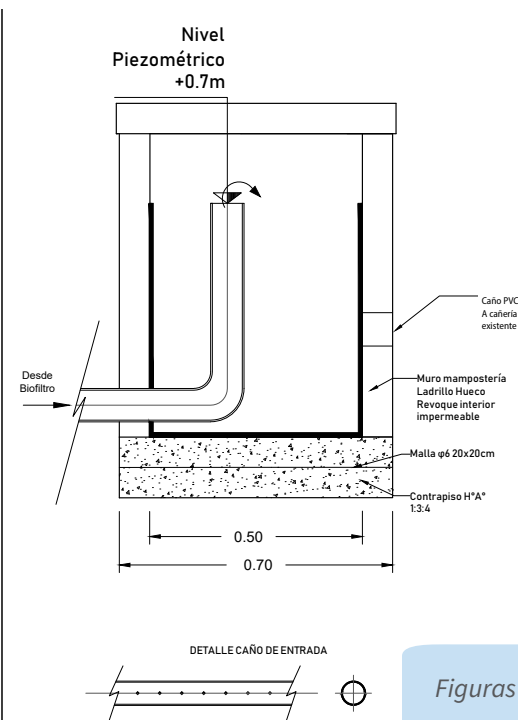
Tabla 7. Rendimiento de sistemas secundarios, elaboración propia. Adaptado del Folleto informativo de tecnología de aguas residuales, humedales de flujo subsuperficial. Agencia de protección ambiental de EE.UU (EPA), 2000.

Cámara de salida

Es el elemento del sistema que tiene como función regular el nivel piezómetro o de líquido dentro del humedal, ser la conexión entre el sistema secundario y terciario y el lugar en donde se toman las muestras, lo que en la ordenanza 131-22 cobra

importancia ya que identifica a este elemento específicamente para hacer el muestreo, por lo que su ubicación en cuanto a la accesibilidad y la facilidad para poder retirar la tapa y acceder a la misma se tienen que asegurar por parte del usuario.

Se la puede construir y materializar de distintas formas, siendo una de ellas la de salida inferior. Sus dimensiones tienen que ser tales de poder operar cómodamente a la hora de tomar muestras y si se las construye con mampostería deben contar con un revoque impermeable. El punto crítico de esta alternativa es la salida del humedal y su conexión a la cámara en la parte inferior ya que en ese lugar suelen producirse filtraciones.



Figuras 37 y 38. Cámara de salida inferior y superior, respectivamente.



La otra opción es realizar la salida por la parte superior del humedal, por lo que la extensión del caño vertical que une el caño de salida perforado ubicado en el fondo se realiza dentro del humedal y luego a la altura de diseño seleccionada (70 a 80 cm) con un codo se dirige a la cámara de salida. Esta opción tiene como ventaja que evita pérdidas y la cámara tiene menos profundidad, por lo que su materialización es más sencilla.



*Figura 39 (arriba).
Humedal en
funcionamiento en una
vivienda domiciliaria con
carrizos.*

*Tabla 8 (abajo).
Potencialidades y
limitaciones de sistemas
secundarios.
Elaboración propia.*

POTENCIALIDADES	LIMITACIONES
Tienen un buen rendimiento depurativo para materia orgánica y nutriente, incorporando oxígeno al agua tratada.	La utilización frecuente de productos de limpieza en base a productos no degradables y un uso intensivo puede generar disminución de la eficiencia del sistema.
Se pueden adaptar a las variaciones de carga estacionales.	Para sistemas en donde la estacionalidad en el uso está muy marcada se deben incorporar sistemas en paralelo.
Costo de construcción y operación moderados.	El principal costo de este sistema son los áridos a incorporar en el humedal por lo que su diseño debe estar equilibrado.
Se integran muy bien paisajísticamente al entorno. Al no estar a la vista el efluente no se generan olores ni proliferación de insectos.	No son sitios para que las personas animales circulen por lo que hay que tomar las precauciones del caso.
Oportunidad de reutilización de las aguas tratadas.	Para algunos usos se van a necesitar completar el tratamiento con otros sistemas.



Capítulo 4: Sistema terciario

Definición

Humedal de flujo libre

Zanjas de infiltración

Pozos absorbentes

Potencialidades y limitaciones

Alternativas de reuso

Vegetación

Este capítulo contiene una descripción detallada de los componentes del sistema terciario con foco en humedales de flujo libre, zanjas de infiltración y pozos absorbentes. Incluye definiciones, criterios de dimensionamiento, técnicas constructivas, alternativas de reuso y un listado de la vegetación recomendada.

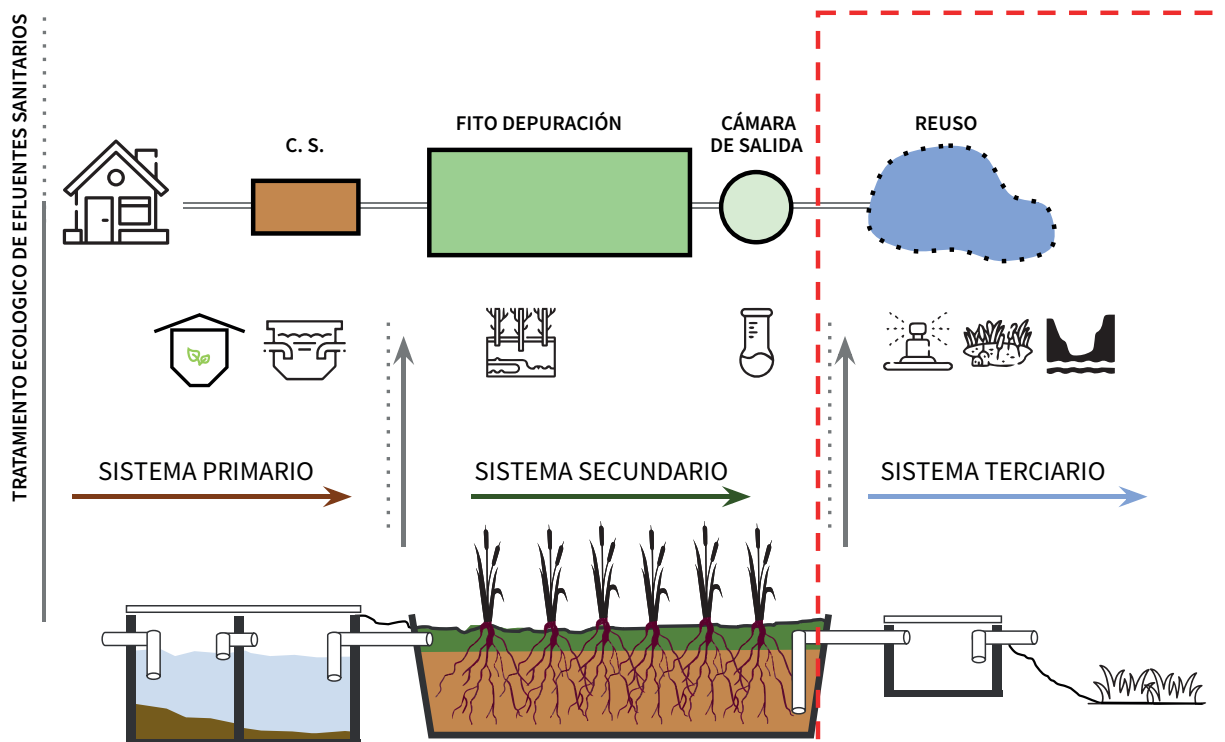


Figura 40. Esquema general, sistema terciario.

Definición

El sistema terciario es la forma de disponer el efluente tratado en el medio natural, en este caso el suelo o acumularlo para su posterior reuso.

Para ello se van a desarrollar tres opciones que se aplican, priorizadas según su viabilidad técnica, económica y ambiental.

También existe la posibilidad que de acuerdo al proyecto se puedan combinar dos de las alternativas, por ejemplo un humedal de flujo libre + un pozo absorbente, o una zanja de infiltración + un pozo absorbente.

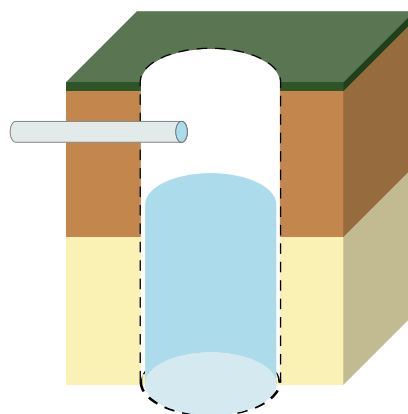
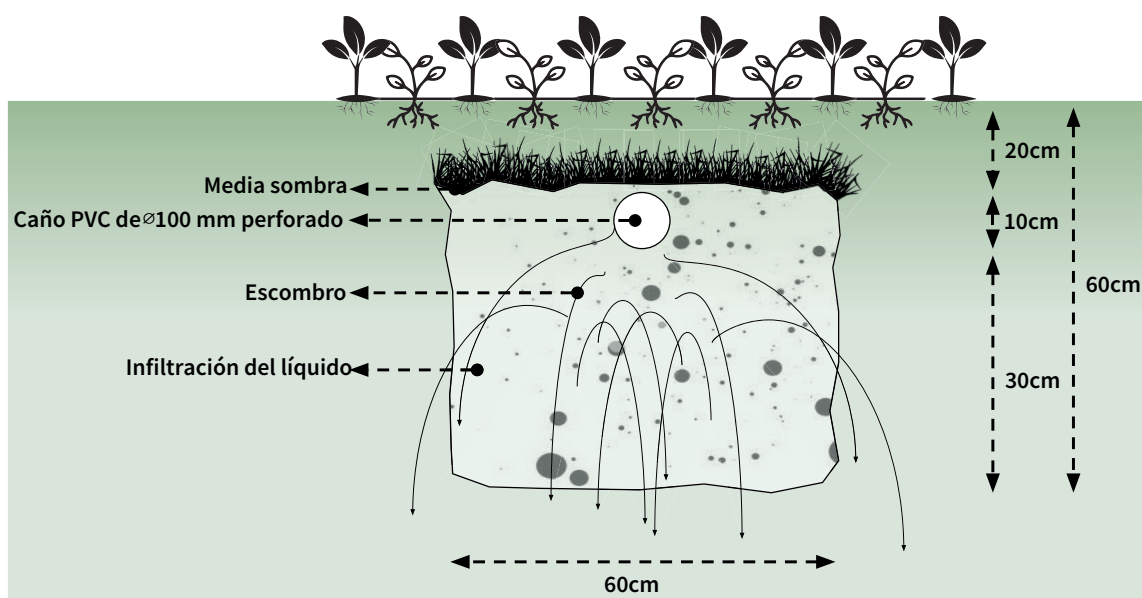
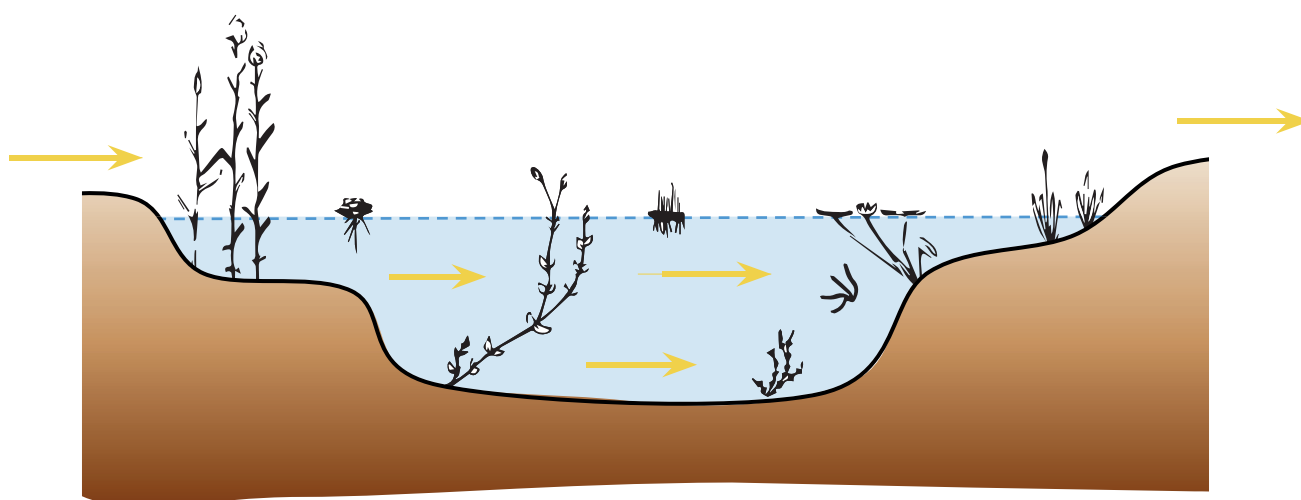


Figura 41 (arriba).
Esquema general,
humedal de flujo libre
Figura 42 (al medio).
Esquema general, zanjas
de infiltración.
Figura 43 (abajo).
Esquema general, pozo
absorbente.



Humedales de flujo libre

Se trata de recrear las condiciones de los humedales naturales, en este caso son estanques o canales excavados sobre el terreno natural, con profundidades variables, lo que permiten tener diversas especies de plantas palustres y acuáticas que le otorgan una mayor diversidad al entorno y promueven el tratamiento del efluente para su posterior reúso o vuelco en cuerpos superficiales.

Para ello hay que tomar en cuenta ciertas consideraciones en cuanto a su diseño, materialización y operación para lograr una eficiencia adecuada.

ÍTEM	RECOMENDACIONES
Superficie	4.0 m ² por persona
Superficie mínima	10 m ³
Profundidad	0,1 m - 0,6 m
Relación ancho - largo	1:10
Relleno	Piedra solo en el fondo
Vegetación	Palustres, enraizada o flotante

Tabla 9 (arriba).
Recomendaciones para
el diseño de humedales
de flujo libre. Elaboración
propia.
Figuras 44 y 45 (abajo).
Colocación manual de
áridos y humedal en
funcionamiento con
vegetación.



Cuando se utilizan canales pluviales para realizar este sistema, sobre todo para proyectos medianos y grandes es que se acostumbra a disponer piedras de gran tamaño que ayudan a evitar la erosión y sirven de protección para el enraizamiento de las plantas palustres.

Generalmente los humedales de flujo libre utilizados como sistema terciario se materializan sobre el terreno natural y no se realiza una impermeabilización como los humedales de flujo subsuperficial, ya que lo que el efecto que se busca es tratar de infiltrar y evapotranspirar la mayor cantidad de líquido posible.

Muchas veces al generar las condiciones ambientales adecuadas en los humedales de flujo libre, la vegetación palustre crece espontáneamente como se muestra en la imagen en donde se plantaron los carrizos y luego de un tiempo crecieron totoras y redonditas del agua, formando una comunidad vegetal.



Figura 46. Vegetación de crecimiento espontáneo en humedales de flujo libre.

La superficie del humedal será lo más rectangular posible en relación 1:10 (ancho – largo) para lograr mayor eficiencia en cuanto al diseño hidráulico, pero de acuerdo a la superficie del terreno o el lugar disponible podrá tener otras relaciones o incluso formas más orgánicas (circulares o elípticas).

Para ello se pueden aprovechar los límites del terreno para el desarrollo de estos sistemas. plantando también árboles y arbustos que puedan servir como cortina, además de ayudar a la absorción y evapotranspiración del líquido tratado. Para esta aplicación las raíces de los arboles no generan inconvenientes.

