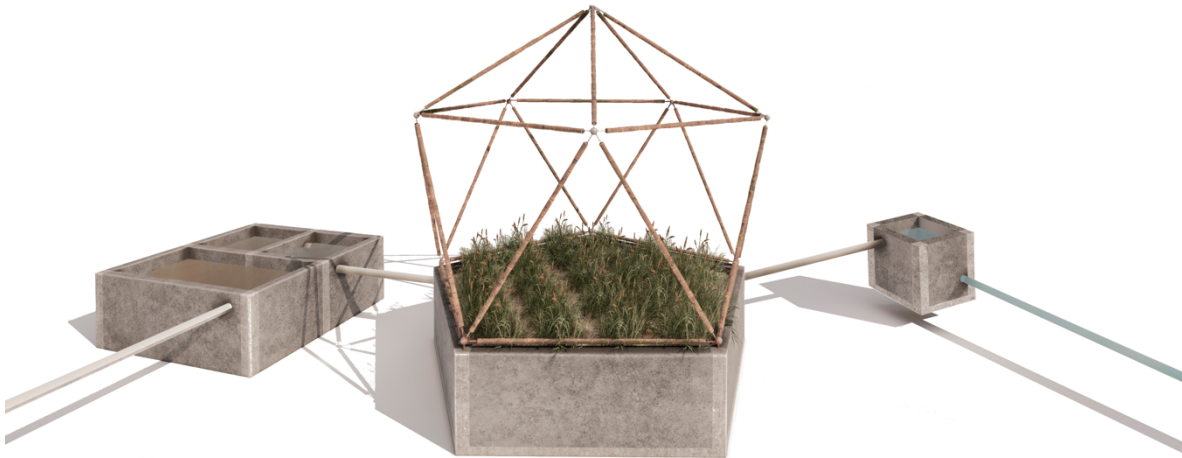


Tratamiento de las aguas residuales domésticas:

soluciones basadas en la naturaleza

Integrables en los edificios



Dino Raffo

Marzo 2024



**Politecnico
di Torino**

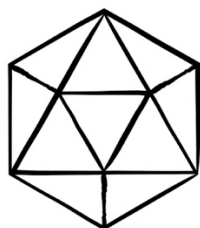
Ingeniería en obras de Arquitectura

A.a. 2019/2020

Tesis

Tratamiento de las aguas residuales domésticas:

**soluciones basadas en la naturaleza
aplicables en los edificios**



Relator:

Paolo Piantanida

Candidato:

Dino Raffo

Este texto está dedicado a todos los que alguna vez sintieron
la responsabilidad de la co-creación de la realidad

A mi hermano gemelo
mi grupo de estudio
mi hermana
mis padres
mi Ángel
mi tío

mar

Abstract

Este trabajo se presenta como un **manual técnico** para la construcción de Biofiltros, para el **tratamiento de las aguas residuales** domésticas, a partir de soluciones basadas en la naturaleza que se utilizan desde hace mucho tiempo en todo el Planeta.

Se evidencian las ventajas de la utilización de estos sistemas en **edificios** y se da a entender su uso a escala urbana e industrial.

Se destacan las limitaciones de optar por este método de tratamiento y se proponen distintas **soluciones** para integrarlos en los edificios existentes.

Se añade la propuesta de utilizar como aditivo a los EM, una sorprendente biotecnología japonesa.

Se comentan otros casos en los que se utiliza **biotecnología** para depurar el agua.

Se hacen **propuestas arquitectónicas** que refuerzan el mensaje.

Y se concluye con un análisis filosófico de **la importancia del agua**.

Índice

Abstract	3
Introducción	5
1. Contaminantes	6
2. Humedales Artificiales	8
3. Sistema	11
3.1. Sistema Primario	17
3.2. Sistema Secundario	21
3.3. Sistema Terciario	32
3.3.1. Reutilizo del agua	32
3.3.2. Infiltración	32
4. Limitaciones de Espacio y posibles Soluciones	37
4.1. Lodos Activados	37
4.2. Techos Verdes	38
5. Soluciones a Gran Escala	40
6. Los beneficios de usar EM	42
6.1. En el tratamiento de aguas residuales	43
6.2. En la regeneración de aguas contaminadas	44
7. Otras aplicaciones de la Tecnología	46
6.1. BioPiscinas	46
8. Integraciones y Propuestas Arquitectónicas	48
9. Algunas reflexiones sobre el agua	54
Apéndice	56
Bibliografía	58

Introducción

Mi motivación para escribir es la de escalar y dar a conocer una manera de limpiar las aguas. Que es la manera más eficiente, económica e intuitiva.

El objetivo es reducir el impacto ambiental producido por las aguas residuales de los seres humanos.

Que el agua se trate de manera correcta antes de devolverla a su ciclo natural.

Para evitar devolverla contaminada, impactando así al ciclo en su totalidad.

Es un problema de falta de conciencia social, que nos involucra a todos desde nuestro elemento principal, el Agua.

Hoy en día se estima que sólo el 20% de nuestras aguas residuales se trata de manera correcta antes de devolverlas al ciclo natural, y hasta un 4% en países en desarrollo, según los parámetros establecidos en las pocas normativas existentes.¹

Significa que el 93% de la agua que utilizamos, la estamos devolviendo contaminada.

Si consideramos el agua doméstica, con una media de 200 litros utilizados por habitante al día, en las aglomeraciones más densas, se torna en un problema ambiental de impacto sobre el agua y un desperdicio significativo de aguas que, con un correcto tratamiento, se les puede dar un segundo uso.

Esta es una oportunidad de tratar nuestras aguas residuales a escalas arquitectónicas mediante obras simples, inspiradas en el poder de la naturaleza de auto limpiarse, respetando los tiempos y el espacio que ella requiere.

Tecnología

Los responsables de descomponer y cerrar el ciclo de los contaminantes presentes en nuestras aguas residuales son principalmente agentes biológicos. Microorganismos y plantas, que trabajando en conjunto reproducen los procesos naturales más eficientes para este fin. Al combinar esta **biotecnología con obras arquitectónicas e hidráulicas simples**, se la utiliza de la manera más conveniente posible. Pudiendo asegurar mediante cálculos simples, los parámetros de los contaminantes a la salida del sistema.

El sistema puede dividirse en 3 etapas o tipos de tratamiento:

Tratamiento primario

El tratamiento de las aguas residuales inicia con la disolución y la dilución de la carga orgánica en el agua, trabajo realizado por las bacterias anaeróbicas, que se desarrollan en ausencia de oxígeno.

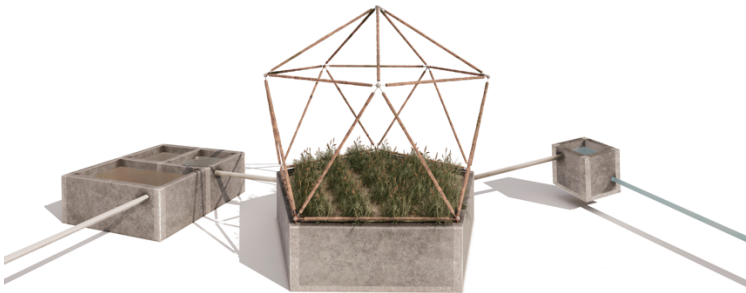
Por lo que se debe materializar un recipiente estanco y aislado del oxígeno, como pueden ser las cámaras sépticas convencionales.

Tratamiento secundario

Luego, para cerrar el ciclo de los contaminantes, debemos transformarlos en otra cosa, es aquí donde necesitamos de bacterias aeróbicas, que actúan en presencia de oxígeno. Estas bacterias se concentran en la zona rizósfera y transforman los contaminantes en nutrientes para las plantas. Materializado mediante humedales artificiales o biofiltros.

Tratamiento terciario

El Agua pasa limpia a un sistema de infiltración en el terreno, como puede ser un pozo de absorción o una sangría. O bien puede almacenarse en una cisterna para reúso.



1. Contaminantes

Las aguas residuales domésticas contienen varios contaminantes que, de no tratarse correctamente, pueden afectar a nuestra salud y a la calidad del ambiente que habitamos.

Entre estos contaminantes encontramos:

Microorganismos patógenos: como bacterias, virus, parásitos, causantes de enfermedades como la hepatitis, el cólera, la diarrea, la giardiasis, etc.

Materia orgánica: como materia fecal, papel higiénico, restos de comida, jabones y detergentes, consumiendo el oxígeno del agua y produciendo olores desagradables.

Nutrientes: principalmente nitrógeno y fósforo, que favorecen el crecimiento excesivo de algas y hierbas acuáticas en arroyos, ríos y lagunas.

Otros contaminantes, como aceites, ácidos, pinturas, disolventes, drogas, etc., alteran el ciclo de la vida acuática.

La mayor dificultad que tenemos en relación con la contaminación del agua procedente de las aguas residuales domésticas es el exceso de nutrientes. En las aguas residuales domésticas tenemos un aporte de nutrientes procedente tanto de los efluentes humanos como de los detergentes utilizados.

El exceso de nutrientes en el agua representa un impacto especialmente en cuerpos de agua lénticos, como lagos o arroyos de bajo caudal, lo que produce un fenómeno comúnmente llamado eutrofización, que es una respuesta natural a este problema en el que se genera la reproducción de algas, como las **cianobacterias**, lo que significa un impacto ambiental, pero que a su vez tienen la capacidad de producir microcistina, una hepatoxina que puede causar trastornos gastrointestinales a corto y largo plazo. Lo que supone **un problema de salud pública**.

Este exceso de nutrientes no puede ser eliminado por los sistemas de tratamiento convencionales.

Un claro ejemplo de este problema es la contaminación del agua de mi querida ciudad de Córdoba, Argentina, donde el 70% del agua potable proviene del **Lago San Roque**, un lago donde desembocan las aguas de todo el Valle de Punilla, que reúne un total de 16 municipios y 9 comunas, y es una zona montañosa donde no hay grandes extensiones de tierras agrícolas o de cultivo. Por lo tanto, los aportes de nutrientes que recibe el lago provienen principalmente de las aguas residuales domésticas, en particular de las aguas servidas de la ciudad de Villa Carlos Paz, una de las ciudades más turísticas de la Argentina, con una población que se está acercando a los 100 mil habitantes permanentes en los últimos años y que puede cuadruplicarse durante la temporada turística. Esta ciudad está situada directamente en la orilla sur del lago.

La floración de cianobacterias en la superficie del lago alcanzó niveles de hasta el 66% de la superficie.



Figura 1. Valle de Punilla, Córdoba, Argentina. Google Maps.



Fig. 2. Captación de agua en el lago San Roque, Argentina, Marzo de 2022. THE WAVE ORG.[7]

Entre los parámetros utilizados para evaluar la concentración de contaminantes en nuestras aguas residuales se encuentran los **coliformes**, principalmente de origen fecal, que son patógenos y pueden provocar graves enfermedades gastrointestinales si se ingieren, lo que supone un riesgo para la salud pública. Además, el crecimiento excesivo de bacterias coliformes puede contribuir al fenómeno de la eutrofización, un proceso que agota el oxígeno disuelto debido al aumento de la actividad bacteriana.

Esto nos hace reflexionar sobre otro indicador importante, la **DBO5** (Demanda Biológica de Oxígeno, en un periodo de 5 días), una medida de la cantidad de oxígeno disuelto que necesitan los microorganismos aeróbicos para descomponer la materia orgánica del agua.

Para entender este indicador, debemos pensar que el agua funciona de manera análoga al aire. Imaginando miles de personas en un espacio reducido, donde todas necesitan oxígeno para respirar, cuando el oxígeno disuelto en el aire se agota, el aire se "asfixia" y, en consecuencia, también las personas.

Lo mismo ocurre en el agua, cuanto mayor es la carga orgánica presente en nuestras aguas, mayor es la cantidad de bacterias que se alimentan de esta carga orgánica y se reproducen, bacterias que demandan oxígeno. Y, cuando se alcanza el límite, el agua se queda sin oxígeno (hipoxia) y "muere", y, en consecuencia, toda la vida acuática.

Además de la DBO5 tenemos la **DQO** (Demanda Química de Oxígeno), que cubre este efecto de una gama más amplia de compuestos orgánicos, tanto biodegradables como no biodegradables.

Por otro lado, hay que tener en cuenta la cantidad de **sólidos en suspensión** y de **grasas** y aceites en nuestras aguas residuales.

En general, los parámetros presentes en las aguas residuales domésticas, y los que utilizaremos como punto de partida, a reducir en nuestros sistemas de depuración, son los siguientes:

Parámetros	Unidad	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 los efluentes. Valores adaptados de Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. METCALF & EDDY, INC.[3]

Es necesario tener en cuenta también los distintos contaminantes emergentes.

Según lo compartido en el Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua:

"Entre los 118 productos farmacéuticos monitoreados en los afluentes y efluentes de tratamiento de aguas residuales convencionales, casi la mitad se eliminaron solo parcialmente con una eficiencia de menos del 50% (UNESCO / HELCOM, 2017). Los estudios han demostrado que los humedales construidos pueden ofrecer una solución alternativa para la remoción de los contaminantes emergentes de las aguas residuales domésticas y, por lo tanto, complementan de manera eficaz los sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales. La efectividad de los humedales construidos para eliminar diversos productos farmacéuticos se ha demostrado en Ucrania (Vystavna et al., 2017; UNESCO, de próxima publicación) (Cuadro 3.3), así como en otros estudios piloto (Matamoros et al., 2009; Zhang et al., 2011) y a gran escala (Vymazal et al., 2017; Vystavna et al., 2017). Estos resultados sugieren que, para algunos de estos contaminantes emergentes, las SbN funcionan mejor que las soluciones grises y en algunos casos pueden ser la única solución."[1]

Es esencial entender que **el principal problema de nuestras aguas residuales es el exceso de nutrientes, que son perjudiciales para el agua pero beneficiosos para las plantas**, y aquí es donde entran en juego las soluciones basadas en la naturaleza.

2. Humedales Artificiales

Para limpiar nuestras aguas, es esencial comprender cómo la naturaleza limpia todas sus aguas.

Si observamos los procesos naturales que tienen lugar en **los ríones del planeta**, los humedales, comprendemos que los responsables de la descomposición de los contaminantes en el agua son diminutos organismos, denominados en conjunto microorganismos, que en conjunción con las plantas acuáticas consiguen transformar y cerrar el ciclo de los contaminantes.



Fig. 3. Humedal Natural. THE WAVE ORG. [7]

Los humedales son complejos ecosistemas acuáticos compuestos por vegetación y una diversidad de especies y microorganismos especialmente adaptados a estas condiciones ambientales.

Los humedales proporcionan una amplia gama de servicios ecosistémicos, como la regulación del ciclo del agua, la protección contra inundaciones, la biodiversidad y la filtración y fijación de contaminantes. Es esta última en la que estos organismos, junto con procesos físicos, químicos y biológicos son **capaces de depurar el agua**, eliminando grandes cantidades de materia y productos contaminantes.

Es por esto que se aprovecha la gran capacidad depuradora de los humedales diseñando instalaciones capaces de reproducir las características de estos sistemas y aplicándolas al tratamiento de las aguas residuales.

Son los sistemas diseñados para imitar las características y procesos (físicos, químicos y biológicos) de un humedal natural **los comúnmente conocidos como "Humedales Artificiales"** o "Humedales Construidos" (Wetlands).

El rol del ingeniero o arquitecto será, entonces, el de coadyuvante que, mediante obras arquitectónicas e hidráulicas simples, crea los canales que permiten a estos microorganismos desarrollarse de la manera más eficiente posible.

Los **humedales artificiales** son soluciones basadas en la **naturaleza** en las que se recrean ciertas condiciones similares a las de los humedales naturales, utilizando los procesos de fitorremediación o **fitodepuración para limpiar nuestras aguas**.

También llamados biofiltros, son sistemas diseñados para imitar las características y procesos (físicos, químicos y biológicos) de un humedal natural.

Los humedales artificiales, al igual que los naturales, pueden reducir una amplia gama de contaminantes del agua, como:

- ~ sólidos suspendidos,
- ~ DBO,
- ~ DQO,
- ~ nutrientes, como fósforo, nitrógeno y potasio,
- ~ metales pesados,
- ~ agentes patógenos y
- ~ otras sustancias químicas.

La eliminación se produce a través de una serie de procesos, entre ellos:

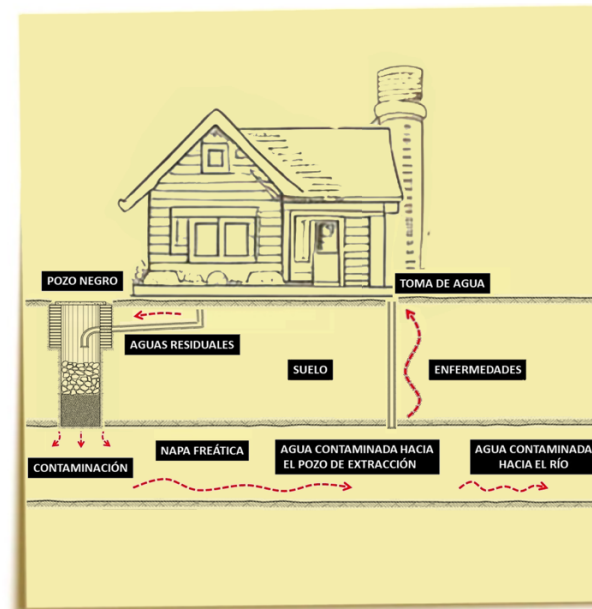
- ~ sedimentación,
- ~ filtración,
- ~ metabolismo microbiano (aeróbico y anaeróbico),
- ~ absorción y respiración de las plantas.

La principal diferencia entre un humedal natural y uno artificial es que este último permite **tratar las aguas residuales según diseños basados en objetivos específicos de calidad del efluente**.

Los humedales artificiales se utilizan como sistemas secundarios de tratamiento de aguas residuales.

La implementación de estos sistemas de tratamiento secundario **es esencial para alcanzar los parámetros de vuelco recomendados por las normativas**, para no producir un impacto negativo en los cuerpos hídricos cercanos. En primer lugar, la de la napa freática subterránea, de la que obtenemos el agua para el uso.

Cuanto más cerca esté la napa freática de la superficie, mayor será el riesgo de contaminación si devolvemos nuestras aguas residuales sin el tratamiento adecuado.



Diseño 1. Contaminación de nuestras aguas subterráneas. (Del autor)

Los humedales son sistemas secundarios en un **sistema completo de tres etapas**, acompañado de un tratamiento primario esencial para eliminar los sólidos y un sistema terciario de infiltración o almacenamiento del agua para reúso.

Sus principales ventajas son:

- Tienen **claras ventajas económicas**, por sus bajos costos de construcción, mantenimiento y un consumo de energía reducido o nulo.
- Tienen **excelentes rendimientos depurativos**, especialmente para parámetros como DBO, DQO, sólidos suspendidos, carga bacteriana y Nitrógeno.
- Tienen un **funcionamiento sencillo**.
- **Óptima oxigenación del agua** tratada.
- **Óptima integración paisajística**.
- **Recalificación ambiental** de los sitios degradados.
- Oportunidad de **reutilización de las aguas** tratadas y la biomasa, desarrollando la lógica del **reciclaje**, cerrando el ciclo de algunos nutrientes, como el Nitrógeno y el Fósforo.
- Posible **construcción modular por etapas de crecimiento**.
- Óptima solución para **cargas hidráulicas variables**.



Fig. 4. Humedal de tipo subsuperficial combinado con un humedal de tipo superficial, con un acabado de hormigón visto. TIM Technologies.

Su principal desventaja es que **requieren de mayor superficie** que otros sistemas. Siendo este el factor económico principal a considerar. Comparando el precio del metro cuadrado, junto con los de construcción y mantenimiento. Analizando estos últimos a mediano y largo plazo teniendo en cuenta la vida útil de estos sistemas.

Generalmente, siempre termina siendo más económico un humedal artificial. Tanto en inversión inicial, como el análisis económico a lo largo de la vida útil de estos sistemas.

