



¿Cómo

purificar agua
usando un filtro
lento de arena

en mi escuela?



338.927

González Herrera, Arturo

G64

¿Cómo purificar agua usando un filtro lento de arena en mi escuela? / Arturo González Herrera. -- Jiutepec, Mor. : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, ©2023. XX p.

ISBN 978- (obra impresa)

ISBN 978- (obra digital)

1. Tratamiento del agua 2. Filtros de arena 3. Tecnología apropiada

¿CÓMO PURIFICAR AGUA USANDO UN FILTRO LENTO DE ARENA EN MI ESCUELA?

Arturo González Herrera

D.R. © 2023 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso,
62550 Jiutepec, Mor., México
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Coordinador Editorial: Adrián Pedrozo Acuña
Editor: Roberta Karinne Mocva Kurek
Cuidado de la edición: Emilio García Díaz
Diseño editorial y formación: Ana Lilia Torres García
WebMaster: Claudia Patricia Martínez Salgado

Se agradece a Iván Emmanuel Villegas Mendoza por su participación en la elaboración del prototipo de filtración lenta con tanques de almacenamiento

<https://doi.org/10.24850/b-imta-2023-17>

ISBN: 978-607-8629-41-1

ISBN Colección Técnica: 978-607-8629-24-4

Septiembre 2023, Jiutepec, Morelos

Hecho en México / Made in Mexico

Queda prohibido su uso para fines distintos al desarrollo social.

Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra, sin fines de lucro y citando la fuente.

¿Cómo

purificar agua usando
un filtro lento de arena

en mi escuela?

Coordinador Editorial:

Adrian Pedrozo Acuña

Editor:

Roberta Karinne Mocva Kurek

Autores:

Arturo González Herrera



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



Contenido

1. Introducción a la calidad de agua y a los procesos de purificación.....9

1.1 Tipos de fuentes de agua y problemas de calidad.....	9
1.1.1 Aguas subterráneas:.....	9
1.1.2 Aguas superficiales.....	9
1.1.3 Agua de lluvia.....	10
1.2 ¿Qué es el agua potable?.....	10
1.3 ¿Qué norma aplica y cuáles son sus parámetros de calidad?.....	11
1.4 ¿Cuáles son los procesos esenciales de purificación para aguas superficiales y de lluvia?.....	11
1.4.1 Priorización en la eliminación de contaminantes.....	11
1.4.2 Sedimentación.....	12
1.4.3 Filtración.....	
1.4.4 Desinfección.....	13
1.4.5 Manipulación y manejo seguros del agua purificada.....	13

2. ¿Qué es un filtro lento de arena o biofiltro?.....14

2.1 ¿Para qué sirve un filtro lento de arena?.....	14
2.2 ¿Cómo funciona el filtro?.....	14
2.3 Elementos que componen un biofiltro de arena.....	16

3 ¿Cómo diseñar un biofiltro?..... 18

3.1 ¿Cuál es la calidad del agua a purificar?.....	18
3.2 ¿Hay necesidad de pretratamiento?.....	18
3.3 ¿Qué cantidad de agua se debe purificar por día?.....	18
3.4 Ejemplo de cálculo de volumen de agua a purificar.....	19
3.5 Ejercicio de cálculo del diámetro de un biofiltro.....	22
3.6 ¿Dónde ubicar el biofiltro?.....	22

3.7 ¿Cómo determinar el flujo de agua a filtrar? 23

3.8 ¿Qué características deben tener los medios filtrantes? 23

4 ¿Cómo construir un biofiltro? 26

4.1 ¿Qué materiales y herramienta se requieren para construir e instalar un biofiltro? 27

4.2 Tanques de almacenamiento 28

4.3 Acceso al agua purificada por los usuarios 29

4.4 ¿Cómo seleccionar y preparar los medios filtrantes? 30

4.4.1 Selección de materiales 30

4.5 ¿Cómo ensamblar los tanques de almacenamiento y el biofiltro? 31

4.5.1 Orificios de entradas y salidas de tanques 31

4.5.2 Tanque de agua cruda (TAC): 31

4.5.3 Biofiltro (BF): 31

4.5.4 Tanque de agua tratada (TAT): 31

4.5.5 Ensamble de tuberías y conexiones en tanques de almacenamiento y biofiltro 32

4.5.6 Empacado de grava y arena 34

4.5.6.1 Grava 34

4.5.6.2 Arena 35

4.6 Puesta en servicio 35

4.7 Recomendaciones sobre la operación y el mantenimiento del biofiltro 36

4.7.1 Operación 36

4.7.2 Limpieza 36

4.8 Monitoreo y evaluación del funcionamiento del biofiltro 38

4.8.1 Frecuencia del monitoreo 38

4.8.2 Puntos de monitoreo 38

4.9 Verificación de la calidad de agua 39

4.10 Recomendaciones para periodos prolongados de paro y para el mantenimiento extraordinario 39

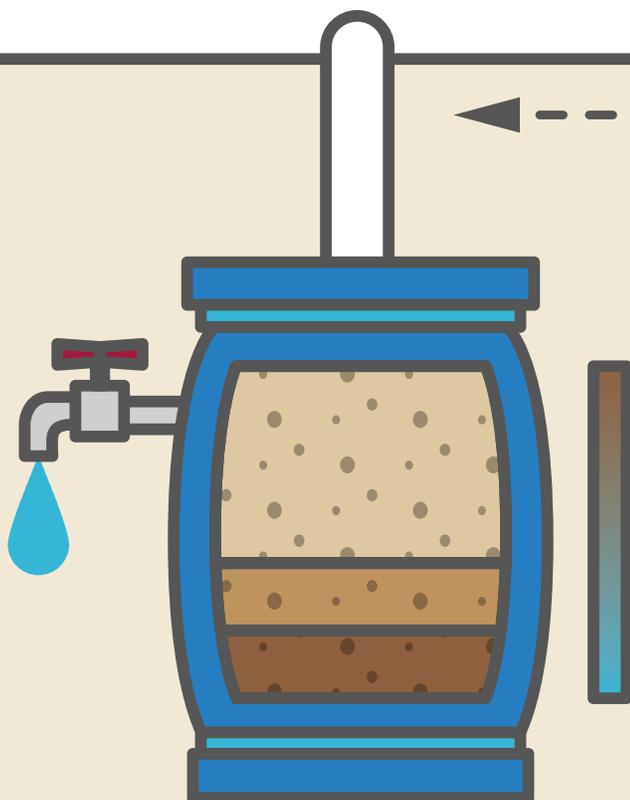
Referencias bibliográficas 41

ANEXOS 42

1. Pretratamiento con filtros gruesos 42

2. Desinfección del agua filtrada 43

3. Formatos para el registro de evaluación de funcionamiento y aceptabilidad de los usuarios 45



Presentación

Con la intención de divulgar y fomentar la gestión sustentable del agua en escuelas, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) ha seleccionado soluciones ecotecnológicas en materia de agua de fácil instalación y apropiación, económicas, de baja dependencia tecnológica, y que favorezcan el aprovechamiento eficiente de recursos naturales, y puedan aplicarse en escuelas, sobre todo periurbanas y rurales. La idea es poner a disposición de la comunidad escolar estas ecotecnias del agua a través de una serie de manuales explicativos para impulsar la implementación de las mismas y contribuir al desarrollo de escuelas sostenibles.

Objetivo

Este manual tiene como objetivo particular que los usuarios conozcan qué es, para qué sirve, cómo se construye y cómo se usa un filtro lento de arena, también conocido como biofiltro de arena.

1. Introducción a la calidad de agua y a los procesos de purificación

1.1. Tipos de fuentes de agua y problemas de calidad

Los tipos de fuentes de abastecimiento de agua se clasifican según su origen o punto de aprovechamiento:

- Aguas subterráneas: mantos freáticos, acuíferos, manantiales
- Aguas superficiales: arroyos, ríos, lagos, lagunas, embalses o presas
- Aguas meteóricas: lluvia, granizo, nieve
- No convencionales: aguas salinas o salobres y recuperadas

1.1.1. Aguas subterráneas:

En muchos casos, el agua subterránea es de buena calidad; se puede usar y beber directamente después de su desinfección. Se extrae mediante pozos profundos con equipos de bombeo (Figura 1). En otros casos, cuando el agua está a poca profundidad, se puede extraer de manera manual mediante el uso de norias; en otros tantos, el agua brota sola en pozos artesianos.

En zonas geográficas localizadas se presenta contaminación de origen natural; p. ej. con arsénico, flúor, hierro y manganeso.

Las aguas freáticas son vulnerables a la contaminación microbiológica y química de origen antropogénico, por lo que hay que evaluar las necesidades de tratamiento para cada fuente de agua subterránea.



Figura 1. Pozo con equipo de bombeo para extracción de agua subterránea.

1.1.2. Aguas superficiales

Su origen puede ser el agua subterránea que aflora a la superficie a través de manantiales o el agua de lluvia que fluye sobre la superficie del

terreno hacia los arroyos, ríos, lagos y mares (figura 2). Parte del agua superficial se infiltra en el suelo.

El agua superficial es susceptible de contaminarse principalmente con turbiedad y materia orgánica (como sustancias húmicas que dan color al agua), así como con microorganismos patógenos, nutrientes y sustancias tóxicas provenientes de descargas de aguas residuales y retornos agrícolas.

Los ríos y arroyos se caracterizan por tener rápidos cambios de calidad estacional. En lagos y embalses, el cambio estacional en la calidad del agua es gradual y menos drástico que en los ríos.



Figura 2. Lago, fuente de agua superficial.

¿Qué son sustancias húmicas?

Son sustancias orgánicas producto de la descomposición de vegetales, por lo que se encuentran de forma natural en suelos y aguas superficiales. Son de color negro o café oscuro.

1.1.3. Agua de lluvia

La captación pluvial en techos y otras superficies limpias es una buena opción como fuente de abastecimiento. Se debe considerar que las primeras lluvias lavan la atmósfera y la superficie de captación (figura 3).

El agua de lluvia puede tener excelente calidad, dependiendo de la zona, excepto cerca de industrias y de volcanes activos, porque puede acarrear partículas suspendidas y sustancias tóxicas.

También se puede contaminar en las cisternas de almacenamiento si estas no están bien ubicadas, cerradas o construidas.

El agua de lluvia que escurre y se almacena en hojas o reservorios arrastra gran cantidad de sólidos suspendidos, materia orgánica y otras sustancias, dependiendo de los cauces por los que circule.



Figura 3. Lluvia, fuente de abastecimiento de agua.

1.2. ¿Qué es el agua potable?

El agua potable es aquella que es apta para consumo humano (figura 4); no debe contener contaminantes químicos ni agentes infecciosos que afecten a la salud.



Figura 4. El agua que bebemos debe ser potable.

Los requerimientos básicos del agua potable son los siguientes::

- Estar libre de microorganismos patógenos que causan enfermedades, como la diarrea
- No contener sustancias que causen un efecto adverso a la salud, ya sea agudo o a largo plazo
- No presentar turbiedad ni color
- No ser salina

- No contener compuestos que proporcionen olor o sabor desagradable
- No causar corrosión o incrustaciones en el sistema de abastecimiento o manchas en la ropa lavada

1.3. ¿Qué norma aplica y cuáles son sus parámetros de calidad?

El agua puede contener diversas sustancias disueltas y suspendidas. En cierta medida, muchas de ellas pueden ser necesarias para la salud humana, pero en exceso pueden ser nocivas o tóxicas. La norma oficial mexicana de calidad del agua, NOM-127-SSA1-2021 (DOF, 2022), establece los límites permisibles que deben cumplir las sustancias para que el agua sea apta para uso y consumo humano.

La relación entre salud y calidad del agua ha sido estudiada para muchas sustancias contenidas en ella. Un examen de calidad del agua se basa principalmente en la determinación de microorganismos, características físicas, compuestos químicos (orgánicos e inorgánicos), metales y metaloides.

El parámetro de calidad del agua más importante es el microbiológico, ya que las bacterias, protozoarios y virus presentes en ella puede tener un efecto agudo en nuestra salud, es decir, nos pueden hacer enfermar en pocos días. No es práctico determinar todos los posibles microorganismos presentes en el agua, sino únicamente aquellas bacterias específicas cuya presencia en el agua indica contaminación fecal.

La bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*) se usa como organismo indicador de contaminación fecal, cuyo contenido en el agua potable deberá ser inferior a 1.1 como NMP/100mL (número más probable en 100 mililitros) o no detectable.

Los parámetros químicos más importantes por su efecto tóxico a la salud son arsénico, cadmio, cromo, plomo, mercurio, fluoruros y nitratos. El análisis para cuantificar el contenido de estos parámetros se realiza en laboratorios de análisis de agua públicos y privados que aplican métodos químicos y físicos normalizados, pero también se puede realizar con métodos rápidos de manera instrumental (figura 5).

Los parámetros físicos, como la turbiedad y el color, aunque por sí mismos no causan daño a la salud de los consumidores de agua, sí pueden interferir en la eficacia de la desinfección, o formar subproductos tóxicos, por lo que es necesario eliminarlos del agua.

La turbiedad es una medida de la presencia de partículas suspendidas, como arcilla y limo, y de materia orgánica. Elevados niveles de turbiedad pueden



Figura 5. Colorímetro, instrumento para hacer mediciones de calidad de agua

proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular la proliferación de bacterias. Por lo tanto, cuando el agua ha de desinfectarse, la turbiedad debe ser baja; el valor límite permisible que marca la NOM-127-SSA1-2021 es de 4 UNT (unidades nefelométricas de turbiedad).

El color natural del agua superficial se debe por lo general a la presencia de sustancias húmicas. El color también puede ser consecuencia de contaminación por descargas de aguas residuales urbanas o industriales. Otros compuestos que causan color son los óxidos de hierro y manganeso. El límite permisible del color real (después de eliminada cualquier partícula suspendida) es de 15 UC (unidades de color).

El olor y sabor en las aguas superficiales se deben a las algas, materia orgánica en descomposición, gases disueltos, sales y otros compuestos químicos. El agua con sabor y olor es desagradable y causa rechazo por parte de los consumidores.