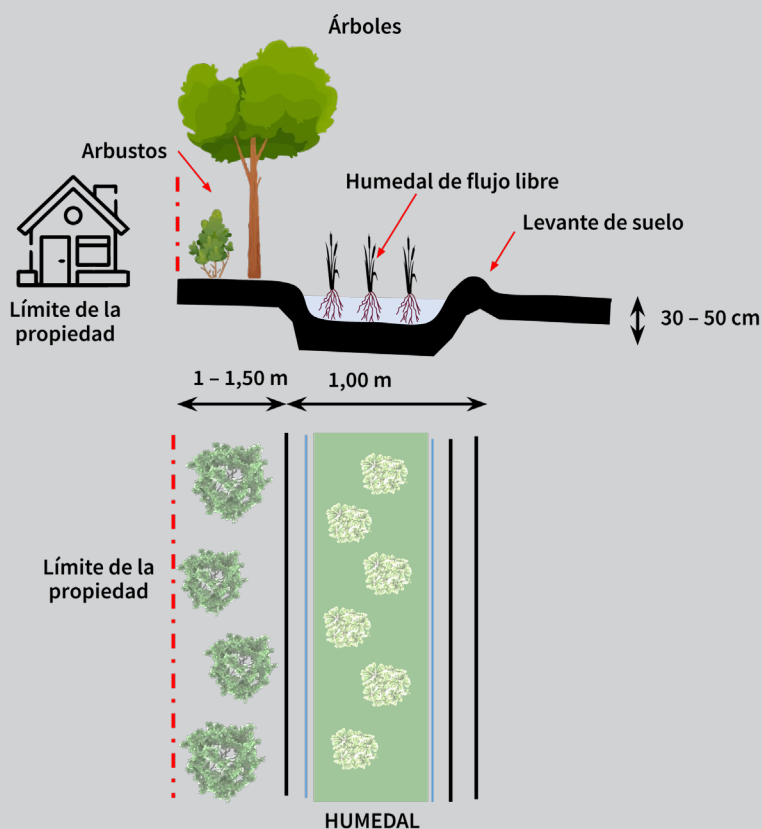


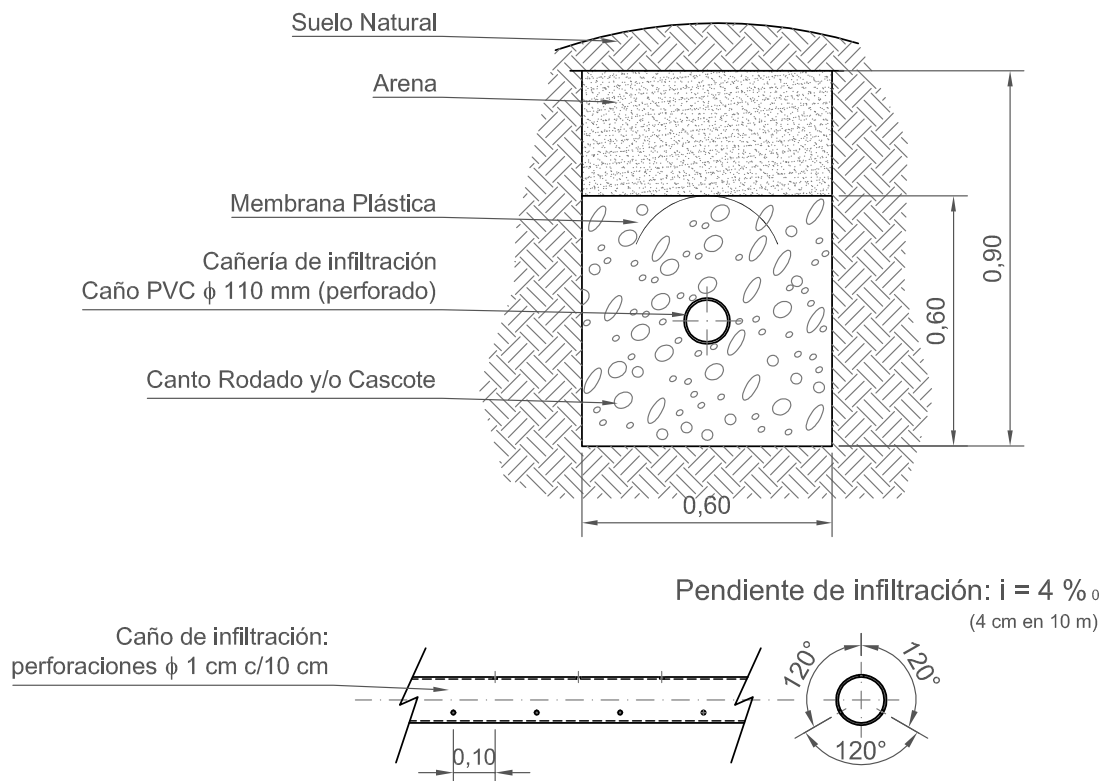
Figura 47. Disposición de un humedal de flujo libre en el límite de la propiedad junto a la cortina forestal.

Zanjas de infiltración

Las zanjas de infiltración se materializarán mediante caños de pvc de 100 a 110 mm de diámetros, los que se alojarán en zanjas de 50 a 60 cm de ancho y 60 a 90 cm de profundidad. Las zanjas se espaciarán entre sí a una distancia de 1.50 a 2.0 m, que podrá ser variable de acuerdo a la profundidad de la zanja y las características del suelo.

Para el relleno se utilizarán áridos de 30 a 50 mm de diámetro o cascotes de ladrillos o de obra de no más de 10 cm de diámetro, los que se dispondrán en una capa inferior de 30 cm en donde se asentará el caño y se recubrirá con otros 30 cm de

Detalle cañería de infiltración : caño salida longitud mín. 50 mts



Detalle final de cañería

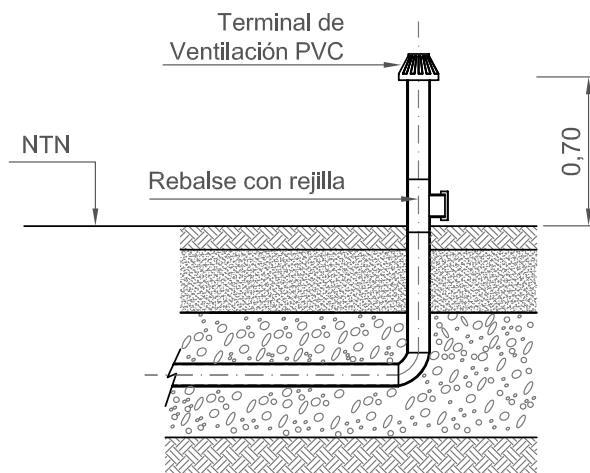


Figura 48. Planos de detalle de una zanja de infiltración.

relleno hasta llegar a la altura recomendada de 60 cm, por encima de esta se dispondrá de una membrana plástica o media sombra para evitar que las partículas finas del relleno superior (arena o suelo seleccionado), se infiltren y ocasionen el tapo-namiento del caño. Si se cuenta con material de relleno que genera huecos muy grandes se combinara con áridos de menor tamaño para lograr cubrir la mayor cantidad de espacios y de esta manera lograr una capacidad soporte para el suelo que se coloca en la parte superior y no se hunda la zanja.



Figuras 49a y 49b. Vistas del tendido de caños en una zanja de infiltración y el venteo al final del tramo.

La longitud máxima de los tramos de cañería se sugiere en 30 a 35 m, por lo que se es necesario superar esa longitud se tendrán que hacer dos o tres ramas. Al final de las cañerías hay que colocar una ventilación similar al caño de salida de los humedales de flujo subsuperficial, para que la cañería trabaje a presión atmosférica y así evitar los taponamientos por bolsas de aire, además de favorecer la infiltración. Por cada ramal existirá un caño de ventilación o se conectaran entre sí para utilizar solo uno. Este venteo nos servirá para evaluar el grado de saturación del suelo. La pendiente recomendada para las zanjás de infiltración es muy pequeña, en el orden del 4 por mil (4 cm en 10 m), para lograr que el líquido tenga un flujo estacionario y así se promueva la infiltración.

Con respecto al perforado de los caños se podrá tomar lo ya explicado para el caño de salida de los humedales subsuperficiales o utilizar caños microranurados de PVC de 110 mm de diámetro que vienen en rollos de 20 m que permite hacer zanjás de infiltración con formas orgánicas o en caños de 4 m lo que permite aumentar la eficiencia de la zanja y evitar riesgos de taponamiento.

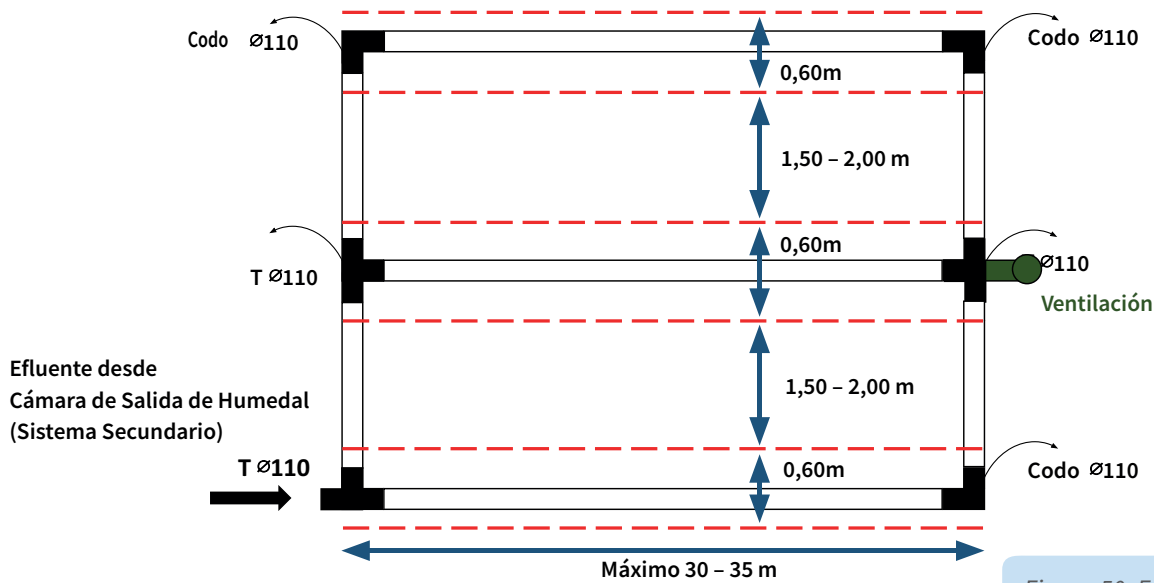


Figura 50. Esquema de distribución de caños en ramales.

Hay algunos aspectos a tener en cuenta en el diseño y la utilización de zanjas de infiltración. La distancia a la napa freática debe ser mayor a 1,00 metro desde el fondo de la zanja y el suelo tiene que poseer características impermeables.

El terreno destinado a infiltración no se puede utilizar para construir salvo para jardines con plantas herbáceas, no recomendándose plantar árboles en la cercanía con gran desarrollo radicular, ya que las raíces pueden tapar la cañería de infiltración, ingresando por las juntas de los caños en caso de que estas se abran. Las personas pueden circular por encima, pero no se recomiendan vehículos ya que pueden hundir la zanja y romper los caños.

En la tabla que se muestra en la página siguiente se indican las longitudes de las zanjas de infiltración de acuerdo a la cantidad de personas y el tipo de suelo existente en el terreno.

Una forma de mejorar la eficiencia de las zanjas de infiltración en lugares que los suelos son arcillosos es la colocación de vegetación en los pasillos por fuera del ancho de la zanja que tengan un desarrollo radicular en vertical y una capacidad de absorción de agua y evapotranspiración elevada. La planta más adecuada para esta función es el vetiver, que se puede utilizar tanto para zanjas como alrededor de los pozos absorbentes.



TIPO DE SUELO	LARGO DE LA ZANJA			
	1 PERSONA	2 PERSONAS	3 PERSONAS	4 PERSONAS
Arenoso	12 m	25 m	38 m	50 m
Intermedio	15 m	31 m	46 m	61 m
Arcilloso	18 m	36 m	54 m	72 m

Tabla 10. Longitudes de la zanja de infiltración según el tipo de suelo.
Elaboración propia.

Al final de la zanja de infiltración en el punto más bajo cuando se hace el venteo se puede aprovechar para poner una T a nivel del suelo a modo de rebosadero, que permita en caso de excedentes por lluvias intensas o saturación de la zanja, que el líquido sobrante pueda dirigirse por escorrentía superficial junto a los pluviales hacia el punto más bajo del terreno, evitando taponamientos en el sistema de tratamiento. En esta salida se pondrá una malla metálica para evitar el ingreso de insectos, anfibios u otros animales que puedan obstruir la salida.

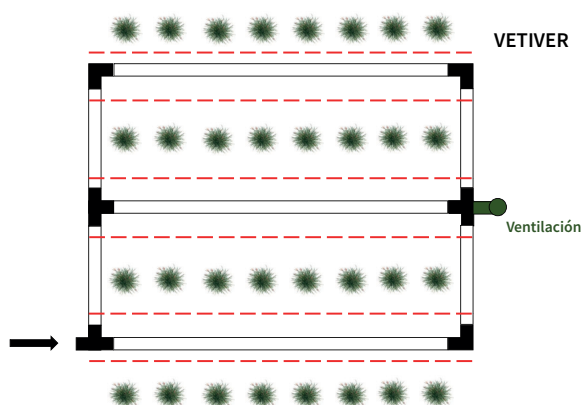


Figura 51 (izquierda). Distribución de vetiver para optimizar la absorción
Figura 52 (derecha). Vista de un cerco con vetiver (crédito Fernando Baez).

Pozos absorbentes

Los pozos absorbentes se materializarán mediante excavaciones en el terreno natural tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

El diámetro mínimo interior del pozo terminado será de 1,0 metro y el máximo de 2.0 m. Cuando las características del suelo lo requieran el pozo absorbente tendrá una estructura interior resistente, ejecutada generalmente con ladrillos de campo, teniendo una superficie de contacto entre el suelo y el efluente de al menos un 30% de la superficie lateral. En el fondo del pozo se dispondrá de una capa de áridos o cascotes de obra de 30 a 50 cm de altura.

Para la tapa se podrá utilizar una losa de H°A° de sección cuadrada o rectangular en donde se insertará una tapa de inspección de 40 x 40 cm. Como a las zanjas de infiltración se realizará una ventilación con un caño de 110 mm que se fijará a la losa. Los caños de ingreso desde la cámara de salida y el rebosadero se realizarán con caños de 110, este último tendrán un codo que ingresará unos 15 cm por debajo del nivel del líquido.

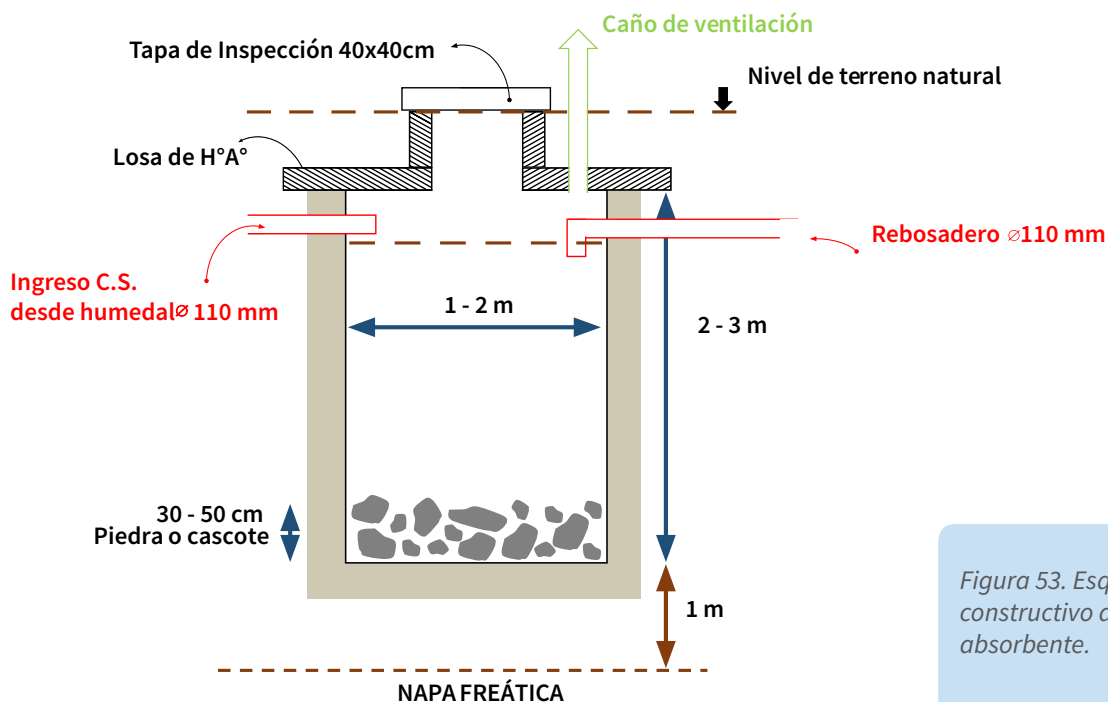


Figura 53. Esquema constructivo de un pozo absorbente.