Es principalmente su fácil mantenimiento lo que hacen que este tipo de soluciones sean tan atractivas. En comparación a la dificultad y alto costo de mantenimiento de otros sistemas, como losos activados.

Los humedales artificiales son **soluciones óptimas**. Optando siempre por esta opción mientras las condiciones del proyecto lo permitan.



Fig. 5. Humedal de tipo subsuperficial combinado con un humedal de tipo superficial, con un acabado de hormigón visto. TIM Technologies.

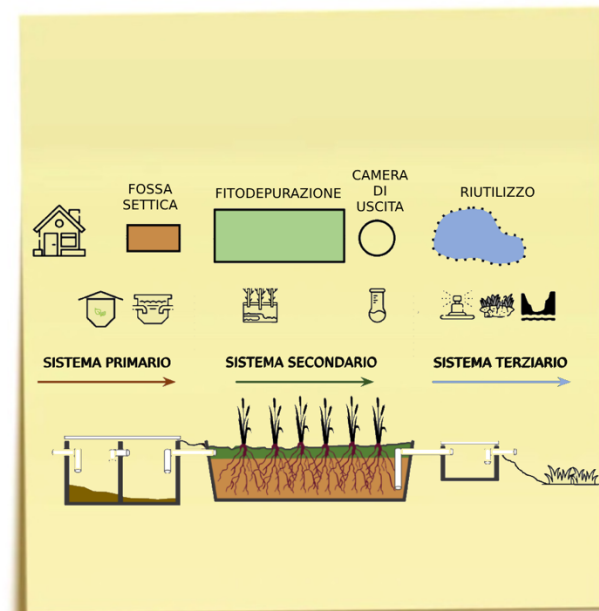
3. Sistema

Cuando hablamos de un sistema de tratamiento, nos referimos a una suma de componentes que en conjunto darán **solución al problema**. Para cada uno de estos componentes existirán varias alternativas técnica y ambientalmente correctas, desarrollando aquellas que, según el criterio del autor, sean las más adecuadas, de forma que el resultado sea sostenible.

¿Qué se entiende por sostenible?

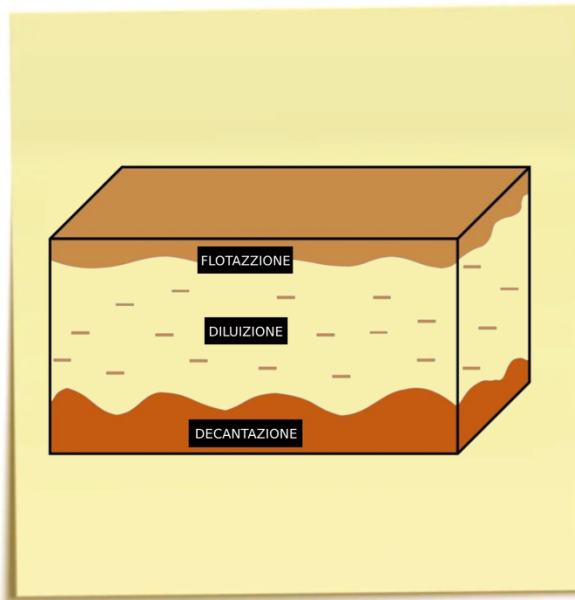
- ~ **Adaptadas al medio ambiente:** deben utilizar recursos renovables y no superar la capacidad de carga de los ecosistemas en los que se materialicen.
- ~ Adecuadas **a su función:** debe resolver el problema en cuestión de modo eficiente.
- ~ Apropriadas para **las personas:** deben ser de **bajo costo**, fáciles de usar y mantener, sencillos de entender y reproducibles a escala local.

El sistema constará de **tres componentes** bien definidos, que aplicarán distintos procesos de tratamiento en cada etapa.



Dis. 2. Sistema de tratamiento.

Desde un punto de vista físico, las sustancias que influyen en el estado natural del agua en el efluente pueden presentarse de la siguiente manera: sustancias que flotan, sustancias que se sedimentan, sustancias que se diluyen.



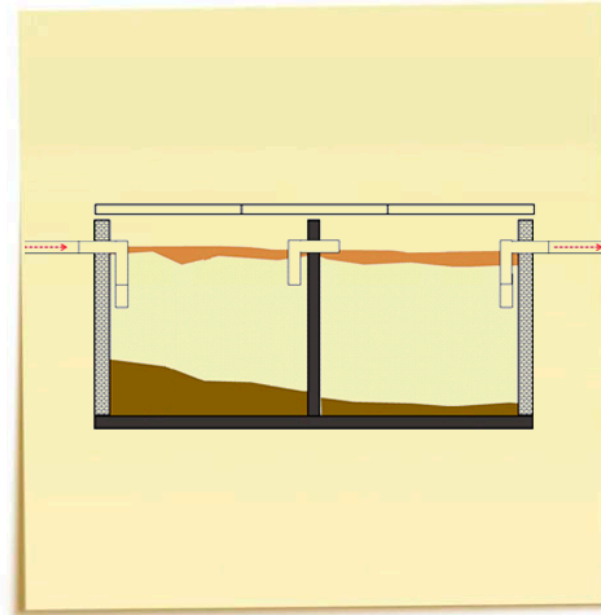
Dis. 3 Estado de los contaminantes en el efluente.

Para tratar adecuadamente el efluente, en estos tres estados de las sustancias, necesitaremos sistemas diferentes.

Sistema Primario

El tratamiento de las aguas residuales comienza, previo al ingreso al humedal, con **disolver y diluir la carga orgánica en el agua**, trabajo realizado por **bacterias anaeróbicas en las cámaras sépticas** (sistema primario), un sistema de cámaras de cierto volumen que se encuentran aisladas del oxígeno.

Parte de los contaminantes sólidos sedimentan en esta primera etapa, pero gran parte queda todavía disuelta en el agua, es hasta este punto donde en general, por usos y costumbres, termina el tratamiento, solo porque la ausencia de los sólidos grandes permite que no se tapen los sistemas terciarios de infiltración.



Dis. 4. Cámaras Sépticas (Sistema Primario)

Todo sistema primario de tratamiento anaeróbico genera un residuo en forma de lodo, que sedimenta en el fondo. En la extracción de estos lodos consta el **mantenimiento** de estos sistemas. En el caso de las cámaras sépticas, esta extracción se realiza en un período de 3 a 5 años o más, dependiendo las dimensiones de la misma y el uso de agua en el sistema.

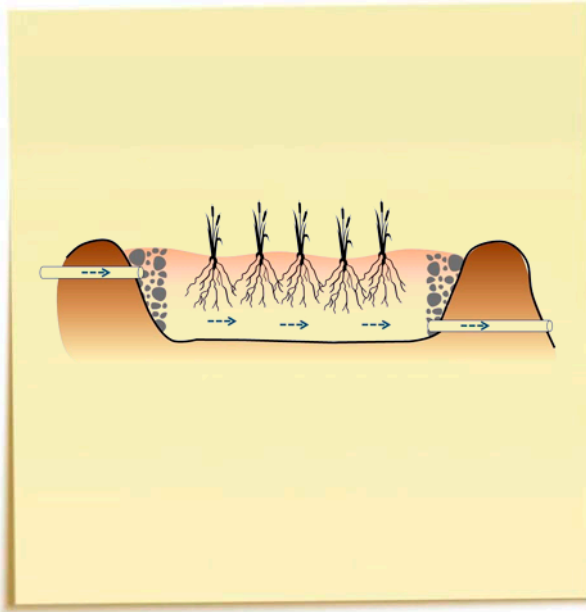
Otro sistema primario de tratamiento muy usado actualmente son los biodigestores comerciales, que logran un tratamiento primario análogo al de las cámaras sépticas. Su diferencia está principalmente en su sistema de extracción de lodos, que se produce de manera manual y con mayor frecuencia.

En nuestros proyectos, por cuestiones económicas y de diseño, siempre terminamos optando por cámaras sépticas.

Es esencial entender que **gran parte de los contaminantes continúan disueltos en el agua**, en cantidades que no cumple con los parámetros establecidos por las normativas.

Para quitar los contaminantes del agua es necesario transformarlos en otra cosa, es aquí donde son necesarios los sistemas secundarios. Ya que en este caso **lo que es malo para el agua, es bueno para las plantas**.

Sistema Secundario



Dis. 5. Humedal Artificial de flujo Subsuperficial

El sistema secundario se encarga de cerrar el ciclo de la carga orgánica diluida, mediante un humedal artificial, o **biofiltro**.

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 sostén 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**.

Las **bacterias** predominantes en los humedales son las **facultativas**, que pueden vivir con y sin la presencia de oxígeno, y las **aeróbicas**, que necesitan el oxígeno para sobrevivir. Que son las encargadas de transformar los contaminantes en nutrientes para las plantas.



Fig. 6. Humedal Artificial casa unifamiliar en Bosque Pequeño, con carrizo.
Ing. Fernando Raffo.

De esta manera, **los contaminantes terminan transformados en plantas**, mientras que **el agua pasa limpia** a su ciclo natural, un sistema terciario de infiltración, o un sistema para reúso.

Sistema terciario

Una vez tratadas nuestras aguas residuales, toca ver a donde las dirigimos. Para ello, tenemos distintas opciones por las que optar.

Reúso de las aguas tratadas

Por un lado, podemos reutilizar estas aguas tratadas para riego de áreas verdes u otros usos. Esto se puede realizar de distintas maneras, ya sea en automático o de manera manual por personal de mantenimiento. Dependiendo la cantidad de agua y los espacios verdes a regar, se diseña el sistema de reúso.

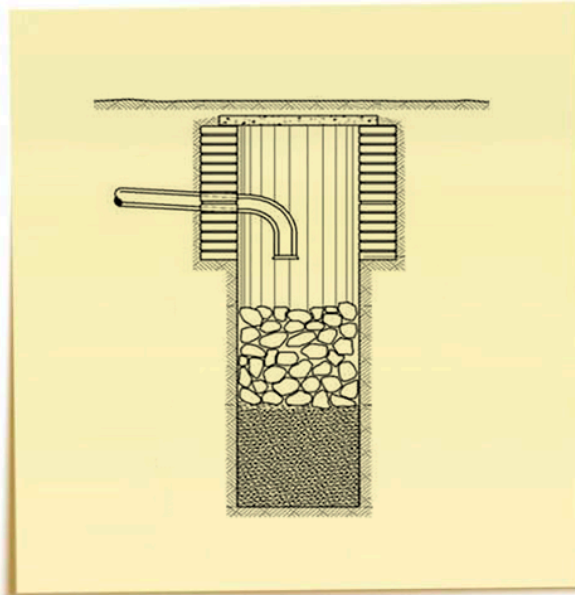
Siempre es conveniente que estos sistemas tengan un rebalse que dirija estas aguas a un sistema de infiltración en caso que no se utilice la totalidad de las aguas tratadas.

Sistema de infiltración

Estos sistemas, se encargan de infiltrar las aguas ya tratadas en el terreno. Esto se realiza mediante una superficie entre este sistema y el terreno, por la cual el suelo pueda absorber el agua.

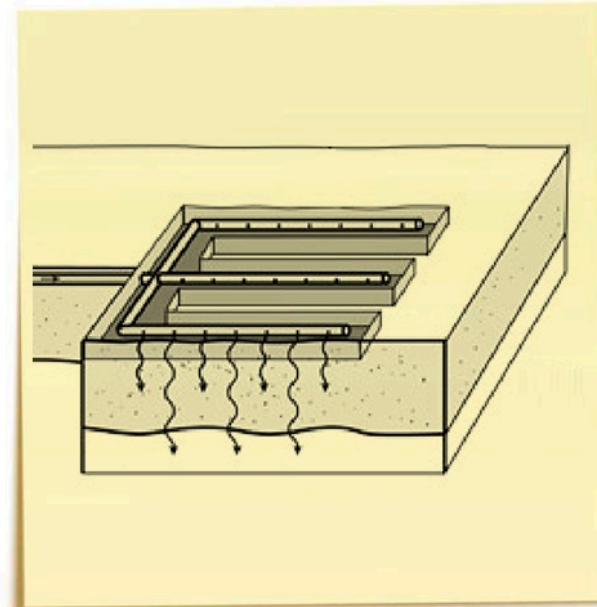
Para un correcto dimensionamiento del sistema, debe realizarse un estudio para analizar la capacidad de absorción del suelo.

Estos sistemas se materializan mediante pozos de absorción, los cuales son perforaciones cilíndricas en el suelo con un diámetro y una profundidad determinada por la cantidad de agua a tratar y la capacidad de absorción del suelo.



Dis. 6. Pozo de infiltración (sistema terciario)

O también mediante canales o zanjas de infiltración.



Dis. 7. Canales de infiltración (sistema terciario)

En el caso de tener una distancia prudente a las aguas subterráneas, y de no reutilizar las aguas tratadas, **el optar por un sistema de infiltración nos puede reducir las dimensiones del sistema secundario de tratamiento.** Ya que las normativas ambientales que regulan el vertido de las aguas, exigen valores de contaminantes distintos para el reúso (o vuelco directo) o para devolverlas mediante infiltración.

Diseño

Para el diseño del sistema, el parámetro de cálculo hidráulico será el caudal, expresado en **litros de efluente generados por habitante al día**. Este valor se fijará en **225 litros/día** y se refiere al suministro de agua potable sugerido por la OMS de 200-250 litros por habitante y día. En ningún caso podrá ser proyectado con un caudal inferior a 600 litros/día por vivienda.

También es importante conocer la caracterización fisicoquímica y bacteriológica de las aguas residuales domésticas. La tabla del primer capítulo enumera los parámetros de proyecto con sus valores medios expresados en las unidades correspondientes, lo que nos ayudará a evaluar los objetivos de tratamiento para que nuestros efluentes no tengan un impacto negativo en el agua.

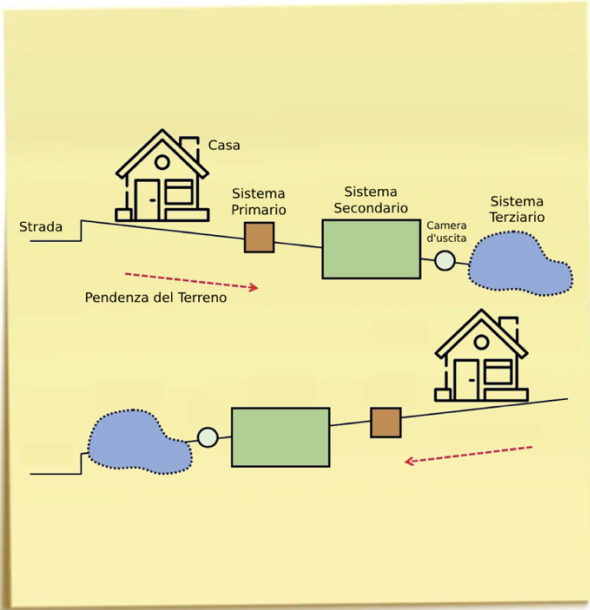
Parámetros	Unidad	Valor Medio
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)5	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	500
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	100.000
Coliformes totales	NMP/ 100ml	1.000.000
Solidos sedimentables en 2 h.	ml/l	10
Aceites y grasas (SSEE)	mg/l	100
Fósforo total	mg/l	15
Nitrógeno total	mg/l	60

Tabla 1 Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de los efluentes. Valores adaptados de Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. METCALF & EDDY, INC.[3]

Ubicación General

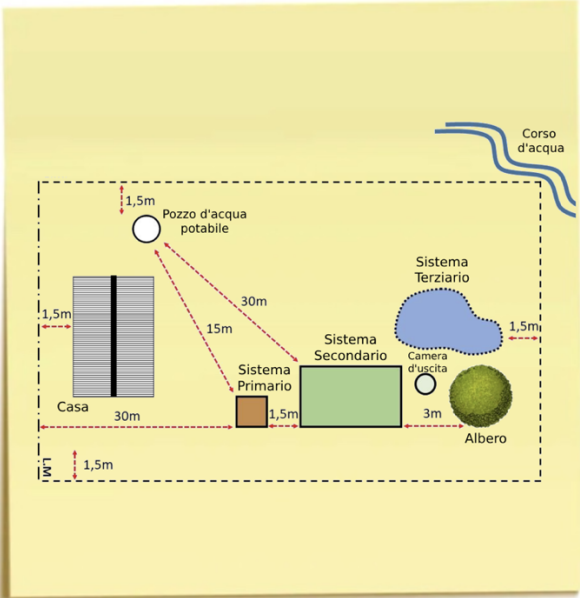
Estos sistemas pueden colocarse de diferentes maneras, con los componentes juntos o por separado, en función de la forma y el nivel del terreno, la ubicación de la vivienda, las limitaciones establecidas por la normativa local, como distancias a medianeras, retiros frontales, etc.

Como criterio general, se recomienda que los sistemas se coloquen en **la parte más baja** del terreno, para que puedan funcionar por gravedad sin necesidad de bombas. Hay que procurar que la escorrentía superficial (agua de lluvia) no se infiltre ni sobrepase los componentes del sistema.



Dis. 8. Posición de los distintos componentes del sistema en relación con el edificio.

El sistema primario debe colocarse lo más cerca posible de la vivienda para evitar tuberías muy largas, ya que el efluente bruto tiene un alto contenido en sólidos que pueden sedimentarse. Hay que tener en cuenta que estos sistemas requieren un mantenimiento anual, por lo que hay que llevar un vehículo (camión atmosférico) para retirar los lodos. Para ello, es necesario dejar un pasillo de tres metros de ancho o, en todo caso, a no más de 30 metros de la calle, que es la distancia que suelen alcanzar las tuberías de los camiones de aspiración.



Dis. 9. Posición en planta de los distintos componentes del sistema en relación con el terreno.

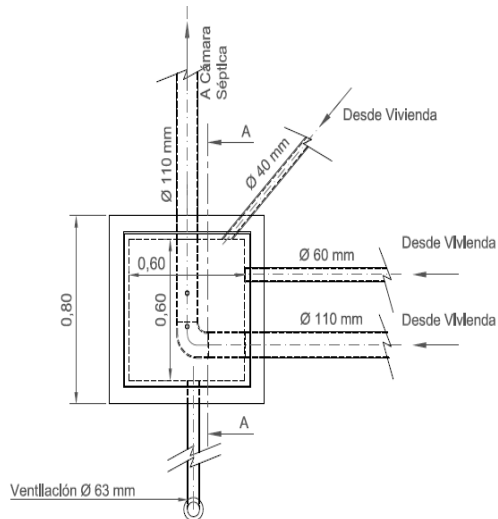
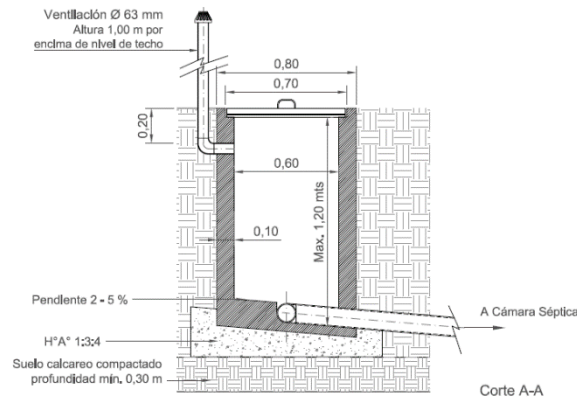
Se aconsejan las distancias indicadas en la siguiente tabla.