1.4. ¿Cuáles son los procesos esenciales de purificación para aguas superficiales y de lluvia?

Cuando la calidad del agua de la fuente de abastecimiento no cumpla con los requisitos de las normas de calidad del agua para uso y consumo humano, esta debe purificarse para que no cause daños a la salud.

1.4.1. Priorización en la eliminación de contaminantes

Principal objetivo de tratamiento: desinfección, porque los microorganismos causan enfermedades agudas.

Segundo objetivo: eliminar partículas suspendidas (turbiedad), porque son fáciles de remover y pueden interferir en la eficiencia de la desinfección.

Tercer objetivo: remover materia orgánica coloidal (color), que también puede interferir en la eficiencia de la desinfección.

Hay sustancias químicas solubles (iones y moléculas) que pueden causar enfermedades crónicas (de largo plazo), pero los procesos para su eliminación son más complicados y costosos.

Los contaminantes esperados en las aguas superficiales y de lluvia son turbiedad, materia orgánica, color y microorganismos patógenos.

Los tratamientos para eliminar estos contaminantes de las aguas para consumo humano son sedimentación, filtración y desinfección, dependiendo del grado de contaminación.

1.4.2. Sedimentación

Es un proceso de clarificación del agua en el que esta se deja reposar cierto tiempo para permitir que las partículas suspendidas y algunos microorganismos adheridos a ellas sedimenten y se precipiten al fondo del tanque o recipiente.

Es el primer paso de tratamiento en los casos en los que el agua es muy turbia.

Los métodos de filtración y desinfección son más eficaces cuando el agua tiene baja turbiedad.



Fuente: Basado en CAWST (2017a)

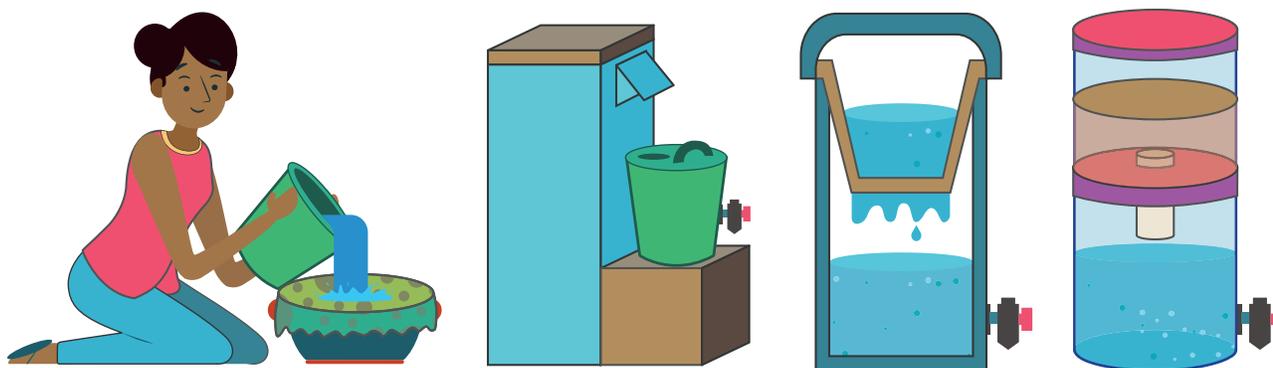
Figura 6. Proceso de sedimentación.

1.4.3. Filtración

Proceso físico mediante el cual el agua pasa a través de un medio permeable, como arena, cerámica, una tela o una membrana.

Los poros son lo suficientemente grandes para que pase el agua, pero suficientemente chicos para retener las partículas suspendidas.

La filtración se realiza después de la sedimentación, con el fin de reducir aún más la turbiedad y eliminar microorganismos patógenos. Los filtros lentos de arena o biofiltros son muy efectivos para esto último, y también pueden eliminar materia orgánica.



Fuente: Basado en CAWST (2017a)

Figura 7. Dispositivos filtrantes para purificación de agua para consumo humano.

1.4.4. Desinfección

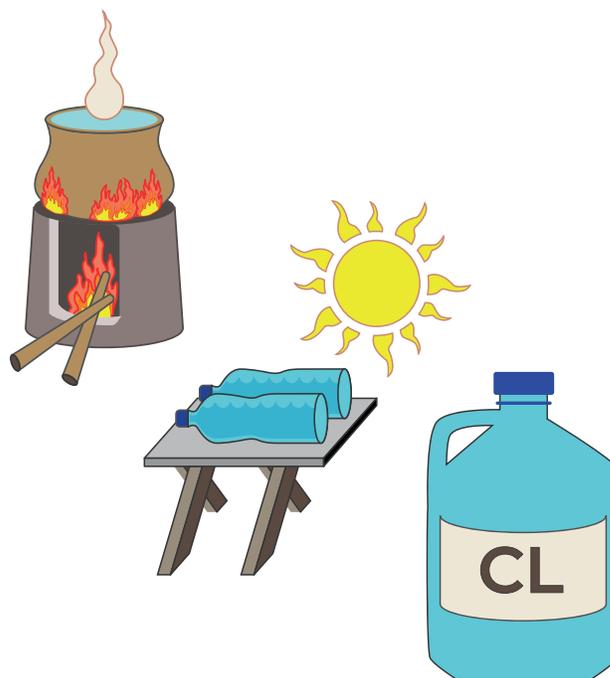
Es el proceso físico, químico o biológico por el cual se eliminan o inactivan los microorganismos patógenos que pueden afectar nuestra salud. Este proceso le sigue a la filtración.

El método más común, a escala centralizada o colectiva, es la cloración, incluso, en muchos casos, es el único tratamiento que se le da al agua, sobre todo en pequeños sistemas centralizados.

En el uso del cloro es muy importante usar la dosis correcta, para no quedar abajo de lo requerido para una desinfección eficiente, y no sobredosificar, para no dejar mal sabor al agua, o que nos pueda irritar, o causar daños mayores.

Hervir el agua es el método doméstico más caro, por el consumo de leña o de gas, además, puede no ser tan efectivo, porque el agua se puede volver a contaminar por un mal manejo en las horas subsiguientes.

Otros métodos a escala doméstica para desinfectar el agua de consumo son la radiación ultravioleta y solar y el uso de soluciones de yodo y plata coloidal.



Fuente: Basado en CAWST (2017a)

Figura 8. Métodos de desinfección de agua para consumo humano.

1.4.5. Manipulación y manejo seguros del agua purificada

Tener un almacenamiento de agua seguro es tan importante como el mismo tratamiento para su purificación.

El agua purificada para uso y consumo humano se almacena en tanques grandes antes de que sea distribuida a la población mediante redes de tuberías y tomas domiciliarias, o directamente de una llave pública en el tanque.

En las escuelas, centros de salud y otros lugares públicos se almacena en cisternas, tanques, tinacos y bidones; en las casas se usan además ollas o baldes.

Todos los depósitos de agua, sean grandes o pequeños, deben tener las condiciones físicas adecuadas para evitar la entrada de insectos, animales, partículas o sustancias que puedan contaminarla.

Usar recipientes limpios, con tapa y llave, de materiales inertes y resistentes para manejar el agua de consumo ayuda a proteger o conservar su buena calidad.



Fuente: Basado en CAWST (2017a)

Figura 9. Almacenamiento seguro de agua purificada.

2. ¿Qué es un filtro lento de arena o biofiltro?

2.1. ¿Para qué sirve un filtro lento de arena?

Un filtro lento de arena o biofiltro (figura 10) es un dispositivo que sirve para purificar agua para que esta se pueda beber, eliminando partículas suspendidas (turbiedad), microorganismos y materia orgánica. Es muy efectivo, de fácil operación, mantenimiento sencillo y bajo costo de operación, ya que funciona por gravedad y no usa energía eléctrica. Se aplica para el tratamiento de aguas superficiales y de lluvia.

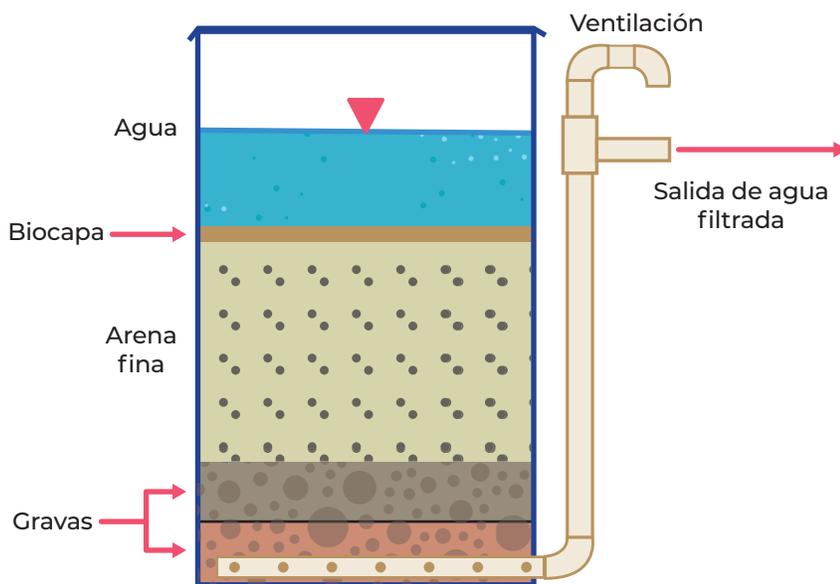


Figura 10. Biofiltro de arena.

2.2. ¿Cómo funciona el filtro?

A través del paso lento del agua por un lecho de arena muy fina se van reteniendo las partículas suspendidas, tanto orgánicas como inorgánicas, así como microorganismos, tales como bacterias, virus y protozoarios.

La peculiaridad de este tipo de filtros es que en la superficie de la arena se forma una capa biológica, como de 2 cm de espesor, compuesta por muy diversos microorganismos que usan la materia orgánica como sustrato y se comen a los patógenos del agua de origen, pero la condición fundamental es que el agua pase muy lentamente por esta capa para que los microorganismos tengan el tiempo suficiente para degradar la materia orgánica.

A medida que el agua fluye lentamente por la arena del filtro, los patógenos quedan atrapados entre los granos de arena o se adhieren a la superficie de estos. Más abajo en el filtro, otros patógenos mueren de forma natural debido a la falta de oxígeno, luz o nutrientes.



La formación (maduración) de la capa biológica o biocapa tarda entre dos y cuatro semanas, dependiendo de la calidad del agua y de la temperatura. En esta etapa, el biofiltro tiene la mayor eficiencia de remoción de patógenos. El agua filtrada puede utilizarse durante las primeras semanas, mientras la biocapa termina de madurar, pero será necesario desinfectar el agua antes de consumirla.

Los biofiltros eliminan hasta el 98 % de los coliformes fecales (*E. coli*) y más del 99.9 % de protozoarios y helmintos; remueven de 50 a 90 % de compuestos orgánicos y hasta el 67 % de hierro. La turbiedad del agua filtrada se puede reducir a menos de 5 UNT (unidades nefelométricas de turbiedad). Aunque la eficiencia de remoción de patógenos del biofiltro es muy alta, se recomienda que emplear otro método de desinfección, como la cloración.

La biocapa es el componente clave del filtro para eliminar los patógenos. Sin ella, el filtro elimina alrededor de 30 a 70 % de los patógenos mediante la trampa mecánica y la adsorción.

¡IMPORTANTE!

Los biofiltros no eliminan compuestos químicos, p. ej.: arsénico, sodio, manganeso, plomo, cromo, nitratos, fluoruros, ni dureza ni compuestos orgánicos complejos, entre otros.

El tamaño del biofiltro puede ser a escala centralizada (una planta para toda la comunidad) o para el punto de uso (casas, escuelas, centros de salud, etc.). El funcionamiento para plantas centralizadas debe ser a flujo continuo, sin embargo, los de escala doméstica pueden operar intermitentemente (por ejemplo, parando por la noche), pero la biocapa debe estar siempre sumergida en el agua. Esta condición es fundamental para el buen funcionamiento del filtro, y para lograrlo, la salida de agua del filtro debe estar 5 cm arriba de la superficie del lecho de arena, para permitir que el oxígeno llegue hasta la biocapa (ver la Figura 11). Si el filtro no tiene flujo, por ejemplo cuando está en la etapa de paro en modo de operación intermitente, tener el lecho bajo el agua mantiene vivos a los microorganismos de la biocapa.

¿Qué es flujo continuo?

El flujo de agua a través del biofiltro debe ser permanente y constante a lo largo de todo el día, para mejor funcionamiento de la biocapa. En esta modalidad, el biofiltro se alimenta desde un tanque de almacenamiento mediante tubería.

¿Y qué es la operación intermitente?

En esta modalidad, el flujo de agua en el biofiltro es continuo solo en un periodo del día, por ejemplo, de ocho de la mañana a ocho de la noche; después se deja de alimentar y el biofiltro entra en reposo (sin filtrar agua) hasta que reinicie el nuevo ciclo. El biofiltro opera por tandas o lotes.

¿Sabías que..?

Los biofiltros se empaican con arena fina que ha sido lavada y tamizada para obtener una distribución específica de tamaños de granos, medida con el tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad, que está comprobado que es eficaz para eliminar contaminantes biológicos del agua.

Con el tiempo de uso, la velocidad de filtrado se vuelve más lenta, a medida que las partículas taponan la parte superior de la arena. Este proceso puede demorar semanas o meses, según la calidad del agua.