En cuanto a su profundidad estará limitada a las técnicas constructivas utilizadas y a la distancia a la napa freática, que deberá ser mayor a 1 metro desde el fondo del pozo, sugiriéndose profundidades de 2 a 3 metros.

Para su dimensionamiento se tendrán en cuenta los valores mencionados en la tabla, lo que permitirá tener una idea del tamaño del pozo.

Tabla 11. Superficies absorbentes por persona de acuerdo al tipo de suelo, elaboración propia con valores adaptados de Díaz Dorado, M. (2008). Instalaciones Sanitarias.

SUPERFICIE EN m ² POR PERSONA	TIPO DE TERRENO
0.33	Arena gruesa
0.75	Tierra suelta, arenosa o arcillosa
1.3	Franco arcilloso con bastante grava o arena
3.0	Franco arcilloso con poca grava o arena
5.0	Arcilla semi compacta
No se puede utilizar	Arcilla compacta, roca.

Tanto para los pozos como para las zanjas de infiltración el conocimiento de las características del subsuelo es imprescindible para lograr un resultado acorde al diseño seleccionado. Para ello se podrán realizar consultas a informantes calificados que hayan trabajados en terrenos linderos, caso contrario se tendrán que hacer relevamientos exploratorios excavando pozos o calicatas a mano o con ayuda de máquinas para poder tener acceso a los estratos que nos interesan conocer.

Puede ser una oportunidad de acceder a estos datos cuando se hace la perforación para el abastecimiento de agua, las cimentaciones de las construcciones o bien encargar un estudio geotécnico a un profesional calificado.

Potencialidades y limitaciones

HUMEDALES DE FLUJO LIBRE	
POTENCIALIDADES	LIMITACIONES
Tienen un buen rendimiento depurativo, lo que complementan lo alcanzado en el sistema secundario, brindando más opciones de reusó para el efluente tratado.	Necesitan un mantenimiento frecuente por el crecimiento de malezas o vegetación que puede afectar el funcionamiento del humedal.
Se pueden adaptar a las dimensiones del terreno aprovechando espacios vacantes. Costo de construcción y operación bajos a moderados.	Hay que protegerlos de los excedentes pluviales con levantes de suelos.
Se integran muy bien paisajísticamente al entorno y aumentan la biodiversidad del entorno.	Al estar el agua en superficie pueden reproducirse en condiciones especiales insectos.
ZANJAS DE INFILTRACIÓN	
POTENCIALIDADES	LIMITACIONES
No se tiene el efluente a la vista.	El terreno por encima de las zanjas de infiltración tiene limitaciones para su uso.
Se pueden adaptar a las dimensiones del terreno para utilizar espacios vacantes.	Costo de construcción y operación moderado y alto dependiendo de la longitud de diseño. El principal costo de este sistema son los áridos a incorporar en la zanja y la excavación.
Se puede combinar con las otras opciones	Las posibilidades de reutilización del efluente tratado son menores.
POZOS ABSORBENTES	
POTENCIALIDADES	LIMITACIONES
Costos de construcción moderados	De acuerdo al tipo de suelo, su utilización se va a encontrar limitada.
Se pueden adaptar a las dimensiones del terreno para utilizar espacios vacantes, utilizando menos superficie con respecto a las otras alternativas.	Pueden requerir mantenimiento frecuente.
Se puede combinar con las otras opciones	No es posible reutilizar el efluente tratado.

Tabla 12, 13 y 13.
Potencialidades y limitaciones de sistemas terciarios. Elaboración propia.

Alternativas de reúso

Recarga de acuíferos

La recarga de los acuíferos con agua limpia, libre de contaminantes es una forma de encontrar un aprovechamiento sustentable en la utilización de un recurso vital para la vida. Esto se logra con los tres tipos de sistemas terciarios, aunque las zanjas de infiltración y los pozos absorbentes están diseñados para tal fin. El suelo también se puede tomar como un filtro natural en donde van a coexistir diferentes tipos de microorganismos que si se le dan las condiciones apropiadas los benéficos van a ser los predominantes, por lo que el recorrido del efluente por diferentes tipos de suelo hacia los estratos arenosos en donde se encuentra la napa freática va a ir quitando las últimas trazas de contaminantes que puedan haber quedado en el líquido, generando de esta forma un equilibrio en la huella hídrica de la vivienda.

Estanques

Otra forma de reusar el efluente tratado, proveniente de la cámara de salida del sistema secundario son los estanques que pueden construirse para aprovechar un desnivel natural del terreno o construirlo para tal fin, de modo de juntar no solo los efluentes tratados como si fuera un humedal de flujo libre, sino también los excedentes pluviales del terreno y pueden tener desde unos pocos metros o acumular grandes volúmenes de agua según el uso posterior a los que se los destine.

En los estanques pueden generarse condiciones por el diseño del mismo en cuanto a las profundidades y los tipos de fondo, para que se desarrollen diferentes comunidades vegetales y fauna que aporten a la biodiversidad del entorno.

De acuerdo al tipo de suelo existente en el terreno se definirá la necesidad de realizar una impermeabilización con membranas plásticas.



Figura 54 (izquierda). Construcción de un estanque de aguas pluviales para riego de 600.000 litros. Figura 55 (derecha). Estanque ya conformado con las comunidades vegetales implantadas y de crecimiento espontáneo.

Riego

La utilización del efluente tratado proveniente desde la cámara de salida del sistema secundario, del excedente de un humedal de flujo libre o de un estanque puede ser reaprovechado para riego forestal o de especies vegetales, tomando las precauciones del caso.

Para ello vamos a tener que instalar generalmente un sistema de bombeo que de acuerdo a la forma de tomar el líquido van a existir varias alternativas.

Las bombas de desagote para aguas pluviales o cloacales, conocidas como bombas sapo, se colocan en una cámara o en un tanque colocado a tal efecto. Chupan el agua desde el fondo del mismo y lo elevan hacia el lugar en donde se va a utilizar o a un tanque de reserva. Se activan de manera automática gracias a un flotante que se regula para que cuando el nivel del agua en el tanque llegue al punto superior se prenda y se apague antes de que la bomba se quede sin agua. Están diseñadas para que puedan pasar sólidos presentes en el efluente, pero para esta aplicación en general el agua no tiene sólidos ya que se ha ido decantando por el paso en los diferentes sistemas. Caso diferente es cuando se tiene que utilizar una bomba de este tipo para elevar el nivel desde el último compartimiento de la cámara séptica, en donde se necesitan ciertas características técnicas más exigentes que las pluviales. Generalmente para usos domiciliarios dependiendo de la distancia a donde llevar el líquido y la altura a llevar, las potencias de la bomba están en el orden de 0.5 a 1.3 HP.

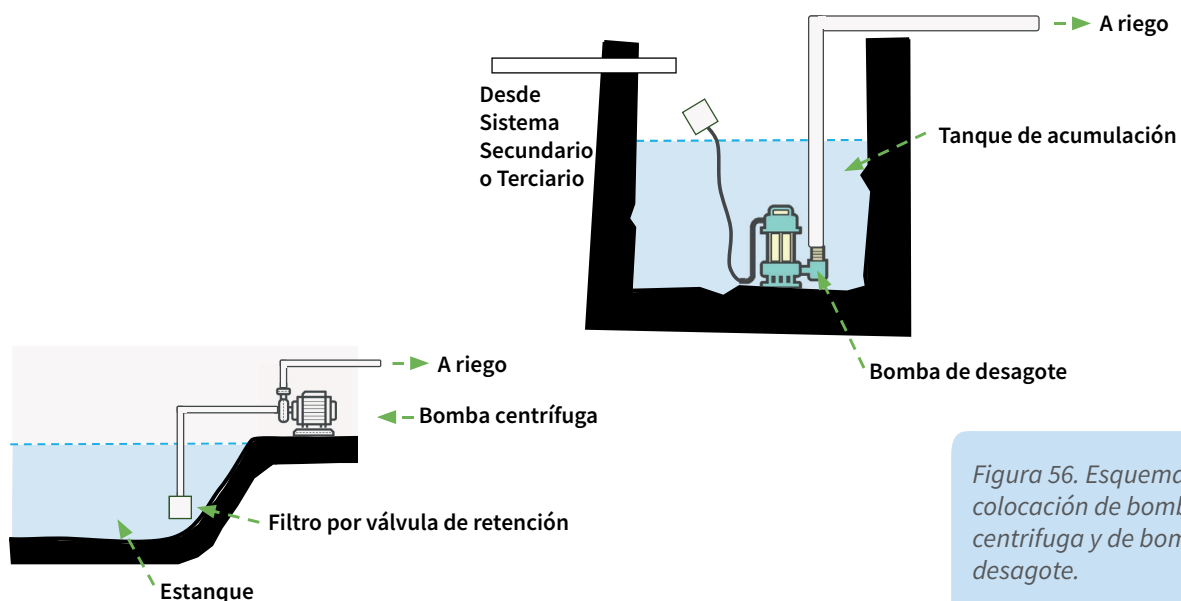


Figura 56. Esquemas de colocación de bomba centrífuga y de bomba de desagote.

Las bombas centrífugas autocebantes se colocan a nivel del piso sobre una base o plataforma y toman el agua a través de un caño de profundidad variable (1 a 2 m), en el extremo inferior del mismo se coloca una válvula de retención para mantener la carga en el caño de aspiración el que también cuenta con un filtro de malla metálica para evitar el pasaje de sólidos. Luego el líquido es elevado hacia el punto deseado.



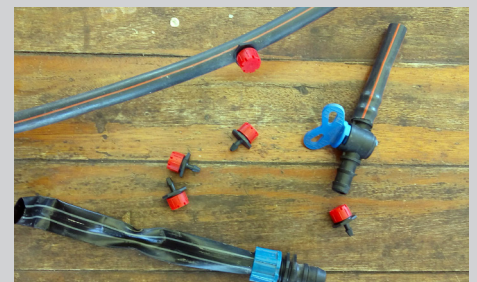
Figura 57. Imágenes de bomba centrífuga y bomba de sumidero.



La primera vez que se utiliza hay que cargar la bomba con agua desde un punto de acceso que se encuentra en la parte superior con un tapón a rosca, luego de lo cual funciona de manera automática. Las potencias para usos domiciliarios son similares al caso anterior.

Para distribuir el líquido para riego existen diferentes tipos de sistemas y tecnologías disponibles, básicamente pueden ser por canales a cielo abierto con distribución de mangueras plásticas con válvulas, cintas de goteo o goteros en mangueras plásticas, etcétera. De acuerdo al uso que se le vaya a dar habrá que seleccionar el sistema más adecuado.

Si se quiere utilizar el efluente para regar el césped, zonas en donde circulen las personas o cultivos que requieran la intervención de operarios será condición excluyente la instalación de un sistema de cloración para eliminar patógenos que pudiera existir en el efluente tratado.



*Figuras 58a y 58b (izquierda). Sistema de riego por inundación.
Figura 59 (derecha). Componentes de sistemas de riego.*

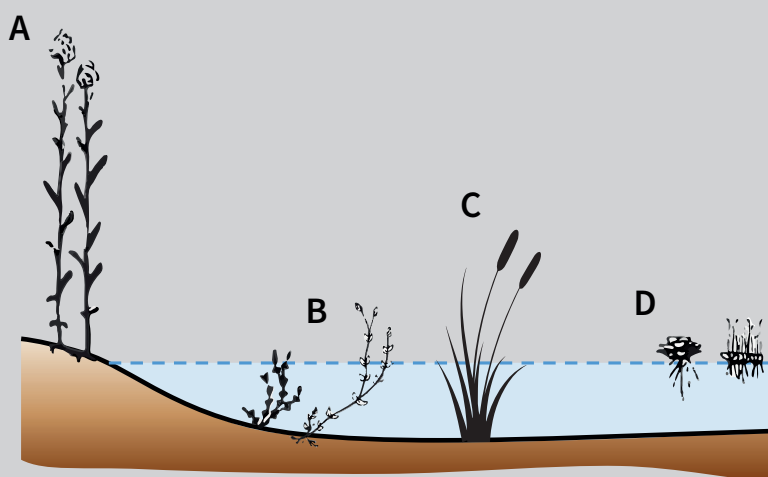
Vegetación

Para definir el criterio de selección de las vegetación se tendrán en cuenta los siguientes aspectos: las características biológicas, la capacidad de adaptación, la eficiencia para la fitoremediación, la experiencia en proyectos en funcionamiento, el potencial de invasión biológica, el mantenimiento, el aporte para la biodiversidad y el paisajismo.

En todos los casos se realizará un balance de todos estos aspectos valorizándose a las especies nativas de la zona de intervención, se buscare lograr una diversidad en cuanto a tipo y función, en modo tal de recrear un ecosistema acuático característico de nuestra región.

Conceptualmente podemos diferenciar a las plantas que tienen raíces o rizomas profundos que se adaptan para los humedales del tipo subsuperficial como los carrizos o vetiver; las que están en superficie pero sus raíces se arraigan en el fondo como la flecha y redondita del agua; las que tienen raíces más superficiales y que se adaptan a los humedales de flujo libre como los juncos y totoras o las que flotan como los camalotes, repollitos o lentejas de agua.

Figura 60. Diferentes especies de plantas, de acuerdo a la profundidad del agua y a su biología. Tabla N° 13 (abajo). Diferentes especies de plantas utilizadas en humedales. (Elaboración propia).



- A - Carrizo , Vetiver
- B - Flecha de agua, Lenteja de agua
- C - Junco, totora
- D - Camalote, Repollito, Lenteja de agua



Carrizo (*phragmites australis*)

Es una gramínea palustre. Tiene un rizoma de hasta 70 cm de profundidad con un buen desarrollo radicular. Su altura una vez adulta supera al metro. Mantiene la hoja durante todo el año, se reproduce por esquejes.

Se utiliza en sistemas secundarios, terciarios y estanques. Se la encuentra en humedales naturales y la avifauna la utiliza para nidificar.

Es necesario hacer podas y retirar biomasa seca. No se han presentado casos de invasión en los proyectos en los que se ha utilizado. Su rendimiento depurativo es bueno y tolera condiciones de carga variables.

En la región hay productores que la reproducen y la comercializan.



Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)

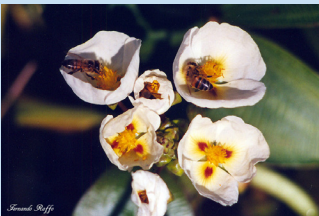
Es una gramínea palustre originaria de la India que tiene un sistema radicular de desarrollo vertical de hasta 4 m de profundidad. Su altura una vez adulta es de 2 m. No pierde la hoja y se reproduce por esquejes.