DISTANCIA MINIMA DE SEGURIDAD ACONSEJADA		
DISTANCIA DE:	CAMARAS SEPTICAS	SISTEMA DI INFILTRACIÓN
Edificación	1,50 m	1,50 m
Límites de la propiedad	1,50 m	1,50 m
Arboles de gran tamaño	3,00 m	1,50 m
Calles	1,50 m	1,50 m
Línea comuna (camión atmosférico)	30 m	1,50 m
Curso de agua existente	10 m	1,50 m
Pozo de agua potable	20 m	1,50 m

Tabla 2. criterios de diseño y presentación de proyectos de colectores de aguas residuales. Valores adoptados de la Ordenanza n. 131/2022, Colon, Entre Ríos, Argentina.[2]

Precámara

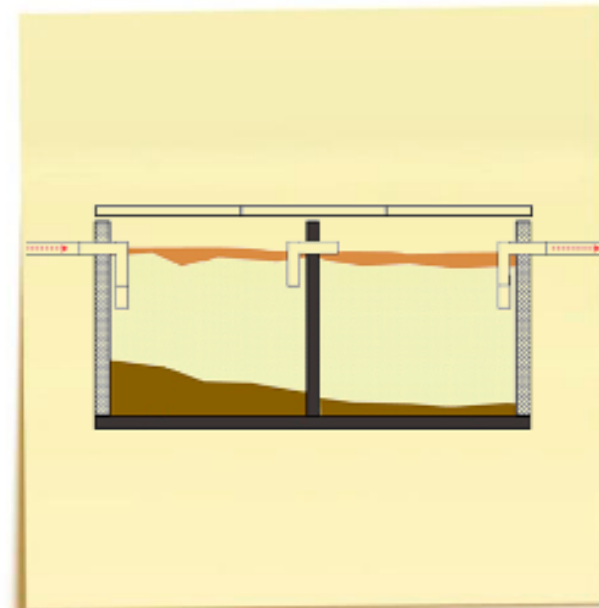
Las precámaras se utilizan para optimizar el rendimiento del sistema primario, ya que ofrecen la posibilidad de conectar nuevos servicios que se puedan añadir, sin necesidad de cambiar la entrada de la cámara, y también para ventilar el sistema primario interno si no está equipado con ventilación.



3.1. Sistema Primario

Es el componente del sistema en el que predominan las **bacterias anaeróbicas** y se desarrolla sin la presencia de oxígeno, por lo que es fundamental no ventilarlo nunca. Las bacterias anaeróbicas son muy eficientes eliminando los sólidos totales y en suspensión del efluente y reduciendo así la materia orgánica que se concentra en el efluente.

El objetivo es que todos **los sólidos sedimenten** en el fondo de las cámaras, para ser digeridos por las bacterias del lodo; mientras que las sustancias más ligeras en el agua, como **grasas y aceites**, no pasan directamente hasta que **se degradan y sedimentan**. Por este motivo, las cámaras están equipadas con compartimentos, para que este proceso sea más efectivo, y con conexiones dotadas de codos que impiden el paso de las grasas a la parte superior del efluente.



Dis. 8. Cámaras Sépticas (Sistema Primario)

Dimensionamiento

A la hora de dimensionar las cámaras sépticas, el parámetro de cálculo utilizado es el tiempo de retención hidráulica (TRH), que garantiza un tiempo de retención de al menos 24 horas del caudal de diseño. Para ello, el volumen útil del sistema debe ser igual o superior al caudal diario.

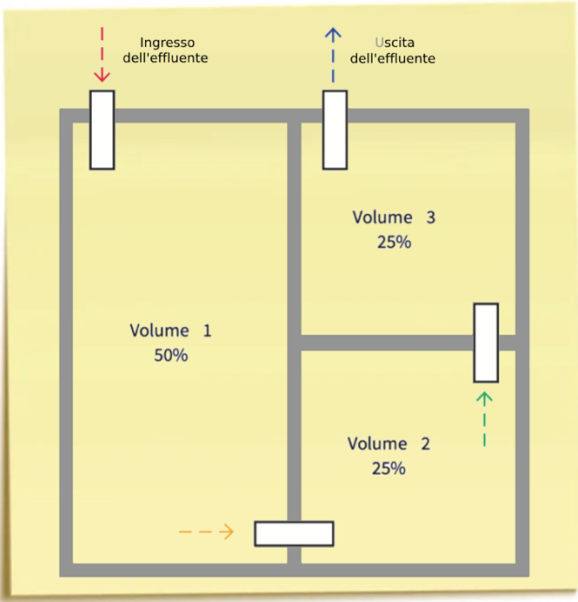
Este valor se fija en **225 litros/día.persona** y se refiere al suministro de agua potable sugerido por la OMS de 200-250 litros por habitante y día. En ningún caso podrá ser inferior a 600 litros/día por vivienda familiar. Este tiempo se estima en función de que se logre el objetivo de tratamiento previsto y de que los procesos biológicos de degradación anaeróbica puedan desarrollarse con normalidad, así como de que se garantice un volumen de retención de lodos que permita una frecuencia de limpieza de al menos un año.

Para ello, considerando una familia tipo de cuatro personas con una relación de 225 l/persona x 4 personas, se obtiene un volumen útil de 900 litros.

La distribución de volúmenes en las cámaras triples es la siguiente:

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

Esta distribución se debe a que **la primera cámara es en la que se deposita la mayor cantidad de sólidos** y, por tanto, **ocupa el 50% del volumen total** necesario, para que la frecuencia de limpieza sea lo más alta posible. En cuanto al número de compartimentos, el mínimo es de dos, pero se recomiendan tres para mejorar la eficiencia del tratamiento. El sistema puede presentarse en forma cuadrada o rectangular, dependiendo del uso de uno u otro diseño, del espacio disponible y de la conexión con los demás componentes del sistema.



Dis. 9. Cámaras Sépticas (Sistema Primario)

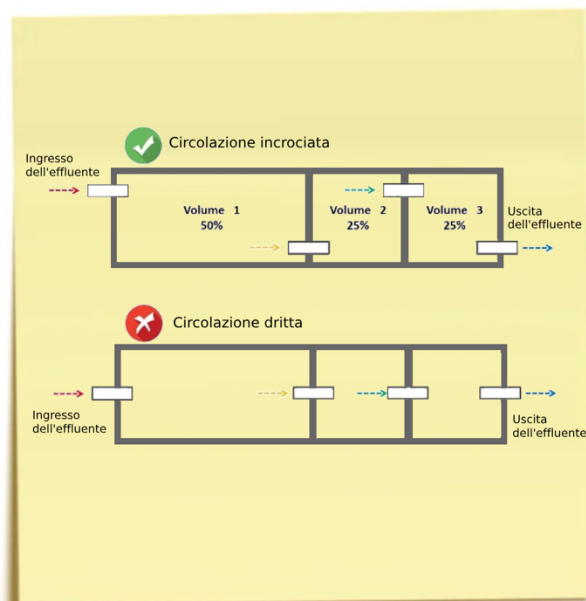
Descripción	Cantidad
Volumen útil	225 litros/persona
Volumen útil mínimo	800 litros
Numero de compartimentos	Da 2 a 3
Profundidad del agua (tirante)	Mínimo 0,90 m
Conexión	Caño de PVC 110 mm (mínimo)

Tabla 3. Recomendaciones para la proyección del sistema primario. Ordenanza n. 131/2022, Colon, Entre Ríos, Argentina.[2]

Los **tubos** de entrada y salida de cada compartimento deben disponerse de forma **cruzada para aprovechar al máximo el volumen** disponible, generando una circulación del líquido lo más uniforme posible. Las tuberías de entrada y salida no deben estar alineadas entre sí.

Para garantizar el buen funcionamiento del sistema, **la altura del agua debe fijarse en 90 cm (como mínimo)** para las cámaras unifamiliares de 1000 a 1500 litros. Esta altura está relacionada con cuestiones de construcción y mantenimiento, ya que profundidades mayores son más complejas de construir y profundidades menores acortan la frecuencia de limpieza de 6 meses a 1 año.

Para cámaras más grandes, por ejemplo en complejos turísticos, esta profundidad puede adaptarse, recomendándose una altura de entre 1,20 m y 1,50 m.



Dis. 10. Cámaras Sépticas (Sistema Primario)

Materialización

Materiales

La posibilidad de construir fosas sépticas de **mampostería** permite realizar soluciones acorde a cada situación, y a bajo costo.

Revestimiento

Como toda cámara construida con mampostería (bloques de hormigón, ladrillos de obra, hormigón), debe revestirse con **revoque impermeable** o pintura epoxi para garantizar la impermeabilidad.

En función del material elegido y del tamaño de la cámara, deben analizarse las soluciones tecnológicas más adecuadas.

En el caso de cámaras de grandes dimensiones, pueden utilizarse tabiques de hormigón armado con una estructura de malla de acero.

Tuberías

La tubería de entrada de una cámara séptica familiar debe ser de **PVC de 110 mm** de diámetro con una **pendiente de entre el 1 y el 3%** para optimizar el transporte de la mezcla sólido-líquido desde la salida del inodoro. Las pendientes menores o mayores y los diámetros de tubería menores pueden provocar atascos debido a la acumulación de sólidos con el tiempo.

La altura de los codos es de 1/3 del tirante. Para fijar los codos, se recomienda utilizar tornillos autoperforantes galvanizados como medida de seguridad para evitar que se aflojen.

Tapa

La cámara séptica se cierra con una tapa resistente, normalmente realizadas **de hormigón armado**, para permitir el paso de personas. Dependiendo del diseño, la cámara puede estar enterrada por una capa de tierra y sólo queda visible una tapa de inspección para su limpieza; en otros casos, quedan a la vista.

Las tapas se construyen in situ por secciones.

Para evitar la entrada de insectos en la cámara o la generación de olores, puede utilizarse un mortero de cal y arena para rellenar los espacios entre las paredes y la tapa, que puede retirarse fácilmente cuando ésta se levanta para su limpieza.

Mantenimiento

Como en todos los procesos biológicos anaeróbicos, se generan lodos que se depositan en el fondo de las cámaras y que deben eliminarse al cabo de cierto tiempo, ya que de lo contrario disminuirá el volumen útil del sistema y, por tanto, su eficiencia. El intervalo de tiempo entre limpiezas depende del uso, pero **se recomienda una frecuencia máxima de 1-2 años**. En cuanto a la mejor época para hacerlo, es la primavera, ya que el aumento de la temperatura favorece la reproducción de las bacterias.

Algo a **tener en cuenta** es **el uso excesivo de productos de limpieza** a base de cloro o similares para la eliminación de bacterias patógenas, ya que además de eliminar estas bacterias, también ocurre algo similar con las bacterias beneficiosas responsables de la degradación de la materia orgánica y que se encuentran dentro del sistema de depuración. Por eso es importante tener siempre presente el uso racional de los productos de limpieza del hogar **y sustituirlos por productos biodegradables** siempre que sea posible. Una forma de mejorar el rendimiento de las cámaras, especialmente cuando se perciben olores desagradables, es **sembrar microorganismos efectivos** que están disponibles bajo diversos nombres comerciales y pueden presentarse en soluciones líquidas o en polvo.

Rendimiento

A partir de la bibliografía y de la experiencia del autor y de profesionales de su entorno, se observa que el mayor rendimiento de depuración de la cámara séptica se encuentra en la **eliminación de patógenos (80%) y de sólidos en suspensión (60%)**, mientras que para la carga orgánica el rendimiento es medio y **para los nutrientes es muy bajo**. A pesar del buen rendimiento alcanzado para algunos parámetros, este sistema por sí solo **no es suficiente** para cumplir los parámetros exigidos por las normativas, lo que demuestra que es necesario un segundo sistema para alcanzar los objetivos de tratamiento.

Parámetros	Condiciones de proyecto	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
Nitrógeno total (mg/l)	40	50	20
Fosforo total (mg/l)	8	50	4
Coliformes totales (NPP/100 ml)	1.000.000	80	200.000

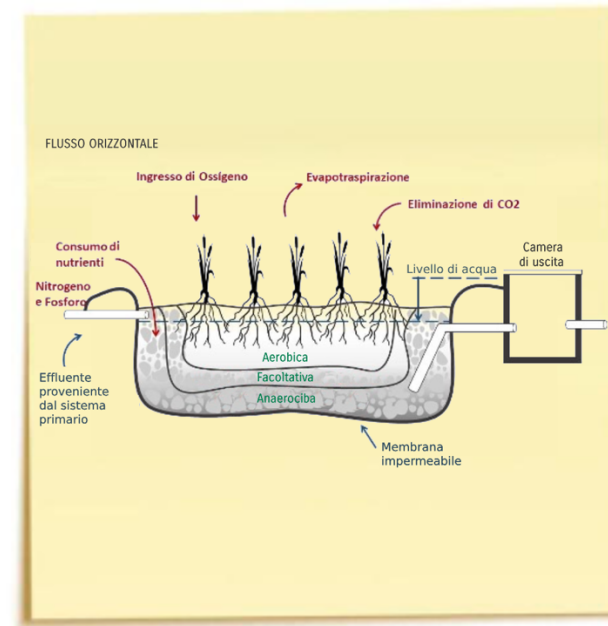
Tabla 4. Rendimientos del sistema primario. Ordenanza n. 131/2022, Colon, Entre Ríos, Argentina.[2]

Alternativas comerciales

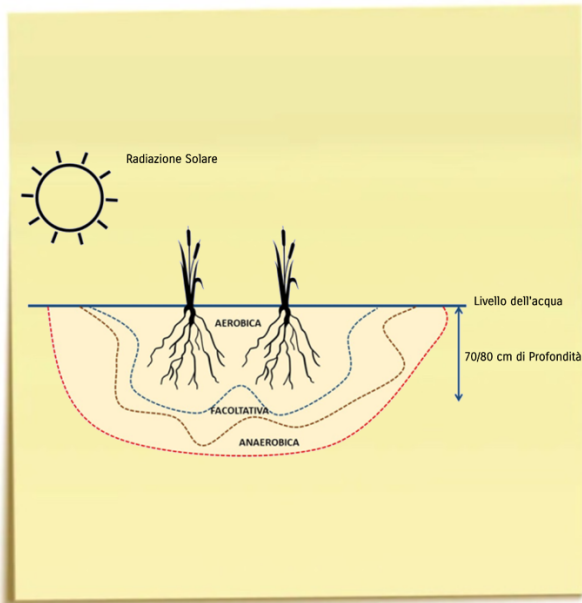
En el mercado existen diversas propuestas técnicas con diferentes materiales. Por un lado, existen **cámaras sépticas de hormigón premoldeado** con diferentes geometrías, en las que hay que comprobar que las dimensiones cumplen los requisitos de las normativas, la existencia de compartimentos (al menos dos), y que permitan la separación de sólidos y grasas. Los más comunes son los **biodigestores**, que son cilindros de plástico con fondo cónico y que en algunos modelos tienen diferentes diseños que permiten la separación de los lodos y proporcionan una mayor superficie de contacto para los microorganismos que degradan la materia orgánica. Pero aunque se promocionen como un sistema integral, sus prestaciones de depuración se aproximan a las ofrecidas por las cámaras sépticas compartimentadas, por lo que conceptualmente se sitúan dentro del **sistema de tratamiento primario**. Su principal ventaja es la rapidez de instalación, pero el coste inicial del equipo y su mantenimiento a lo largo del tiempo deben ser evaluados.

3.2. Sistema Secundario

Las **bacterias** predominantes en los humedales son las **facultativas**, que pueden vivir con y sin la presencia de oxígeno, y las **aeróbicas**, que necesitan oxígeno para sobrevivir. No es aconsejable tener zonas anaeróbicas en el humedal porque no contribuyen al tratamiento, siendo en el sistema primario en la que predominan estas bacterias.



Dis. 11. Processi fisico-chimico e biologico all'interno del humedal artificiale.



Dis. 12. Influencia de la profundidad en el desarrollo de bacterias facultativas y aeróbicas.

Humedal de flujo subsuperficial

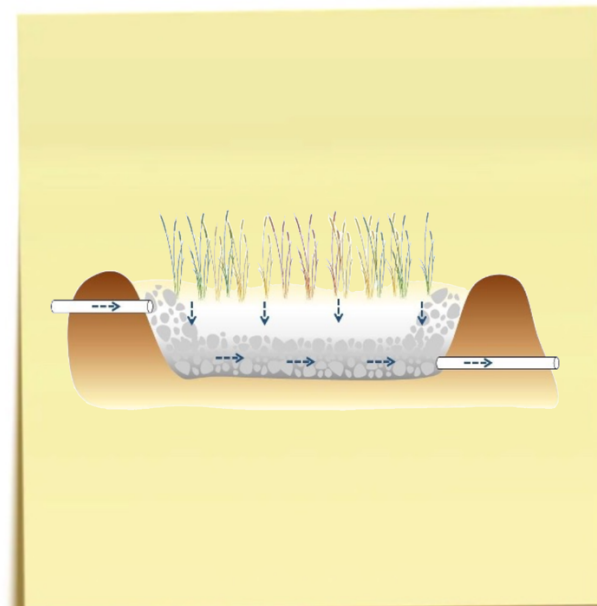
Existen diversos tipos de humedales construidos, dependiendo de la configuración de la entrada, el movimiento del agua dentro del humedal y el tipo de material de relleno. El sugerido en esta tesis es el de tipo subsuperficial.

En este tipo de humedal, el flujo de líquido suele estar oculto a la vista por 5-10 cm de piedras o arena, lo que tiene ventajas como la **ausencia de olores**, la nula posibilidad de cría de insectos como los mosquitos y la posibilidad de circulación por encima, de todas maneras poco recomendable.

El movimiento del agua dentro del humedal puede distinguirse en **flujo vertical y horizontal**.

El humedal de **flujo vertical** se utiliza cuando hay una diferencia de altura entre la salida y la entrada de la cámara séptica de al menos 2 metros, donde se puede colocar un dispositivo de tipo sifón en el último compartimento de la cámara séptica para producir una descarga a presión.

El caso más común es cuando el nivel de salida de la cámara séptica está muy por debajo del nivel natural del suelo, por lo que es necesario instalar una bomba de aguas residuales en el último compartimento que no permita el paso de los sólidos y aspirar el efluente hacia la tubería de entrada del humedal. A la salida de la bomba, además de la instalación de conexiones dobles para poder sustituir el equipo sin tener que desmontar el sistema, se instala una válvula de retención para mantener llena la tubería de descarga.



Dis. 13. Movimiento del líquido dentro del humedal de flujo vertical.

El filtro se monta de forma diferente a los sistemas horizontales, con las piedras más grandes colocadas en la parte superior e inferior del filtro. La ventaja es que la distribución del efluente en el humedal es uniforme en toda la superficie disponible. **La relación geométrica entre anchura y longitud no es relevante** para el funcionamiento y puede ser cuadrada o circular.

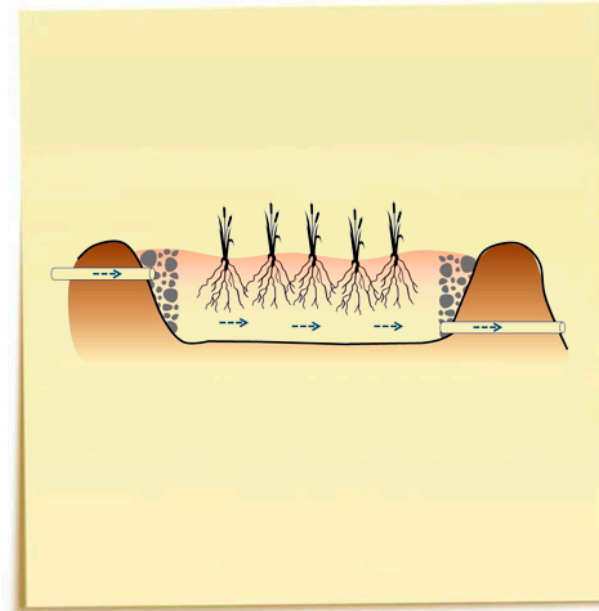


Fig. 7. Vista de la prueba hidráulica de la tubería de entrada del humedal de flujo vertical, luego cubierta con 10 cm de piedras. Ing. Fernando Raffo



Fig. 8 Vista de la tubería de salida, donde deben conectarse las tuberías para trabajar a presión atmosférica y evitar que sellos hidráulicos de aire que dificulten el drenaje de la salida. Ing. Fernando Raffo.

El humedal de **flujo horizontal** es el más utilizado, ya que es el más fácil de construir y gestionar. Los filtros se montan perpendiculares a la dirección del flujo del efluente, tanto para las tuberías de entrada como para las de salida.



Dis. 14 Movimiento del líquido dentro del humedal de flujo horizontal.