2.3. Elementos que componen un biofiltro de arena

Un biofiltro convencional, para agua con baja turbiedad, de operación intermitente (figura 11), está compuesto por los siguientes elementos:

- Tanque: contiene el medio filtrante.
- Lecho filtrante de arena con tamaño específico $TE = 0.20\text{mm}$ y coeficiente de uniformidad $CU < 2.0$: retiene partículas suspendidas y microorganismos.
- Lecho soporte del medio filtrante (dos capas de gravas de diferente tamaño): retiene el lecho de arena y facilita el flujo hacia la tubería de salida.
- Tuberías, accesorios y conexiones: sirven para control de flujo, alimentación, recolección y salida de agua filtrada hacia un tanque de almacenamiento.
- Placa difusora: distribuye el flujo de agua en toda la superficie de la arena, evitando la formación de chorros concentrados en algún punto que puedan socavar la superficie.
- Tanque de almacenamiento de agua filtrada

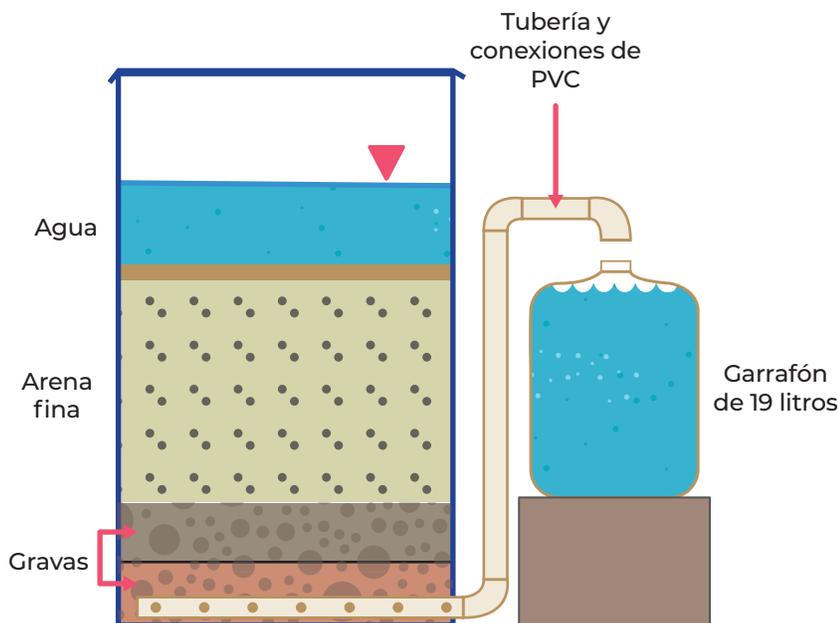


Figura 11. Filtro lento de arena o biofiltro de operación intermitente de escala doméstica.

¿Qué es el tamaño efectivo (TE) de la arena?

En un análisis granulométrico, es el tamaño de tamiz (abertura de la malla) que deja pasar el 10 % en peso de la arena: está relacionado con la resistencia del lecho filtrante al paso del agua.

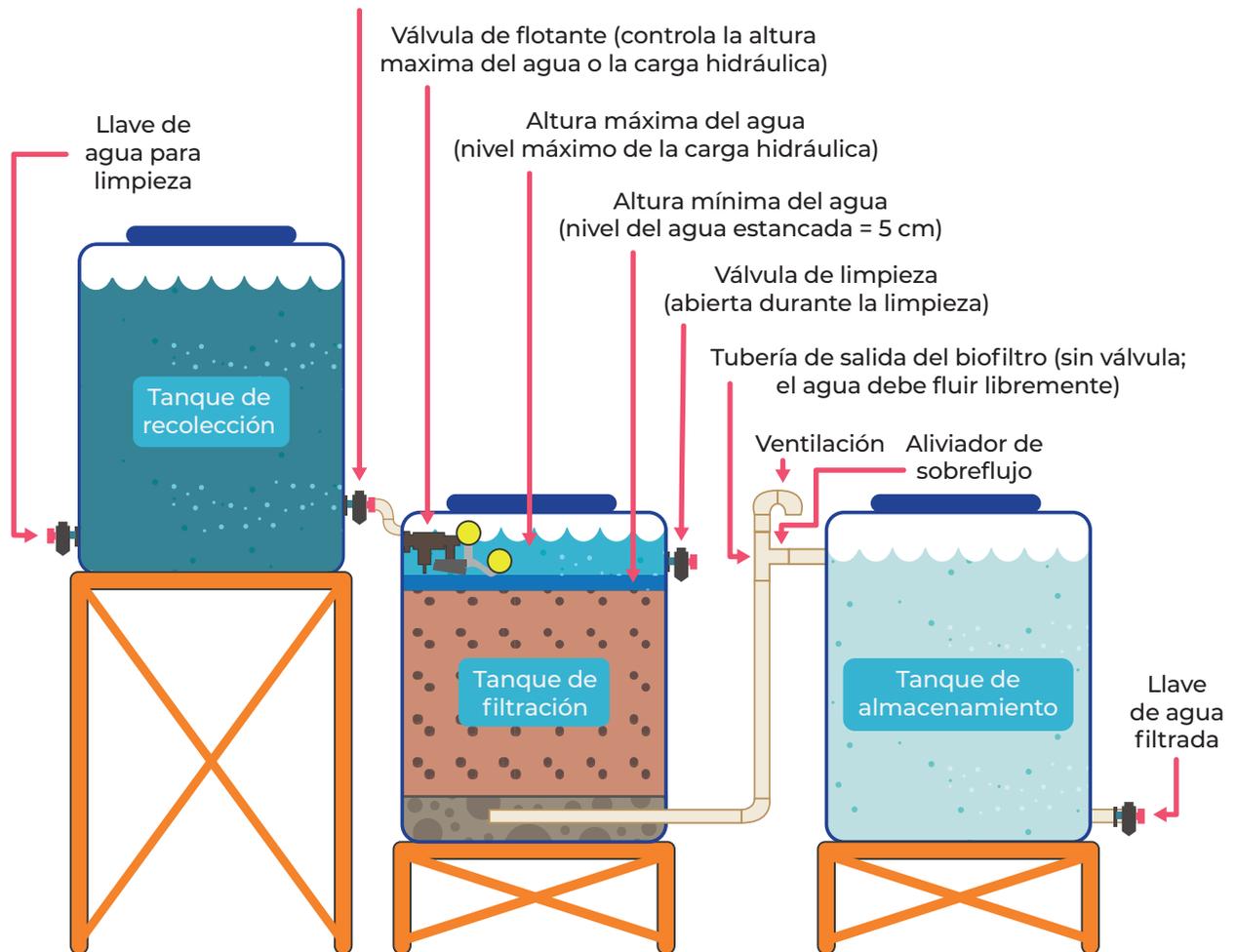
¿Qué es coeficiente de uniformidad (CU) de la arena?

En un análisis granulométrico, es la relación entre el tamaño de tamiz que deja pasar el 60 % en peso de la arena y el tamaño efectivo; indica qué tan uniforme es el tamaño de los granos de la arena: si todos los granos fueran iguales, su valor sería de 1.0; su valor se incrementa a medida que el medio filtrante es menos uniforme.

Para un sistema de purificación de escala colectiva (escuela), antes del biofiltro, es necesario contar con un tanque de almacenamiento de agua cruda (agua sin tratamiento), que también cumple la función de sedimentación para cuando el agua cruda contenga alto contenido de partículas suspendidas. El agua filtrada se debe captar en otro tanque de almacenamiento con tapa y llave de fondo para conservar su buena calidad bacteriológica (Fuente: CAWST (2017b))

El flujo de agua en todo el sistema debe circular por gravedad, por lo que es importante fijar convenientemente los niveles de salida de cada tanque para que así lo permitan.

Tubería de entrada con llave (abierta mientras funciona el filtro; cerrada durante periodo de reposo)



Fuente: Basado en CAWST (2017b)

Figura 12. Biofiltro de arena de flujo intermitente, con tanques de almacenamiento de agua cruda y agua filtrada para escuelas.

3. ¿Cómo diseñar un biofiltro?

Para definir las dimensiones del biofiltro, del prefiltro (en caso de requerirse), de los tanques de alimentación y almacenamiento de agua filtrada, es necesario conocer la calidad del agua cruda, el volumen de agua a consumirse en el día y los materiales disponibles para su construcción.

3.1. ¿Cuál es la calidad del agua a purificar?

El agua a tratar mediante un biofiltro debe tener baja turbiedad (máximo 50 UNT, lo cual es apreciable a simple vista).

A la salida del biofiltro, el agua tendrá una turbiedad menor a 5 UNT, coliformes fecales o E. coli menor a 10 NMP/100 MI.

3.2. ¿Hay necesidad de pretratamiento?

Si la turbiedad es mayor a 50 UNT, se recomienda sedimentar previamente el agua antes del uso del biofiltro (tanque de sedimentación); si la turbiedad es muy alta, es recomendable instalar un filtro grueso como pretratamiento (ver Figura 25, anexo 1). Es recomendable utilizar un método de desinfección, como la cloración, después del biofiltro, para garantizar que el agua para consumo sea de calidad potable.

3.3. ¿Qué cantidad de agua se debe purificar por día?

Esta cantidad dependerá principalmente de los siguientes factores:

- Número de adultos y menores de edad que consumirán el agua del biofiltro)
- Tipo de clima
- Uso que se le dará al agua
- Tiempo de operación del biofiltro al día

En cuanto al uso, el agua será principalmente para beber, pero también se puede usar para preparar alimentos si en la escuela hay comedor.

Tomar en cuenta que las personas consumirán agua durante el tiempo que estén en la escuela, pero también podrán llevarse agua a sus casas.

¿Sabías que...?

La Organización Mundial de la Salud considera (WHO, 2003) que:

- La cantidad de agua para hidratación del ser humano depende del clima, el nivel de actividad, el tamaño y la dieta.
- La cantidad mínima es de 2.9 litros para un adulto masculino en condiciones promedio, y 4.5 litros en climas tropicales y con actividad física excesiva.
- Las mujeres y los niños requieren de 2.5 y un litro mínimo, respectivamente, llegando hasta 4.5 litros en condiciones extremas.
- Es difícil determinar la cantidad mínima requerida para cocinar, porque depende del tipo de alimentos y de su forma de cocción (arroz, frijoles, caldos de carnes, etc.), pero diferentes autores recomiendan de 2 a 10 litros por persona por día.

¿Cómo saber si el agua cruda tiene más de 50 UNT de turbiedad?

Un método simple para evaluar la turbiedad consiste en usar una botella limpia transparente de 2 litros y llenarla con agua cruda. Coloque la botella encima de un pedazo de papel con un texto con letras grandes (2 cm de alto), por ejemplo, BIOFILTRO. Si se pueden ver las letras mirando a través de la punta de la botella, entonces el agua probablemente tiene una turbiedad menor a 50 UNT.



En cambio, la Unicef (2012) recomienda para las escuelas que el sistema sea capaz de suplir una demanda de cinco litros por día por alumno.

Entonces, el volumen o demanda diaria de agua a purificar para beber en una escuela se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de agua al día } \left(\frac{L}{d}\right) \\ &= \text{cantidad de adultos } (A) \times \text{consumo } \left(\frac{L}{d}\right) \\ &+ \text{cantidad de menores } (M) \times \text{consumo } \left(\frac{L}{d}\right) \end{aligned}$$

3.4. Ejemplo de cálculo de volumen de agua a purificar

Situación

En una escuela primaria, con turnos matutino y vespertino, ubicada en una zona templada, hay regularmente de lunes a viernes 360 alumnos, 12 maestros (8 mujeres y 4 hombres), 4 personas de administración (2 mujeres y 2 hombres) y 4 de intendencia (4 mujeres), entonces, ¿qué cantidad mínima de agua para beber necesitan al día?

Solución

$$Vol_D = (4 + 2) \times \left(\frac{2.9 L}{d}\right) + (8 + 2 + 4) \times \left(\frac{2.5 L}{d}\right) + (360) \times \left(\frac{1.0 L}{d}\right) = 412.5 \text{ litros/dí}$$

Entonces, la cantidad mínima de agua a purificar al día sería de 412.5 litros.

Los pasos a seguir para el diseño del biofiltro son los siguientes:

- Establecer la tasa de filtración
- Establecer la granulometría de la arena y el espesor del lecho
- Establecer el tiempo de operación
- Calcular el volumen diario requerido de agua filtrada
- Calcular el flujo de agua a producir
- Calcular el diámetro del biofiltro
- Calcular la carga hidráulica requerida
- Determinar la altura total del biofiltro

El parámetro más importante para el diseño del biofiltro es la velocidad de filtración o tasa de filtración (VF), que es la velocidad descendente del agua arriba del lecho filtrante; las unidades en las que se mide son metros/hora (m/h) o metros cúbicos/metros cuadrados – hora ($m^3/m^2 \cdot h$). La recomendación es que la VF esté en el rango de 0.12 a 0.20 m/h. Cuanto más lentamente fluya el agua por el filtro, más eficaz será la filtración.

El agua pasa a través de todo el filtro por gravedad, o sea, sin necesidad de equipos de bombeo. El agua debe tener cierta altura sobre el lecho de arena (carga hidráulica) para que exista energía suficiente para empujarla a través de la arena fina, de las capas de gravas y de la tubería de drenaje, y para vencer la elevación de la tubería de salida. Cuanto mayor sea la carga hidráulica, mayor presión se ejercerá y mayor será la velocidad de flujo.

La velocidad de filtración se ve afectada por la granulometría del medio filtrante y el espesor del lecho de arena. La granulometría se refiere a la distribución de tamaños de los granos de arena: mientras más pequeños sean los granos, el agua requerirá mayor energía o carga hidráulica.

Para calcular el caudal de operación del biofiltro es necesario primero establecer el tiempo de operación del mismo; se sugieren de 8 a 12 horas al día, de acuerdo con los turnos o periodos de clases de la escuela.

Una vez calculado el volumen diario a tratar y establecido el tiempo de operación del biofiltro, se calcula el flujo o caudal de agua con la siguiente fórmula:

Donde:

$$Q_F = \frac{Vol_D}{T_{op}}$$

Q_F Flujo o caudal del filtro, en litros/hora (l/h)
 Vol_D Volumen diario de agua a tratar, en litros (l)
 T_{op} Tiempo de operación al día, en horas (h)

Como el flujo de agua en el biofiltro depende de la velocidad de filtración y de la superficie del filtro, se calcula enseguida el área y después el diámetro del tanque.