Se utiliza en sistemas secundarios, terciarios y estanques.

No se han presentado casos de invasión en los proyectos en los que se ha utilizado. Su rendimiento depurativo es bueno y tolera condiciones de carga variables.

Es necesario hacer podas y retirar biomasa seca.

En la región hay productores que la reproducen y la comercializan.

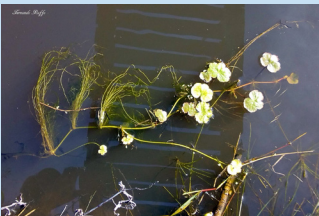
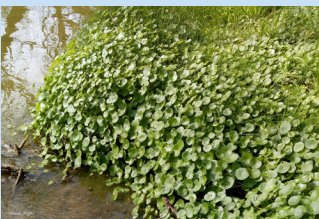


Flecha de agua (*Sagittaria montevidensis*)

Es una planta herbácea palustre de amplia distribución. Mide entre 0.5 a 1 m, sus flores tienen un diámetro de 4 cm en promedio. Su polinización es realizada por insectos.

En muchos países es una planta que se cultiva ornamentalmente. Crece espontáneamente en humedales naturales.

Se utiliza en sistemas terciarios y estanques.



Redondita del agua (*Hydrocotyle bonariensis*)

Es una hierba palustre de amplia distribución, puede vivir en el agua o fuera de ella.

Crece espontáneamente en humedales naturales.

Se utiliza en sistemas terciarios y estanques.



Fernando Ruffo

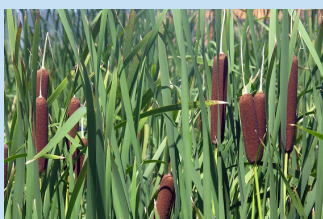


Junco (*Schoenoplectus californicus*)

Es una hierba palustre que alcanza una altura de hasta 70 cm, mientras que su sistema radicular llega a los 20 cm de profundidad. Mantiene la hoja durante todo el año, se reproduce por esquejes.

Se utiliza en sistemas terciarios y estanques.

Se la encuentra en humedales naturales y la avifauna la utiliza para nidificar.



Totora (*Typha latifolia*)

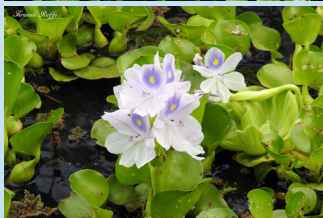
Es una hierba palustre que alcanza una altura de hasta 2 metros, mientras que su sistema redicular llega hasta los 40 cm de profundidad. En invierno es susceptible a las heladas y se seca la parte aérea. Se reproduce por división de rizomas.

Se utiliza en sistemas terciarios y estanques.

Es necesario hacer podas y retirar biomasa seca y puede ser invasora si no se la controla, ya que tiene un alto crecimiento en verano.

Se la encuentra en humedales naturales y la avifauna la utiliza para nidificar.

Fernando Ruffo



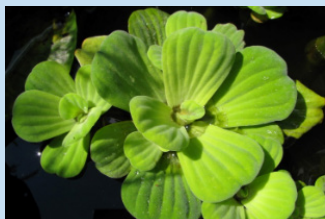
Camalote (*Eichhornia crassipes*)

Es una planta acuática que tiene bulbos con aire que le permiten flotar y da flores moradas. En invierno es susceptible a las heladas y se seca la parte aérea. Tiene un sistema radicular que llega hasta los 20 cm.

Se utiliza en sistemas terciarios y estanques.

Es necesario retirar biomasa seca y puede ser invasora si no se la controla, ya que tiene un alto crecimiento en verano.

Se la encuentra en humedales naturales y la avifauna la utiliza para nidificar.



Repollito de Agua (*Pistia stratiotes*)

Es una planta perenne, con hojas arrosetadas, de hasta 14 cm de largo, ligeramente onduladas, cubiertas con pelos cortos que atrapan burbujas de aire y ayudan en la flotabilidad. Tiene un sistema radicular que llega hasta los 5 cm.

Se utiliza en sistemas terciarios y estanques.

Es necesario retirar biomasa seca y puede ser invasora si no se la controla, ya que tiene un alto crecimiento en verano.

Se la encuentra en humedales naturales y la avifauna la utiliza para nidificar.

Es susceptible a heladas.



Lenteja de agua (*Lemna minor*)

Se utiliza en sistemas terciarios y estanques.

Es necesario retirar biomasa seca y puede ser invasora si no se la controla, ya que tiene un alto crecimiento en verano.





Capítulo 5: Ejemplos

Vivienda familiar

Complejo turístico

Fernando Raffo

Este capítulo contiene dos ejemplos de aplicación de soluciones para una vivienda familiar y un complejo de cabañas para uso turístico. Incluye cálculo de caudales, dimensionamiento, planos y ubicación en el terreno.

Vivienda familiar

Para este ejemplo tomaremos como condición de diseño una vivienda de 120 m² que se encuentra en la zona periurbana sobre un lote de 30 m de frente por 40 m de fondo. El tipo de suelo en el terreno es del tipo franco arcilloso o intermedio, la napa freática se encuentra a partir de los 15 metros de profundidad. La cantidad de personas que habitan la vivienda son 4.

Calculo del caudal

Tomando el caudal de diseño de acuerdo a la ordenanza 131/2022 de 225 litros/persona tenemos:

4 personas x 225 litros/persona = 900 litros

Para el diseño se asumimos un caudal efectivo de 1000 litros, ya que la ordenanza fija los valores mínimos, lo que da libertad a tomar el coeficiente de seguridad que creamos conveniente, para este caso un 10 %.

Caudal de diseño: 1000 litros.

Para el sistema secundario la ordenanza fija una superficie de 1.25 m²/persona.

4 personas x 1.25 m²/persona = 5 m²

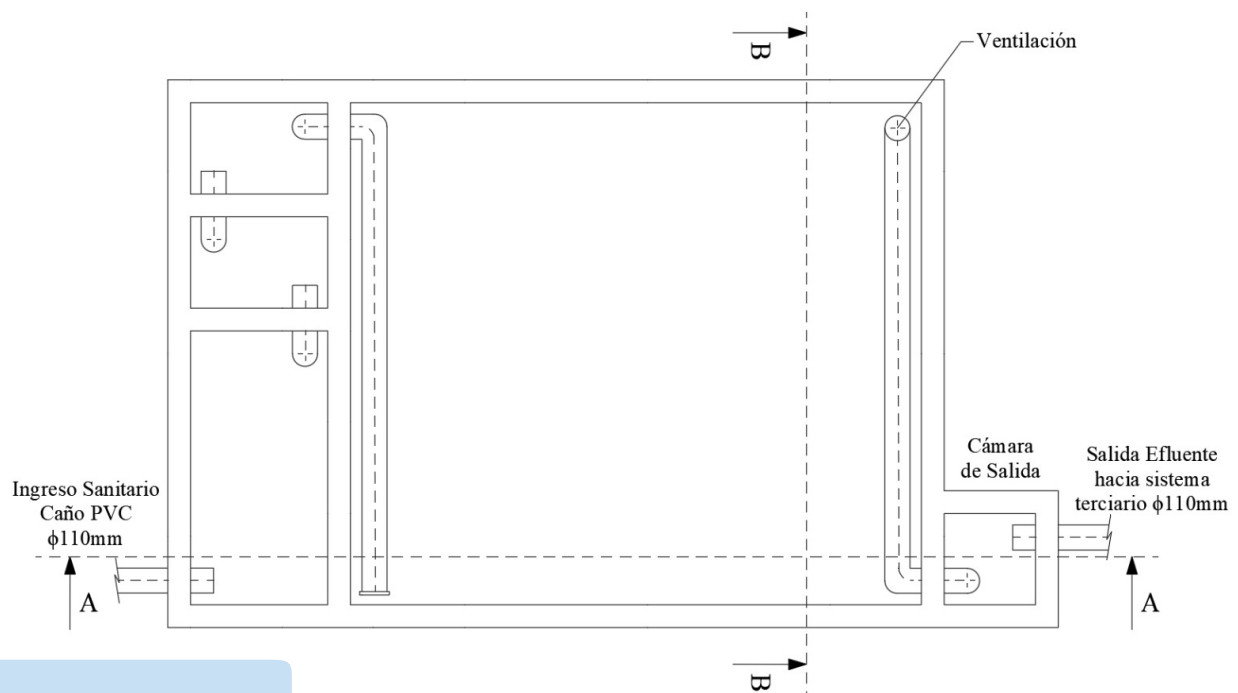


Figura 61. Vista en planta de las conexiones de caños.

Con estos datos y las recomendaciones para el diseño de ambos sistemas se propone una solución integrada en un mismo diseño, materializada con bloques de hormigón según se muestra en los croquis.

Para verificar el volumen útil tenemos:

Superficie de la cámara = $0.6 \text{ m} \times (1.2 \text{ m} + 0.4 \text{ m} + 0.4 \text{ m}) = 1.2 \text{ m}^2$

Volumen Útil = $1.2 \text{ m}^2 \times 0.9 \text{ m} = 1.08 \text{ m}^3 = 1008 \text{ litros}$

CORTE A-A

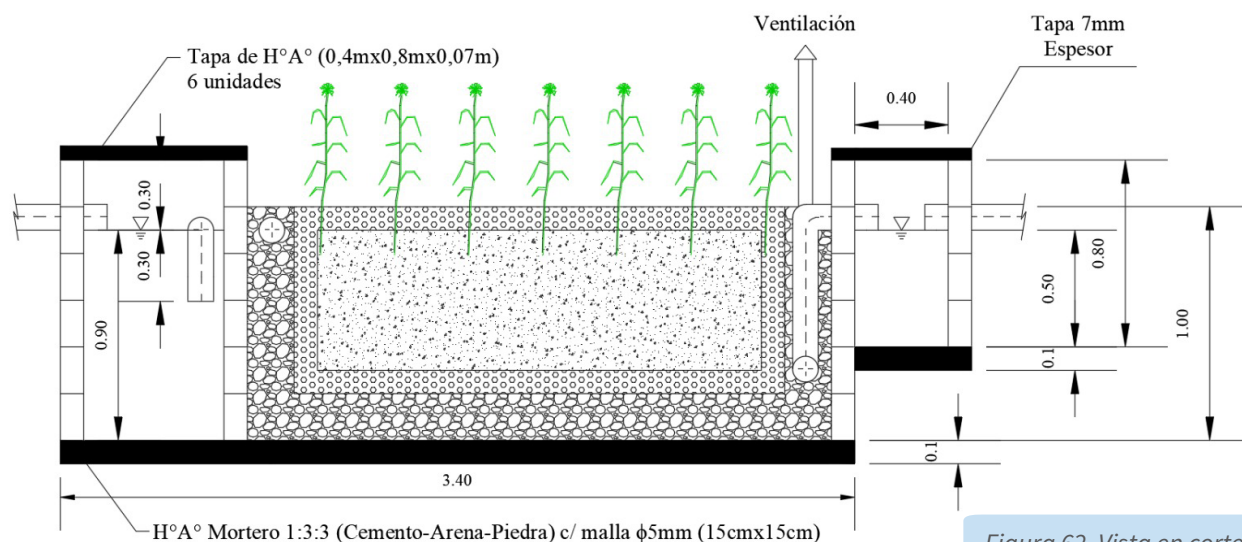
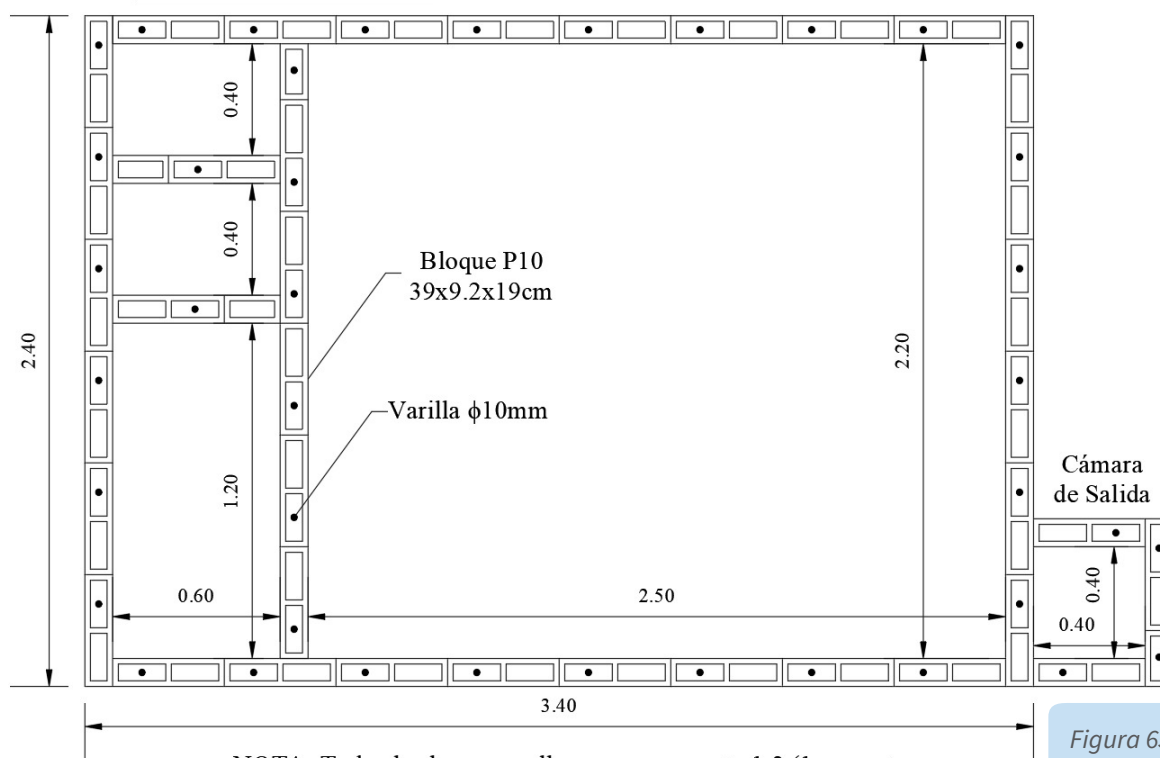


Figura 62. Vista en corte.

MODULACIÓN PLANTA: 1^{er} hilada- Bloque P10 39 x 9,2 x 19



NOTA: Todos los huecos se llenan con concreto 1:3 (1 cemento, 3 de arena)- Se vierte cada 3 hiladas

Figura 63. Vista en planta diseño con bloques de hormigón.

Mientras que para verificar la superficie del humedal tenemos:
 Superficie = $2.20 \text{ m} \times 2.50 \text{ m} = 5.5 \text{ m}^2$
 Se utilizó el mismo coeficiente de seguridad del 10 % del sistema primario.

CORTE B-B

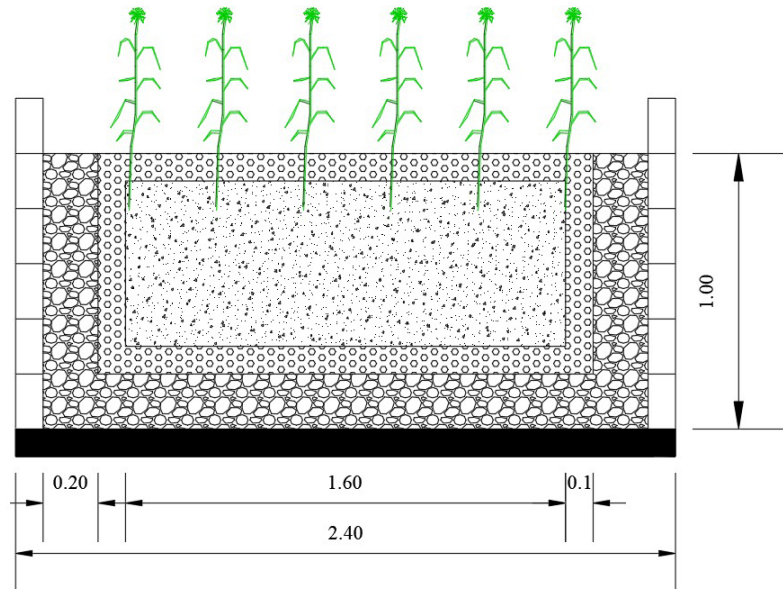


Figura 64. Vista en corte y detalles de áridos.