En este tipo de sistema, el agua circula horizontalmente a través del sustrato granular y las raíces de las plantas. El agua entra en el sistema por la parte superior de un extremo y es recogida por un tubo colector en la parte inferior del extremo opuesto. La profundidad del agua oscila entre 0,3 y 0,9 m. Se caracterizan por estar permanentemente inundados.

Dimensionamiento

Teórico

Al momento de dimensionar el humedal, se tienen en cuenta las siguientes consideraciones: **caudal** de diseño, **tiempo de residencia hidráulica** y **objetivos de tratamiento**.

Los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos y su rendimiento puede ser estimado mediante una cinética de primer orden de **flujo a pistón** para la remoción de DBO y nitrógeno. Los modelos de diseño presentados son los sugeridos por Sherwood C. Reed en su libro Natural Systems for Waste Management and Treatment.[6]

Todos los modelos de diseño que se usan actualmente asumen condiciones uniformes de flujo a pistón y que además no existen restricciones para el contacto entre los constituyentes del agua residual y los organismos responsables del tratamiento.

La siguiente es la ecuación básica de los flujos a pistón:

$$C_e/C_o = e^{-KT \cdot t'} \quad (1)$$

Dónde:

C_e: Concentración del contaminante en el efluente (mg/l)

C_o: Concentración del contaminante en el afluente (mg/l)

KT: Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (d⁻¹)

t': Tiempo de retención hidráulica de los huecos intersticiales (día)

El tiempo de retención hidráulica en el humedal, basado en la porosidad del medio o tiempo de detención en los huecos intersticiales, puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$t' = \frac{n \cdot h \cdot A_s}{Q} \quad (2)$$

Dónde:

n: Porosidad.

h: Profundidad del humedal (m).

A_s: Área superficial del humedal (m²).

Q: Caudal medio a través del humedal (m³/día)

Puede ser necesario calcular el caudal medio mediante la anterior expresión, para compensar las pérdidas o ganancias de agua causadas por filtración o precipitaciones a lo largo del flujo del agua residual a través del humedal. Un diseño conservador debe asumir que no existen pérdidas por filtración y adoptar una estimación razonable de las pérdidas por evapotranspiración y ganancias por lluvia de los registros históricos del lugar, para cada mes de la operación. Esto requiere una primera suposición del área superficial del humedal para poder calcular el agua extra que entra o sale. Es usualmente razonable para un diseño preliminar suponer que los caudales de entrada y salida son iguales.

Es entonces posible determinar el área superficial del humedal combinando las ecuaciones (1) y (2):

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln C_e/C_o}{n \cdot h \cdot KT} \quad (3)$$

El valor de para las ecuaciones (1) y (3) depende del contaminante que se quiere eliminar, en el caso de aguas residuales domésticas la DBO y nutrientes, y de la temperatura.

Como las reacciones biológicas del tratamiento dependen de la temperatura, es necesario, para un buen diseño, estimar la temperatura del agua en el humedal. En los humedales de tipo SubSuperficial en climas muy fríos están protegidos de la formación de hielo en el sistema, no así en los humedales de flujo Superficial.

El diseño hidráulico de un humedal artificial es crítico para el éxito de su rendimiento.

El flujo a través del humedal debe superar la resistencia por fricción del mismo sistema.

Esta resistencia es impuesta por el filtro de agregados, las raíces de las plantas y los sólidos acumulados. La energía necesaria para superar esta resistencia viene dada por la pérdida de carga entre la entrada y la salida del sistema. La mejor solución en lo referente a construcción, es proveer al humedal de un fondo con una inclinación que sea suficiente para permitir una tendencia de flujo, usualmente con una pendiente del 1%.

La relación largo-ancho tiene una gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del sistema. En teoría grandes relaciones largo/ancho 10:1 o mayores asegurarían un flujo a pistón, pero tienen el inconveniente de que en la parte alta se desbordan debido al incremento en la resistencia al flujo causado por la acumulación de residuos de vegetación, principalmente en sistemas de flujo SuubSuperficial. Por lo tanto, relaciones de 1:1 hasta aproximadamente 3:1 o 4:1 son aceptables.

El tiempo de detención real es función de la conductividad hidráulica del medio y de la longitud del depósito, relación que se puede expresar en la siguiente forma:

$$t = \frac{L}{k_s \cdot S} \quad (4)$$

Dónde:

L: Longitud del depósito (m).

k_s: Conductividad hidráulica de una unidad de área del humedal perpendicular a la dirección de flujo (m³/m²/día)

S: pendiente del depósito (m/m)

En la tabla 2.7 (Metcalf & Eddy) se indican las características de los medios normalmente empleados en sistemas de flujo SubSuperficial. Se recomienda cautela a la hora de aplicar cualquiera de las ecuaciones que se acaban de proponer, ya que han sido derivadas a partir de datos de funcionamiento de un número limitado de sistemas. Los valores de diseño de todos los parámetros deben quedar dentro de los intervalos propuestos por la siguiente tabla, y se recomienda llevar estudios en planta piloto antes de abordar el diseño de sistemas de grandes dimensiones.

Tipo de material	Tamaño de grano máximo (10%)	Porosidad, n	Conductividad hidráulica, Ks (m3/m2/día)	K20°C
Arena media	1	0,30	420	1,84
Arena gruesa	2	0,32	480	1,35
Arena gravosa	8	0,35	500	0,86

Tabella 5. Caratteristiche tipiche dei substrati di una zona umida subsuperficiale (Metcalf & Eddy).[3]

Se debe asegurar un diseño del humedal de modo tal que los tiempos de retención hidráulica de los huecos intersticiales sea acorde con el tiempo de detención real, en función de la conductividad hidráulica, a modo de no tener problemas y se asegure el flujo del efluente.

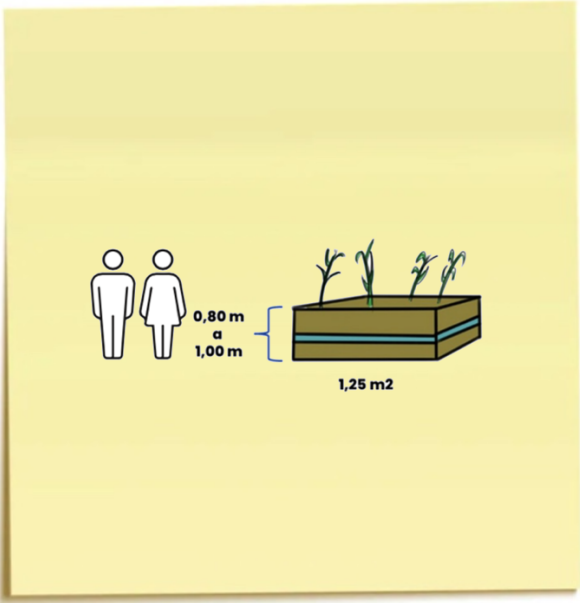
Al igual que en los sistemas de riego superficial, la carga de DBO de los humedales artificiales se debe limitar de modo que la demanda de oxígeno del agua residual aplicada no supere la capacidad de transferencia de oxígeno de la vegetación del sistema. Esto a tener en cuenta para efluentes industriales, en nuestro caso de efluentes domésticos no será un problema.

Práctico

A fines de dimensionamiento para aguas residuales domésticas se pueden adoptar los valores expresados en la siguiente tabla:

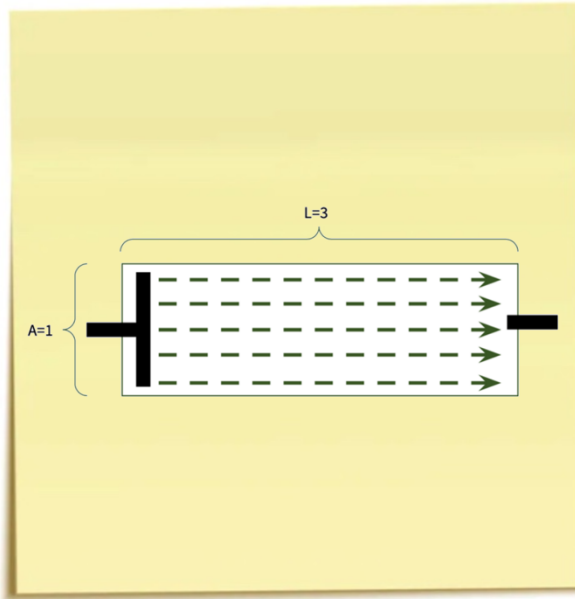
Parametro	Recomedación
Superficie	1,25 m² por persona
Superficie minima	4 m²
Profundidad	0,8 m – 1,0 m
Relleno	Pietra e Sabbia
Vegetación	Palustre: Carrizo (Phragmites australis) Vetiver (Chrysopogon zizanioides) in ragione di 4-5 piante per metro quadrato

Tabla 6. Recomendaciones para la proyección de sistemas secundarios. Ordenanza n. 131/2022, Colon, Entre Ríos, Argentina.[2]



Dis. 15. Superficie Biofiltro por persona.

La superficie del humedal debe ser lo más rectangular posible en una proporción de 1:2 ó 1:3 (anchura/longitud) para lograr una mayor eficiencia en términos de diseño hidráulico, pero dependiendo de la superficie de terreno disponible o del sitio puede tener otras proporciones o incluso tomar formas más orgánicas. Lo importante es asegurar un flujo cruzado y utilizar todo el volumen útil del humedal.



Dis. 16. Relaciones adecuadas entre anchura y longitud de los humedales subsuperficiales de flujo horizontal.

Materialización

Excavación y permeabilización

La primera fase consiste en excavar la fosa donde se construirá el humedal según el diseño. Esta excavación puede hacerse manualmente o con una máquina, normalmente minicargadoras con retroexcavadora y pala frontal. En algunos casos, cuando el proyecto integra la fosa séptica y el humedal, se realiza una única excavación con diferentes profundidades.

El aislamiento debe garantizar la estanqueidad, para lo que se pueden utilizar membranas de plástico de PVC o HDPE, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes en cuanto a las precauciones que deben tomarse en su instalación y los métodos de unión. Los espesores recomendados oscilan entre 500 y 1000 micras (0,5 y 1 mm respectivamente). Si el terreno presenta irregularidades que puedan dañar la membrana, se sugiere colocar una capa de relleno de arena de aproximadamente 5 cm en el fondo de la excavación para protección mecánica y para 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.



Fig. 9. Excavación manual para un humedal unifamiliar. Ing. Fernando Raffo



Fig. 11. Ejemplo de biofiltro de mampostería o ladrillo. Ing. Fernando Raffo



Fig. 10. Excavación a máquina para un humedal mas grade. Ing. Fernando Raffo



Fig. 12. Ejemplo de impermeabilización con membrana. Ing. German Raffo

Distribución de los agregados

Tanto la tubería de entrada como la de salida deben cubrirse con el mayor tamaño de árido utilizado, con el fin de garantizar una buena circulación del efluente y minimizar las obstrucciones.

Los áridos deben estar lavados antes de su colocación para garantizar una mejor vida útil del sistema. Si el proveedor no ofrece áridos lavados, estos deben limpiarse in situ con agua a presión.

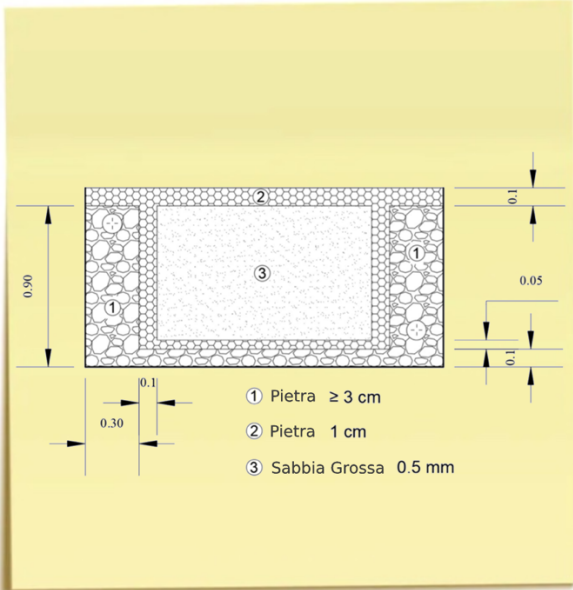
La elección de los áridos se hará en función de la disponibilidad en la zona donde se vaya a realizar la obra, evitando transportes extensos que incrementarían los costes.

En el caso de que no se encuentre arena suficientemente gruesa, se recomienda utilizar un árido pétreo, evitando siempre la arena fina, que con el tiempo acaba impidiendo el correcto paso del flujo, reduciendo así la vida útil del sistema.

Para facilitar la colocación de los áridos, se utilizan tablas de separación, que se van retirando a medida que se colocan los áridos.

Cuando se trata de humedales más grandes o con necesidades de caudal concentrado en un corto periodo de tiempo, por ejemplo para el uso de duchas a la entrada de actividades industriales, se requiere una selección diferente de áridos para abordar este problema, sustituyendo la arena por piedra fina y después por piedras más grandes.

Aunque esta solución sacrifica la eficiencia de la filtración, mejora el funcionamiento hidráulico de los humedales y reduce la probabilidad de obstrucciones.



Dis. 17. Distribución de agregados para sistemas unifamiliares.



Fig. 13. Vista del relleno de áridos en un humedal de tipo unifamiliar, mostrando la colocación de los paneles separadores, la tubería de entrada, las conexiones de la tubería de salida el relleno de piedras. Ing. Fernando Raffo



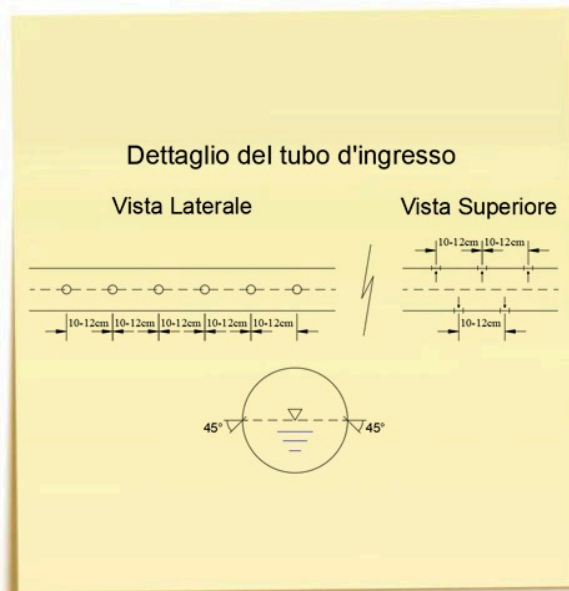
Fig. 14. Vista del relleno de áridos en un humedal compacto, mostrando la colocación de los paneles de separación, el tubo de drenaje y su ventilación, que en este caso es de 160 mm. Falta el revestimiento final con piedra. Ing. Fernando Raffo

Tubo de ingreso

El tubo de entrada estará situado a lo largo de todo el borde de entrada, a una altura tal que el eje del tubo se encuentre aproximadamente entre 15 y 20 centímetros por debajo de la superficie de los áridos.

Este tubo estará perforado en los laterales, en el eje del tubo, con una distancia de 10-12 centímetros entre ellos. Las perforaciones tienen un diámetro de 10 mm y se realizan en un ángulo de 45° hacia abajo.

El tubo debe estar perfectamente horizontal para garantizar que el líquido entrante se distribuya uniformemente a lo largo de toda su longitud. En el extremo del tubo de entrada se coloca un tapón ciego.



Dis. 18. Detalle del tubo di ingresso.

Tubo de salida

La tubería de salida del humedal debe situarse a lo largo de todo el lado opuesto a la entrada, a una altura tal que el eje de la tubería se encuentre a 20 centímetros por encima de la superficie del fondo del humedal. Esta tubería debe estar conectada por dos codos. Uno eleva el efluente hasta el nivel de la cámara de salida y el otro conecta con la ventilación del sistema, que se extiende por encima de la superficie.

La tubería de efluentes se perforará aleatoriamente por toda la superficie con una distancia aproximada de 2,5 cm entre perforaciones. Estas perforaciones tendrán un diámetro de 10 mm. Para garantizar que no entren áridos de tamaño insuficiente en esta tubería, se cubrirá con un geotextil de tipo mediasombra.



Fig 15. Tubería de salida antes de ser cubierta con mediasombra. Ing. Fernando Raffo

Plantación de vegetación

Tras unos 30 días de funcionamiento del humedal, se colocarán en él las especies palustres seleccionadas. Para ello, se sacarán las plantas de sus macetas si se han comprado en un vivero o, si se han traído de un humedal natural, se dejarán a raíz desnuda. En ambos casos se limpiarán a fondo, evitando que entren en el humedal materiales finos como arcilla o limo.

La densidad se estima en 4-5 plantas de carrizo o vetiver por metro cuadrado de humedal, por lo que en humedales medianos o grandes habrá que establecer una cuadrícula con alambres para asegurar esta distribución.



Fig. 16. Vista de la plantación de juncos en una zona húmeda. Ing. Fernando Raffo

Mantenimiento

Debe garantizarse que la escorrentía superficial (agua de lluvia) no penetre en el sistema, por lo que debe crearse un terraplén de protección de al menos 20 centímetros de altura por encima del nivel natural del suelo.

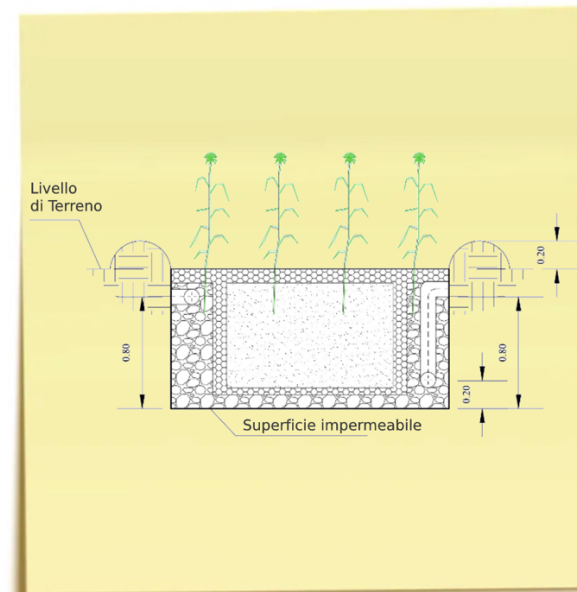
Esta protección de diseño evita la colmatación de los áridos debido al arrastre de partículas finas por la lluvia.

En cuanto al mantenimiento en general, podemos decir que si el humedal ha sido bien dimensionado y utilizado como se sugiere para estos sistemas, no debería haber mayores problemas, salvo el mantenimiento de la vegetación, que habrá que **podar una o dos veces al año** para favorecer su crecimiento y **que siempre esté necesitada de nutrientes**. También es necesario controlar la presencia de malezas y evitar la entrada de personas y animales.

En los humedales en funcionamiento se han observado problemas de aumento del nivel del agua debido a la obstrucción de las tuberías de entrada y salida, a menudo por falta de mantenimiento del sistema primario, donde el material sólido del sistema ha entrado en la tubería de entrada y ha obstruido los orificios de la tubería.

Esto también puede ocurrir en la tubería de salida debido a la entrada de áridos finos en la tubería o a la compactación del sustrato.

En casos extremos, es necesario desmontar las tuberías y limpiarlas o sustituirlas junto con los áridos cercanos que forman el filtro.



Dis. 19. Vista de los terraplenes de protección de la escorrentía superficial.

Rendimientos

Basándose en la bibliografía y la experiencia, se observa que el mayor rendimiento de depuración de los humedales de flujo subsuperficial se refiere a la eliminación de patógenos (97%) y carga orgánica (80%), mientras que su rendimiento es aceptable en la eliminación de nutrientes, lo que los convierte en un componente necesario del sistema de tratamiento para cumplir la normativa. Aunque la normativa enumera otros parámetros, los más importantes son los mencionados anteriormente.

En general, y analizando los resultados de los humedales que llevan varios años en funcionamiento, se observa que los valores de DBO son inferiores a 50 mg/l.

En azul: valores requeridos para el vertido a cursos de agua superficiales o la reutilización.