Donde:

$$A_F = \frac{Q_F}{V_F \times 1000}$$

A_F Superficie del filtro, en metros cuadrados (m²)
 V_F Velocidad o tasa de filtración, en metros/hora (m/h)

El diámetro del filtro se calcula mediante la siguiente ecuación:

Donde:

$$D_F = \sqrt{\frac{4 \times A_F}{\pi}}$$

D_F Diámetro del filtro, en metros (m)
 π Constante Pi = 3.14159

La tabla 1 es resumen de los cálculos presentados y sirve como guía para determinar el diámetro de un biofiltro que proporcione el volumen de agua diario (producción), previamente calculado, que necesitará la escuela. Tiene como opción elegir la velocidad de filtración, y se basa en una granulometría de arena con TE = 0.20 mm y un CU = 2.0 y un tiempo de operación de 12 horas al día. Si se requiere operar el biofiltro en otro periodo, por ejemplo, durante 8 horas al día, los valores de producción (12 h/día) de la tabla se deberán multiplicar por el factor 8/12 = 0.667; si fuera de 24 horas, entonces el factor será igual a dos.

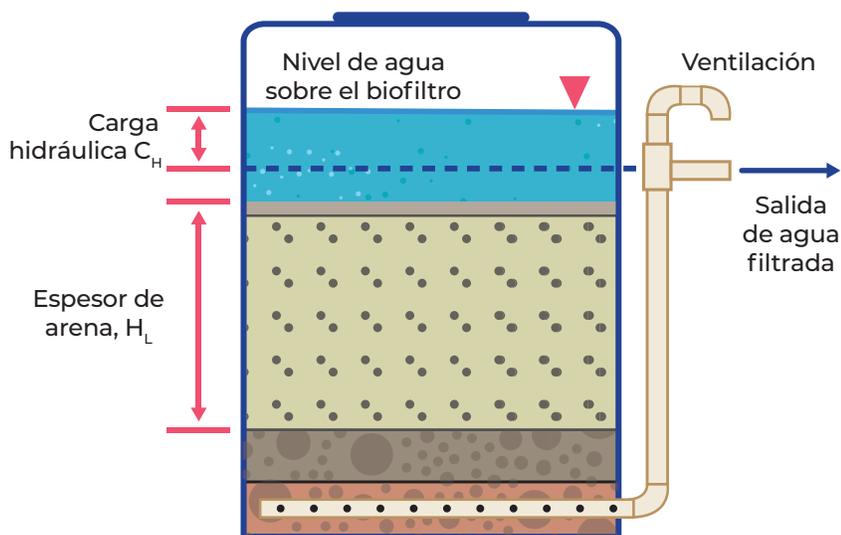


Figura 13. Carga hidráulica en el biofiltro

**Tabla 1.** Producción de agua de un biofiltro en función del diámetro del tanque.

		Velocidad de filtración (m/h)			
		0.12		0.20	
Diámetro interno del tanque (m)	Superficie (m ²)	Flujo (L/min)	Producción 12 hr/día (L/día)	Flujo (L/min)	Producción 12 hr/día (L/día)
0.5	0.20	0.39	283	0.65	471
0.6	0.28	0.57	407	0.94	679
0.7	0.38	0.77	554	1.28	924
0.8	0.50	1.01	724	1.68	1206
0.9	0.64	1.27	916	2.12	1527
1.0	0.79	1.57	1131	2.62	1885
1.1	0.95	1.90	1368	3.17	2281
1.2	1.13	2.26	1629	3.77	2714
1.3	1.33	2.65	1911	4.42	3186
1.4	1.54	3.08	2217	5.13	3695
1.5	1.77	3.53	2545	5.89	4241

Fuente: Adaptado de CAWST (2017). Manual técnico: Filtro de arena lento intermitente (FALI). Centre for Affordable Water and Sanitation Technology, y Samaritan's Purse. Ca.

Tabla 2. Relación Carga hidráulica y Profundidad del lecho de arena de un biofiltro

Espesor de la capa de arena H_L (m)	Carga Hidráulica C_L (m)
0.5	0.10
0.6	0.12
0.7	0.14
0.8	0.16
0.9	0.18
1.0	0.20

Fuente: Adaptado de CAWST, 2017b.

En la tabla 2 se muestra la relación entre la carga hidráulica C_H (diferencia de altura entre el nivel de salida del agua y el nivel máximo de agua sobre el lecho de arena, figura 13) cuando hay flujo, y el espesor de arena H_L necesario para proporcionar los flujos de la tabla 2.

Estos valores son una primera aproximación, pero se determinarán con mayor exactitud una vez que el biofiltro esté en operación.

3.5. Ejercicio de cálculo del diámetro de un biofiltro.

Datos:

Continuando con el ejemplo de cálculo de volumen de agua a purificar, tenemos que:

- Volumen diario requerido: 412.5 litros
- Tasa de filtración elegida: 0.12 m/h (valor más bajo recomendado)
- Tiempo de operación del biofiltro: 12 horas/día

Solución

Utilizando la tabla 1, buscamos en la columna 4 (producción 12 h/día para tasa de filtración de 0.12 m/h) el valor más cercano a 412.5 litros, que se encuentra en el renglón 2 (407); si seguimos este mismo renglón hasta la columna 1, encontramos que el diámetro del biofiltro debe ser de 0.60 metros.

Si elegimos que la profundidad del lecho de arena sea de 0.50 metros, entonces la carga hidráulica deberá ser de 0.10 metros (ver la tabla 2).

3.6. ¿Dónde ubicar el biofiltro?

La mejor ubicación para el sistema depende de la infraestructura propia de la escuela, además de los usos, costumbres y preferencias del personal de la escuela y los alumnos. Pero se deben tomar en cuenta lo siguientes puntos:

- Distancia de la fuente de agua o toma de agua al sistema de tratamiento y forma de suministro (presión, gravedad, acarreo).
- Orientación del sistema de tratamiento: el tanque de agua cruda está dirigido y más cerca a la fuente de agua, y el tanque de agua filtrada y sus tomas de agua son de fácil acceso para los usuarios, en un lugar a la vista de los alumnos y cerca de las áreas de recreo o descanso.
- Protección: no debe estar expuesto al sol ni a la lluvia, ubicado bajo una techumbre o dentro de una bodega, pero que las tomas de agua sean de fácil acceso para los usuarios.
- El área del sistema de tratamiento debe tener un piso firme, que cubra los pasillos y áreas de movilidad de los usuarios.
- Los alumnos con discapacidades deben contar con acceso adecuado para llegar hasta las tomas de agua (rampas, pasillos pavimentados, altura adecuada de las tomas, etc.)

Cerca del dispositivo, y a la vista de todos, se colocará un cartel con las instrucciones sobre su uso.

El sistema funciona por acción de la gravedad. Se debe considerar también el nivel de desplante que requiere cada tanque (de agua cruda, biofiltro y tanque de agua filtrada) para construir bases resistentes y estables, de ancho y altura adecuadas (figura 12), tomando en cuenta la altura de cada tanque, ya sean estructuras metálicas o de mampostería y concreto.

El tanque de agua cruda debe tener la altura suficiente para llenar el biofiltro, incluso si tiene un nivel de agua bajo, y el tanque de almacenamiento del agua filtrada debe tener la altura suficiente para evitar que desborde cuando el biofiltro tenga un nivel alto de agua.

Se debe dejar suficiente espacio para acceder a todos los componentes del sistema cuando se realicen las actividades de operación y mantenimiento. Como mínimo, deberá haber 15 cm libres entre los tanques y alrededor de ellos. También debe haber suficiente espacio para las conexiones de las tuberías y las válvulas.

Las tomas de agua filtrada del tanque de almacenamiento pueden colocarse directamente en la base de apoyo del filtro. La altura debe ser tal que el acceso a ellas sea fácil, sobre todo por parte del grupo principal de usuarios.

Se debe nombrar a un responsable y a dos personas más para la operación, mantenimiento y monitoreo del sistema de tratamiento.

3.7. ¿Cómo determinar el flujo de agua a filtrar?

Como ya se mencionó anteriormente, para el funcionamiento adecuado del biofiltro es importante e indispensable fijar o verificar el flujo de agua filtrada.

Para esto, con el lecho de arena limpio y operando a máxima carga hidráulica, se medirá el flujo aplicando el método volumen/tiempo; se utiliza una botella de

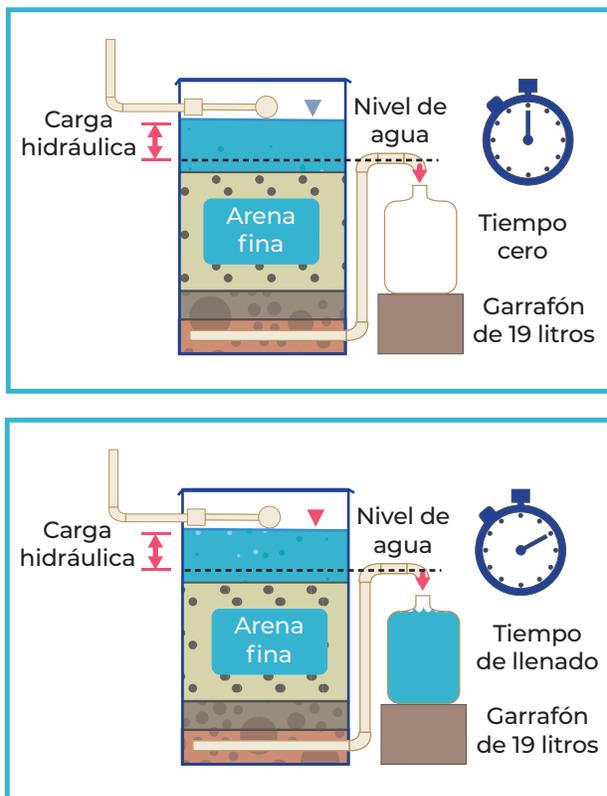


Figura 14. Aforo del flujo del biofiltro

volumen conocido (de 1 o 2 litros), pero también se puede usar un garrafón de 19 litros y un cronómetro (figura 14).

- Se pone el balde bajo del chorro de agua filtrada y justamente cuando empieza a caer el agua se mide el tiempo en segundos hasta el llenado del mismo.
- El flujo se determina mediante esta ecuación:

$$Q_F \left(\frac{L}{min} \right) = \frac{\text{Volumen del recipiente (L)}}{\text{Tiempo de llenado (s)} \times 60 \left(\frac{s}{min} \right)}$$

- El resultado se compara con datos de la columna 3 de la Tabla 1.
- Si el resultado difiere del esperado, se deberá ajustar la carga hidráulica, disminuyéndola si el flujo resultó mayor, o aumentándola si fue menor. Para lograr esto se ajustará la altura del flotador de entrada. En muchas válvulas disponibles a la venta, la inclinación del brazo que sostiene el flotador se puede ajustar girando su conexión dentada con la válvula. En otras, el brazo se puede doblar para ajustar la posición del flotador.
- Si el flujo resulta mayor al correspondiente a una tasa de filtración de 0.20 m/h, y con el ajuste del flotador no se puede disminuir lo suficiente, entonces se deberá eliminar los 30 cm superiores de arena y reemplazarlos con arena más fina, que haya sido lavada menos veces.

Siguiendo con el ejemplo de diseño, para el biofiltro de diámetro 0.60 m, tasa de filtración de 0.12 m/h, el aforo daría como resultado que una botella de 1.0 litro se llene en 105.3 segundos (1.75 minutos).

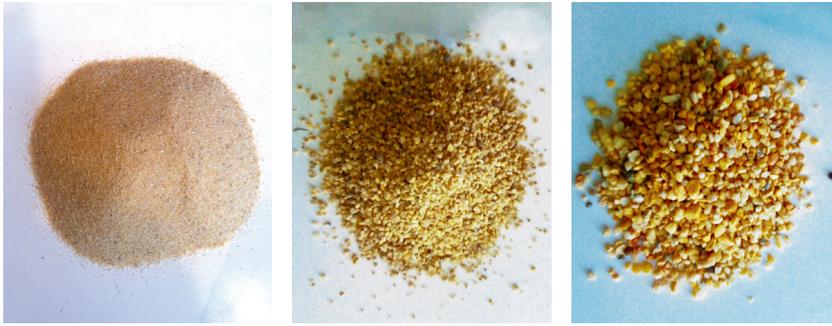
$$Q_F = \frac{1.0 (L) * \left(\frac{60s}{min} \right)}{105.3 (s)} = 0.57 \left(\frac{L}{min} \right)$$

3.8. ¿Qué características deben tener los medios filtrantes?

Es necesario que la arena del biofiltro (figuras 15 y 16) cumpla con los rangos recomendados de los 2 parámetros granulométricos que influyen en la eficiencia de la filtración: tamaño efectivo (TE) y coeficiente de uniformidad (CU):

- TE entre 0.15 mm y 0.20 mm
- CU entre 1.5 y 2.5

Si tiene la posibilidad de elegir el tipo de arena, escoja arena con un menor TE y con un menor CU.



Arena fina

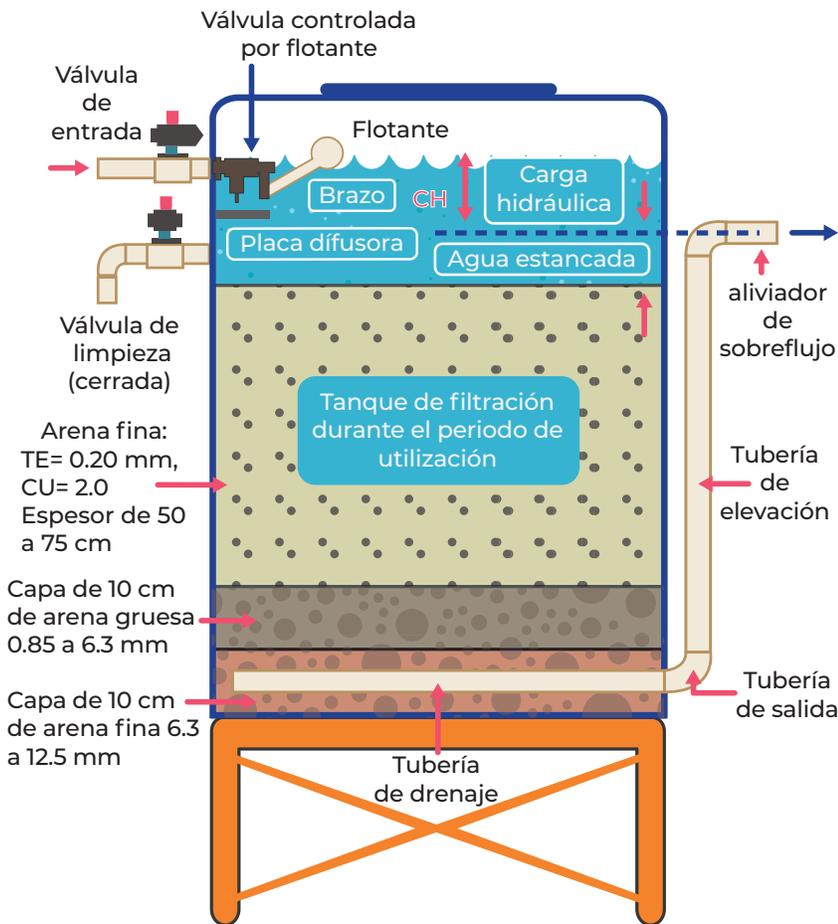
Grava fina

Arena gruesa

Fuente: <http://www.arenasilicas.com.mx/>

Figura 15. Arena sílica o de sílice para filtración

La arena de sílice tiene un peso específico de 2.6 kilogramos/litro. Las mismas propiedades tiene la grava.