Para el armado de los filtros se utilizó el criterio sugerido de tres tipos diferentes de áridos, dos de piedras y arena media a gruesa para el centro.

Este diseño puede ser útil para cuando se tienen espacios pequeños y se puede materializar con cualquier tipo de mampostería, tomando la precaución de realizar la impermeabilización con revoques y el agregado de hidrófugos.

Los bloques de hormigón tienen la ventaja de poder realizar la estructura de soporte aprovechando los huecos de los mismos y rellenarlos luego con mortero, lo que facilita la construcción.

Las conexiones y el perforado de los caños de entrada y salida deben realizarse de acuerdo a las recomendaciones.

Para dar solución al sistema primario y secundario se presenta otra opción que consiste en una cámara séptica triple de planta cuadrada en mampostería, con una única tapa de inspección que queda a nivel del piso y es lo único que se ve de este sistema.



Figura 65a y 65b. Imágenes de sistemas primario y secundario integrados para viviendas familiares.

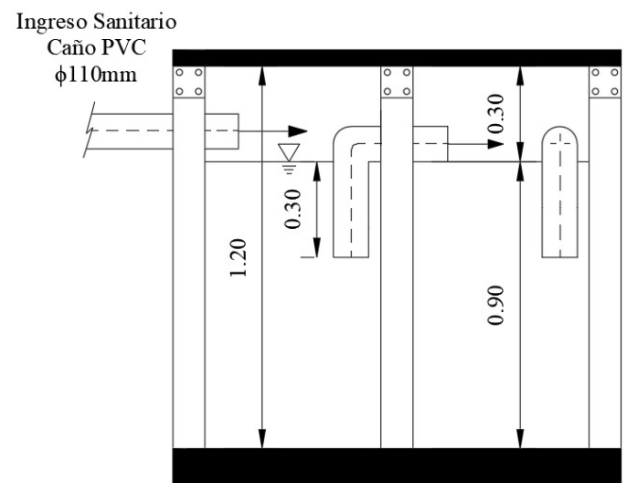
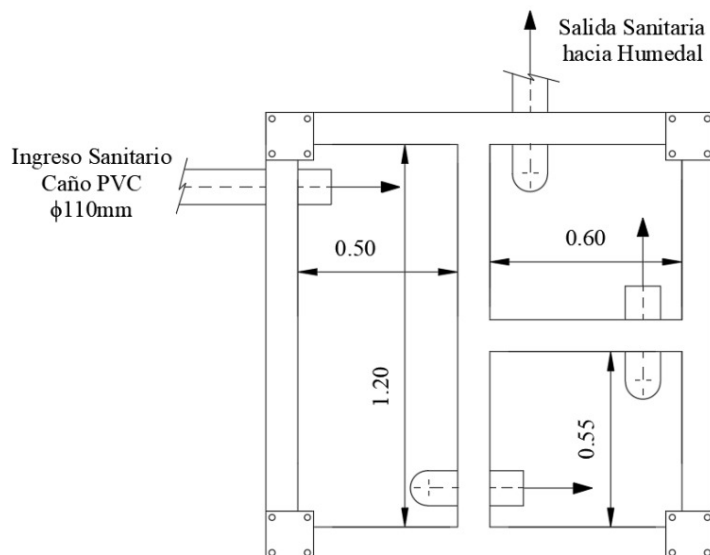


Figura 66. Vista en planta y corte de cámara séptica triple familiar.

Para verificar el volumen útil tenemos:

$$\text{Sup. de la cámara} = (1.2 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}) + 2 \times (0.55 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}) = 1.26 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen útil} = 1.26 \text{ m}^2 \times 0.9 \text{ m} = 1.13 \text{ m}^3 = 1113 \text{ litros}$$

Para el sistema secundario se proponen la construcción sobre el terreno natural, previa excavación y la impermeabilización con una membrana plástica. Se presentan dos diseños que cumplen con la superficie mínima.

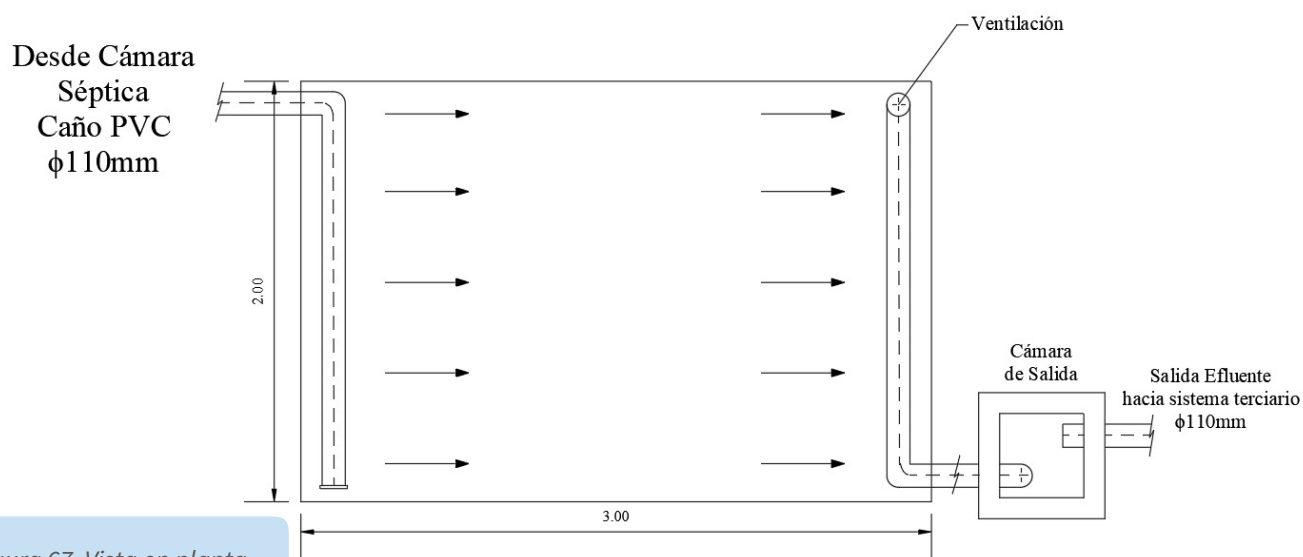


Figura 67. Vista en planta de humedal subsuperficial (2 x 3 m)

$$\text{Superficie} = 2.2 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} = 6.0 \text{ m}^2$$

$$\text{Superficie} = 1.5 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} = 6.0 \text{ m}^2$$

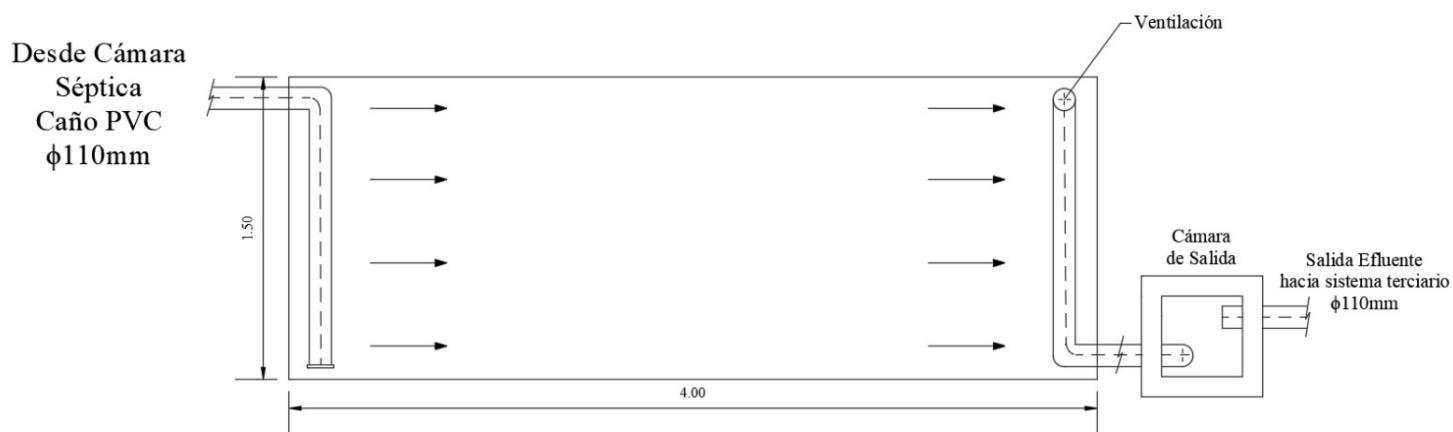


Figura 68. Vista en planta de humedal subsuperficial (1.5 x 4 m)

Esta opción presenta una relación ancho – largo más favorable para el rendimiento hidráulico del sistema.

Con respecto al armado del filtro se presenta otra opción utilizando dos tipos de piedras sin arena, lo que trae como beneficio menor posibilidad de obstrucción, pero como contraparte menor retención de sólidos.

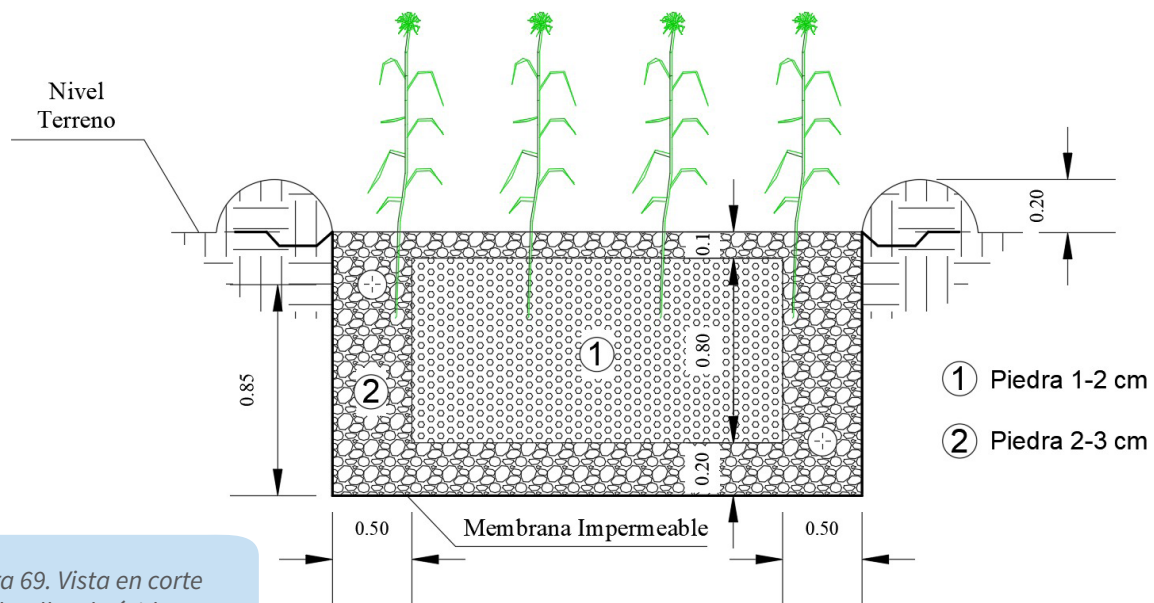


Figura 69. Vista en corte con detalles de áridos.



Figura 70. Imagen de un sistema secundario similar al ejemplo.

Figura 71. Vista de un humedal de flujo libre en "L" similar al calculado.



Para el sistema terciario se van a presentar distintas alternativas como humedal de flujo libre, zanja de infiltración y pozo absorbente, que se detallan a continuación.



Humedal de flujo libre

La condición a cumplir es contar con una superficie mínima de $4 \text{ m}^2/\text{persona}$ y una relación ancho – largo de 1:10, para lo cual se proponen las siguientes dimensiones.

Ancho: 1.2 m

Largo: 14 m

Profundidad: 0.3 m

Superficie: $1.2 \text{ m} \times 14 \text{ m} = 16.8 \text{ m}^2$

Que es mayor a $4 \text{ personas} \times 4 \text{ m}^2/\text{persona} = 16 \text{ m}^2$

Al final de este sistema, en caso de existir excedentes se puede plantear una opción para riego o una disposición final en pozo absorbente.



Figura 71. Vista de un humedal de flujo libre en “L” similar al calculado.

Zanja de infiltración

Para el cálculo de la zanja se van a tomar los parámetros establecidos en la tabla N°9, que indica que para suelos intermedios (entre arenosos y arcillosos), corresponden 61 metros para 4 personas.



El diseño seleccionado es una zanja de infiltración de tres ramas de 20 metros de largo, separadas 2 metros entre sí con un ingreso central desde el sistema secundario y una ventilación unificada.

Para darle más eficiencia al sistema se propone la plantación de dos hileras de vetiver separadas cada 1.5 a 2 metros entre plantas.

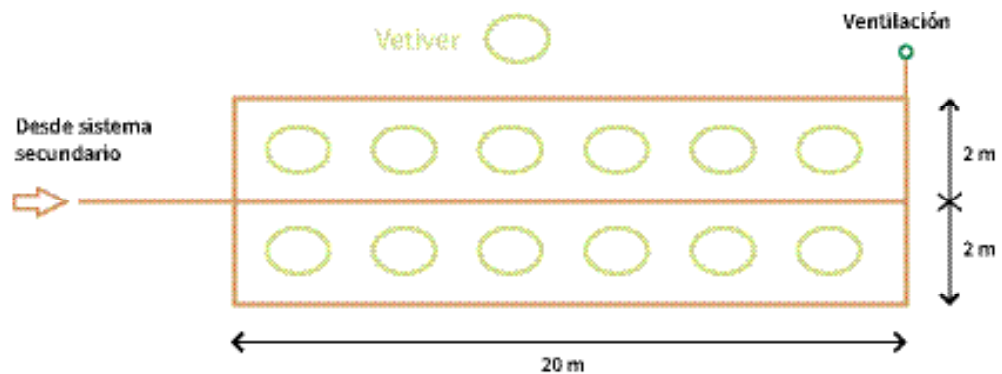


Figura 72. Esquema de zanja de infiltración.

Pozo absorbente

Para el cálculo del pozo absorbente se van a tomar los parámetros establecidos en la tabla N°10, que indica que para suelos francos arcilloso con poca grava o arena, corresponden 3.0 m² por persona.

Para 4 personas tenemos = 3.0 m²/persona x 4 personas = 12 m²

Fijamos un ancho de pozo de 1.5 m

Teniendo en cuenta la fórmula de la superficie del cilindro y despejando la altura

Superficie del cilindro = $\pi \times \text{diámetro} \times \text{altura}$

Altura (h) = Superficie del cilindro / $\pi \times \text{diámetro}$



Figura 73. Esquema del pozo absorbente.



$$\text{Altura} = 12 \text{ m}^2 / 3.14 \times 1.5 \text{ m} = 2.55 \text{ m}$$

En la figura puede observarse una distribución tentativa de los diferentes componentes del sistema con dos alternativos. La opción A consistente en un sistema primario y secundario unificado, un humedal de flujo libre como sistema terciario con opción a riego a la salida del mismo y los excedentes a un pozo absorbente. La opción B presenta la diferencia del sistema terciario que se materializa por una zanja de infiltración.