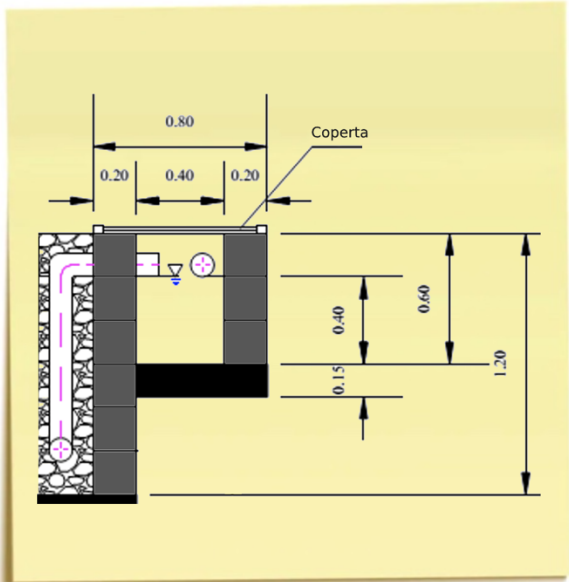
En naranja: valores requeridos para la descarga en sistemas terciarios de infiltración.

Parámetros	Salida del sistema primario	Rendimiento %	Salida del sistema secundario	Límites recomendados por las normativas
DBO5 (mg/l)	125	80	25	≤50 ≤100
Nitrógeno total (mg/l)	38	60	15	≤20 ≤30
Fosforo total (mg/l)	7,2	50	3,6	≤10 ≤10
Coliformes totales (NPP/100 ml)	200.000	98	4.000	≤5.000 ≤10.000

Tabla 7. Rendimientos del sistema secundario. Adaptados del Wastewater Technology Information Booklet, Subsurface Flow Wetlands. Agencia estadounidense para la protección del ambiente (EPA), 2000.[5]

Cámara de salida

Es el elemento del sistema donde se accede al muestreo, lo que hace que su materialización sea importante si el sistema está diseñado para cumplir una norma determinada. Dado que esta normativa prevé este elemento específicamente para la toma de muestras. Su ubicación en términos de accesibilidad y facilidad de acceso debe estar garantizada.



Dis. 20. Cámara de salida.

3.3. Sistema Terciario

3.3.1. Reutilizo del agua

Si el sistema secundario se diseña como se ha mencionado anteriormente, con el fin de alcanzar los parámetros requeridos para el vertido a cursos de agua superficiales, el agua puede almacenarse en un depósito para su reutilización, ya sea para agua no potable de edificios, como para WC, o para el riego de áreas verdes.

El dimensionamiento del sistema de reutilización debe hacerse en todos los casos con el caudal de diseño del sistema, y el cálculo de las necesidades de agua para la reutilización. En todos los casos, debe preverse un rebalse del depósito para cuando el agua no sea utilizada en su totalidad, dirigiéndola a un sistema de descarga a un cuerpo de agua cercano o a un sistema de infiltración terciario en el terreno.

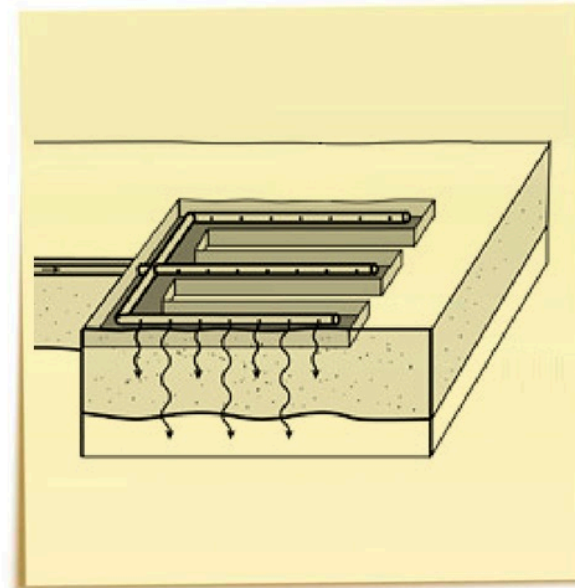
3.3.2. Infiltración

El sistema de infiltración es el sistema terciario de reincorporación del efluente tratado al medio natural, en este caso al terreno.

Para ello, se desarrollarán y aplicarán dos opciones, en función de su viabilidad técnica, económica y medioambiental.

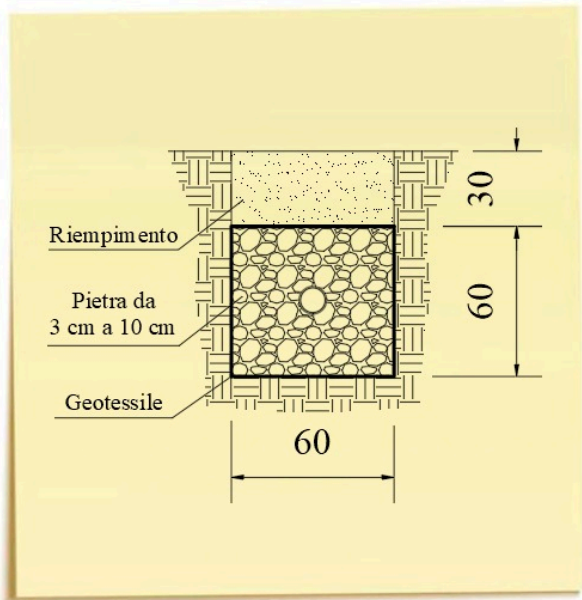
También existe la posibilidad de combinar las dos alternativas, canales de infiltración + pozo de absorción, en función del proyecto.

Canales de infiltración



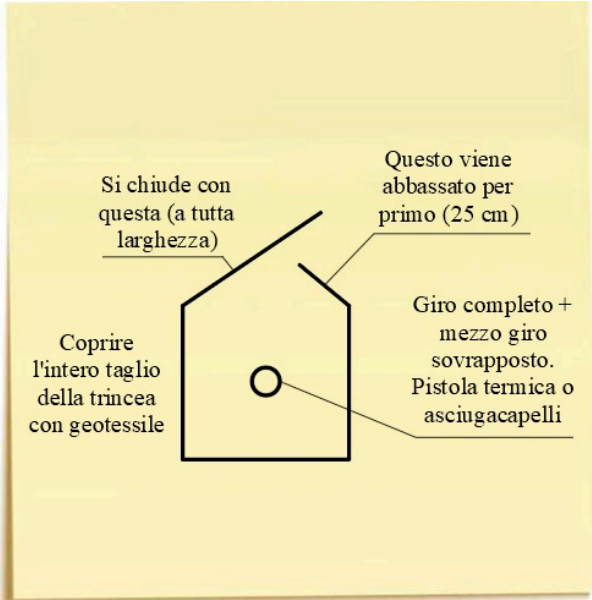
Dis. 7. Canales de Infiltración (sistema terciario)

Los canales de infiltración se realizarán con tubos de PVC de 100-110 mm de diámetro, colocados en zanjas de 50-60 cm de ancho y 60-90 cm de profundidad o hasta la profundidad de una capa absorbente. Los canales tendrán una separación de 1,50 a 2,0 m entre si, que variará en función de la profundidad de la zanja y de las características del suelo.

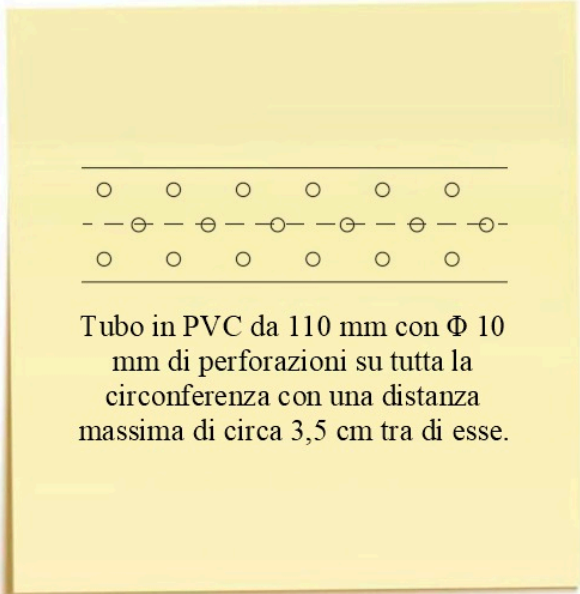


Dis. 21. Diseño detallado de infiltración.

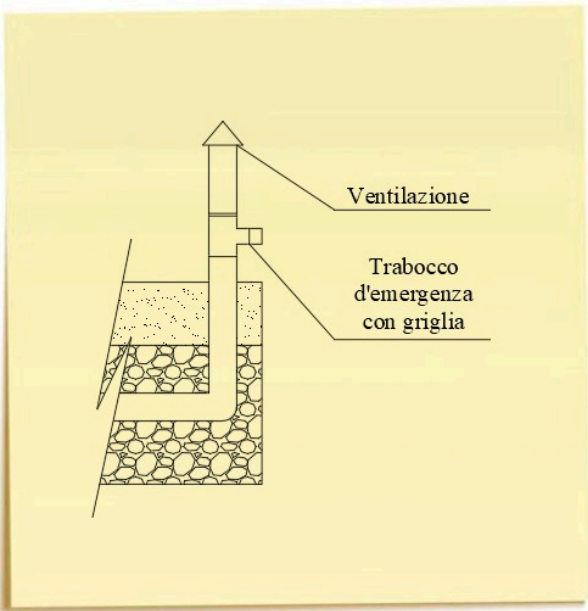
Para el relleno deben utilizarse áridos inertes con un diámetro de entre 30 y 50 mm o ladrillos o escombros de construcción con un diámetro no superior a 10 cm, que deben colocarse en una capa inferior de 30 cm donde se colocará la tubería y cubrirse con otros 30 cm de relleno hasta alcanzar la altura recomendada de 60 cm. Encima debe colocarse una membrana plástica o un geotextil de tipo mediasombra para evitar que las partículas finas del material de relleno superior (arena o tierra seleccionada) se infiltren y provoquen la obstrucción de la tubería. Si el material de relleno genera huecos muy grandes, debe combinarse con áridos más pequeños para cubrir el mayor número posible de huecos con el fin de conseguir una mayor capacidad portante del suelo y evitar el hundimiento del canal.



Dis. 22. Diseño geotextil tipo mediasombra.



Dis. 23. Diseño perforaciones de tubos.



Dis. 24. Diseño de ventilación y rebalse.

Se sugiere que la longitud máxima de los tramos de tubería sea de 30-35 m; por lo tanto, si es necesario superar esta longitud, habrá que realizar dos o tres ramales. En el extremo de las tuberías se instalará una ventilación similar a la de la tubería de salida del humedal de flujo subsuperficial, de forma que la tubería trabaje a presión atmosférica y se eviten así atascos por bolsas de aire, además de facilitar la infiltración. Para cada ramal habrá una tubería de ventilación o se conectarán entre sí de forma que sólo se pueda utilizar una. La pendiente recomendada para las zanjas de infiltración es muy pequeña, del orden del 4 por mil (4 cm en 10 m), para que el líquido tenga un flujo estacionario y se favorezca así la infiltración.

En cuanto a la perforación de los tubos, se puede utilizar lo que ya se ha explicado para el tubo de salida de los humedales subsuperficiales, o utilizar tubos de PVC micro ranurados de 110 mm de diámetro, que permiten crear zanjas de infiltración con formas orgánicas, para aumentar la eficacia de los canales y evitar el riesgo de obstrucción.

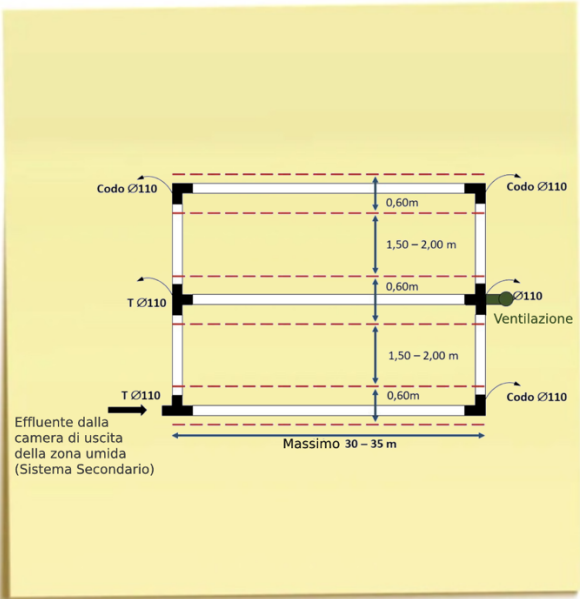


Fig. 25. Esquema de la distribución de tuberías en ramificaciones.

Hay ciertos aspectos que deben tenerse en cuenta en el diseño y la utilización de canales de infiltración. La distancia a la capa freática debe ser superior a 1 metro desde el fondo de la zanja y el suelo debe tener características de permeabilidad. El terreno de infiltración no podrá utilizarse para la construcción. No se recomienda plantar árboles con un gran desarrollo radicular en las proximidades, ya que las raíces pueden obstruir la tubería de infiltración, entrando por las juntas de la tubería. Las personas pueden pasar por encima de ellas, pero no se recomienda el uso de vehículos, ya que podrían hundirse en el sistema y romper las tuberías.

El dimensionamiento de los sistemas de infiltración dependerá de la capacidad de infiltración del terreno en el que se ubique el proyecto; en general, siempre es mejor hacer directamente un estudio de infiltración, que es muy sencillo y económico. Se excava un pozo hasta donde está la el estrato característico y se llena de agua, se coloca un punto de referencia fijo y se mide cada tiempo estipulado cuánto baja el nivel del agua [mm/h]. Con este valor y la superficie de suelo del sistema, se debe llegar al valor del caudal a infiltrar, en m³/h o m³/día.

A efectos prácticos, la siguiente tabla muestra la longitud de los canales de infiltración en función del número de personas y del tipo de suelo del terreno.

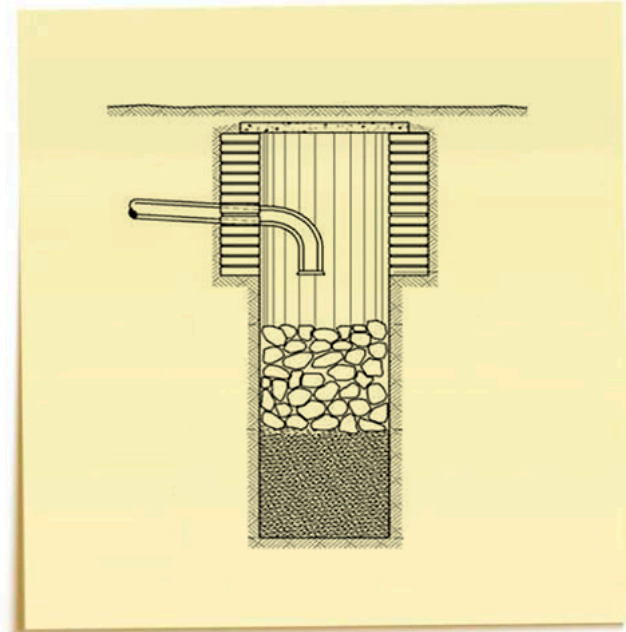
Tipo di suelo	Largo de las tuberías de infiltración			
	1 Persona	2 Personas	3 Personas	4 Personas
Arenoso	8 m	16 m	24 m	32 m
Intermedio	10 m	20 m	30 m	40 m
Arcilloso	12 m	24 m	48 m	48 m

Tabla 8. Largo de las cañerías de infiltración en base al tipo de suelo. Ordenanza n. 131/2022, Colon, Entre Ríos, Argentina.[2]

Una forma de mejorar la eficacia de las zanjás de infiltración en lugares donde los suelos son arcillosos es colocar en los pasillos vegetación por los costados de la zanja que tengan un desarrollo radicular vertical y una gran capacidad de absorción de agua y evapotranspiración. La planta más adecuada para esta función es el Vetiver, que puede utilizarse tanto en las zanjás como alrededor de los pozos.

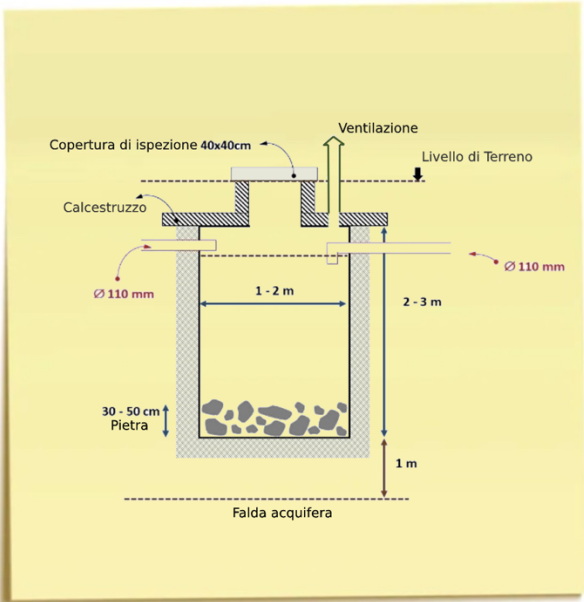
Al final del canal de infiltración, en el punto más bajo donde se realiza la ventilación, se puede colocar una T a nivel del suelo a modo de rebalse que, en caso de exceso de agua por lluvias intensas o saturación del canal, permita redirigir el líquido excedente a la escorrentía superficial junto con el agua de lluvia hacia el punto más bajo del terreno, evitando obstrucciones en el sistema de tratamiento. Sobre esta salida debe colocarse una malla metálica para evitar la entrada de insectos, anfibios u otros animales que puedan obstruir la salida.

Pozos de infiltración



Diseg. 26.. Pozo de infiltraión (sistema terciario)

Los pozos absorbentes se construyen mediante excavación en terreno natural teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:
El diámetro interno mínimo del pozo terminado será de 1,0 metros y el máximo de 2,0 metros. Cuando las características del suelo lo requieran, el pozo absorbente tendrá una estructura interna resistente, generalmente construida con ladrillos de campo, con una superficie de contacto entre el suelo y el efluente igual al menos al 30% de la superficie lateral. En el fondo del pozo debe haber una capa de áridos o escombros de construcción de 30 a 50 cm de altura.
Para la cubierta, se puede utilizar una losa de hormigón armado de sección cuadrada o rectangular, en la que se inserta una tapa de inspección de 40 x 40 cm.
Al igual que en el caso de los canales de infiltración, debe fijarse a la losa un tubo de 110 mm para la ventilación. Los tubos de entrada de la cámara de drenaje y el rebosadero se harán con tubos de 110 mm, este último con un codo que entrará aproximadamente 15 cm por debajo del nivel del líquido.



Dis. 27. Esquema de construcción de un pozo de infiltración.

En cuanto a la profundidad, estará limitada a las técnicas de construcción utilizadas y a la distancia de la napa freática, que debe estar a más de 1 metro del fondo del pozo, se aconsejan profundidades de 2 ó 3 metros.

Para su dimensionamiento se debe realizar el estudio de infiltración anteriormente mencionado para obtener el área en planta del sistema.

Los valores que figuran en la tabla siguiente se tomarán como referencia y darán una idea del tamaño del pozo.

Superficie in m2 por persona	Tipo di terreno
0.33	Arena gruesa
0.75	Suelo suelto, arenoso o arcilloso
1.3	Suelo arcilloso con abundante grava o arena
3.0	Suelo arcilloso con poca grava o arena
5.0	Arcilla semi compacta
No se pueden utilizar	Arcilla compacta, roca

Tabla 9. Superficie en planta del pozo de infiltración por persona en base al tipo de suelo, con valores adaptados de Díaz Dorado, M. (2008). Instalaciones Sanitarias. Ordenanza n. 131/2022, Colon, Entre Ríos, Argentina.[2]

Tanto para los pozos como para los canales de infiltración, el conocimiento de las características del subsuelo es esencial para obtener un resultado conforme al diseño elegido. Esto puede hacerse consultando a profesionales cualificados que hayan trabajado en terrenos vecinos, de lo contrario será necesario realizar pozos o zanjas a mano o con ayuda de máquinas para acceder a los estratos que nos interesa conocer y realizar el estudio de infiltración.