Fuente: Basado en CAWST (2017b)

Figura 16. Características granulométricas e hidráulicas de un biofiltro escolar



Fuente: Basado en CAWST (2017b).

Figura 17. Serie de tamices para análisis granulométrico de la arena.

Para elegir la fuente de arena adecuada para el biofiltro se debe hacer un análisis granulométrico de una muestra de material, y para tal propósito se requiere una serie de tamices con determinados tamaños de abertura de malla, como los mostrados en la figura 17. Existen tamices comerciales muy exactos y variados, pero son caros y difíciles de conseguir. Lo conveniente es conseguir apoyo para que el análisis granulométrico sea hecho por alguna institución de educación superior que tenga escuela de ingeniería civil y laboratorio de mecánica de suelos.

Otra opción es comprar la arena ya clasificada en empresas que venden equipos y materiales para la potabilización; arena de sílice mallas 40x70, que puede dar las características granulométricas, TE y CU deseadas. Sin embargo, si adquirimos arena de este tipo y la empresa no nos da la gráfica del análisis granulométrico, será necesario realizarlo para comprobar que la distribución de tamaños es adecuada.

Las características granulométricas del lecho soporte (figura 16) son las mostradas en la tabla 3.

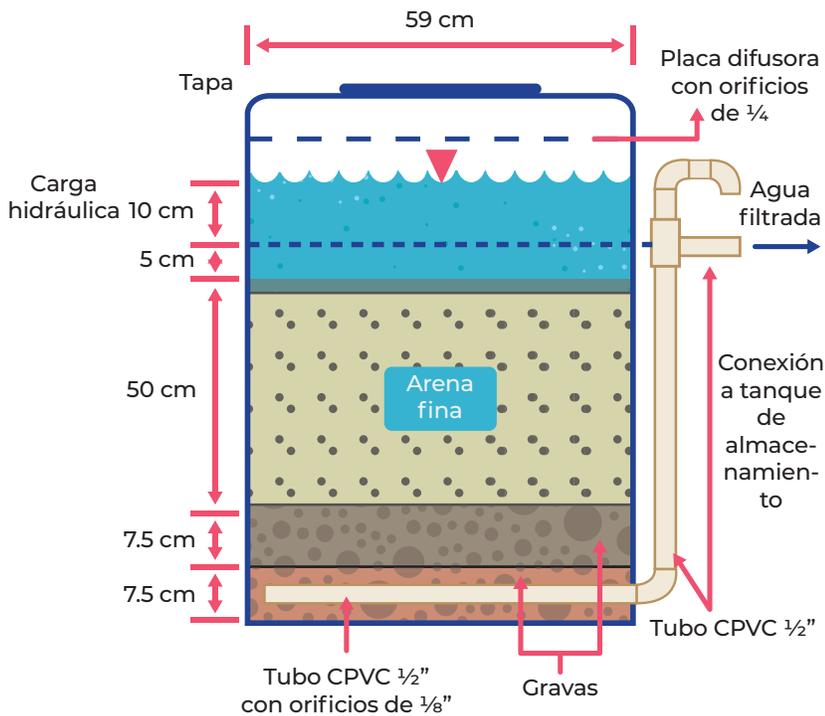
Tabla 3. Características granulométricas del lecho soporte

Capa	Tipo de material	Espesor (cm)	Tamaños de grano (mm/plg)	Mallas
Superior	Arena gruesa o gravilla	7.5 - 10.00	0.85 - 6.30 0.078 - 0.025	10 - 1/4
Inferior	Grava fina	7.5 - 10.00	6.3 - 12.5 0.25 - 0.50	1/4 - 1/2

4. ¿Cómo construir un biofiltro?

Tanque de biofiltro

A manera ilustrativa, en la figura 18 se presenta un biofiltro con las dimensiones del ejemplo de diseño inicial, que servirá para cuantificar los materiales para su construcción.



La tubería inferior de recolección se compone de 2 tubos de CPVC en cruz con orificios de 1/8 pulgada (3.2mm) distribuidos en toda su longitud, separados 5 cm, colocados en pares, en la parte inferior del tubo, como se muestra en la figura 19.

Figura 18. Ejemplo de un biofiltro con dimensiones

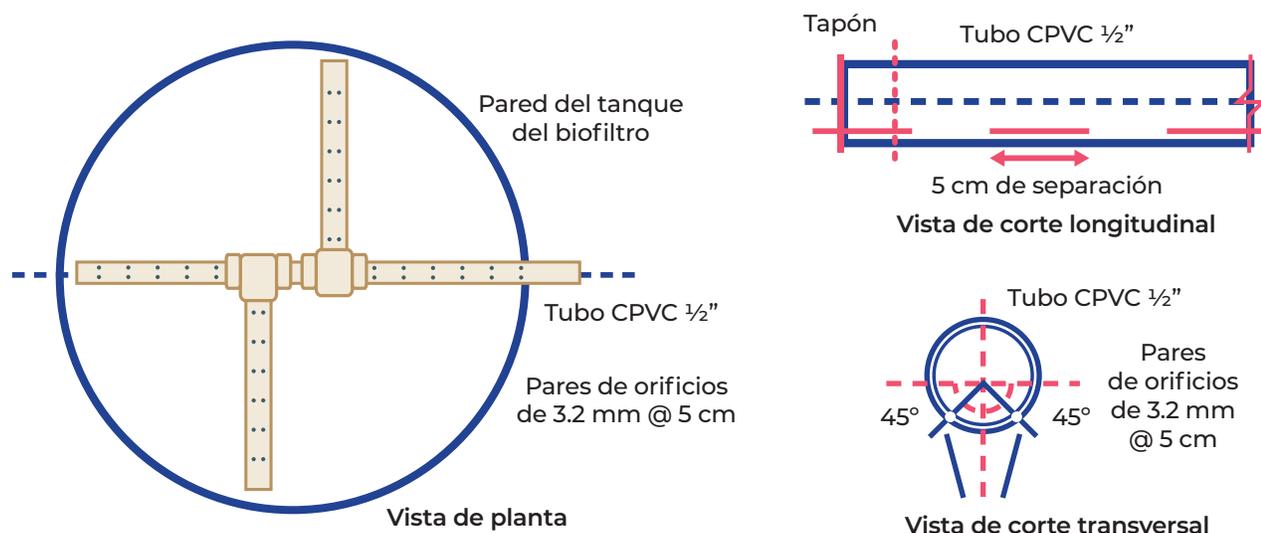


Figura 19. Tubería inferior de recolección de agua filtrada



4.1 ¿Qué materiales y herramienta se requieren para construir e instalar un biofiltro?

De acuerdo con los elementos del biofiltro mencionados en la sección 3.3, y considerando un tanque para agua cruda, otro para el filtro y uno para agua filtrada, los materiales necesarios son los siguientes:

- Tanque o tambo abierto y con tapa de plástico
- Placa de plástico perforada del mismo diámetro interior que el tanque
- Arena de sílice clasificada, TE 0.2 mm y CU 2.0 (mallas 40 – 70)
- Arena de sílice gruesa de tamaño entre 1.18 y 2.36 mm (mallas 10 – 20)
- Grava de sílice fina de tamaños entre 6.0 y 12.0 mm (mallas ¼ - 1/2)
- Tubería, conexiones y accesorios (codo de 90°, “Te”, tapón, válvula de bola) de CPVC, de diámetro de ½ pulgada
- Abrazaderas
- Las herramientas necesarias, son las siguientes:
- Tamices para cernir las arenas y la grava
- Segueta para cortar CPVC
- Taladro y brocas para acero de 1/8 y 2/8 de pulgada
- Flexómetro
- Botes de 10 litros
- Pegamento para CPVC

Continuando con el ejemplo del biofiltro del diámetro 0.60m, espesor de arena de 0.50m, lecho soporte de gravas (2) de 0.10 m cada una, las cantidades de materiales, serán las siguientes:

Tabla 4. Lista de materiales para construcción del biofiltro

Material	Unidad	Cantidad
Tanque de plástico de 0.60m de diámetro y 0.90 de altura para biofiltro	Pieza	1
Tanques de 200 litros para agua cruda y agua filtrada	Pieza	2
Placa de plástico perforada	Pieza	1
Arena de sílice con TE de 0.20mm y espesor de 0.50m (mallas)	Litros / kilogramos*	142 / 255
Arena gruesa de tamaño entre 0.85 y 6.3mm y espesor de 0.075m	Litros / kilogramos*	21 / 38
Grava fina de tamaños entre 6.3 y 12.5 mm y espesor de 0.075m	Litros / kilogramos*	21 / 38
Tubo CPVC de ½ plg	m	3.0
Codo CPVC de ½ plg	Pieza	3
“Te” CPVC de ½ plg	Pieza	4
Tapón Capa CPVC e ½ plg	Pieza	3
Adaptador hembra CPV de ½”	Pieza	3
Adaptador macho CPV de ½”	Pieza	3
Empaques de goma de ½”	Pieza	2
Válvula de flotador de ½ plg	Pieza	1
Válvula de bola CPVC de ½ plg	Pieza	2
Conector tipo niple un lado con rosca interior y el otro liso de ½”	Pieza	1
Llave de nariz de ½ plg	Pieza	2

* Como la arena y la grava tienen pesos aparentes de 1.8 kg/L, entonces 142 litros equivalen a 255 kilogramos, y 21 litros, a 38 kilogramos.

El volumen de los materiales granulares (arenas y gravas) se ha calculado con la fórmula de volumen de un cilindro:

$$Vol = 1000 \times A_F \times H_L$$

Donde:

- V_{ol} Volumen del lecho, en litros (l)
- A_F Área del filtro, en metros cuadrados (m^2); $A_F = (\pi D_F^2) / 4$
- H_L Altura o espesor del lecho, en metros (m)
- D_F Diámetro del filtro en metros, (m)

Para el caso de nuestro ejemplo:

$$A_F = \frac{\pi \cdot 0.60^2}{4} = 0.28 m^2$$

Volumen de arena:

$$Vol = 1000 \times 0.28 \times 0.50 m = 141.4 l$$

Volumen de grava:

$$Vol = 1000 \times 0.28 \times 0.075 m = 21.0 l$$

Para calcular el peso de los materiales filtrantes, se emplea la fórmula:

$$W = P \times Vol$$

Donde:

- W Peso del material, en kilogramos (kg)
- P Densidad del material, en kilogramos/litro, (2.60 kg/l)

Entonces,
Peso de la arena

$$W_A = 1.8 \times 141.4 = 254.5 kg$$

Peso de la grava (cada capa)

$$W_G = 1.8 \times 21.0 = 37.8 kg$$

La cuantificación de la tubería y conexiones se hace con base en las dimensiones del esquema de la figura 18.

4.2 Tanques de almacenamiento

Un punto fundamental para el funcionamiento del sistema de tratamiento son los tanques para el biofiltro y de almacenamiento de agua cruda y tratada. Las dimensiones de los tanques, y por consiguiente los volúmenes, son factores para su selección. En general, los tanques cilíndricos de polietileno o de acero inoxidable son una buena opción.

El volumen determina la capacidad de almacenamiento. Sin embargo, las dimensiones del tanque afectarán el funcionamiento del sistema. Las dimensiones importantes son el **diámetro interno, la altura, el ancho de la abertura superior, y la cantidad y ubicación** de entradas y salidas.





A continuación se muestran ejemplos de tambos de plástico nuevos para el biofiltro y almacenamiento de agua cruda y filtrada:



Volumen: 200 l.
Material: plástico de mediana densidad, bicapa de grado alimenticio.
Diámetro: 65 cm
Altura: 87 cm
Sin salidas
Marca: Super Tank.
Uso: para biofiltro



Volumen: 208 l.
Material: polietileno de alto peso molecular, color natural, grado alimenticio.
Diámetro: 54.8 cm.
Altura: 89.5cm.
Sin salidas.
Marca: Ferrovases
Uso: para biofiltro



Capacidad: 200 l.
Material: polietileno de mediana densidad, bicapa, grado alimenticio.
Altura: alto 0.87 m.
Diámetro: 0.63 m
Salida inferior de 3/4", con reducción a 1/2".
Marca DIPAJ.
Uso: para almacenamiento de agua

Figura 20. Ejemplos de tambo de plástico abiertos

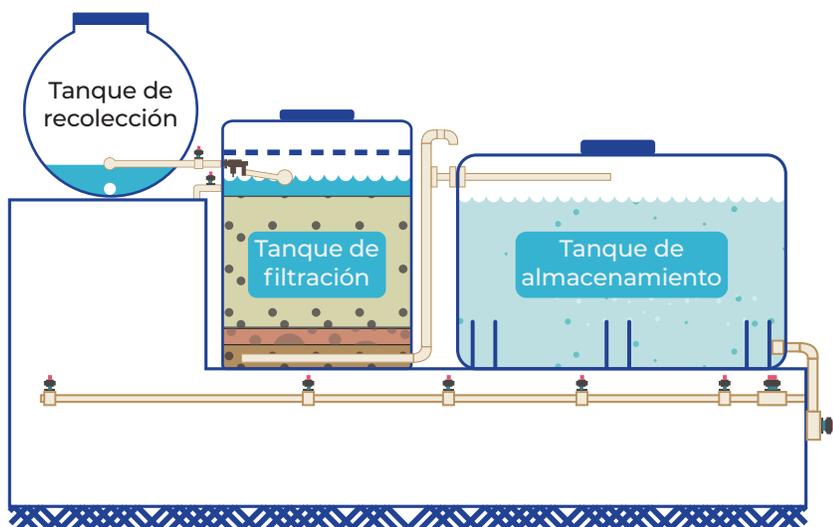
Los tanques para almacenar el agua y para el biofiltro deben ser nuevos, de materiales inertes, estables, de grado alimenticio, y estar limpios.