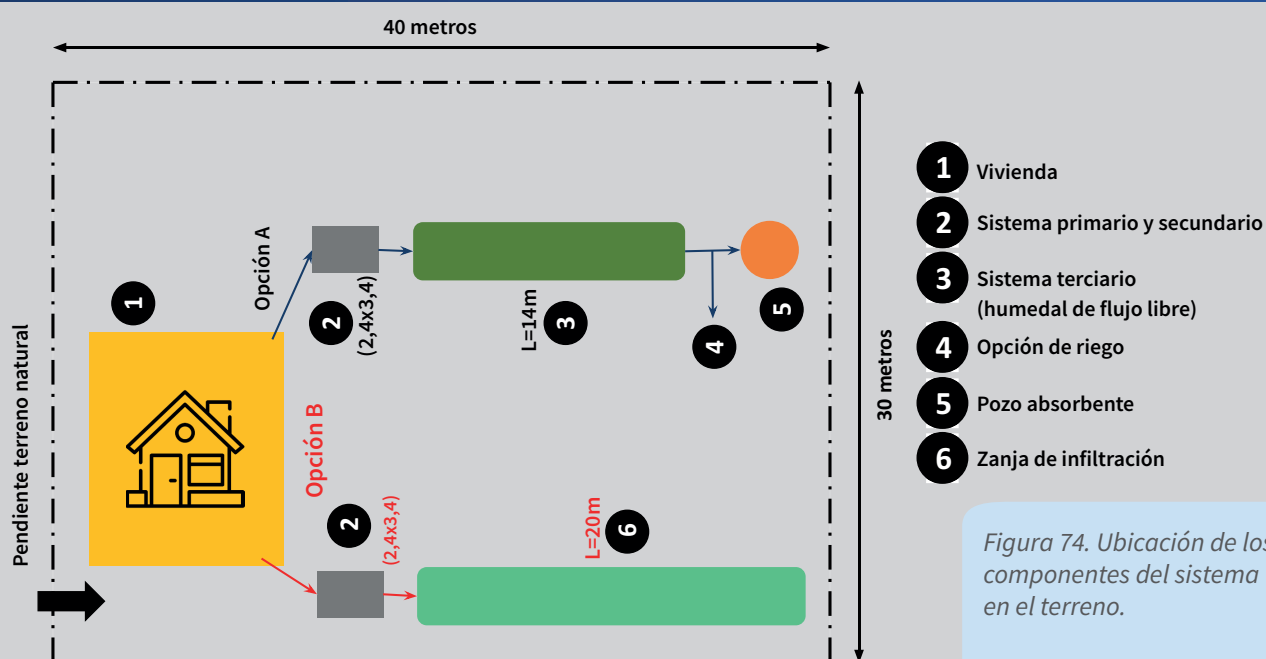
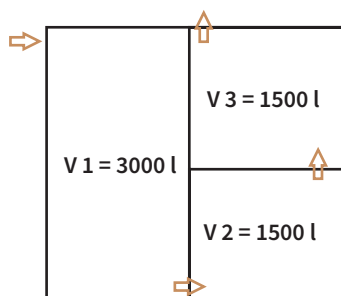


Figura 74. Ubicación de los componentes del sistema en el terreno.

Complejo turístico

Se trata de un complejo turístico de 4 cabañas, 2 de las mismas son para 4 personas y 2 para 6 personas. La superficie del lote es de 1850 m^2 (43×43) respectivamente, además en el lugar habita el encargado que vive junto a su familia (4 personas) en una edificación que hace las veces de vivienda y pequeño comedor en donde se sirven los desayunos y comidas rápidas y tiene dos baños completos. Con respecto al tipo de suelo y a la distancia de la napa freática son las mismas condiciones que para el ejemplo de la vivienda familiar.



Cálculo del caudal

Primeramente calculamos el caudal, para ello tomaremos la máxima capacidad de ocupación del complejo.

2 cabañas x 4 personas = 8 personas

2 cabañas x 6 personas = 12 personas

Total = 20 personas

Familia del encargado = 4 personas

Cálculo de la generación de efluentes para 20 personas (turistas) que ocupan el salón para desayuno y sanitarios.

Tomamos un caudal de generación de efluentes de 11.25 litros/persona (valor adoptado de tablas de caudales residenciales típicos de la bibliografía de consulta).

20 personas x 11.25 litros/persona = 225 litros, que equivale a 1 persona de acuerdo a la ordenanza 131/2022

El total de personas es 20 (pasajeros) + 4 (familia del encargado) + 1 (equivalente al uso del comedor por los pasajeros) = 25 personas.

Para sacar el total en litros del complejo multiplicamos:

25 personas x 225 litros/persona = 5625 litros.

Asumimos un volumen útil de 6000 litros.

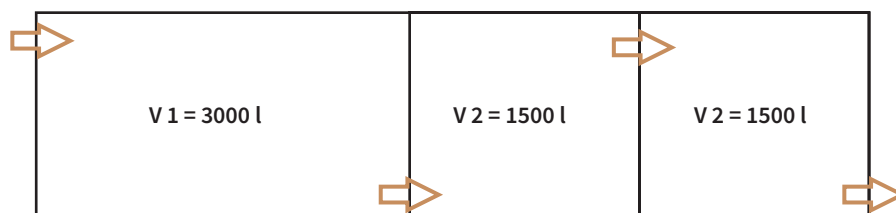
Sistema primario

Para el dimensionado de la cámara seleccionamos una cámara triple de forma cuadrada en donde el volumen de la primera cámara corresponde al 50 % del volumen total y los dos restantes al 25 % del volumen total.

Las medidas exteriores de la cámara de sección cuadrada son de 2.5 m x 2.5 m de lado y 1.8 m de profundidad. Adoptamos una altura de tirante de 1.25 m. La misma contará con una tapa de inspección central desde la que se pueda acceder a los tres compartimientos.

Se podrá materializar de mampostería de bloques de hormigón, ladrillos huecos o de campo con estructura resistente.

Figura 75. Esquema disposición de cámaras.



Otra opción es construir una cámara en línea de sección rectangular, respetando el volumen útil necesario y el tirante, cuyas medidas exteriores son 4.8 m de largo x 1.4 m de ancho x 1.8 m de profundidad.

Sistema secundario

Para el sistema secundario la ordenanza fija una superficie de 1.25 m²/persona.

$$25 \text{ personas} \times 1.25 \text{ m}^2/\text{persona} = 32 \text{ m}^2$$

Con esta superficie dimensionamos un humedal de flujo horizontal de 3.2 m de ancho x 10 m de largo y 1 m de profundidad, que cumple con la relación geométrica ancho largo de 1:2 a 1:3, excavado en el terreno natural con el auxilio de una minicargadora e impermeabilizado con una membrana plástica.

Para el armado de las cañerías de ingreso y salida y la selección de los áridos se utilizarán los criterios desarrollados en este manual.

El volumen necesario de áridos será:

3.2 m x 10 m x 1 m = 32 que se podrán distribuir de la siguiente manera:

Piedra tipo 1 y tipo 2 (según figura 27) = 16 m³.

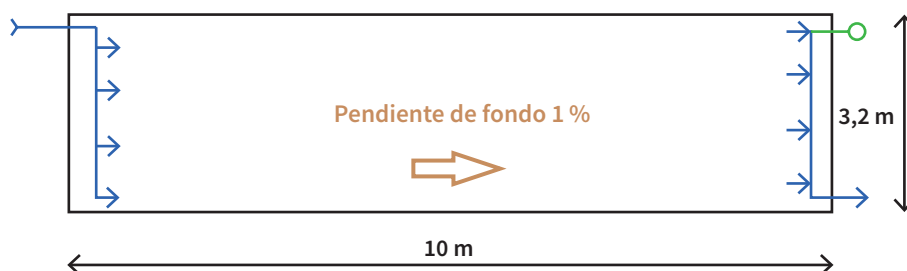
Árido tipo 3 (según figura 27) = 16 m³.

Se sugiere utilizar para la piedra del tipo 1 de 3 a 5 cm de diámetro, para el tipo 2 de 2 a 3 cm de diámetro y para el tipo 1 piedra de 1 cm de diámetro o arena gruesa.

Esta decisión va a depender del costo relativo de los diferentes tipos de áridos disponibles en la zona de implantación del proyecto, destacándose que uno de los principales costos de todo el sistema se encuentra en este punto.



Figura 76. Esquema humedal en serie.



También se puede optar por hacer un sistema en paralelo consistente en dos humedales de 16 m^2 de superficie de 2.5 m de ancho x 6.4 m de largo x 1 m de profundidad.

Esta configuración en paralelo puede presentar la ventaja que se puede utilizar una de las ramas para el uso cotidiano del complejo y habilitar la segunda para la máxima ocupación. Para ello al ingreso del sistema se coloca una cámara repartidora que permite realizar el direccionamiento del efluente a cada uno de los humedales de forma independiente, mientras que para la salida se unificará con una sola cámara. Las ventilaciones se realizarán de forma individual.

Otra ventaja de esta configuración es que si es necesario realizar un mantenimiento se puede poner fuera de servicio una de las ramas mientras la otra sigue en funcionamiento.

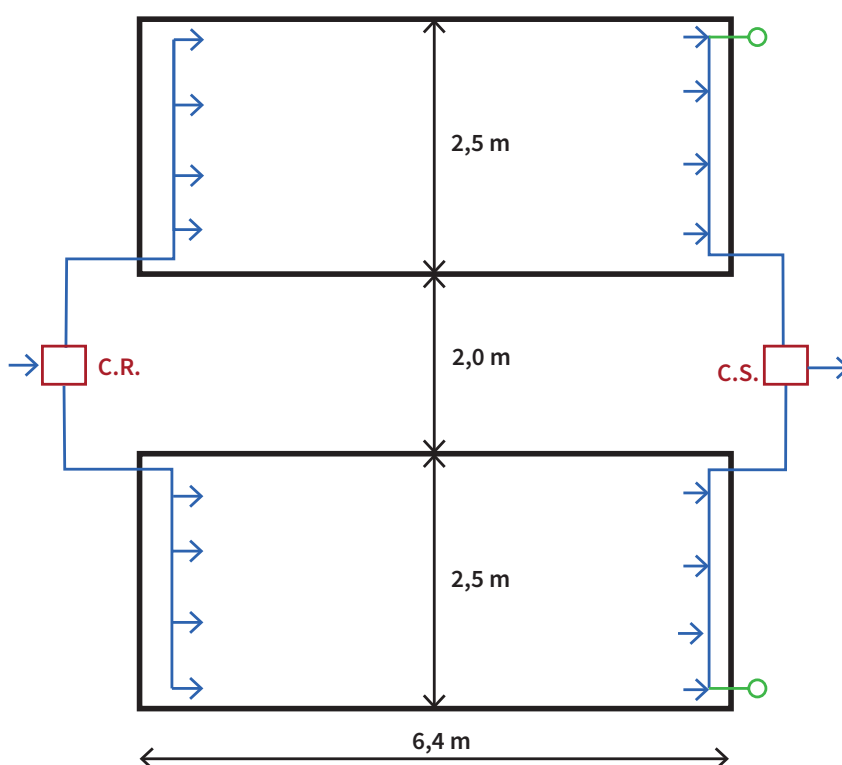


Figura 77. Esquema de humedal en paralelo

Sistema terciario

Tomando como referencia el ejemplo de la vivienda familiar en cuanto a las características del suelo se necesitan 380 metros de zanjas de infiltración o 6 pozos absorbentes, lo que determina que estas alternativas no sean viables desde lo económico.

Por este motivo se presenta una solución que conjugue un humedal de flujo libre con una laguna de acumulación de excedentes pluviales que sirva para tomar el agua para reusó para riego de las cortinas forestales y en caso de excedentes por lluvias intensas puedan desaguar a un curso pluvial.

Para ello se buscará el punto más bajo del terreno para construir una excavación sobre el terreno natural a donde se conducirá por intermedio de una cañería el efluente tratado del sistema secundario y por un canal a cielo abierto las escorrentías superficiales.

La superficie mínima deberá ser de 100 m^2 para cumplimentar con los 4 m^2 /persona recomendados.

La forma puede ser orgánica o geométrica y presenta una buena oportunidad para generar un espacio de promoción de la biodiversidad e integración paisajística. La profundidad del estanque puede variar de 0.30 a 1.50 m, dependiendo del diseño que se elija.

Se buscará que el ingreso del efluente tratado coincida en un mismo lugar con los desagües pluviales provenientes del terreno, mientras que la bomba para riego y la salida del rebalse se ubicaran en el extremo más alejado del ingreso.

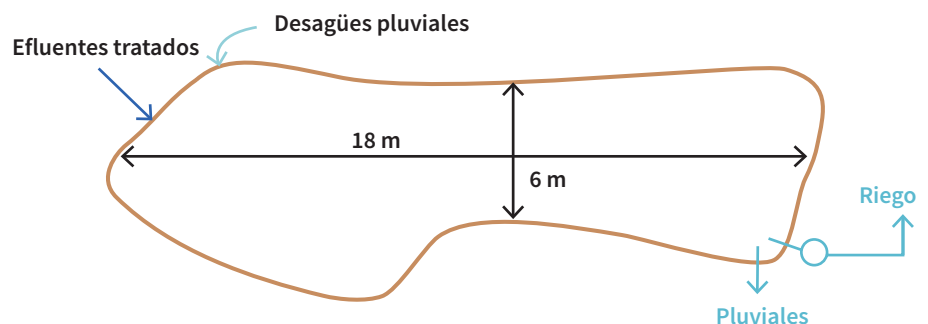


Figura 78. Esquema de laguna de acumulación

A los bordes del estanque y dentro del mismo se implantaran especies palustres de acuerdo a la profundidad del mismo, árboles y arbustos, buscando un equilibrio entre la superficie libre del espejo del agua y la cubierta por la vegetación flotante.

En la figura precedente puede observarse la distribución de los distintos componentes del sistema sobre el terreno, en donde el punto 1 y 2 son las cabañas destinadas al alojamiento de pasajeros, el punto 3 corresponde a la vivienda del cuidador y el salón para el desayuno, el punto 4 corresponde a la red cloacal que conecta todos los sanitarios de las diferentes unidades habitacionales y los conduce hacia el sistema primario en el punto 5, el punto 6 es el sistema secundario y el punto 7 es la laguna de acumulación o estanque desde donde se puede tomar el agua para riego o en caso de excedentes pluviales dirigirse a la red de desagües pluviales.