4. Limitaciones de Espacio y posibles Soluciones

Uno de los problemas a los que nos enfrentamos a la hora de diseñar estas soluciones es la disposición de un espacio para materializar el biofiltro, si queremos hacer un tratamiento adecuado de las aguas residuales, una alternativa disponible hoy en el mercado son las plantas activas de lodos activados, que tienen sus ventajas y desventajas.

Pero, ¿cómo podemos incorporar soluciones basadas en la naturaleza a los edificios existentes? Las ciudades del siglo XIX, como Turín, solían tener un único sistema de drenaje para aguas residuales y pluviales, lo que significa que, cuando llueve, los caudales que llegan a los nuevos sistemas de depuración son mayores. La solución propuesta consiste en incorporar techos verdes, cada vez más utilizados hoy en día, pero que a su vez sean un sistema de tratamiento secundario.

4.1. Lodos Activados

En los casos en que las condiciones espaciales del proyecto lo requieran, trabajamos también con plantas de tratamiento de lodos activados, que es una instalación diseñada para tratar las aguas residuales mediante un proceso biológico que utiliza microorganismos aerobios (que requieren oxígeno) para descomponer la materia orgánica presente en el agua. El lodo activado se refiere al fango o **lodo biológicamente activo que contiene una alta concentración de microorganismos beneficiosos**.

El proceso de tratamiento implica la mezcla de las aguas residuales con el lodo activado en **tanques de aireación**, donde los microorganismos consumen los contaminantes orgánicos presentes en el agua. Posteriormente, se separa el agua tratada del lodo en clarificadores. El lodo separado se recircula nuevamente al tanque de aireación para mantener la actividad biológica.

Este tipo de tratamiento tiene ciertas ventajas y desventajas.

Su principal ventaja es el espacio que ocupa, ya que estos sistemas vienen enterrados y **requieren de poca superficie** para tratar un gran caudal de agua residual.

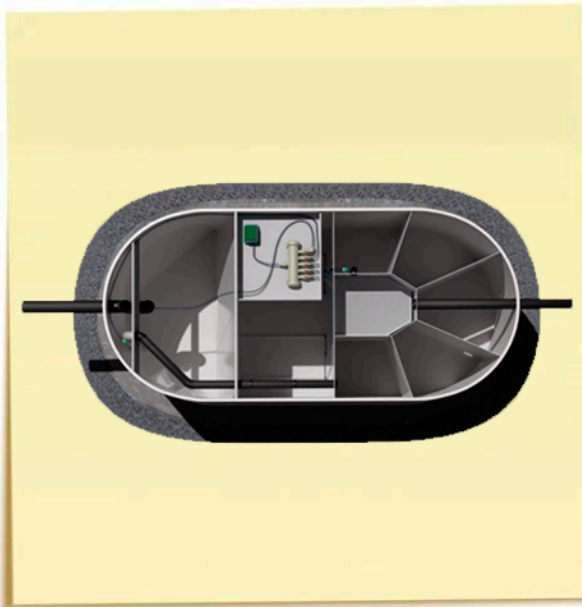
Sus principales desventajas son sus **altos costes de construcción y mantenimiento**. Es principalmente en el mantenimiento en donde se requiere una constante revisión y personal especializado para que estas funcionen correctamente.

Sus altos costos se deben a constantes gastos de energía, químicos, retiro y control de lodos, cambio y mantenimiento de sopladores, mano de obra especializada (cara y difícil de conseguir). Además de su gran problema si el suministro de energía se corta por el lapso de un día, ya que el sistema biológico de lodos activados muere, siendo muy difícil y costoso reactivar la planta.

Esta solución es la más utilizada hoy en día en todo el mundo, por cuestiones de usos y costumbres. Ya que es la tecnología que todo organismo educativo occidental enseña

y recomienda. A lo largo de los últimos años, podemos observar cómo en países con malas gestiones políticas y económicas, estos sistemas terminan con un incorrecto mantenimiento, haciendo que los sistemas no funcionen correctamente. Estos casos se ven a lo largo de todo Sudamérica, siendo muy notable la ineficiencia de mantener estos sistemas a mediano y largo plazo.

Es por esta razón, que solo se recomienda este tipo de soluciones con tecnologías sofisticadas a proyectos con un alto nivel de organización e ingresos económicos, que sean capaces de mantener estos sistemas.



Dis.28. Planta de lodos activados. TIM [4]

4.2. Techos Verdes

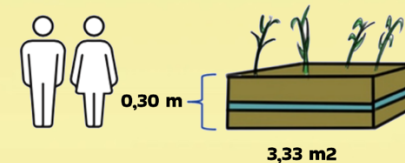
Si se quiere hacer un biofiltro pero no se dispone de la superficie necesaria para hacer un humedal de tipo subsuperficial con una altura de tirante de agua de 80 cm, lo primero que hay que intentar es hacer uno de tipo vertical, donde el objetivo de cálculo es hacer un volumen útil de retención igual al necesario. Siendo siempre el volumen útil 1/3 del volumen total, que representa los volúmenes vacíos de los áridos. Y se debe asegurar una condición tal que se sigan reproduciendo las bacterias aeróbicas, lo que logra ya sea con plantas de raíces largas, por ejemplo Vetiver, o a través de la aireación.

De esta forma se puede reducir la superficie y avanzar en altura.

A partir de este concepto, se intenta encontrar una solución modular que pueda aplicarse a los edificios urbanos existentes, ya sea como tejado verde o como muros verdes, que sirvan también como tratamiento secundario de las aguas residuales.

Una posible solución para la realización de un biofiltro sin ocupar espacio en los edificios podría ser la materialización de techos verdes que sean humedales artificiales con una altura de tirante de agua útil de 0,30 m.

Esto se basa en el concepto de necesitar una superficie de 1,25 m² por persona para una profundidad de tirante de 0,80 m.



Dis.29. m² por persona para techos verdes.

Para disponer del mismo volumen y tiempo de retención, suponiendo que se utilicen los mismos áridos, con una altura útil del techo verde de 30 cm, la superficie necesaria por persona será de 3,33 m². Lo que puede considerarse como un módulo cuadrado de 1,82 cm de lado. Como en ningún caso se pueden dimensionar estos sistemas para menos de 600 l/día, necesitamos como mínimo una superficie de 8,88 m² para realizar el techo verde, esto es, un cuadrado de 2,97 m de lado.

En el caso de hacer estos sistemas secundarios en el techo del edificio, se puede realizar el sistema primario en la parte inferior, y subir el efluente con una bomba, esto será favorable también para que llegue el agua a presión, con el fin de garantizar una distribución adecuada del efluente en el biofiltro de techo verde.

Los techos verdes no sólo serán ventajosos en términos de superficie para materializar el sistema de tratamiento secundario, sino también en términos de confort. Los techos verdes tienen varias ventajas, entre ellas:

Ahorro de energía: los techos verdes proporcionan aislamiento térmico natural, reduciendo la necesidad de calefacción en invierno y de aire acondicionado en verano. Esto se traduce en un menor consumo de energía para calentar y refrigerar los edificios, lo que contribuye a reducir los costes energéticos.

Y en este caso, al estar siempre saturadas de agua, durante el verano será la evaporación del agua la que tome el calor del exterior. Y durante el invierno, al ser un flujo de agua, que a su vez llega a una temperatura más alta, el hielo nunca llegará a la superficie interior de la cubierta.

Será incluso más beneficioso a efectos de aislamiento térmico que un techo verde normal.

Reducción del impacto ambiental: los techos verdes reducen el impacto ambiental al proporcionar una superficie con vegetación que ayuda a mitigar el efecto isla de calor urbano, reduciendo la temperatura ambiente en los alrededores. También absorben dióxido de carbono (CO₂) y liberan oxígeno, contribuyendo así a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a mejorar la calidad del aire.

Gestión de las aguas pluviales: los techos verdes representan un número de Runoff bajo o nulo, absorben y retrasan la escorrentía de las aguas pluviales, reduciendo la carga de los sistemas de alcantarillado ayudando a prevenir las inundaciones.

Mejora de la calidad del aire y del agua: las plantas de las cubiertas verdes capturan el polvo y los contaminantes atmosféricos, ayudando a purificar el aire. Además, los sustratos y las plantas de las cubiertas verdes filtran y absorben los contaminantes del agua de lluvia, contribuyendo a mejorar la calidad del agua.

Aumento de la biodiversidad urbana: las cubiertas verdes proporcionan hábitats para insectos, aves y otras formas de vida, aumentando la biodiversidad en las zonas urbanas y ofreciendo refugio y oportunidades de alimentación a las especies locales.

Estética y bienestar: Los techos verdes añaden un elemento estético a la ciudad, realzando el paisaje urbano. Además, la presencia de vegetación puede ayudar a reducir el estrés y mejorar el bienestar psicológico de las personas.

Es importante mencionar que debe realizarse el cálculo correspondiente de G₂, carga por unidad de superficie no estructural que representa para la estructura el realizar este techo verde saturado de agua.



Fig. 17. Entrada a la primera Laguna de tratamiento (Fotografía del autor)



Fig. 18. Primer Laguna de tratamiento (Fotografía del autor)

5. Soluciones a Gran Escala

En los casos a gran escala, donde los caudales de agua a tratar y la carga contaminante son mucho mayores, el sistema de tratamiento cambia pero de manera análoga, las cámaras sépticas se sustituyen por sistemas lagunares de retención y el sistema secundario y terciario acaba siendo sustituido por bosques de forestación.

Los sistemas de lagunas de retención suelen consistir en una serie de tres lagunas. La primera es una laguna anaeróbica, en la que la profundidad del agua es superior a 2,5 metros para garantizar el tratamiento anaeróbico en ausencia de oxígeno.

A continuación, una segunda laguna facultativa, de entre 1,5 y 2,5 metros de profundidad, donde las bacterias anaerobias actúan en la parte inferior, las aeróbicas en la parte superior y las facultativas entre las partes inferior y superior. Por último, hay una laguna aeróbica o de moderación, donde la profundidad no supera el metro, lo que garantiza el tratamiento aeróbico.



Fig.19. Las 3 lagunas de tratamiento (Fotografía del autor)

Después de este sistema de lagunas, el agua se dirige a un sistema de riego forestal o se utiliza para el riego agrícola. Esto genera un impacto cero de descarga de aguas residuales y un uso productivo de las mismas.



Fig. 20. Riego forestal (Fotografía del autor)

El caso presentado en las fotografías es un frigorífico avícola de Entre Ríos, Argentina. Donde los parámetros de diseño son del orden de 1000 a 1500 mg/l para la DBO, recordemos que en los efluentes domésticos son del orden de 250 mg/l.

Este es un ejemplo de efluentes industriales cargados de contaminantes orgánicos. Donde el cálculo para el dimensionamiento es con los mismos conceptos teóricos, pero excede el argumento de esta Tesis.

En el caso de las aguas residuales domésticas, si se recolectan conjuntamente con una red de alcantarillado urbano y se tratan en conjunto, también se pueden adoptar estos sistemas. Mediante estas tecnologías "blandas" se puede hacer un pretratamiento lagunar, llegando a parámetros que no afecten a las plantas, y reutilizar estos efluentes cargados de nutrientes para el riego agrícola o forestal, transformando el problema de la contaminación de las aguas y de financiamiento para las obras civiles necesarias en un sistema productivo, que puede ser financiado mediante organismos internacionales que invierten en este tipo de proyectos.

Un ejemplo de esta solución es el proyecto SIAR en Reconquista/Avellaneda, Santa Fe, Argentina. Donde las aguas residuales de las dos ciudades, que suman una población de unos 100.000 habitantes, llegan a un mismo curso de agua, que posteriormente desemboca en el río Paraná. Este arroyo, cuando los caudales son bajos, presenta síntomas de río "enfermo", como la eutrofización, y se decidió hacer un proyecto para recolectar todas las aguas residuales domésticas, sumadas a las de una zona industrial,

transportarlas hasta un sistema de pretratamiento lagunar y regar un total de más de 2000 hectáreas de bosque forestal.

Para entender los números financieros, cada una de estas hectáreas produce unos 350 euros al año en ganadería extensiva, y con el proyecto forestal, entendiendo que es un proyecto a mediano plazo porque se puede talar el primer árbol a los 8 años, proyectando a 10 años y dividiendo por año se tiene una producción estimada del orden de 1700 euros al año en madera y biomasa.

Estas cifras confirmaron la participación y cofinanciación del BID (Banco Interamericano de Desarrollo) y de la CAF (Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe).

Esto no sólo será una solución al problema sin necesidad de dinero estatal, sino que tendrá un impacto social en puestos de trabajo directos en el proyecto e indirectos en la industria maderera local, un doble impacto medioambiental positivo en la reutilización del agua que contamina el río y la captura de CO₂. Y también el aprovechamiento de la biomasa para la producción de energía.

El problema de la contaminación del agua en cualquier valle, producto de las aguas residuales domésticas, puede comenzar con una primer solución sin necesidad de grandes obras civiles, mediante el uso de ordenanzas territoriales que derivan el problema al sector privado.

Estas ordenanzas exigen a los nuevos proyectos que no estén conectados a la red de alcantarillado, la implantación de un sistema de tratamiento que garantice el cumplimiento de los parámetros de vuelco, generalmente ya establecidos, para la aprobación de los planes de construcción, mientras que para los proyectos existentes se establece un plazo para su adaptación, con sanciones en caso de incumplimiento. Acompañado de un Anexo Técnico y un Manual Técnico que ofrecen explicadas las diferentes tecnologías disponibles, como cámaras sépticas y biodigestores para el tratamiento anaeróbico, y biofiltros o humedales artificiales para el tratamiento aeróbico. Con guías y manuales de cálculo para que cualquier ingeniero, arquitecto, maestro mayor de obras o público en general pueda entenderlo, para formar así parte de la solución y no del problema.

Una vez aplicadas las distintas soluciones, tanto de las ordenanzas como de los proyectos de recolección, pretratamiento y uso productivo de las aguas residuales, podemos pensar en tecnologías para la regeneración de las aguas contaminadas, utilizando tecnologías macro y microbiológicas.

Volviendo al primer ejemplo de la contaminación y eutrofización del lago San Roque, en el año 2023 con mi hermano gemelo participamos de un estudio en el laboratorio de hidráulica de la UNC, utilizando el agua del lago con cianobacterias y utilizando una biotecnología japonesa, EM, con diferentes proporciones en relación a la superficie, aplicada al agua una vez por semana, y en solo 3 semanas de estudio ya no estaban las cianobacterias en la superficie. Esto demuestra una de las varias tecnologías naturales que tienen el potencial de limpiar el agua.[8]

Pero no sirve de nada si antes no detenemos las emisiones de efluentes.

6. Los beneficios de usar EM

La herramienta que les invito a conocer surge a partir de un interés común de todos, pero apuntado a contribuir con las Metas del Milenio: reducir el hambre, la pobreza, la inequidad, el impacto negativo sobre los procesos ambientales y la biodiversidad, asegurando los derechos humanos, el patrimonio e identidad cultural a nivel internacional, participando del cambio a la Era de Acuario.

"Crear un paraíso en la Tierra, erradicando enfermedades, pobreza y conflicto."[9]

El objetivo principal de utilizar esta biotecnología es aprender del gran poder de la naturaleza, que va más allá de lo que el ser humano es capaz de entender, para poner a disposición dicho conocimiento y adaptarlo a metas sociales, ambientales y económicas.

El producto se basa en microorganismos de muy fácil acceso, ridículamente económico, altamente efectivo y extensible a todos los sectores de la producción que se pueda imaginar, de forma innovadora y renovadora.

Conservando la naturaleza y protegiendo de manera responsable el medioambiente.

El producto a utilizar son los Microorganismos Efectivos (EM), desarrollados por Teruo Higa, profesor de horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón.

La filosofía básica de esta nueva técnica es restablecer el balance de energía en la naturaleza sin contaminarla.

"El alcance de la contaminación ambiental está aumentando en todo el mundo por la falta de comprensión de que, en un sentido más amplio, el aumento de la entropía de la tierra ocurre porque no purificamos las sustancias nocivas de manera oportuna, aumentando con la entropía la contaminación."

Teruo deja claro que, para resolver un problema más rápido, hay que trabajar en lo más pequeño posible. Según la relatividad de Einstein, cuanto más pequeño es el espacio, mayor debe ser la dimensión temporal para mantener la energía. Esto significa que el tiempo que para nosotros son segundos, para los microorganismos son generaciones y generaciones, un análogo fractal de la relación de las generaciones humanas con el tiempo en que se mueve la Tierra, como organismo vivo de una escala espacial mayor.

La explicación vulgar de esta tecnología es que en cada grupo de microorganismos tenemos un 10% de microorganismos "buenos" y un 10% de microorganismos "malos". Si tenemos leche, por ejemplo, y las bacterias predominantes fermentan, se comen la materia orgánica, la digieren y la descomponen sin pérdida de energía, y la expulsan en formas solubles en el agua, la leche se convierte en queso. Por otra parte, si las bacterias predominantes en la leche sufren de putrefacción, al momento de digerir la carga orgánica se descomponen, liberando energía en forma de gas y calor, energía que ahora estará en un plano energético distinto, entrópico, sin poder regresar nunca al equilibrio con el plano material original.

Ahora bien, si tenemos un 10% de bacterias que fermentan y un 10% de bacterias que sufren putrefacción, ¿qué ocurre con el 80% restante? Se dejan guiar por los que tienen al lado, imitan al líder, analizan la historia cercana para tomar un comportamiento, casi

análogo a nosotros los humanos en el momento de las elecciones políticas, tenemos un 10% persistentes con la elección de A y un 10% persistentes con la elección de B, y otro 80% analizando la situación.

Esta biotecnología son microorganismos que siempre tienden a fermentar, y que juntos forman un grupo que ya funciona como un sistema, donde los residuos de uno es lo que come el otro, y así sucesivamente. En fin, son principalmente levaduras, bacterias fotosintéticas y ácidos lácticos, pero contienen alrededor de 80 variedades de microorganismos, incluyendo especies anaeróbicas y especies aeróbicas, como las fotosintéticas, lo que resulta en la coexistencia y complementariedad de estos microorganismos, que les dan un alto poder antioxidante, que inclusive se adaptan a diferentes ambientes, también ambientes extremos.

Citando a Teruo en la página 120 de su libro "Una revolución para salvar la Tierra":

"Bacterias fotosintéticas: La fotosíntesis no es simplemente algo que ocurre en las hojas de las plantas. También ocurre en el suelo y en el agua, donde es causada por la acción de bacterias fotosintéticas. ... La batería fotosintética sintetiza antioxidantes, aminoácidos, azúcares y una serie de sustancias fisiológicamente activas y estimula el crecimiento de las plantas. Las sustancias sintetizadas de esta manera no son absorbidas solamente por las plantas, pues juegan un papel de ayuda a la proliferación de otros microorganismos efectivos".[9]

Quizá se pregunte qué ocurre con el 10% inicial que persiste en padecer la putrefacción, y la respuesta es que se extinguen a una velocidad demasiado rápida para nosotros. Una vez más, para resolver un problema más rápido, tenemos que ir a lo más pequeño.

Personalmente conocí esta tecnología mientras vivía en Buenos Aires en 2018, visitando a mis abuelas en Colón, Entre Ríos, fui al campo de mi tío. Él me contó que estaba trabajando con esta biotecnología que había conocido a través de su relación con Japón, habiendo viajado por su 6to dan en karate negro al país.

Quedé impresionado en cuanto entré en el gallinero y no olí nada, pero claro, ninguna de las baterías sufría putrefacción, liberando energía en forma de gas, dióxido de azufre (SO₂), ..., metano (CH₄), este último responsable de los olores. El compost de descomposición de los residuos orgánicos, sin estar caliente y sin olores. Las plantas; tomates y limones que caían de las ramas de los grandes que eran. Fernando utilizaba estos microorganismos para muchas cosas, como para los panales de las abejas que producen su miel.