Almacenar y conservar de manera segura el agua filtrada es tan importante como el tratamiento mismo. Por ello, debemos mantener el interior del tanque limpio y bien cerrado, para evita una recontaminación por entrada de insectos, polvo, agua de lluvia y otras sustancias que puedan conferir al agua filtrada turbiedad, color y presencia de microorganismos patógenos. Debe tener una tapa hermética y las tomas de agua deben contar con llaves que cierren y abran fácilmente, y que no presenten fugas. De esta manera podremos estar seguros de contar con agua adecuada para beber.

4.3. Acceso al agua purificada por los usuarios

Por medio de una serie de llaves de agua conectadas al tanque de almacenamiento de agua tratada y montadas en la base de apoyo del filtro, los usuarios podrán acceder al agua filtrada. Deberá instalarse el número de llaves suficientes y ubicadas de tal manera que se facilite su accesibilidad por el mayor número de usuarios al mismo tiempo. Aunque no existe una guía de diseño fija para determinar el número de llaves necesarias, se pueden incluir por lo menos seis unidades. La ubicación y configuración de las llaves puede ser muy variable, y se ajustará a las condiciones propias de cada sistema. Un ejemplo se muestra en el esquema de la figura 21.





Fuente: Basado en CAWST (2017b).

Figura 21. Posición de llaves para toma de agua filtrada.

Recuérdese que la función de la base de apoyo es mantener la altura correcta de todos los tanques para que el agua fluya a través del sistema por la acción de la fuerza de gravedad. La base de apoyo sirve también como base donde montar las llaves de agua. El diseño y construcción de esta base queda fuera del alcance de ese manual.

4.4. ¿Cómo seleccionar y preparar los medios filtrantes?

La selección y preparación de la arena y las gravas es muy importante para la eficacia de tratamiento del biofiltro.

4.4.1. Selección de materiales

Hay varias opciones de fuentes de materiales: bancos o minas, lechos de arena, triturada o normal.

La arena no debe contener materia orgánica (tierra, hojas) y debe estar libre de limo y arcilla. Se verifica que la arena es adecuada si al apretar un puñado de arena seca se formar una pelota en la mano o pega, es probable que contenga bastante tierra, limo o arcilla. En caso favorable, al apretar un puñado de arena y luego abrir la mano, la arena deberá fluir libremente al caer de la mano.

La arena y la grava que provienen de roca triturada contienen una buena mezcla de tamaños de grano, lo cual es importante para el buen funcionamiento del filtro, su forma es angulosa, muy porosa, poco redondeada. También es menos propensa a ser contaminada con materia orgánica, limo y arcilla, sin embargo, pueden contener cantidades elevadas de material muy fino. Puede ser difícil encontrar roca triturada con la granulometría adecuada para el biofiltro, y se requiere de un tamizado especial en la cantera, lo que puede elevar el costo.

Otra opción es arena o grava de mina o cantera, de forma redondeada, menos porosa, y que no se necesita triturar, pero sí tamizar. Esta es la



que generalmente está disponible en empresas que suministran equipos, sustancias y materias primas para la filtración de agua potable o para uso industrial. Existen arenas y gravas de catálogo adecuadas para filtros lentos o rápidos. Por ejemplo, la arena clasificada como malla 40 x 70 tiene el rango de tamaño, TE y CU adecuados para el biofiltro.

También se puede encontrar arena o grava en las riberas de los ríos, pero esta se encuentra contaminada por tierra, limos, arcillas y agentes patógenos, y costará más trabajo limpiarla. La parte superior de la ribera estará menos sucia que la del fondo del río.

La arena de playa no tiene variedad de tamaños de grano. También contiene materia orgánica, tierra y sal pegada, por lo que hay que enjuagarla con agua dulce muchas veces para limpiarla.

El tamizado de la arena o grava queda fuera del alcance de este manual; se partirá de la condición de que los materiales se adquirirán de un proveedor comercial que ya la entregue adecuadamente clasificada, ya que es más fácil adquirirla así que tamizarla directamente en la escuela, porque se tendrían que fabricar los tamices, comprando las 4 o 5 mallas metálicas necesarias (que no están disponibles en cualquier ferretería o tlapalería) y los marcos de madera.

Para mayor referencia sobre el tamizado de la arena y la grava consulte el apéndice C del Manual técnico: Filtro de arena lento intermitente FALI (Samaritan's Purse, Centre for affordable Water and Sanitation Technology. CA. www.cawst.org).

4.5. ¿Cómo ensamblar los tanques de almacenamiento y el biofiltro?

Se da por hecho que la base de apoyo de los tanques de almacenamiento y biofiltro ya está construida y que los tres tanques vacíos ya están colocados en su sitio en la posición y orientación correctas.

4.5.1. Orificios de entradas y salidas de tanques

Taladre los orificios de entradas y salidas en cada tanque para las conexiones de las tuberías. Deberá calcular cuál es la posición correcta de cada orificio de acuerdo con las alturas de cada uno para favorecer el flujo por gravedad (figura 12).

4.5.2. Tanque de agua cruda (TAC):

- Entrada de agua por la parte superior
- Salida de agua hacia el biofiltro, por la parte inferior
- Salida inferior para limpieza del tanque (purga de agua con sedimentos)

4.5.3. Biofiltro (BF):

- Entrada superior de agua cruda (para válvula de flotador, se coloca a una altura que no supere la salida del tanque de recolección)
- Salida para limpieza de la biocapa (unos 8 cm por encima de la superficie de la arena)
- Salida de agua filtrada, posicionada más cerca del fondo del tanque

4.5.4. Tanque de agua tratada (TAT):

- Entrada de agua filtrada, ubicada a 5 cm por encima de la superficie de arena.
- Salida del agua filtrada: se coloca a una altura aproximada de 5 cm por encima del fondo del tanque (para no extraer al agua que quede por debajo de esta salida).

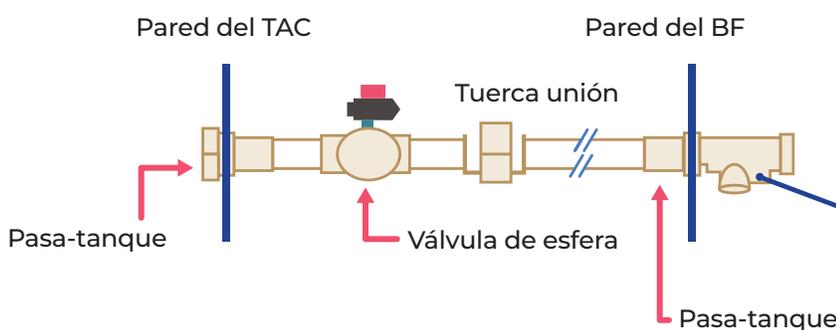
El diámetro de los orificios taladrados depende del diámetro exterior de las tuberías y conexiones. La entrada del tanque de agua cruda, la válvula de limpieza del tanque del biofiltro, la salida del tanque de almacenamiento de agua filtrada y las válvulas de limpieza

opcionales de los tanques de agua cruda y agua filtrada pueden tener un diámetro más grande para mejorar el flujo del agua durante la limpieza.

4.5.5. Ensamble de tuberías y conexiones en tanques de almacenamiento y biofiltro

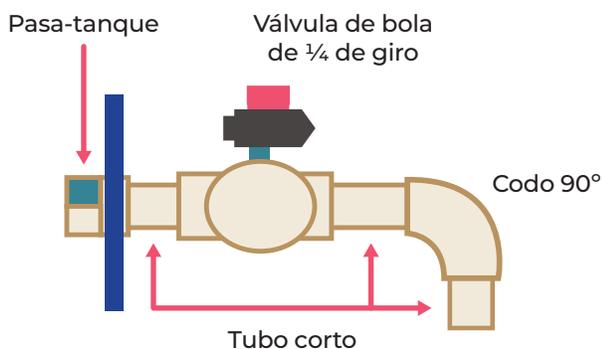
Después de realizar las perforaciones en los tanques, el orden de instalación de las conexiones es el siguiente:

- Conexión de la salida del TAC y entrada al biofiltro. Se coloca un pasa-tanque en la pared del TAC, un tubo corto, una válvula de bola para detener el flujo hacia el biofiltro cuando sea necesario, una tuerca de unión y una válvula de flotador dentro del BF con pasa-tanque ya incluido, que regula el flujo hacia el biofiltro y mantiene el nivel de agua entre 10 y 20 cm por encima de la arena (este se coloca al final, después de haber empacado la grava y la arena)



Fuente: Adaptado de CAWST (2017b)

- Válvula de limpieza para el biofiltro: lleva un pasa-tanque, tres tubos cortos, un codo de 90° y la válvula de bola.



Fuente: Adaptado de CAWST (2017b)

- Tubería de fondo con orificios para recolección de agua filtrada (ver figura 19): Primero se deben realizar las perforaciones de los orificios y después armar todo el arreglo en cruz. Si el diámetro de entrada del biofiltro es más corto que la parte del cuerpo, puede ser que no entre la cruz de tuberías, por lo que se deberá armar y pegar en el interior del tanque.



- Conexión pasa-tanque: Una opción para conectar las tuberías en los tanques es hacer uso de 2 piezas: un pasa-tanque, que atravesará directamente la pared del tanque, y a ambos lados de este se conectarán pequeños tramos de tubería mediante un adaptador PVC con un extremo con rosca interior y otro liso para cementar.



Pasa-tanque



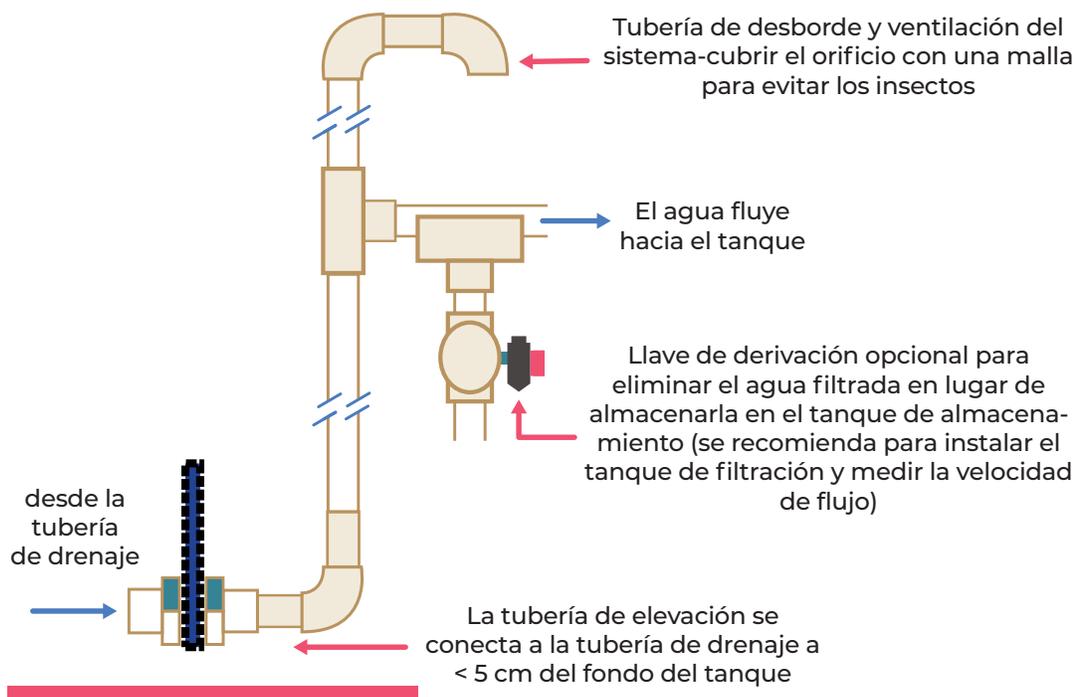
Adaptador PVC: un extremo con rosca interior y otro liso para cementar

Fuente: Adaptado de CAWST, 2017B.

Otra opción como pasa-tanque es usar dos conectores de CPVC, macho y hembra, con un lado roscado y otro liso para cementar.



- Tramo ascendente y conexión a TAT: Conectar la tubería de CPVC de elevación al pasa-tanque del fondo del tanque del biofiltro. Asegurar que la unión en "te" esté a 5 cm por encima de la parte superior de la arena de filtración del tanque. La conexión hacia el TAT consta de una válvula de bola opcional, para evitar que el agua filtrada entre al TAT, o también para aforar el flujo de agua filtrada; después con un tramo de tubo y un pasa-tanque en el cuerpo del TAT. Selle las uniones con pegamento para CPVC, excepto el arreglo de ventilación, el cual debe poder desmontarse para llenar con agua el biofiltro por el fondo (ver sección Recomendaciones para periodos prolongados de paro y el mantenimiento extraordinario).



Fuente: Adaptado de CAWST (2017b)

4.5.6. Empacado de grava y arena

4.5.6.1. Grava

Las capas de grava fina (inferior) y de arena gruesa (superior) favorecen que el flujo de agua filtrada llegue a la tubería de drenaje y evitan que la arena fina ingrese a la tubería y tape los orificios.