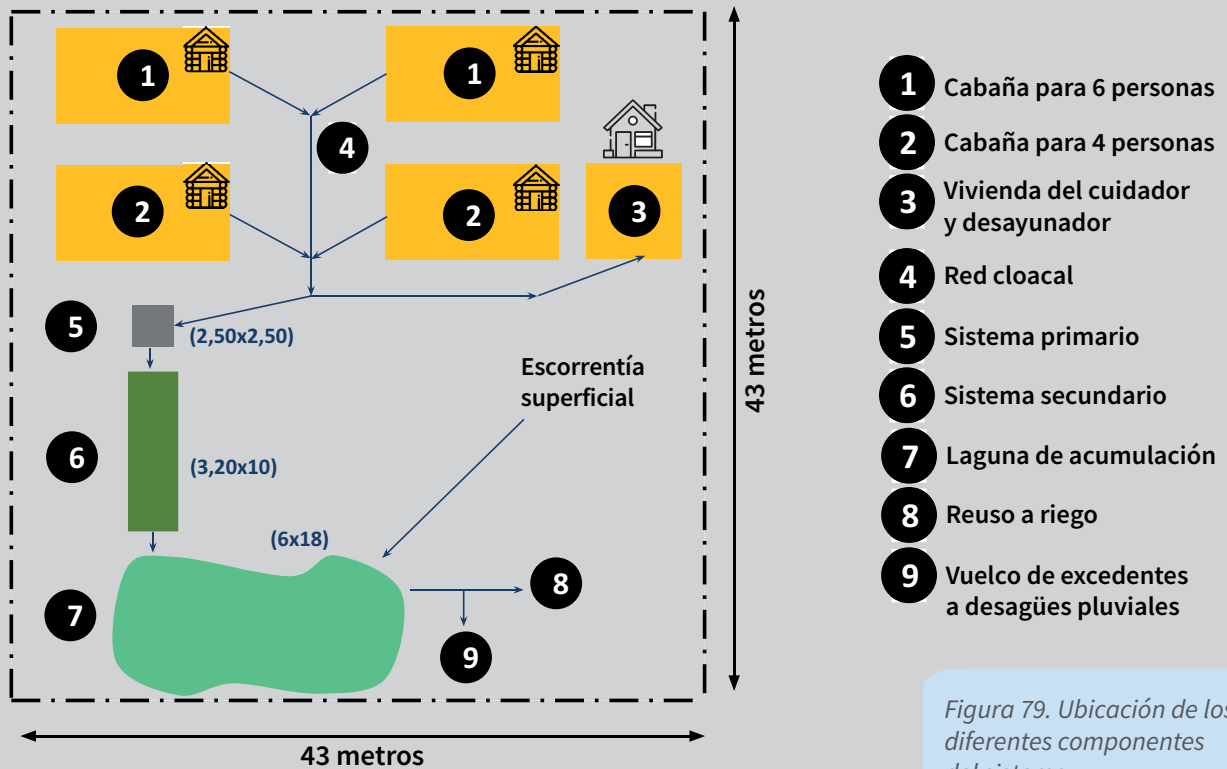


Figura 79. Ubicación de los diferentes componentes del sistema.



Bibliografía

Seoanez Calvo, Mariano (1999). *Aguas Residuales. Tratamiento por Humedales Artificiales. Fundamentos Científicos. Tecnologías. Diseño*. Editorial Mundiprensa.

METCALF & EDDY, INC (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Editorial McGraw-Hill.

Consejo Federal de Agua Potable y Saneamiento (1993). *Normas de estudio, criterios de diseño y presentaciones de proyectos de desagües cloacales para localidades de hasta 30.000 habitantes*.

AAVV (2006). *Manual de autoconstrucción de un sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias* - 1a edición. Mariñelarena - FERPLATA Editores.

EPA (2000). *Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial*. Ed. Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.

ANEXO

- Ordenanza 131/2022, Ciudad de Colon, Entre Ríos.
- Anexo técnico.
- Biodiversidad en estanques artificiales.



Ordenanza 131/2022, Ciudad de Colón, Entre Ríos.

**EL HONORABLE CONCEJO DELIBERANTE DE LA MUNICIPALIDAD DE COLÓN
E.R. SANCIONA CON FUERZA DE:
ORDENANZA.**

ARTÍCULO 1º: Dispóngase la derogación de las ordenanzas N°05/2011 y N°49/2012

ARTÍCULO 2º: Determinase que la Autoridad de Aplicación de la presente Ordenanza será la Dirección Municipal de Medio Ambiente o el órgano municipal de mayor jerarquía que a futuro cumpla las actuales funciones de esta con la asistencia de la dirección de obras privadas.-

ARTÍCULO 3º: Establézcase que toda vivienda particular(unifamiliar) o colectiva (hospedaje,etc.), comercio, comedor, complejo turístico hotelero, emprendimiento turístico recreativo, camping, servicio de salud, sala de esparcimiento o bailable, lavadero de cualquier índole, institución, establecimiento comercial-especial o semi-industrial y/o cualquier otro generador de efluentes líquidos que se encuentre fuera del núcleo urbano(con excepción de aquellos que guarden relación de colindancia), deberá implementar un sistema de tratamiento de líquidos residuales, siguiendo todas las consideraciones establecidas en la presente Ordenanza.-

ARTÍCULO 4º: Dispóngase que todo generador de efluentes líquidos en los términos expuestos en el artículo tercero (Art. 3º) deberá presentar ante el órgano de aplicación de la presente Ordenanza, solicitud de aprobación de planos de obra, antes de comenzar la misma.

ARTÍCULO 5º: Determinése que la presentación dispuesta en el artículo anterior debe incluir prioritariamente, un informe según las especificaciones del Anexo Técnico, debidamente rubricado por profesional con título habilitante para diseño y control de tratamientos de efluentes líquidos residenciales.

ARTÍCULO 6º: La Autoridad de Aplicación deberá evaluar la presentación mencionada en el artículo anterior en un término no mayor a 15 días hábiles. Durante los cuales la Autoridad podrá solicitar al propietario determinadas reformas, ampliaciones o correcciones técnicas del proyecto presentado en el informe, antes de la definitiva aprobación o rechazo del mismo.

En caso de solicitarse reformas en el informe o proyecto inicial de sistema de tratamiento domiciliario de aguas servidas, la Autoridad de Aplicación otorgará un plazo razonable al generador según la complejidad o extensión de las reformulaciones solicitadas. Luego del cual la Autoridad contará con 10

días hábiles, para dictaminar finalmente el resultado de la evaluación del informe técnico presentado (contados a partir de la fecha de recepción efectiva de dicho informe conteniendo los cambios o reformulaciones proyectadas).

Una vez aprobado el proyecto y ejecutada la obra, el generador, dentro de los diez días corridos de terminada la misma estará obligado a solicitar la Inspección Final, a efectos de que la Autoridad de Aplicación proceda en un plazo máximo de diez días hábiles a verificar el cumplimiento de los requisitos exigidos por la presente y las observaciones efectuadas oportunamente al momento de la aprobación del proyecto, en cuyo caso otorgará el Certificado Final de Obra, a partir del cual se podrá comenzar a utilizar el sistema.

En ningún caso el organismo otorgará el Certificado Final de Obra si el mismo no es solicitado por el generador.-

ARTÍCULO 7º: A los seis meses de obtenido el certificado final de obra el generador de efluentes líquidos deberá efectuar el primer autocontrol del sistema de tratamiento, de acuerdo a los parámetros establecidos en la Tabla N° 1 del Anexo Técnico, luego de lo cual tendrán una frecuencia anual a partir de esta fecha.

Con independencia de estos autocontroles, la Autoridad de Aplicación podrá efectuar la toma de muestras y realizar los análisis correspondientes, en cuyo caso el generador se encontrará obligado a permitir el acceso hasta la cámara de inspección.

Los controles mínimos serán anuales, pero según el caso la autoridad de aplicación podrá exigir que su frecuencia sea menor o fijar el periodo de tiempo en donde se realice la muestra de acuerdo al uso del inmueble.

ARTICULO 8º: Quedan totalmente prohibidos los pozos negros o absorbentes para la derivación de aguas residuales, sin contar previamente con las debidas instalaciones de tratamiento primario y secundario según especificaciones del Anexo Técnico de esta Norma y que el efluente cumpla con los parámetros establecidos en el mismo, previo al vertido en dichos pozos.

ARTÍCULO 9º: Dispóngase que todo generador de efluentes líquidos, que en la actualidad posea solo pozo negro o absorbente de cualquier índole, combinado o no con un sistema previo, como método de manejo de las aguas negras que genera; deberá implementar un sistema de tratamientos de líquidos residuales acorde a lo establecido en la presente Ordenanza, en un plazo que no exceda los veinticuatro meses (24 meses) de promulgada la presente norma. Debiendo presentar el generador de efluentes, ante la Autoridad de Aplicación, informe técnico en los términos de los artículos 4º y 5º de la presente Norma,



antes de iniciar la obra requerida; para dar cumplimiento a la presente Ordenanza. Dicha presentación se evaluará en los términos expuestos en el artículo 6° de esta Normativa.

ARTÍCULO 10°: La toma de muestras para los autos controles y los análisis serán realizados por personal técnico y laboratorios autorizados por el organismo de aplicación de la presente Ordenanza mediante creación de un Registro. El costo de dichas tareas será a cuenta del generador de efluentes.

ARTÍCULO 11°: Los resultados de los análisis deberán ser presentados ante la autoridad de control en los términos de la Tabla N° 1 del Anexo Técnico.

En caso de incumplimiento, el generador será pasible de las sanciones que se establece en la presente ordenanza.-

ARTÍCULO 12°: Ante la detección de anomalías en los sistemas de tratamiento evaluados a partir del análisis de los autocontroles, o detectadas por cualquier otro modalidad como inspección in situ a partir de denuncia efectuada por vecino y/o por monitoreo de oficio, la Autoridad de Aplicación, sin perjuicio de las sanciones correspondientes, procederá a establecer un control-diagnóstico, luego de lo cual notificará al generador para solicitarle su corrección.

ARTÍCULO 13°: Toda reforma del sistema de tratamiento de efluente líquido requerida por la Autoridad de Aplicación en los términos del artículo anterior, quedará a cargo del propietario o generador del efluente. El cual dispondrá de 20 días hábiles como máximo, a partir de recibida la notificación al respecto por parte de la Autoridad de Aplicación; para presentar informe técnico sobre las modificaciones a ejecutar. Debiendo ser presentado dicho informe según los términos expuestos en el artículo 4° de la presente norma. Contando el propietario o generador de efluente líquido, con 45 días más para ejecutar efectivamente las reformas pertinentes, contados a partir de la aprobación mediante notificación formal a tal fin, realizada por parte de la Autoridad de Aplicación, respecto del informe técnico presentado por el generador.

ARTÍCULO 14°: A toda infracción o incumplimiento a alguna de las consideraciones establecidas en los artículos 4°, 5°, 6°, 7°, 8° y 9° de la presente Norma se aplicará el sistema de sanciones desarrollado a continuación. Las sanciones establecidas podrán aplicarse conjuntamente si lo hiciera aconsejable la gravedad del caso; para lo cual el Juez de falta deberá considerar el dictamen establecido por la Autoridad de Aplicación de la presente Ordenanza. En el caso de tratarse de una infracción o falta reincidente, se establece como sanción mínima el cobro de una multa del mayor monto previsto para cada caso, siendo posible duplicar el monto máximo establecido si la gravedad del caso lo amerita.

El sistema sancionatorio se integra con las siguientes penas:

A) Multa graduable, en dinero efectivo de la moneda vigente en la Nación al momento del dictamen de sanción, por el valor de doscientos

(200) a seiscientos cincuenta (650) litros de nafta para los casos de infracciones cometidas en los domicilios familiares que alcanzan a esta Norma. Para el caso de los domicilios comerciales-especiales o empresariales (emprendimientos turístico-hoteler, hospedajes, gastronómicos, recreativo-bailable, camping, servicios de salud, lavaderos, semi industriales, etc.) el monto de las multas se constituye por los valores de seiscientos cincuenta (650) a mil quinientos (1500) litros de nafta.

B) Clausura temporaria o definitiva de la fuente generadora de efluentes líquidos (para los domicilios comerciales-especiales o empresariales).

Para aplicar la sanción será sujeto pasivo la persona física o jurídica que resulte ser titular o usufructuario por cualquier título. Las sanciones serán de efectiva aplicación en todos los casos que la Autoridad verifique incumplimiento de los artículos establecidos de la presente Norma (artículos 4º, 5º, 6º, 7º, 8º y 9º)."

ARTÍCULO 15º: De forma.-

Colón, E. Ríos; Sala de Sesión (Recinto H.C.D.) 15 de Diciembre de 2.022.-



ANEXO TECNICO

Artículo 1º) Dispóngase en el presente los criterios técnicos mínimos a tener en cuenta por los profesionales intervinientes a la hora de diseñar e implementar un sistema de tratamiento de efluentes.

Artículo 2º) Conceptualmente el sistema estará compuesto por un primario, un secundario, una cámara de inspección y de toma de muestras y un terciario o punto de vuelco. La ubicación del sistema respetará las medidas mínimas establecidas en la Ordenanza de Ordenamiento Territorial con respecto a los retiros de terrenos vecinos.

Artículo 3º) El caudal de diseño para el sistema de tratamiento de efluente se tomará como 225 litros por persona y por día, de acuerdo a la capacidad declarada de residentes ya sean permanentes o temporarios. En ningún caso dicho caudal será menor de 600 litros por día.

Artículo 4º) El sistema primario se define como aquel que trabaja con ausencia de oxígeno, en donde predominan las bacterias anaeróbicas, por lo que no podrá ventilarse al exterior. Podrá materializarse con cámaras sépticas de 2 a 3 compartimientos construidas in situ o premoldeadas, con digestores comerciales o cualquier otra tecnología que garantice el tratamiento anaeróbico del efluente. Todos los sistemas deberán asegurar la correcta impermeabilización para evitar que el efluente entre en contacto con el suelo. Para su dimensionamiento el parámetro de cálculo utilizado será el tiempo de detención hidráulico (TDH), que asegure una permanencia de al menos 24 horas del caudal de diseño. Para ello el volumen útil del sistema debe ser igual o mayor al caudal de diseño diario. Todos los sistemas anaeróbicos de tratamiento generan lodos o barros los que deben ser removidos con cierta frecuencia de acuerdo a la tecnología seleccionada, por lo que deberá establecerse un plan de limpieza y extracción que deberá tener en cuenta la distancia para el acceso de camiones atmosféricos al predio.

Artículo 5º) El sistema secundario se define como aquel que trabaja con presencia de oxígeno, en donde predominan las bacterias facultativas y aeróbicas, por lo que deberá asegurarse el ingreso de oxígeno al sistema, ya sea a través de la vegetación palustre o de manera forzada. Podrá materializarse con humedales de flujo subsuperficial o cualquier otra tecnología que garantice el tratamiento facultativo – aeróbico del efluente. Todos los sistemas deberán asegurar la correcta impermeabilización para evitar que el efluente entre en contacto con el suelo y no tener superficie libre de líquido. Para su dimensionamiento en el caso de los humedales de flujo subsuperficial se utilizará el

parámetro de superficie de humedal por habitante, la que será de 1.25 m²/habitante, para una profundidad de 0.8 a 1.0 m. En ningún caso la superficie del humedal podrá ser menor de 4 m².

Artículo 6º) La cámara de inspección o de toma de muestras se define como el sitio por donde concurren todos los efluentes que han sido tratados en los sistemas primarios y secundarios y en donde se los deriva hacia el punto de vuelco. Podrá materializarse de diferentes maneras, siempre y cuando se asegure su estanqueidad, sus dimensiones mínimas útiles serán de 40 x 40 x 40 cm y contarán con una tapa fácilmente removible que permita el acceso para tomar las muestras.

Artículo 7º) El punto de vuelco o sistema terciario se define como el sitio en donde el efluente tratado entra en contacto con el suelo para ser absorbido por el mismo o por la vegetación que lo rodea. Podrán utilizarse para tal fin pozos absorbentes, zanjas de infiltración o humedales de flujo libre de manera independiente o combinados entre sí, siempre y cuando no haya rebalses hacia las escorrentías superficiales. Los valores máximos permitidos figuran en la tabla N° 1. En caso de preverse el reusó de los efluentes tratados para riego forestal, deberá presentarse una memoria técnica que deberá ser aprobada por el organismo de control.

Artículo 8º) Para los desarrollos de loteos o emprendimientos particulares que no puedan implementar como punto de vuelco lo definido en el Artículo 7, y deban hacerlo en conductos pluviales, los valores máximos permitidos serán los de la tabla N° 2.

Artículo 9º) En el plazo de los 30 días de promulgada esta ordenanza se estará presentando un manual técnico con información general y detallada de los sistemas de tratamiento aquí descriptos que ira asociada con cursos de capacitación dirigido a profesionales, constructores y al público en general, como forma de facilitar la implementación de dicha norma.