Como el representante de EM en Argentina, Raul Higa, primo hermano de Teruo, siempre ha vivido en Córdoba, y mi hermano gemelo vivía entonces en Córdoba, pase por Germelo y fuimos a conocer a Raul, que ni bien llegamos a su casa, su esposa dijo: 'son ellos', como si se tratara de una profecía. Luego de horas de conexión nos fuimos con un libro y una botella de EM cada uno; participé después de los 100 años de amistad entre Argentina y Japón en el Jardín Japonés de Buenos Aires con Raúl, y a partir de allí estudiamos y hacemos estudios con universidades hasta el punto de utilizarlas inclusive como un aditivo al hormigón, mejorando sus condiciones mecánicas.

EM, entender las palabras de Teruo, me proporcionó no sólo una herramienta para hoy limpiar las aguas, sino también una energía universal de fe en que aún estamos a tiempo de reequilibrar nuestra relación con la naturaleza.

6.1. En el tratamiento de aguas residuales

El EM puede utilizarse como aditivo para mejorar estos sistemas de tratamiento; basta con verterlo en cualquier inodoro del sistema para que llegue al sistema de tratamiento. La dosis que Teruo recomienda para las aguas residuales en su libro es de 1 litro de EM por cada 100.000 litros de aguas residuales. Esta dosis puede suministrarse en 3 o 4 ocasiones al año.[9]

Esta dosificación puede variar a medida que se va probando y perfeccionando con la experiencia, analizando la respuesta de cada sistema.

El poder digestivo de este grupo de microorganismos favorece la digestión de los lodos en las cámaras sépticas, haciendo que su acumulación sea mucho más lenta y, en consecuencia, prolongando la frecuencia del mantenimiento de la planta de 2 a 5 años.

Pero la ventaja más importante del uso de EM en sistemas de tratamiento es la eliminación de olores, lo que puede ser una solución rápida para sistemas mal dimensionados con esta característica. Es importante aclarar que si se implementa un sistema de tratamiento de cámaras sépticas y humedal subsuperficial como el propuesto en esta tesis, no se producirán olores aún sin el uso de EM como aditivo. Por lo tanto, el aumento de los periodos de mantenimiento es el principal beneficio a tener en cuenta en el análisis económico.

También mejora las condiciones de depuración, lo que se traduce en mejores parámetros a la salida de los sistemas.

No se ha avanzado, al menos que yo sepa, en estudios de sistemas de tratamiento del mismo tamaño, con un sistema de control y otro u otros con diferentes dosis de EM. Creo que sería interesante estudiar este aspecto para comprobar que efectivamente lo que propone Higa es correcto.

Les invito a llevar adelante estos estudios, no duden en ponerse en contacto con el autor para avanzar en cualquier estudio de investigación o proyecto.

6.2. En la regeneración de aguas contaminadas

Esta biotecnología ha demostrado resultados en la regeneración de aguas contaminantes en todo el Planeta, solucionando también el principal problema generado en cuerpos hídricos lénticos debido a las aguas residuales domésticas. La aplicación de esta biotecnología en lagos eutróficos en proporción a su superficie ha logrado eliminar las cianobacterias de la superficie y mejorar la calidad del agua.

Un ejemplo concreto es la recuperación de la calidad del agua de los lagos del dique de la ciudad de Xalapa, Veracruz, México.

La evaluación de los parámetros de calidad del agua realizada por el INECOL[10] muestra que los lagos han recuperado su capacidad de autodepuración y han reducido el riesgo sanitario y la propagación de enfermedades en los lagos para los peces y los usuarios del valle.

Los resultados de los análisis de la calidad del agua al final del proyecto de recupero muestran una mejora significativa de los 14 parámetros evaluados, en particular un aumento del oxígeno disuelto, una reducción drástica de la materia orgánica, los nutrientes y los productos químicos en la columna de agua, y la eliminación de las toxinas responsables de mantener a los peces de los lagos bajo estrés crónico.

En este caso, se utilizó el siguiente protocolo.

Tratamiento de choque 250lt EM/ha (una semana)

Tratamiento de estabilización (150 lt EM/ha/semana) durante tres meses.

Tratamiento de mantenimiento (50 lt EM/ha/semana) durante el resto del año.

La belleza paisajística es uno de los servicios ambientales cuyo valor económico es más difícil de estimar o calcular; sin embargo, es el de mayor interés para el colectivo social. Los usuarios del Paseo de los Lagos, al finalizar el proyecto de recuperación, pueden apreciar el avistamiento de la fauna acuática local. Es frecuente ver cómo los visitantes se detienen a contemplar los peces y tortugas que pueden verse desde las orillas. También se observa que la superficie del agua ha recuperado su efecto espejo, reflejando con mayor claridad los elementos visuales del paisaje, como árboles, edificios y nubes, lo que da la sensación intuitiva de que se trata de un cuerpo de agua en buen estado. Además, se aprecian mejoras en la limpieza de la piedra que forma el borde del lago, ya que en muchos lugares se ha eliminado el color verde intenso de las cianobacterias.

El mantenimiento consiste en aplicar dosis bajas en los lugares prioritarios e introducir en el fondo del lago "pelotitas" de barro con microorganismos para acelerar la descomposición de los sólidos sedimentados. La finalidad de este proceso es evitar que se deteriore la calidad del agua, impedir que vuelva a estar gravemente contaminada y evitar así que se necesite una nueva recuperación completa.



Fig. 21. Lago en Xalapa, antes de ser tratado con EM. Andrés González, representante de EM México.



Fig. 22. Lago en Xalapa, después de ser tratado con EM. Andrés González, representante de EM México.

Tomando como referencia estos estudios, en el año 2023 con mi hermano gemelo, el Ingeniero Germán Raffo, propusimos hacer un estudio en el laboratorio de hidráulica de la UNC, utilizando agua del Lago San Roque con cianobacterias y utilizando EM, con diferentes proporciones en relación a la superficie, aplicado al agua una vez por semana y en solo 3 semanas de estudio las cianobacterias en la superficie habían desaparecido.

La aplicación de EM ha demostrado su efectividad en la reducción de la abundancia celular de *Microcystis* sp (cianobacteria).

La mejora de los niveles de oxígeno disuelto sugiere una influencia positiva de los microorganismos del EM en la calidad del agua.

"Los niveles de nitrógeno total muestran una reducción generalizada, lo que indica una posible influencia positiva de los microorganismos EM en la desnitrificación. Sin embargo, no se observan variaciones significativas en los niveles de fósforo total entre tratamientos." [8]

"En general, estos resultados respaldan la hipótesis de que la tecnología EM puede desempeñar un papel clave en la mejora de la calidad del agua y la reducción de la proliferación de *Microcystis* sp. en el lago San Roque, ofreciendo perspectivas prometedoras de aplicación a escala práctica." [8]

7. Otras aplicaciones de la Tecnología

7.1. BioPiscinas

Agua sana, baño sano

Las biopiscinas son lagunas naturales construidas artificialmente que proporcionan agua limpia, sana y llena de vida en la que se puede disfrutar de un agradable baño.

Funcionan como una piscina normal, pero en lugar de utilizar cloro para limpiar el agua, ésta se recircula a través de un humedal artificial.

Separando la parte de baño de la vida acuática de plantas y otros organismos, donde el individuo puede disfrutar de un espacio como una piscina tradicional, con un borde infinito que se extiende sobre una laguna natural, que funciona como un humedal. Este ecosistema equilibrado evita el uso de productos químicos como el cloro para su mantenimiento.

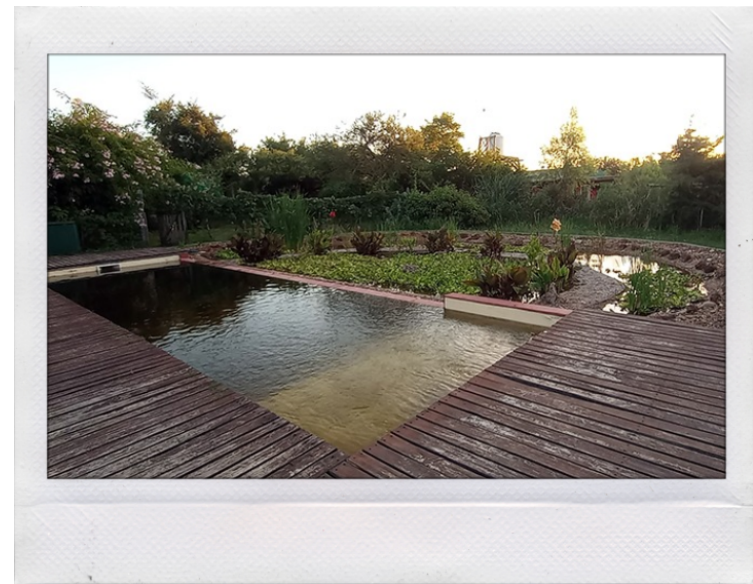


Fig. 23. BioPiscina Entre Rios, Argentina. Fernando Raffo

En las piscinas convencionales, el cloro elimina todo tipo de patógenos y vida, generando un agua inerte con un alto contenido en cloro que resulta perjudicial para la piel y el cuerpo, así como para la vida del agua de la piscina.

Una biopiscina, en cambio, es un ecosistema equilibrado que garantiza un agua sana y llena de vida mediante un proceso de filtración biológica.

Los diseños de las piscinas pueden variar en función del diseño de la zona de baño, el área de regeneración, la circulación del agua, los materiales a utilizar, el espacio disponible, la topografía, el número de usuarios y muchos otros factores. Se deberá estudiar cada caso en particular.

No es necesario tener los sistemas conectados con el espejo de agua, se podría utilizar un biofiltro en paralelo por donde recircular el agua, y devolverla a la piscina.

Imaginemos, por ejemplo, que queremos utilizar un biofiltro para limpiar el agua de una piscina olímpica, para utilizarla como alternativa al cloro, que hace que sea desagradable nadar en ella; podríamos hacer un biofiltro paralelo diseñado para limpiar los contaminantes de origen humano, y recircular el agua a través de un biofiltro mediante una bomba, o podríamos inclusive hacer un techo verde por encima, las soluciones son todas las imaginables. Habrá que estudiar cada caso en particular. En este ejemplo, si es una piscina climatizada, un factor importante a tener en cuenta sería la temperatura del agua antes de entrar en el sistema de tratamiento.



Fig. 24. BioPiscina Entre Rios, Argentina. Fernando Raffo

Las biopiscinas ofrecen una serie de ventajas significativas con respecto a las piscinas tradicionales. Estas son algunas de las principales:

Sostenibilidad ambiental: Las biopiscinas utilizan procesos naturales de filtración y regeneración del agua, eliminando la necesidad de productos químicos como el cloro. Esto reduce la huella ecológica y minimiza la liberación de sustancias químicas dañinas al medio ambiente.

Agua limpia y saludable: Las biopiscinas utilizan plantas y microorganismos beneficiosos para mantener el agua limpia y clara. Esto crea un entorno de baño más saludable sin los irritantes químicos presentes en las piscinas tradicionales.

Bajo costo de operación: A largo plazo, las biopiscinas tienden a ser más económicas de operar que las piscinas convencionales, ya que no requieren la compra constante de productos químicos ni la energía necesaria para operar sistemas de filtración y desinfección.

Estética natural: Las biopiscinas se integran armoniosamente en el entorno circundante, proporcionando un aspecto más natural y atractivo en comparación con las piscinas tradicionales, que a menudo pueden parecer intrusivas en el paisaje.

Biodiversidad: Las biopiscinas pueden fomentar la biodiversidad al proporcionar hábitats para plantas y animales acuáticos. Esto puede contribuir a la conservación de la vida silvestre local.

Menos irritación cutánea y ocular: Al eliminar el uso de cloro y otros productos químicos agresivos, las biopiscinas reducen la posibilidad de irritación en la piel y los ojos de los bañistas.

Valor de reventa: Las biopiscinas a menudo pueden aumentar el valor de una propiedad debido a su atractivo ecológico y su bajo costo de operación a largo plazo.

Experiencia de natación única: Nadar en una biopiscina puede ofrecer una experiencia de natación más agradable y natural, ya que el agua suele estar a una temperatura más agradable y tener una sensación más suave en la piel.

Contribución a la educación ambiental: Las biopiscinas pueden servir como herramientas educativas para promover la conciencia ambiental y la comprensión de los procesos naturales de purificación del agua.

Menos impacto en recursos hídricos: Al utilizar sistemas de filtración natural, las biopiscinas pueden ser menos demandantes en recursos hídricos en comparación con las piscinas tradicionales.

En resumen, las biopiscinas ofrecen una forma sostenible y natural de disfrutar de un espacio de baño, con beneficios tanto para el medio ambiente como para la salud de las personas que las utilizan.

Si in questi sistemi utilizzammo anche EM come additivo, è ancora più facile di mantenere l'acqua in condizioni ottimali.

8. Integraciones y Propuestas Arquitectónicas

Integraciones

En principio quienes eligen este tipo de solución son personas afines al concepto de la importancia de **la naturaleza y el agua**.

La obra arquitectónica no es entonces una simple solución al problema, sino también una filosofía del espacio en el que se encuentra.

Cada proyecto tendrá su propia **relación con el espacio** en el que se encuentre y su propia elección de materiales de terminación.

El humedal construido es principalmente subterráneo, por lo que su funcionamiento no depende de la terminación elegida.

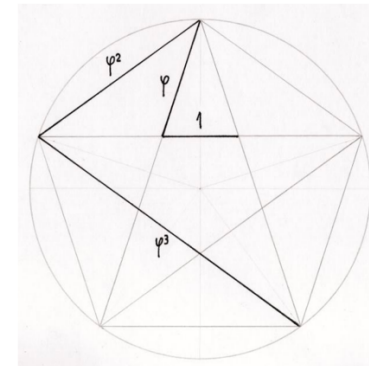
Es entonces en su terminación donde el arquitecto tendrá libertad de elección.

Por ejemplo, si el acabado de la estructura principal es de hormigón visto, se puede elegir un cordón perimetral del mismo material para integrar el humedal en la arquitectura y representar su abrazo con la naturaleza.

Creo que para resolver este problema medioambiental, primero debemos enfocarnos en el mensaje que queremos transmitir a la sociedad, y podemos hacerlo a través del arte, que es un reflejo de este superorganismo sociocultural.

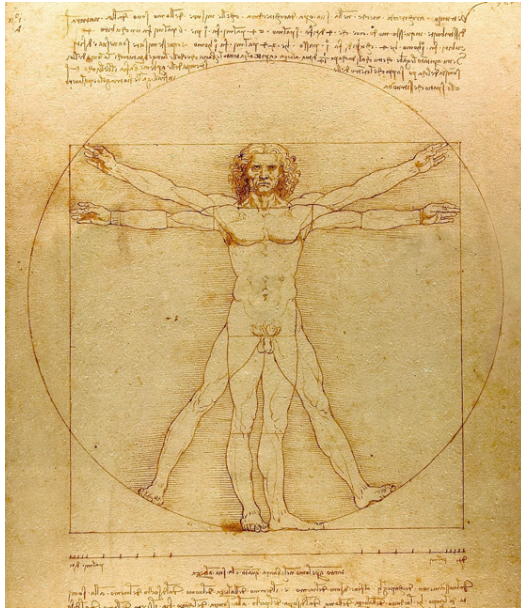
BioPhiltro

La primera propuesta se inspira en la naturaleza, la naturaleza del hombre, el penta, la cualidad del número 5.



Relaciones Phi en el pentágono. Pablo Iiso.[11]

Leí por primera vez de este maravilloso número o proporción leyendo la Dan Brown, El Código Da Vinci.
La misma con la que se inspiró en su momento Leonardo Da Vinci, para realizar su obra "L'Uomo Vitruviano".



L'Uomo Vitruviano. Leonardo da Vinci.

La arquitectura en si misma es geometría, y en cada geometría natural se esconde una proporción divina.

Esta proporción la encontramos en lugares indispensables, inclusive en nosotros mismos. En mi primer clase del workshop de "Disegno dal Vero e del Immaginario" en el Castello del Valentino, los profesores propusieron dibujar, o bien la cara de nuestros compañeros o nuestra mano (mi elección); en lo personal si bien siempre tuve un interés en el arte y en sus códigos ocultos, hacer un retrato de un desconocido en su momento no era para mí una habilidad, además viniendo de estudiar por años la ingeniería.

El dibujar mi mano desde el "Vero" significaba observar y copiar exactamente aquello que podía ver con mis ojos.

Qué podía aportarle a mi "Disegno" desde el "Immaginario"? Lo intuitivo para mí en ese momento fue inspirarme en la naturaleza de esta proporción

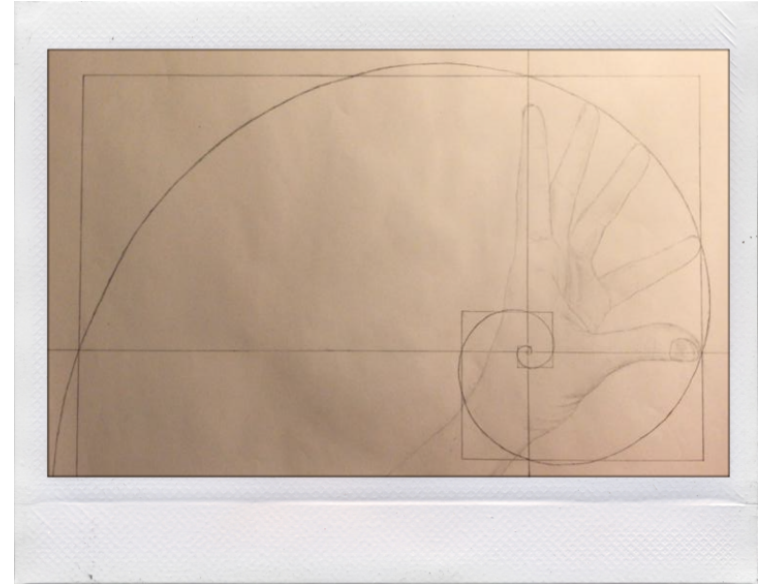


Fig. 25. Disegno prima lezione del Workshop Disegno dal Vero e dell'Immaginario. Dall'autore.

Si bien el ángulo áureo correcto es 137° al dibujar en una hoja rectangular decidí aumentar el radio de la espiral cada 90° para adaptarme al espacio disponible.

De aquí, tiempo más tarde, tomo como referencia este diseño para hacer mi primer modelo en 3D, utilizando el programa SketchUp, para modelar un biofiltro en forma de caracol gigante, del cual crecen plantas que limpian el agua. Qué luego de ser renderizados realizados se ven como la siguiente imagen.



Fig. 26. Render del BioPhiltro. Pia Milessi.



Fig. 27. Render del BioPhiltro. Pia Milessi.

IcoBiofiltro

La segunda propuesta es un biofiltro de base pentagonal, sobre el cual se materializa un domo icosaédrico. Siendo el **icosaedro** uno de los 5 sólidos platónicos o cósmicos, con el que Platón representa el agua en su obra *Timeus*.

Esta geometría es considerada sagrada, y se utiliza para representar, por ejemplo, los chakras de las personas. Siendo esta la geometría que representa el **agua**, el chakra sexual, la nota musical Re, el color naranja, y todos los fractales rítmicos de esta frecuencia, de vibración universal.

Para ello, se propone un biofiltro de base pentagonal, que sirve de base a un domo icosaédrico, a materializar con bambú, por ejemplo.