Lavar toda la grava fina y la arena gruesa varias veces hasta que el agua utilizada quede transparente. Utilizar un balde o tambo, poner la grava, agregar agua hasta la mitad y revolver la grava con una paleta o cuchara grande. Verter el agua sucia inclinando el tambo, pero cuidando de no perder la grava. Hacer el proceso en tandas (Fuente: Adaptado de CAWST (2017b)).

1. Almacenar la grava lavada en un lugar limpio y seco. Una vez seca, consérvese en sacos o bolsas para que esté lista para la instalación.
2. En el interior del tanque, medir y marcar claramente con tiza blanca una línea a 10 cm de altura desde el fondo del tanque, alrededor de todo el interior. Este será el nivel hasta donde deberá llenar el tanque con grava fina.
3. De igual modo, marcar otra línea a 20 cm del fondo del tanque. Este será el nivel de la arena gruesa.
4. Colocar la grava fina en el tanque en tandas y nivelar homogéneamente toda la superficie hasta que haya una capa de 10 cm en el fondo del tanque. Debe haber por lo menos de 5 a 7 cm de grava fina por encima de todas las partes de la tubería de drenaje perforado
5. Enseguida, colocar la arena gruesa en tandas y nivelar homogéneamente toda la superficie hasta que haya una capa de 10 cm de arena gruesa sobre la capa de 10 cm de grava fina.



Fuente: Adaptado de CAWST (2017b)

Figura 22. Lavado de gravas y arenas

4.5.6.2. Arena

Lavar toda la arena fina varias veces hasta que el agua utilizada quede transparente. Utilizar un balde o tambo, poner la arena, agregar agua hasta la mitad y revolverla con una paleta o cuchara grande. Vaciar el agua sucia inclinando el tambo, pero cuidando de no perder la arena. Repetir el proceso varias veces hasta que el agua sobrenadante esté casi transparente (Fuente: Adaptado de CAWST (2017b))

No lavar demasiado la arena para evitar perder los tamaños más finos. El agua que vierta del balde puede estar todavía un poco sucia cuando acabe de lavar la arena. Es importante extender la arena en una superficie amplia para ponerla a secar; almacenarla en un lugar seco y limpio.

- Llenar con agua el tanque hasta la mitad. Es importante agregar la arena al agua, ya que así se evita que queden burbujas de aire atrapadas en los poros de los granos de arena, porque esto puede dificultar el flujo de agua a través del lecho de arena. En todo momento se habrá de mantener el nivel de agua por encima del nivel de la arena.
- Descargar los primeros 100 kg de arena en el tanque de filtración, en tandas de aproximadamente 20 kg. Agregar la arena con cuidado, para evitar alterar la capa de arena gruesa que se encuentra en el fondo. Después de este primer paso, se puede agregar el resto de la arena en cantidades más grandes.
- El agua que se mueve al agregar la arena deberá fluir por la tubería de salida del biofiltro y la válvula de limpieza. Evitar que entre agua al tanque de almacenamiento de agua filtrada (la válvula de control o la de flotador debe estar cerrada).
- Una vez que se haya asentado la arena, alise la superficie con la mano para que quede pareja.

4.6. Puesta en servicio

Durante al menos dos semanas ponga a funcionar el biofiltro diariamente para que se desarrolle la capa biológica y vaya mejorando la calidad del agua filtrada.

Se recomienda no almacenar los primeros 1,000 o 2,000 litros de agua filtrada, porque puede contener microorganismos y deberá descartarse o usarse para otro fin que no sea beberla.

Después de dos a cuatro semanas, tiempo en el que se estima que ya se desarrolló la capa biológica, se puede llenar el tanque de almacenamiento de agua filtrada y se recomienda clorar el agua para desinfectarla. Para mayor detalle de cómo desinfectar el agua, ver el anexo 2.

4.7. Recomendaciones sobre la operación y el mantenimiento del biofiltro

4.7.1. Operación

El sistema de tanque de agua cruda–biofiltro–tanque de agua filtrada funciona por gravedad. La secuencia es la siguiente: se llena con agua cruda el tanque de almacenamiento, desde la fuente o toma domiciliaria, ya sea de forma manual o directa con tubería o manguera. Luego el agua pasa desde este tanque al tanque del biofiltro por medio de tubería, conexiones y accesorios; ya en el biofiltro, el agua fluye lentamente en forma descendente por el lecho de arena, y mediante tubería, conexiones y accesorios, se recolecta, conduce y descarga en el tanque de almacenamiento de agua filtrada.

El nivel de agua en el tanque del biofiltro, con altura entre 10 y 20 cm, está controlado por la válvula de flotador, que cierra cuando el ingreso del agua alcanza su máximo nivel, y va abriendo a medida que desciende, manteniendo el nivel prácticamente constante.

Para que el agua del sistema fluya completamente por gravedad, los tres tanques deben estar elevados en forma escalonada en una estructura de soporte.

Después de unas semanas de uso con agua natural, distintos microorganismos vivos se depositan en la capa superior de la arena y forman una capa biológica, en la cual los microorganismos se alimentan de los patógenos del agua cruda.

Los patógenos quedan atrapados entre los granos de arena o se adhieren a la superficie de estos en el transcurrir lento del agua a través del lecho de arena. A niveles más profundos, algunos patógenos mueren de debido a la falta de oxígeno, luz o nutrientes.

El agua estancada sobre el lecho de arena en el periodo de reposo del biofiltro es fundamental para el desarrollo, conservación y protección de la capa biológica. La altura de agua debe ser de 5 cm.

4.7.2. Limpieza

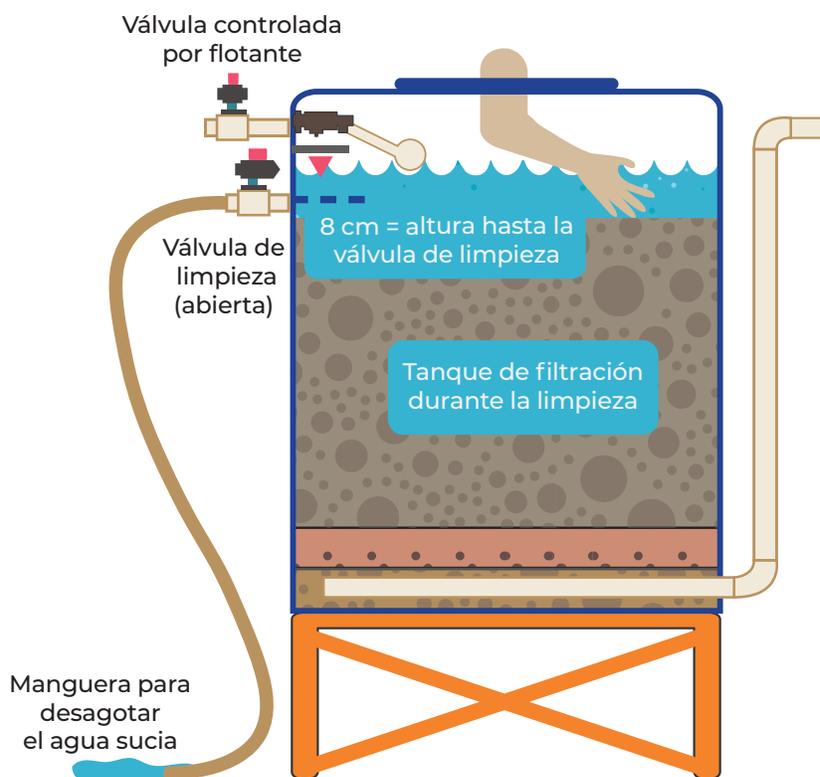
Biofiltro: Con el tiempo, la velocidad de filtrado se vuelve más lenta, a medida que las partículas taponan la parte superior de la arena (biocapa). Llega un momento (semanas o meses, según la calidad del agua) en que la cantidad de agua filtrada es insuficiente, entonces se debe realizar una limpieza superficial del filtro.

1. Cerrar la válvula de interconexión al tanque de almacenamiento de agua tratada y dejar que el biofiltro se llene hasta 10 cm.
2. Se mete la mano al tanque y se raspan y agitan en forma circular con una cuchara grande los primeros 2 cm centímetros del lecho de arena para desprender la suciedad (Figura 23).
3. Con la válvula de limpieza (ubicada a 8 cm por encima de la arena) se purga el agua sucia con ayuda de una manguera o tubería para descargarla en el drenaje o algún pozo de absorción. Al realizar este proceso, la persona debe agitar con la mano la parte superior de la arena.
4. Los pasos 1 y 2 se repiten hasta que el agua purgada quede clara y la superficie de la arena se vea limpia.
5. Lave con agua limpia el exterior de los tanques, la base de apoyo



del filtro y el piso donde el agua sucia haya salpicado. El agua sucia está llena de bacterias, virus y otros contaminantes biológicos.

6. Posteriormente se reinicia la operación del biofiltro, alcanzando la maduración en una o dos semanas, tiempo en el que logrará su mayor eficiencia de remoción bacteriológica.



Fuente: Adaptado de CAWST (2017b)

Figura 23. Raspado superior del lecho de arena.

Es también importante mantener limpios el interior y exterior de los tanques de almacenamiento y el área del sistema de tratamiento (base de apoyo del filtro, la losa o piso). La limpieza debe hacerse al menos cada seis meses (o más frecuentemente, si fuera necesario).

Tanque de almacenamiento de agua cruda: Se deben limpiar el fondo y la pared para retirar el lodo y así reducir la turbiedad que pueda llegar al biofiltro.

Procedimiento para realizar la limpieza:

- a. Cerrar la válvula de salida del tanque para que no pase agua al biofiltro.
- b. Llenar el tanque con agua.
- c. Tallar las paredes con un cepillo y agitar o revolver los sedimentos del fondo del tanque para que se suspendan en el agua.
- d. Drenar el tanque usando la válvula de limpieza que está en el fondo.

No se recomienda desinfectar este tanque, ya que el cloro puede inactivar los procesos biológicos del tanque de filtración. Solo agregue cloro en el tanque de almacenamiento.

Tanque de almacenamiento de agua tratada.

La frecuencia de limpieza se hará cuando sea necesario y debe inspeccionarse visualmente todos los días. Se deberá desinfectar agregando una solución de cloro una vez por mes como mínimo. Ver instrucciones de dosificación en el anexo 2.

- a. Llenar el tanque con agua filtrada hasta 1/4 de su capacidad. Luego, habrá que resregar la pared y fondo del tanque con un cepillo de mango largo, una escoba o un palo de escoba envuelto en una tela limpia para desprender y suspender los lodos o sedimentos.
- b. Drenar del tanque el agua con lodo mediante la válvula de limpieza adicional instalada en el fondo. La purga del agua sucia no se deberá hacer a través de las llaves de agua, para evitar que se acumulen los sedimentos en las tuberías.
- c. Repetir los dos primeros pasos hasta que el tanque se vea libre de sedimentos.
- d. Llenar el tanque con agua filtrada.
- e. Agregar la cantidad indicada de solución de cloro para lograr la concentración de cloro residual buscada; para este propósito de limpieza se puede usar una dosis máxima de 2.0 mg/l de cloro libre residual. Dejar reposar el agua con cloro dentro del tanque al menos una hora para que ocurra una desinfección efectiva.
- f. Drenar el agua (sin usarla para beber) a través de las tuberías abriendo todas las llaves de agua del tanque de agua filtrada.
- g. Vuelva a llenar el tanque con agua filtrada. El tanque está listo para usarse. Después de cada limpieza se deberá analizar la calidad del agua para asegurarse de que no haya recontaminación.

4.8. Monitoreo y evaluación del funcionamiento del biofiltro

El biofiltro de arena intermitente es fácil de operar y mantener. Sin embargo, es necesario verificar que funcione correctamente mediante un monitoreo.

Es necesario elaborar un formato a manera de bitácora para llevar un registro de cada actividad de operación y mantenimiento realizada en el biofiltro para tener evidencia de funcionamiento, así como de la aceptabilidad de la calidad y cantidad de agua por los usuarios, que nos ayude a evaluar su desempeño y llevar a cabo acciones de mejora para asegurar que la calidad del agua es apta para consumo humano. En el anexo 2 se presentan ejemplos de dos formatos.

Las personas responsables del biofiltro deben estar capacitadas para saber cómo opera y cómo debe mantenerse correctamente. Se deberá contar con un plan y programa de monitoreo.

4.8.1. Frecuencia del monitoreo

Se recomienda que al inicio de la instalación del biofiltro el monitoreo se haga con más frecuencia para ir conociendo cómo funciona y cuán seguido hace falta limpiarlo. La frecuencia de limpieza depende de la calidad del agua cruda (principalmente turbiedad) y cantidad de agua filtrada por día. Cuando el filtro comienza a funcionar, se recomienda hacer el monitoreo una vez por semana. Luego; cuando la operación del biofiltro ya es estable, se puede extender el monitoreo a una vez por mes.

4.8.2. Puntos de monitoreo

El monitoreo se hace sobre aquellos parámetros de operación que definen la eficiencia del biofiltro:

- La velocidad de filtración o flujo del filtro en operación normal, y después de una limpieza
- La carga hidráulica durante la operación



- El nivel de agua estancada sobre el lecho en el periodo de paro
- El nivel de la arena de filtración
- La limpieza de la superficie de arena
- Funcionamiento correcto de la válvula del flotador y la placa difusora

Otros puntos a monitorear:

- Fugas de agua en tuberías, conexiones, accesorios y tanques de todo el sistema de tratamiento.
- Funcionamiento adecuado de válvulas: que estas abran y cierren con facilidad.
- Limpieza general.
- Continuidad y cantidad en el suministro de agua cruda.

4.9. Verificación de la calidad de agua

El análisis de la calidad del agua deberá incluir el agua cruda, el agua a la salida del biofiltro y en el tanque de almacenamiento, a fin de determinar la eficacia de eliminación de contaminantes del biofiltro y verificar una posible contaminación después de la filtración. Los principales parámetros de calidad de agua a analizar son bacterias, turbiedad y color. Estos análisis se deben realizar en laboratorios acreditados particulares y tienen un costo, pero también se puede pedir apoyo a laboratorios de instituciones públicas como universidades, organismos operadores de agua y saneamiento, comisiones estatales de agua y del Sector Salud que hacen vigilancia de calidad de agua. Por lo general, el análisis se hace una o dos veces por año para verificar que el agua del biofiltro cumple con la norma la calidad de agua potable mexicana NOM- 127-SSA1-2021 (DOF, 2022).