TABLA N°1

Parámetros analíticos para control de vertido de efluentes líquidos a sistema terciario:

N°	PARÁMETROS	UNIDADES	PUNTO DE VUELCO
1	PH	-	6 ~ 9
2	Demanda Biológica de <u>Oxígeno</u> DBO ₅	mg/l	<100
3	Demanda Química de <u>Oxígeno</u> DQO	mg/l	< 250
4	Coliformes fecales	NMP/ 100ml	< 2.000
5	Coliformes Totales	NMP/ 100ml	< 10.000
6	Sólidos Sedimentables en 2 h.	ml/l	≤ 2
7	Detergentes	mg/l	≤ 1
8	Aceites y Grasas (SSEE)	mg/l	≤ 40
9	Sulfuros	mg/l	≤ 1
10	Fósforo Total	mg/l	10
11	Nitrógeno Total	mg/l	30
12	Hidrocarburos totales	mg/l	≤ 0.1

Nota: NPM: Número más probable

Los domicilios de residencia familiar exclusiva (sin hospedaje turístico, ni gastronómicos, ni comerciales especiales de ningún rubro) solo deberán realizar los controles establecidos respecto a los parámetros analíticos 1, 2 o 3, 4 o 5.

TABLA N°2

Parámetros analíticos para control de vertido de efluentes líquidos a cañadas pluviales:

N°	PARÁMETROS	UNIDADES	PUNTO DE VUELCO
1	PH	-	6 ~ 9
2	Demanda Biológica de <u>Oxígeno</u> DBO ₅	mg/l	<50
3	Demanda Química de <u>Oxígeno</u> DQO	mg/l	<150
4	Coliformes fecales	NMP/ 100ml	<1.000
5	Coliformes Totales	NMP/ 100ml	<5.000
6	Sólidos Sedimentables en 2 h.	ml/l	≤ 1
7	Detergentes	mg/l	≤ 2
8	Aceites y Grasas (SSEE)	mg/l	≤ 20
9	Sulfuros	mg/l	≤ 1
10	Fósforo Total	mg/l	≤ 10
11	Nitrógeno Total	mg/l	≤ 20
12	Sulfatos	mg/l	≤ 400
13	Sustancias <u>Fenolicas</u>	mg/l	≤ 0.5
14	Hidrocarburos totales	mg/l	≤ 30

Nota: NPM: Número más probable

Los parámetros 13 y 14 serán exigidos a establecimientos que sean plausibles de generar estas corrientes de efluentes, como el caso de lavaderos y establecimientos semi industriales.

NOTA: Para desarrollar estas tablas de valores máximos permitidos se tomó como referencia principal las Tablas de Estándares y Normas sobre Vertidos para la Preservación del Recurso Hídrico; contenidas en el Decreto 847/16, del Gobierno de la Provincia de Córdoba.

https://drive.google.com/drive/folders/1Jy1wFb_zIXfgFr-V9_grhRT_Eb1WNQTD

Biodiversidad en humedales artificiales

Laguna de acumulación de pluviales

Se trata de un proyecto realizado en la localidad de Colonia Hugues, Colón Entre Ríos, en donde se construyó una laguna sobre el suelo natural para múltiples usos de 600.000 litros de capacidad (45 m de largo x 8 m de ancho x 2 m de profundidad), entre ellos obtener suelos aptos para realizar levantes para construcciones civiles (galpones, invernaderos, etc.), generar un reservorio de agua pluvial para riego y un ambiente para la biodiversidad. Para su diseño y construcción se utilizó una pequeña laguna existente en el terreno que se encontraba en un punto bajo cercana a un curso de drenaje pluvial. Para ello se dimensiono la laguna con un criterio natural en cuanto a su forma, la profundidad, y respetando la vegetación arbórea existente. La toma de agua se realiza desde la calle del terreno a través de una exclusiva que se coloca en la alcantarilla de entrada al predio y por un canal construido en el suelo se dirige a la laguna desde unos 80 m de distancia.



Imagen 1. Ubicación de los diferentes componentes del sistema.

La salida se realiza por un caño de 30 cm de diámetro que marca el nivel máximo de llenado y luego los excedentes son conducidos a la cañada pluvial, por lo cual el reservorio no interfiere en la escorrentía superficial del terreno natural. Cercana a la salida se encuentra la toma de agua para el riego de un huerto de manzanos que es accionado por una bomba centrífuga. En el fondo de la laguna se dispusieron piedras calcáreas de gran tamaño para generar ambientes propicios para peces, invertebrados y arraigo de plantas acuáticas.



Imágenes 2 y 3. Vistas del llenado de la laguna y con el nivel de diseño.

La laguna se construyó durante el mes de enero de 2018 y se terminó de llenar en mayo de ese año, una vez estabilizado el suelo se comenzó con la plantación gradual de vegetación acuática de especies palustres como el carrizo y totoras, además plantas flotantes como los camalotes y repollitos de agua.

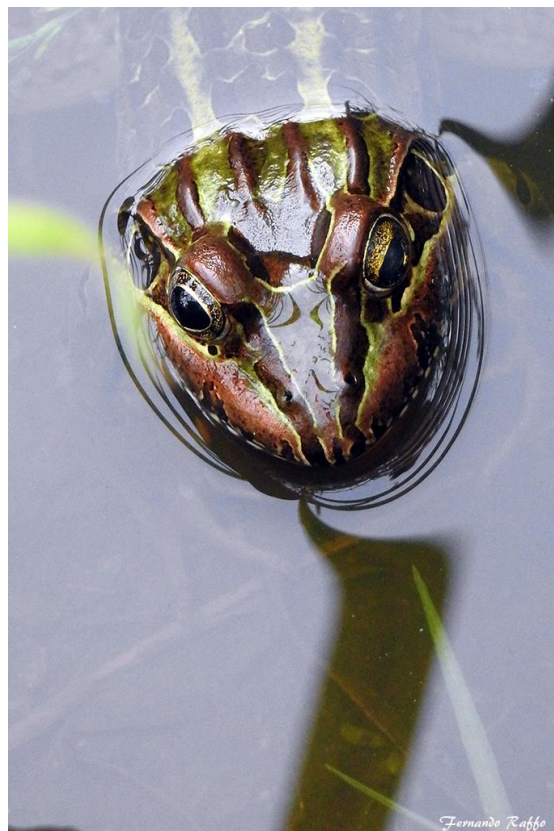
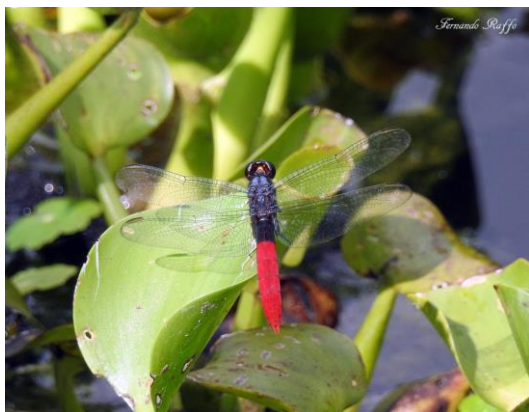


Imagen 4. Vegetalización de la laguna.

Para octubre de 2019, la laguna se hallaba completamente revegetalizada con las especies implantadas y otras de crecimiento espontáneo que se desarrollaron en comunidad como la redondita y lentejas de agua. En determinadas épocas del año se tuvo que realizar un manejo para controlar el crecimiento exponencial de los camalotes y repollitos que fueron utilizados como sustratos para los frutales una vez estabilizados a través del apilado y compostaje.

A medida que fue pasando el tiempo se incorporaron nuevas especies como juncos, camalote grande (*Pontederia cordata*) y achiras silvestres (*Thalia geniculata*).

Esto posibilitó el desarrollo de una biodiversidad de insectos acuáticos, invertebrados, anfibios y peces en una primera etapa, entre los que se destacan ranas, sapos, caracoles de agua dulce, anguilas, tarariras y variedad de mojarras.



Imágenes 5; 6 y 7. Vista de Libélulas y una Rana Criolla (*Leptodactylus luctator*).

En cuanto a la vegetación de árboles y arbustos en el predio existían las siguientes especies: Espinillo (*Vachellia caven*), Ñandubay (*Prosopis affinis*), Molle (*Schinus longifolius*), Tala (*Celtis tala*), Coronillo (*Scutia buxifolia*), Cina cina (*Parkinsonia aculeata*) y Ceibillo (*Sesbania virgata*).

Como una oportunidad para aumentar la biodiversidad aprovechando la generación de un nuevo ambiente se decidió incorporar nuevas especies nativas adaptadas para humedales, entre las que podemos nombrar a: Ceibo (*Erythrina crista galli*), Ubajay (*Eugenia myrcianthes*), Curupi (*Sapium haemathospermum*), Laurel de Monte (*Nectandra angustifolia*), Sauce Criollo (*Salix humboldthiana*), Inga (*Inga uruguayensis*), Palo Fierro (*Myrrhinium atropurpureum*), Palo Amarillo (*Terminalia australis*), Sarandi (*Phyllanthus spp.*), Mataojo (*Pouteria salicifolia*), Mataojo colorado (*Pouteria gardneriana*), Sangre de Drago (*Croton urucurana*) y Chal chal (*Allophylus edulis*) entre otras especies.



Imágenes 8 y 9. Flores de Sangre de Drago y Ceibo.

A medida que se fueron estabilizando y acrecentando las comunidades vegetales la biodiversidad fue en aumento, detectándose a partir de 2021 una familia de Ratas de Agua (*Holochilus brasiliensis*) que se estableció y pudo reproducirse y Tortugas Pintada (*Trachemys dorbigni*), que se establecen por temporadas y en este año una hizo su nido en el suelo y puso sus huevos. Ocasionalmente también se observaron Coipos o Nutrias (*Myocastor coypus*) que se desplazan por la cañada pluvial entre diferentes cuerpos de agua.



Imagen 10. Tortuga pintada desovando y rata de agua.

La avifauna del lugar también se ha visto acrecentada desde el establecimiento de la laguna, ya que posibilitó la visita de muchas especies que anteriormente no se habían observado en el predio, aumentando la posibilidad del sembrado de especies de moluscos, crustáceos y peces cuyos huevos viajan pegados en las patas de las aves y son trasladados desde diferentes cuerpos de agua.

Tabla N° 14. Diferentes especies de aves que visitan la laguna. Elaboración propia

Garcita Azulada (<i>Butorides striatus</i>) Se observa sola o en pareja, es arisca y muy nerviosa, mide entre 35 a 40 cm de altura. Se alimenta de ranas, insectos acuáticos, anfibios y peces. Habita en lagunas, bañados, islas, ríos y arroyos.	
Garza Bruja (<i>Nycticorax nycticorax</i>) Se observa sola o formando pequeños grupos, es de hábitos nocturnos, mide entre 60 a 65 cm de altura. Se alimenta de peces (mojarras, anguilas), insectos acuáticos y renacuajos. Habita en esteros, lagunas, islas y orillas de ríos.	
Hoco Colorado (<i>Trigrisoma lineatun</i>) Se observa solo de movimientos lentos y silenciosos, difícil de ver, mide entre 70 a 76 cm de altura. Se alimenta de peces, anguilas, crustáceos, insectos y cangrejos. Habita en lagunas arboladas, bañados, juncuales y carrizales.	

Chiflón
(*Syrigma sibilatrix*)

Se observa en pareja o en grupos, su voz es similar a un silbido de tren, mide entre 50 a 55 cm de altura.

Se alimenta de ranas, sapos, insectos acuáticos, anfibios y peces.

Habita en lagunas, bañados, ríos y áreas rurales.



Tuyuyú
(*Mycteria americana*)

Se observa solo o en grupos, vuela a mucha altura en círculos, mide entre 95 a 102 cm de altura.

Se alimenta de, insectos, peces, anfibios y culebras.

Habita en humedales, esteros, lagunas y bañados.



Pato Cutirí
(*Amazonetta brasiliensis*)

Se observa en pareja o en pequeños grupos, tiene un vuelo bajo y veloz, mide entre 38 a 44 cm de altura.

Se alimenta de semillas, vegetales, insectos y moluscos.

Habita en lagunas, esteros, bañados, cañadas, arroyos y ríos.



Pato Barcino
(*Anas flavirostris*)

Se observa en pareja o en pequeños grupos, construye el nido en el suelo cerca del agua, mide entre 35 a 45 cm de altura.

Se alimenta de semillas, vegetales, crustáceos y algas.

Habita en humedales, lagunas, esteros, cañadas, arroyos y ríos.



Jacana
(*Jacana jacana*)

Se observa sola o en pareja, camina sobre la vegetación acuática, mide entre 21 a 25 cm de altura.

Se alimenta de insectos, invertebrados y semillas.

Habita en, lagunas, esteros y bañados.



Carao
(*Aramus guarauna*)

Se observa solo o en pareja, su vuelo es brusco y emite un grito fuerte, mide entre 60 a 70 cm de altura.

Se alimenta de insectos, caracoles, crustáceos, anfibios y reptiles.

Habita en, humedales, lagunas, arroyos y ríos con vegetación circundante.



Caracolero
(*Rostrhamus sociabilis*)

Se observa solo o en grupos, se posa en ramas cerca del agua, su vuelo es lento, mide entre 43 a 45 cm de altura.

Se alimenta preferentemente de caracoles de agua dulce.

Habita en, humedales, bañados, lagunas, esteros y charcas.



Taguato
(*Buteo magnirostris*)

Se observa solo, se posa en postes o en ramas cerca del agua y caminos, mide entre 33 a 37 cm de altura.

Se alimenta de roedores, reptiles, anfibios y peces.

Habita en montes, arboledas cerca de bañados y caminos.

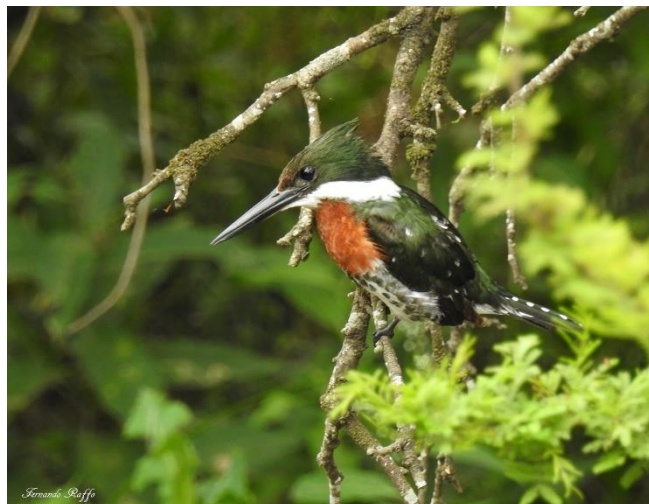


Martin Pescador Chico
(*Chloroceryle americana*)

Se observa solo, o en pareja, se posa en postes o en ramas cerca del agua, mide entre 20 a 22 cm de altura.

Se alimenta de peces.

Habita en orillas de ríos, arroyos, bañados y lagunas.



Más allá de todo lo mencionado en cuanto a los diferentes usos de la laguna entre los que podemos mencionar a su aporte a la mejora de la biodiversidad, su utilización como reservorio de agua para riego y un retentor de los excedentes pluviales que ayuda a disminuir el efecto de la erosión en el cauce por las tormentas intensas, no es menor que si se utilizan criterios de paisajismo en su diseño y se agregan pequeñas infraestructuras para su aprovechamiento también se transforma en un espacio para el esparcimiento, la contemplación de la naturaleza, la educación ambiental entre otros usos que son complementarios a los anteriormente mencionados.





Imágenes 10 a 14. Vistas actuales de la laguna.