Fig. 28. Render Icobiofiltro. Arq. Pia Milesi



Fig. 29. Render Icobiofiltro, vista superior. Arq. Pia Milesi

Que conceptualmente tanto el sistema primario como el terciario quedan enterrados, y es el sistema secundario el que se ve como un resultado arquitectónico, pero funcional, como queda claro en el diagrama:

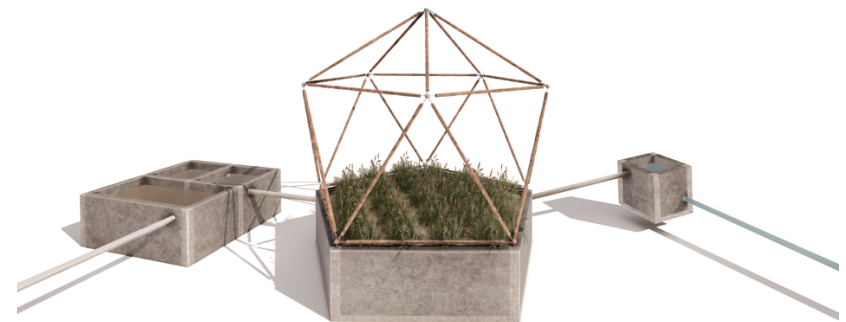
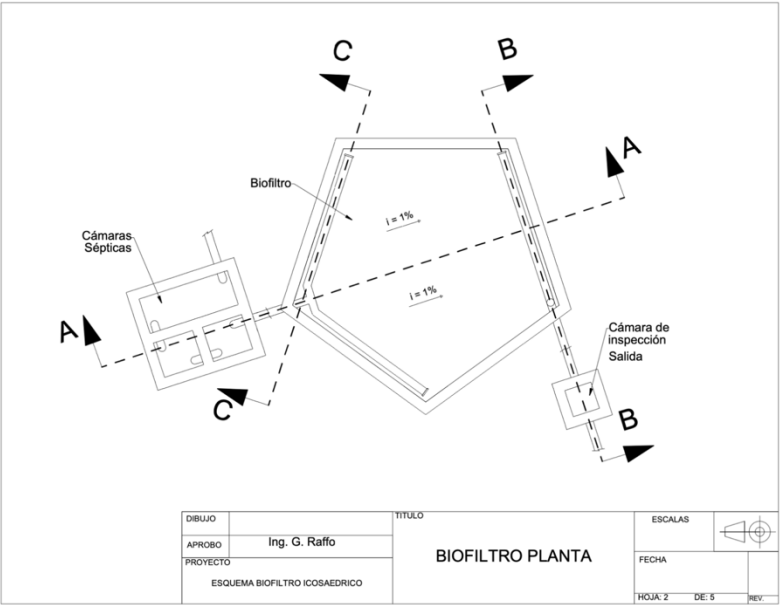


Fig. 30. Render esquema Icobiofiltro. Arq. Pia Milesi

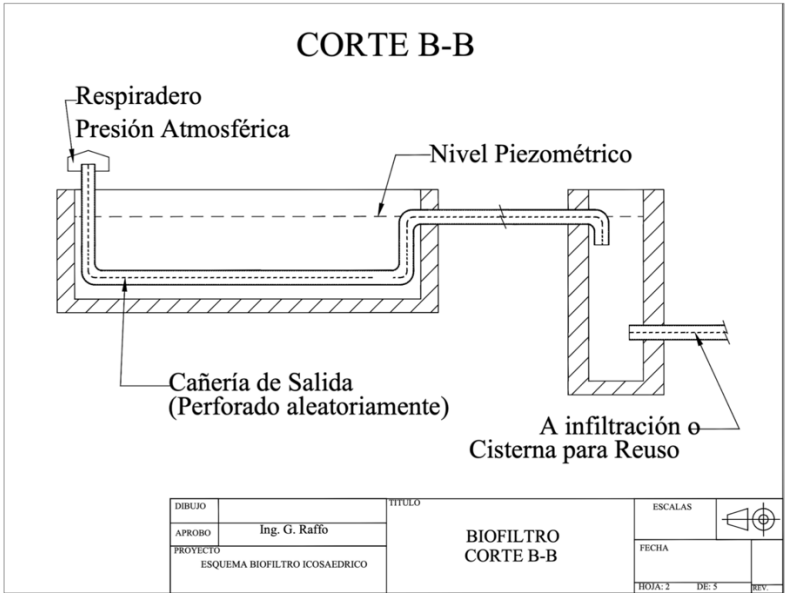
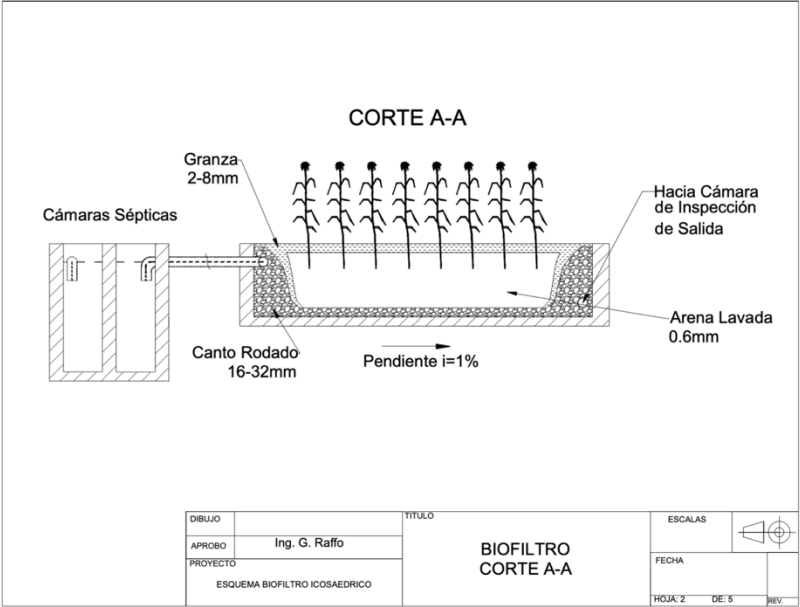
Les comparto los planos del icobiofiltro, para que cualquiera que se sienta inspirado por estos diseños pueda utilizarlos para limpiar sus propias aguas, pocas cosas me harían sentir tanta felicidad.

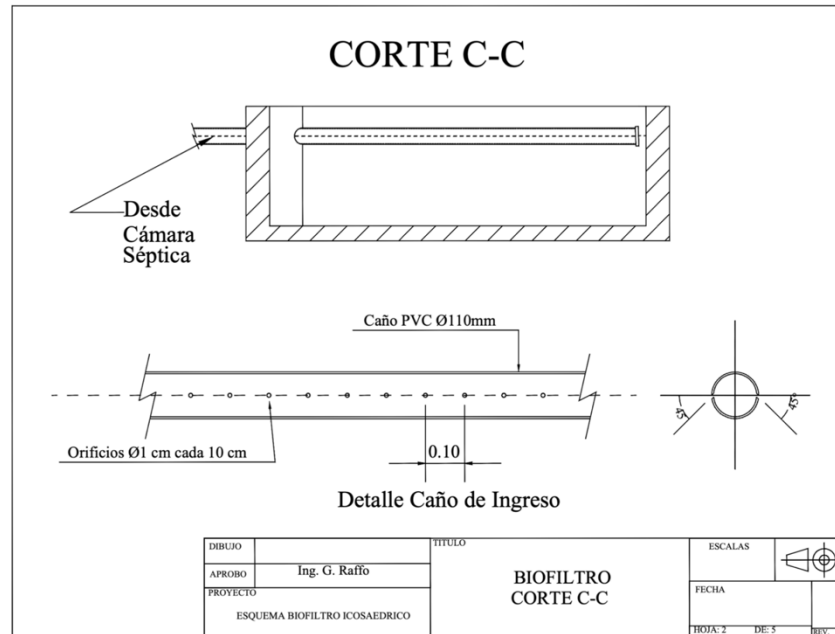
Su materialización consiste en un biofiltro con una base pentagonal que permite la construcción de una viga perimetral por encima de la última hilada de ladrillos, o bien se puede materializar con una membrana plástica contenida con una viga de encadenado pentagonal, sobre la que se puede construir la estructura del duomo icosaédrico.

El funcionamiento del biofiltro no depende de la geometría, lo importante es garantizar una circulación cruzada y en toda la superficie del biofiltro.



Plano conceptual





Planos del IcoBiofiltro, de mi hermano gemelo, el Ing. German Raffo.

9. Algunas reflexiones sobre el agua

Me gustaría concluir citando a Masaru Emoto[12], que fue aún más allá al estudiar el agua. Él creía que el agua podía estar influenciada por procesos no físicos. Entonces puso un vaso de agua en medio de gente de todas las edades formando un círculo, y todos empezaron a decirle palabras horribles, con las peores energías. A continuación quitó el vaso y puso otro, donde todos empezaron a decirle cosas bonitas con todo el amor que tenían.

Después congeló estas aguas y con un microscopio las fotografió mientras cristalizaban. El agua que había recibido energías negativas no formó ningún cristal, mientras que el agua que había recibido palabras amables y amor mostró cristales armoniosos.

Esto le llevó a pensar que el agua transporta la información a la que está expuesta. Por lo que continuó sus experimentos exponiendo el agua a diferentes estímulos, como pensamientos, palabras escritas en papelitos, mantras budistas, fotografías, música, entre otros.

Algunos adoptaron una estructura de cristalización armoniosa que, en geometría, parecían comunicar la naturaleza del mensaje de cada estímulo.



Fig. 31. Fotografía en formato de agua cristalina expuesta a las palabras amor y gratitud, escritas. Masaru Emoto

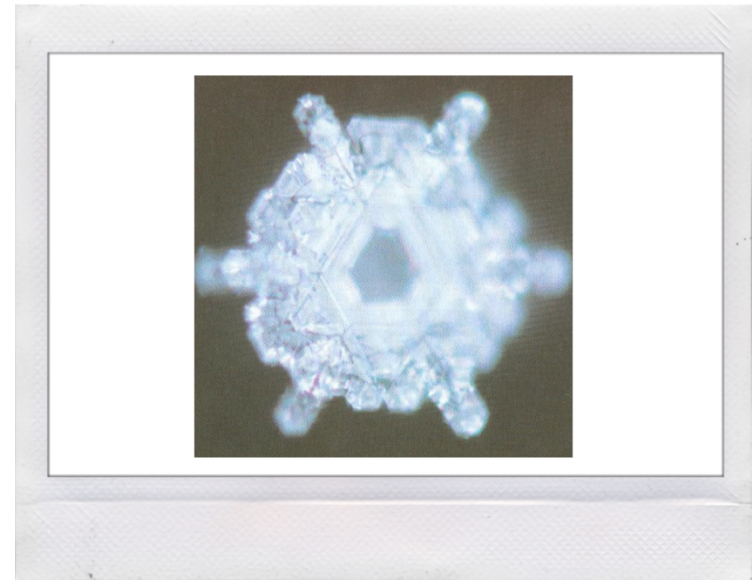


Fig. 32. Cristal formado por agua que se ha hecho escuchar la canción Yesterday de The Beatles. Masaru Emoto

Si todo está en estado de vibración, significa que todo crea sonido. No significa que oigamos todos los sonidos.

El oído humano los escucha entre 15 y 20.000 hercios.

Y mientras se crea el sonido, hay un oyente principal que parece recibir todos los sonidos: el agua.

Piense por qué la música afecta a la formación de cristales y puede obtener resultados completamente distintos según las palabras habladas o escritas que se muestren al agua.

Una vez más, la respuesta es que todo vibra. El agua, tan sensible a las frecuencias únicas que emite la realidad, refleja el mundo exterior de forma esencial y eficaz.

Un día, por casualidad, abrí un libro y lo que leí en ese libro tuvo un significado completamente diferente para mí, porque mi corazón estaba abierto y receptivo al mensaje.

Si sabes que algo es posible en tu corazón, realmente lo es. Lo hacemos posible a través de la voluntad. Lo que imaginamos en nuestra mente se convierte en realidad. Esa es una de las cosas que aprendí del agua.

Conocer el agua es como descubrir el funcionamiento del cosmos y los cristales que revela el agua como portales a otras dimensiones. Al continuar sus experimentos con fotografías de cristales, descubrió que estaba cerca de subir las escaleras para comprender las verdades profundas del cosmos.

Recuerdo una fotografía en particular. El cristal más bello y delicado que había visto nunca, formado por las palabras amor y gratitud.

Masaru Emoto dice que el cuerpo medio tiene un 70% de agua.

Cuando somos fetos somos un 99% de agua. Cuando nacemos, somos un 90% de agua y cuando llegamos a la edad adulta, un 70%. Si morimos de viejos, probablemente seamos un 50% de agua. En otras palabras, a lo largo de nuestra vida, existimos principalmente como agua.

Emoto estudió el agua durante muchos años y el descubrimiento de que el agua puede copiar información rompió paradigmas para mí.

El agua de un río se mantiene pura porque está en movimiento. Cuando el agua se estanca, muere. Por lo tanto, el agua debe estar en constante circulación. El agua -o la sangre- del cuerpo de los enfermos suele estar estancada. Cuando la sangre deja de circular, el cuerpo empieza a deteriorarse y si la sangre del cerebro se detiene, la vida puede estar en peligro.

Pero, ¿por qué se estanca la sangre? Podemos ver este problema como un estancamiento de las emociones.

Cuando las emociones fluyen por todo el cuerpo, se produce una sensación de alegría que conduce a la salud física.

Moverse, cambiar, fluir: éste es el sentido de la vida.

Y es realmente fascinante si recordamos que el 70% de nuestro cuerpo está formado por agua.

~ Si los pensamientos pueden hacer esto al agua, imagina lo que nuestros pensamientos pueden hacernos a nosotros mismos.



Fig. 33. Cristal formado por agua expuesta a la palabra

Gracias!

Dino Raffo

Apéndice

Tablas de caudales a utilizar según METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido reutilización.[3]

TABLA 2-1

Valores típicos de los usos públicos de agua en los Estados Unidos^a

Uso	Caudal (l/hab · día)		
	Intervalo	Media	Porcentaje respecto al caudal medio
Doméstico	150- 490	225	36,4
Industrial (no doméstico)	40- 380	265	42,4
Servicio público	20- 75	40	6,0
Pérdidas y fugas	40- 150	95	15,2
	250-1.095	625	100,0

TABLA 2-5

Espacios recreacionales: Valores típicos de los consumos^{a,b}

Usuario	Unidad	Caudal (l/unidad · día)	
		Intervalo	Valor típico
Apartamento, zona turística	Persona	190-265	225
Bolera	Pista	570-950	760
Campamento			
Excursionista	Persona	55-110	95
Para niños, lavabos comunitarios	Persona	130-190	170
De día, sin comidas	Persona	40-75	55
De día, con comidas	Persona	30-70	50
De lujo, baño privado	Persona	280-380	320
Caravana, roulotte	Caravana	280-570	470
Zona de acampada, desarrollada	Persona	75-150	115
Club de campo	Socio presente	225-470	380
	Empleado	40-55	50
Dormitorio, barracón	Persona	75-170	130
Recinto ferial	Visitante	5-7	10
Zona de picnic, con lavabos	Visitante	20-40	30
Piscinas y playas	Cliente	20-55	40
	Empleado	30-55	40
Centro de visitas	Visitante	15-30	20

^a Adaptado parcialmente de la bibliografía [7] y [8].

^b Salvo que se especifique expresamente, se supone que las instalaciones están dotadas de suministro de agua, retretes y lavabos

TABLA 2-9

Zonas residenciales: Caudales de agua residual típicos^a

Fuente	Unidad	Caudal (l/unidad · día)	
		Intervalo	Valor típico
Apartamento			
Alto standing	Persona	132-280	190
Nivel medio	Persona	198-300	245
Hotel	Cliente	115-210	170
Residencia individual			
Vivienda media	Persona	170-340	265
Vivienda clase alta	Persona	225-380	300
Vivienda de lujo	Persona	280-570	360
Vivienda antigua	Persona	115-225	170
Segunda residencia	Persona	95-190	150
Motel			
Con cocina	Unidad	340-680	380
Sin cocina	Unidad	285-570	360
Zona caravanning	Persona	115-190	150

^a Adaptado parcialmente de la bibliografía [7].

TABLA 2-10

Establecimientos comerciales: Caudales de aguas residuales típicos^a

Fuente	Unidad	Caudal (m ³ /unidad · día)	
		Intervalo	Valor típico
Aeropuerto	Pasajero	8-15	11
Estación de servicio	Coche servido	25-50	40
	Empleado	35-55	45
Bar	Cliente	5-20	10
	Empleado	40-60	50
Grandes almacenes	Lavabo	1.500-2.250	1.900
	Empleado	30-45	40
Hotel	Cliente	150-210	180
	Empleado	25-50	40
Edificio industrial (sólo aguas sanitarias)	Empleado	25-60	50
Lavandería (self-service)	Lavadora	1.700-2.500	2.100
	Lavado	170-210	190
Oficina	Empleado	25-60	50
Restaurante	Comida	8-15	10
Centro comercial	Aparcamiento	4-8	8
	Empleado	25-50	40

^a Adaptado parcialmente de la bibliografía [2].

TABLA 2-11

Centros institucionales: Caudales de agua residual típicos^a

Fuente	Unidad	Caudal (m ³ /unidad · día)	
		Intervalo	Valor típico
Hospital médico	Cama	470-900	625
	Empleado	20-55	40
Hospital psiquiátrico	Cama	285-530	380
	Empleado	20-55	40
Prisión	Recluso	285-570	435
	Empleado	20-55	40
Asilo	Residente	190-455	320
Colegio, diurno			
Con cafetería, gimnasio y duchas	Estudiante	55-115	95
Sólo con cafetería	Estudiante	40-75	55
Sin cafetería ni gimnasio	Estudiante	20-65	40
Colegio, internado	Estudiante	190-380	285

^a Adaptado parcialmente de la bibliografía [2].

TABLA 2-11

Centros institucionales: Caudales de agua residual típicos^a

Fuente	Unidad	Caudal (m ³ /unidad · día)	
		Intervalo	Valor típico
Hospital médico	Cama	470-900	625
	Empleado	20-55	40
Hospital psiquiátrico	Cama	285-530	380
	Empleado	20-55	40
Prisión	Recluso	285-570	435
	Empleado	20-55	40
Asilo	Residente	190-455	320
Colegio, diurno			
Con cafetería, gimnasio y duchas	Estudiante	55-115	95
Sólo con cafetería	Estudiante	40-75	55
Sin cafetería ni gimnasio	Estudiante	20-65	40
Colegio, internado	Estudiante	190-380	285

^a Adaptado parcialmente de la bibliografía [2].

TABLA 2-12

Centros de recreo: Caudales de aguas residuales típicos^a

Usuario	Unidad	Caudal (m ³ /unidad · día)	
		Intervalo	Valor típico
Apartamento, zona turística	Persona	190-265	225
Refugio, zona turística	Persona	30-190	150
Cafetería	Cliente	4-10	8
	Empleado	30-45	40
Zona de acampada, desarrollada	Persona	75-150	115
Bar	Asiento	45-95	75
	Socio presente	225-490	380
Club de campo	Empleado	40-55	50
	Persona	40-55	50
Campamento de día, sin comidas	Por comida	15-40	26
Comedor	Persona	75-190	150
Dormitorio, barracón	Persona	150-225	190
Hotel, zona turística	Cliente	4-15	11
	Empleado	30-45	40
Tienda, zona turística	Empleado	30-45	40
	Usuario	20-45	40
Piscina	Empleado	30-45	40
Cine	Butaca	8-15	10
	Visitante	15-30	20
Centro de visitas	Visitante	15-30	20

^a Adaptado parcialmente de la bibliografía [7].

Bibliografía

1. WWAP, 2017.
2. Ordenanza n. 131/2022, Colon, Entre Ríos, Argentina.
3. METCALF & EDDY, INC (1995). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Editorial McGraw-Hill.
4. thinktim.mx
5. EPA (2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales- les Humedales de flujo subsuperficial. Ed. Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.
6. Sherwood C. Reed. Natural Systems for Waste Management and Treatment. McGraw-Hill Inc. United States, 1988.
7. THEWAVEORG.com
8. Informe Aplicación de tecnología EM como medida de mitigación de Microcystis sp. en muestras del embalse San Roque, provincia de Córdoba. LABORATORIO DE HIDRÁULICA-UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA. Diciembre, 2023.
9. Higa, Teruo. Una Revolución Para Salvar la Tierra. EM JAPAN TECHNOLOGY ARGENTINA S.A. Cordoba, Argentina. Octubre de 2006. inecol.mx
10. inecol.mx
11. Geometría Universal y las dinámicas del existir, Pablo Isso, Argentina. Marzo 2020.
12. Emoto, Masaru. Los Mensajes Ocultos del Agua, Grupo Caz, Mexico, DF, Mayo de 2005.