Sin embargo, en la escuela se puede determinar por lo menos si la turbiedad del agua cruda es mayor de 50 UNT (con el método de la botella de 2 litros, como ya se explicó antes) o si la turbiedad del agua filtrada es menor a 4 UNT (que a simple vista no se debe notarse ninguna partícula suspendida).

Es útil medir la percepción de los usuarios sobre parámetros organolépticos, como sabor, olor y color del agua, los cuales deben ser aceptables; además la cantidad disponible debe ser suficiente para cubrir sus necesidades.

4.10. Recomendaciones para periodos prolongados de paro y para el mantenimiento extraordinario

El mantenimiento extraordinario se refiere a la nueva puesta en servicio del biofiltro después de un periodo de paro o inactividad, ya sea por periodo de vacaciones o alguna otra causa que lleve a varios días sin operación.

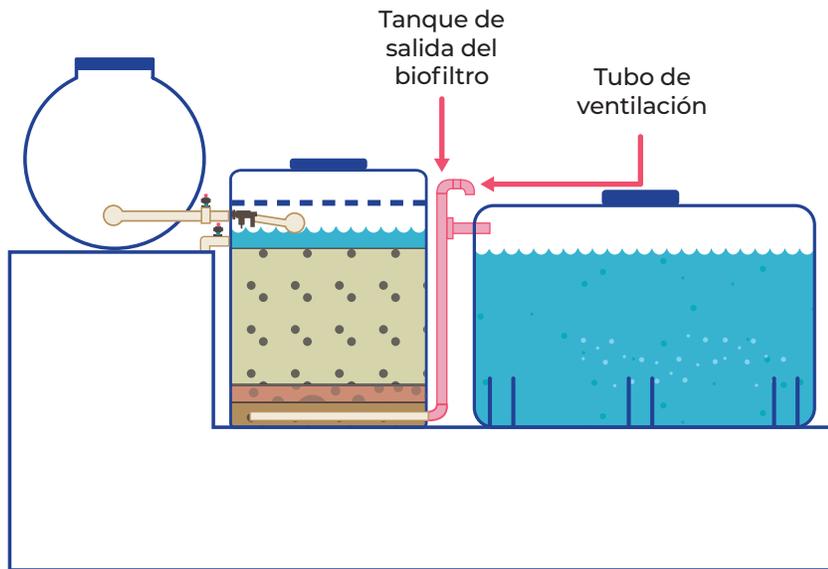
Durante las vacaciones, lo mejor es circular por el filtro al menos 100 litros de agua por día para mantenerlo en uso, a muy baja tasa de filtración para que la biocapa no se seque y los microorganismos permanezcan latentes.

Otra opción es dejar ambos tanques de almacenamiento llenos y por el uso esporádico o por evaporación, el agua sobre la biocapa se irá reponiendo, favoreciendo el desarrollo de los microorganismos.

Llegado el momento de volver a poner el biofiltro en operación normal, se deberán dejar pasar dos semanas para que el filtro recupere su eficiencia de remoción. Durante este tiempo, no usar el agua para beber.

Si por alguna razón se ha secado el filtro, es necesario volver a llenarlo "de abajo hacia arriba" a través de la tubería de salida de agua filtrada, para expulsar burbujas de aire atrapadas en el lecho de arena que pueden impedir que el agua fluya a su máxima capacidad.

Llenar el filtro colocando un embudo en la parte alta de la tubería de salida de agua de agua filtrada, que conecta al tanque de almacenamiento de agua tratada (figura 24). Para tal efecto, quitar el arreglo del tubo de ventilación (los dos codos y el tubo corto horizontal, los cuales no están cementados, sólo sobrepuestos). Verter agua por el embudo lentamente hasta que el nivel de agua dentro del biofiltro quede por encima de la arena.



Fuente: Adaptado de CAWST (2017b)

Figura 24. Ubicación del punto en el tubo de salida del biofiltro para poner embudo para llenado ascendente.

Al terminar el proceso, reiniciar la operación del biofiltro como se ha descrito en páginas anteriores.



Referencias bibliográficas

CAWST, (2012). Manual de construcción del filtro de bioarena. Centre for affordable Water and Sanitation Technology. CA. www.cawst.org

CAWST, SPC, (2017a). El método de barreras múltiples para obtener agua potable. Resumen técnico. Centre for affordable Water and Sanitation Technology. CA. www.cawst.org

CAWST, SPC, (2017b). Manual técnico: Filtro de arena lento intermitente (FALI), Samaritan's Purse, Centre for affordable Water and Sanitation Technology. CA. www.cawst.org

CAWST, (2017c). Desinfección con cloro para el tratamiento del agua a nivel domiciliario. Resumen técnico. Centre for affordable Water and Sanitation Technology. CA. www.cawst.org

DOF, (2022). NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Diario Oficial de la Federación 02/05/2022, Secretaría de Salud. Mx.

UNICEF (2012). Water, Sanitation and Hygiene (WASH) in Schools. Fondo de las Naciones Unidas para la Niñez, Division of Communication. US.

WHO, (2018), Guías para la calidad del agua de consumo humano. World Health Organization, Cuarta edición que incorporada la primera adenda. SW.



ANEXOS

1. Pretratamiento con filtros gruesos

Los arroyos y ríos tienen cambios bruscos de calidad entre las épocas de secas y lluvias, que se manifiestan por aumento del color y de la turbiedad del agua, llegando esta última a más de 50 UNT, lo cual es apreciable a simple vista. En la época de lluvias será necesario darle al agua un pretratamiento con un filtro grueso de gravas en varias capas para evitar que la capa superficial de arena del biofiltro se colmate en poco tiempo y baje su rendimiento.

El prefiltro está colocado entre el tanque de sedimentación y el biofiltro. En la figura 25 se muestra un modelo con cinco capas de gravas de diferente tamaño de grano.

Estos filtros operan a mayores tasas de filtración (de 0.30 a 0.60 m/h) que los filtros lentos o biofiltros (0.12 a 0.20 m/h). Al igual que los biofiltros, el área del prefiltro es función del flujo de agua a tratar (a mayor flujo, mayor diámetro), pero la altura del filtro y espesor de cada capa y tamaños de gravas son las mismas, independientemente del diámetro del tanque. Por ejemplo, siguiendo el diseño del biofiltro (diámetro 0.60 m, tasa de filtración de 0.12 m/h, caudal de 0.57 l/min), si elegimos una tasa de filtración de 0.36 m/h, el diámetro del prefiltro (DPF) se calcularía siguiendo una regla de tres:

$$D_{PF} = \frac{V_{PF}}{V_{FB}} \times D_{BF} = \frac{0.12 \left(\frac{m}{h}\right)}{0.36 \left(\frac{m}{h}\right)} \times 0.60(m) = 0.20 m$$

Donde:

V_{PF} tasa de filtración del prefiltro (m/h)

V_{FB} tasa de filtración del biofiltro (m/h)

D_{BF} diámetro del biofiltro (m)

La dirección del flujo en los prefiltros es ascendente (el agua entra por la parte inferior y sale por la superior, para conectarse con el biofiltro). Si la operación del biofiltro es intermitente, entonces la operación del prefiltro será también intermitente; si es continua, entonces la operación del prefiltro también será continua. El prefiltro y el biofiltro operarían al mismo caudal.

La limpieza se hace por descarga de fondo con ayuda de una válvula de apertura rápida, cerrando y abriendo varias veces la válvula hasta extraer toda el agua acumulada en el prefiltro. Así se arrastran y extraen las partículas retenidas en los poros de las gravas. La acción se debe repetir dos o tres veces.

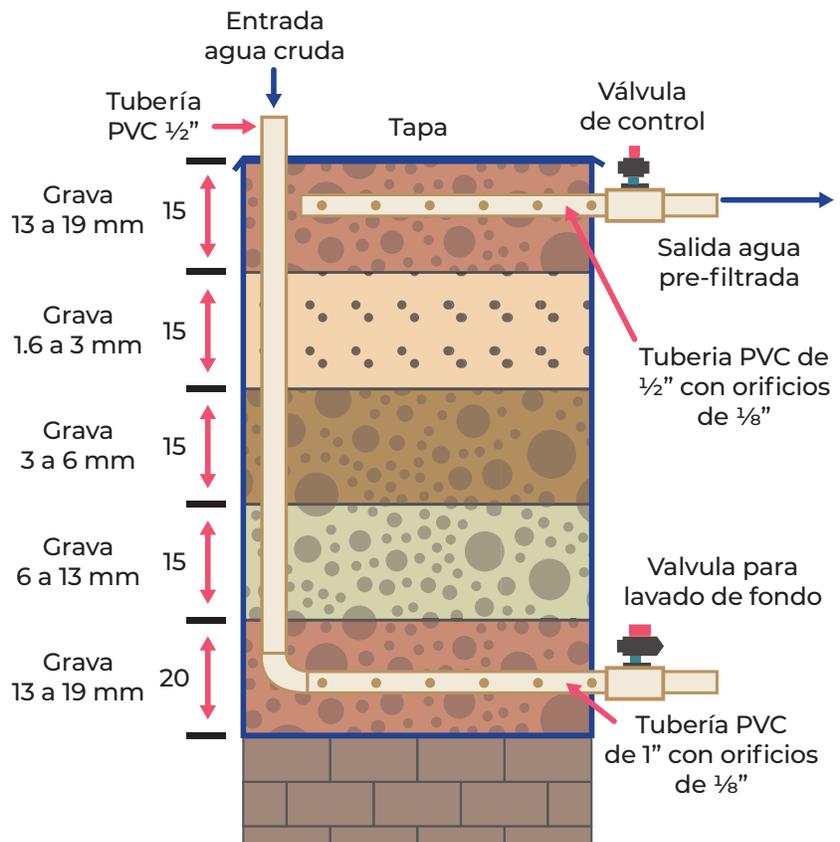


Figura 25. Filtro grueso para pretratamiento al biofiltro.

2. Desinfección del agua filtrada

En el mercado existen varios productos comerciales de cloro líquido (hipoclorito de sodio) que se usan para blanqueado de ropa y también para desinfección de agua y verduras. Para este uso, los productos no deben contener ningún otro compuesto químico, como, por ejemplo, aromatizantes.

Los productos comerciales vienen en concentraciones altas de cloro, que van de 4 a 13 % (desde 4 partes de cloro por 96 de agua, hasta 13 partes de cloro por 87 de agua), que no nos permiten usarlos directamente, por lo que es conveniente diluirlos, haciendo una solución madre que después utilizaremos para desinfectar el agua en el tanque de almacenamiento. En la tabla 5 se presenta una relación de las cantidades de cloro líquido y agua en mililitros (ml) necesarias para preparar un litro de solución madre al 1.0 %, dependiendo del producto comercial utilizado.

Tabla 5. Volúmenes de cloro líquido y agua para preparar 1 litro de solución madre al 1%.

Conc. Cloro Comercial (%)	Vol. Cloro (ml)	Vol. Agua (ml)
4.0	250	750
5.0	200	800
6.0	167	833
13.0	77	923

De acuerdo con la norma de agua potable NOM-SSA1-2021, el agua para beber debe tener de 0.2 a 1.5 mg/l (miligramos/litro) de cloro libre residual para conservar el agua libre de microorganismos patógenos en su recorrido por tuberías y tanques. En el caso del agua filtrada, esta se encuentra almacenada de manera segura después de pasar por el biofiltro y, en vista de que será consumida inmediatamente por los usuarios, le daremos una dosis baja de cloro, por ejemplo, de 0.5 mg/l. Así se logra un equilibrio entre un valor residual eficaz para la protección y un sabor bastante aceptable. La cantidad de solución madre al 1.0 % a agregar en el tanque de almacenamiento es en función del volumen de agua a desinfectar y de la dosis de cloro requerida, tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Volumen de solución madre en mililitros (ml) al 1.0 % para desinfectar agua en tanques.

Dosis de cloro (mg/l)	Volumen del Tanque (l)		
	200	450	1,200
0.5	100	225	600.0
1.0	200	450	1,200
1.5	300	675	1,800
2.0	400	900	2,400

Por ejemplo, si nuestro tanque de almacenamiento es de 450 litros y fijamos la dosis en 1.5 mg/l de cloro, entonces necesitaríamos agregar 675 ml de la solución madre al 1.0 %, o si la dosis fuera de 1.0 mg/l, entonces agregaríamos 450ml.

Es importante aclarar que la desinfección se debe hacer por lotes completos, o sea, que los 225 ml de la solución de cloro se deben agregar cuando el tanque esté lleno (450 l) y dejar pasar 30 minutos, que es el tiempo mínimo de contacto para que el cloro actúe de manera efectiva sobre los microorganismos. Transcurrido este tiempo se podrá beber el agua.

Para el caso de cloración con propósito de limpieza del tanque, para una dosis de 2.0 mg/l y un volumen de agua de 450 l, la cantidad a agregar de solución madre al 1.0 % será de 900 mililitros.

Para medir la cantidad de cloro libre residual en el agua se puede usar un kit de análisis de albercas, que se puede conseguir en supermercados. La dosis de cloro se puede ir ajustando por prueba y error, con ayuda del medidor de cloro.



Nombre de la escuela: Ubicación: Fecha instalación: ✓ SI / aceptable ✗ NO / inaceptable

Nombre del entrevistado	¿Le gusta el sabor del agua filtrada?	¿Le gusta el olor del agua?	¿El agua es transparente y sin color?	¿Hay siempre suficiente agua?	¿Lleva agua filtrada a su casa?	¿Recomienda el biofiltro a otras personas?
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Total ✓						
Total ✗						

Fuente: Adaptado de CAWST, SPC, 2017a.

¿Cómo purificar agua usando un filtro lento de arena en mi escuela? de la serie *Ecotecnias del agua para escuelas*, se terminó de editar en diciembre de 2023, a cargo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, en Jiutepec, Morelos.





MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA