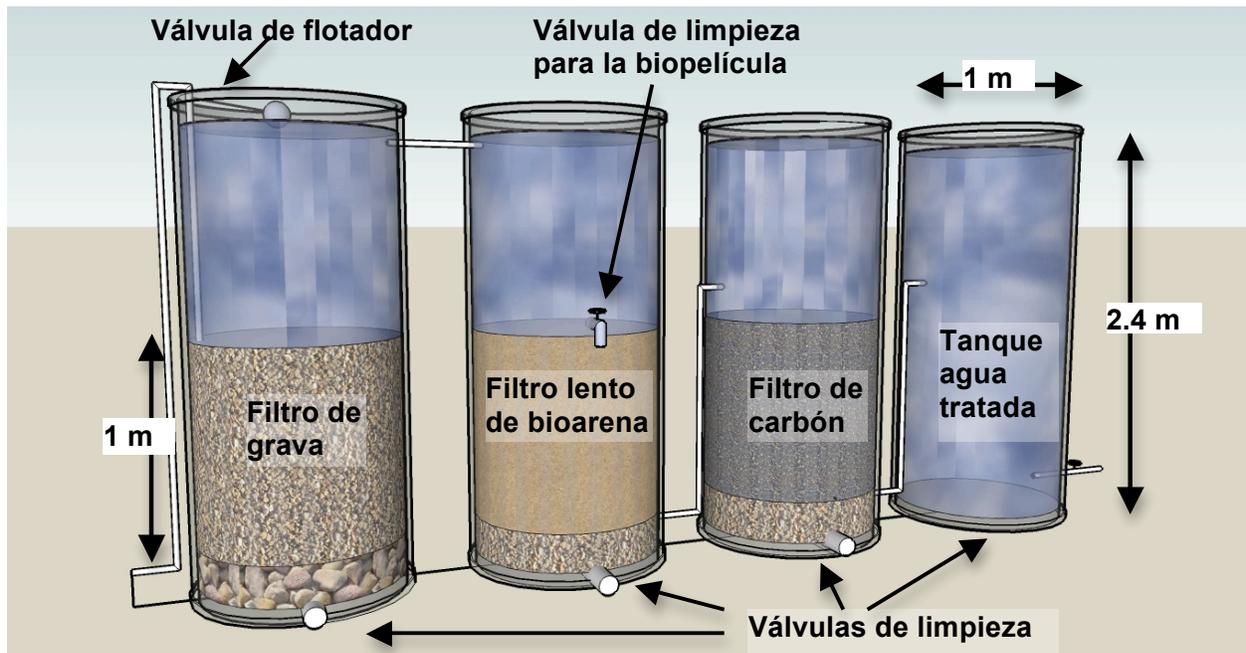


# La Construcción de un Sistema de Tratamiento de Agua de Barreras Múltiples Usando Materiales Locales



---

## Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Terminología y abreviaturas .....</b>	<b>2</b>
<b>La Construcción de un Sistema de Tratamiento de agua de Barreras Múltiples Usando Materiales Locales .....</b>	<b>3</b>
<b>I. Ubicación y materiales .....</b>	<b>3</b>
<b>a. Ubicación.....</b>	<b>3</b>
<b>b. Contención .....</b>	<b>3</b>
<b>c. Plomería .....</b>	<b>4</b>
<b>d. Agregados .....</b>	<b>5</b>
<b>II. Cómo funciona ... (y cómo mantenerlo) .....</b>	<b>5</b>
<b>a. Filtro de grava .....</b>	<b>5</b>
<b>b. Filtro lento de bioarena.....</b>	<b>5</b>
<b>c. Filtro de carbón.....</b>	<b>7</b>
<b>d. Almacenar el agua .....</b>	<b>10</b>

## Introducción

La contaminación de fuentes de agua potable por agentes causantes de enfermedades microbianas y químicos tóxicos, tales como pesticidas, productos farmacéuticos, residuos industriales y componentes de combustible es un problema mundial cada vez mayor. Los contaminantes microbiológicos del agua causan diarrea, gripe y otras enfermedades. Muchos contaminantes químicos sintéticos se bio-acumulan en el cuerpo humano y causan cáncer, defectos congénitos, enfermedades del sistema reproductor, y perturban el sistema endocrino y neurológico.

Para los hogares rurales y comunidades pequeñas, el tratamiento de agua descentralizado, de bajo costo para la eliminación de los contaminantes biológicos y químicos se puede lograr utilizando materiales locales fácilmente disponibles. Aquí se proporcionan instrucciones detalladas para la construcción de un sistema de tratamiento de agua de barreras múltiples a escala intermedia (hasta 2000 L / día) utilizando una serie de filtros de grava, arena biológicamente activo y carbón. El sistema cuesta alrededor de \$500 para construir, y debe proporcionar años de servicio con mantenimiento periódico del bio-filtro de arena y el cambio de carbón cada 2-3 años.

Las especificaciones de la información y diseño que aquí se presentan son de código abierto / arquitectura abierta. Invitamos a que se hagan observaciones críticas de ingenieros de campo y (agua, saneamiento, higiene) los profesionales del sector del desarrollo, investigadores universitarios,

organizaciones no gubernamentales de desarrollo sostenible, los técnicos comunitarios de agua, etc. Por favor, póngase en contacto con [josh@aqolutions.org](mailto:josh@aqolutions.org) para obtener más información.

### **Terminología y abreviaturas**

Adsorción / Absorción / Sorción

"Adsorción" significa una interacción superficial entre especies disueltas y el material sólido (en este caso, el carbón). Este proceso es distinto de "absorción", que significa "tomar" o "tomar en." Para ser exactos, sin embargo, en el tratamiento de aguas, los contaminantes entran en los poros del carbón (absorción) y se unen a las superficies de carbón (adsorción). Esto ha llevado a un amplio uso del término no específico "sorción".

Biochar (Inglés) / Carbón / Char (Inglés)

"Biochar" se refiere a la práctica de la aplicación de la biomasa carbonizada a los suelos agrícolas con el fin de aumentar los rendimientos de los cultivos, y/o para el secuestro de carbón en el suelo. "Carbón" o "carbón vegetal" se refiere a un producto derivado de la biomasa que es más utilizado como combustible para cocinar. "Char" es un término no específico utilizado para referirse a biochar o carbón.

Biomasa / Materia prima

Aquí, "biomasa" se refiere a cualquier leñosa o material celulósico (por ejemplo, madera, residuos agrícolas y forestales) que sirve como el precursor, o "materia prima", para la fabricación de carbón.

Micro-porosidad / Superficie

Un material "micro-porosa" posee una estructura de poros muy finos en el nanómetro a micrómetro (10<sup>-9</sup> - 10<sup>-6</sup> m) escala. "Superficie" se refiere principalmente a la superficie interna, es decir, dentro de los micro-poros.

Patógeno

Agente microbiológico transmitida por el agua que puede causar una enfermedad en ser humanos.

CA / CAG carbón activado / carbón activado granular

FBA / FLA / FLBA filtro de bioarena / filtro lento de arena / filtro lento de bioarena

COS Compuesto Orgánico Sintético

---

## **La Construcción de un Sistema de Tratamiento de Agua de Barreras Múltiples con Materiales Locales**

Mejorar la calidad del agua consiste en mitigar la enfermedad que causan los agentes biológicos (patógenos), así como los contaminantes dañinos y compuestos químicos no dañinos que imparten un sabor, olor o apariencia desagradable. En la foto de la portada de este informe se ve un sistema de agua de barreras múltiples de tratamiento que aborda estos desafíos mediante una secuencia de grava, arena biológicamente activo y filtración con carbón. Un sistema construido de acuerdo con estas especificaciones puede proporcionar 1500-2000 L / día de agua tratada en función de la calidad de la fuente de agua.

### **I. Ubicación y materiales**

#### **a) Ubicación**

La gravedad es la manera más fácil y más confiable para mover el agua. Idealmente, el sistema de agua está situado sobre un suelo estable y nivelado a una menor elevación de la fuente de agua y una elevación más alta que el lugar donde se utiliza el agua tratada. Esta circunstancia permite el funcionamiento completamente pasivo del sistema de tratamiento y de control muy simple utilizando sólo una válvula de flotador (el mismo dispositivo que vuelve a llenar los tanques de inodoros): cuando el agua se retira del tanque de almacenamiento el nivel de agua en el sistema cae, abriendo la válvula de flotador. Cuando el sistema está lleno, la válvula de flotador se cierra.

#### **b) Contención**

En el sudeste de Asia, anillos de hormigón prefabricados son de bajo costo y ampliamente disponibles en las zonas más rurales y se utilizan para la construcción de tanques. Se utiliza mortero de arena fina y cemento para conectar los anillos de hormigón y las paredes interiores del tanque están sellados con lechada de cemento. Se llena el tanque con agua cuando el revoque está firme pero todavía un poco húmedo y así empujar el cemento dentro de los poros para sellar el tanque.

Tanques de plástico también pueden ser utilizados, o, si albañiles están disponibles, se puede construir los tanques de ferro-cemento. Los tanques deben tener una gran abertura y una tapa extraíble de manera que una persona puede entrar completamente para la conexión de tuberías, la instalación de

agregados del filtro, llevar a cabo los trabajos del mantenimiento rutinario (que incluye la limpieza del interior del tanque y la extracción / reemplazo del carbón), y para las reparaciones.

Tapas o algún material de cubierta para excluir la luz solar debe ser utilizado para inhibir el crecimiento de microorganismos fotosintéticos (algas, cianobacterias) en el sistema. Los tanques deben ser envueltos en una malla fina para evitar la entrada de insectos, excrementos de pájaros, hojas y trozos de escombros u otros objetos en el sistema.

Los tanques se construyen sobre una base sólida nivelada (preferentemente de hormigón armado), y se distinguen de otros de apariencia similar (por ejemplo, tanques de agua de lluvia, agua de riego, séptico, etc) mediante una señalización adecuada.

### **c) Plomería**

Tubería de PVC se encuentra fácilmente y es barato en la mayoría de lugares. 1/2 "a 3/4" de diámetro está bien para la mayoría de las conexiones hacia y desde el sistema de agua y entre los tanques. Las válvulas de limpieza en el fondo de los tanques deben ser más grandes, por lo general de 3" a 4". 1 "a 2" es ideal para la válvula a la mitad del tanque del filtro de arena.

La plomería en el fondo de los tanques del filtro debe ser protegida contra daños físicos y bloqueo por agregados inferiores con una capa de roca y grava gruesa de por lo menos 20 cm de profundidad. La arena y carbón debe ser apoyada por un capa de gravilla y encima la gravilla una capa de arena gruesa (por lo menos 10 cm de profundidad cada uno).

La conexión desde el filtro de grava al filtro de arena debe estar situado cerca de la parte superior de los tanques, unos pocos cm por debajo del nivel de agua cuando esta lleno (establecido por el ajuste de la válvula de flotador). La conexión desde el filtro de arena para el filtro de carbón debe entrar en el depósito de carbón a un nivel de aproximadamente 5 cm por encima del nivel de la arena - es decir, a una altura de aproximadamente 145 cm por encima del fondo del tanque si un drenaje inferior de 40 cm se utiliza con 1m de agregados del filtro. Se hace lo mismo para la conexión del filtro de carbón al tanque de almacenamiento. Esto asegura que el nivel de agua en la arena y los filtros de carbón nunca descenderá por debajo del nivel de los medios del filtro. Esto es esencial para mantener el vigor y el funcionamiento completo de la capa biológica en el filtro de arena, y la utilización de toda la capacidad de sorción del filtro de carbón.

#### **d) Agregados**

Grava de 1-4 cm de diámetro está muy bien para el filtro de grava. Arena (a diferencia de la arena gruesa o muy fina) se debe utilizar para el filtro de arena. Arena tamizada o arena de albañilería son muy finas y puede generar pérdida de carga excesiva, sobre todo si la fuente de agua contiene una gran cantidad de materia orgánica. Los pedazos grandes de carbón se debe romper en pedazos 1-5 cm. Carbón hecho en un gasificador se puede utilizar directamente por que las materias primas son materiales pequeños o precortados.

## **II. Cómo funciona ... (y cómo mantenerlo ...)**

### **a) Filtro de grava**

El agua pasa por el filtro de grava (controlado por la válvula de flotador) baja por una tubería hasta la parte inferior del filtro y fluye hacia arriba a través de la grava. Esto elimina la turbidez (partículas) y algo de materia disuelta que se adhiere a las superficies de las partículas que se asientan. Una o más veces durante el año (dependiendo de la calidad de la fuente de agua), la válvula grande (al menos 3 "- más grande es mejor) en la parte inferior del filtro de grava se abre rápidamente invirtiendo la dirección del flujo a través del filtro (" lavado a contracorriente ") con el fin de eliminar el sedimento acumulado y materia orgánica.

***Mantenimiento de los filtros de grava:*** Siempre y cuando la tubería no se rompa, o las tuberías o los agregados no estén irremediamente obstruidos por los sedimentos o residuos, la grava no tiene por qué ser removida o reemplazada durante la vida del sistema de tratamiento. Un poco de "MacGyvering" puede ser necesario para garantizar que la salida de la válvula de flotador completamente dirige el agua afluyente en el tubo que conduce a la parte inferior del tanque. La válvula del flotador debe ser examinado periódicamente por obstrucción o mala dirección potencial de agua del afluyente.

### **b) Filtro lento de bioarena**

Los filtros de arena eliminan los microorganismos y las partículas por el esfuerzo físico, y algunos compuestos disueltos por adsorción sobre las superficies de los granos de arena, pero lo más importante, en los filtros de arena biológicamente activos ocurre la eliminación de microorganismos problemáticos y compuestos químicos a través de la biodegradación. A menos que un desinfectante como

el cloro se añade al sistema, una biopelícula (o capa schmutzdecke) se desarrolla naturalmente dentro de unos pocos días al comenzar el uso del filtro, y continúa madurando a lo largo de un período de varias semanas. La cantidad de tiempo para lograr eso denominado "maduración", depende principalmente de la temperatura del ambiente y características de la fuente de agua.

La biopelícula se concentra en los primeros 1 a 3 cm de la arena del filtro (aunque existe un poco de actividad biológica dentro de todo el filtro de arena) y degrada activamente los compuestos orgánicos disueltos en el agua del afluente. Los microorganismos ambientales naturales que componen la capa biológica impiden el establecimiento de colonias microbianas de patógenos a través de la competencia y la depredación. Así, los filtros de arena con capas biológicas sanas y bien establecidas son una técnica eficaz y bien demostrada para la eliminación de patógenos y algunos compuestos peligrosos biodegradables en el tratamiento del agua.

Una nota sobre FBA, FLA y FLBA (BSF, SSF y S-BSF en inglés) ... Los lectores pueden estar familiarizados con un filtro de menor tamaño (tamaño familiar) tipo rápido "filtro bioarena(FBA)" unidades promovidas por el tratamiento doméstico del agua en las comunidades en vías de desarrollo, y también filtros lentos de arena (FLA) convencionales a gran escala utilizado por empresas de servicios públicos municipales de agua potable en áreas desarrolladas. El filtro lento de bioarena (FLBA) que aquí se presenta es un diseño intermedio adaptado para abordar algunas de las limitaciones respectivas de los FBA y FLA.

En resumen, en filtros de arena de un mayor tiempo de contacto entre el agua y la arena/biopelícula se proporciona un mejor tratamiento al permitir más tiempo para la adsorción y mecanismos de biodegradación para ocurrir. Sin embargo, aumentar el tiempo de contacto requiere un filtro para el tratamiento de un volumen similar de agua, incurriendo mayores costes de construcción y ocupando un espacio mayor para el sistema de tratamiento. Además, una velocidad de carga lenta y constante (en oposición a un ritmo rápido, como carga intermitente en filtro de bioarena domestica) contribuye al funcionamiento de la biopelícula y un tratamiento mejorado como este se establece por un flujo cuasi-constante de nutrientes a la biopelícula.

El filtro lento de bioarena descrito aquí combina la velocidad de carga baja y más consistente para el tiempo de contacto óptimo con la biopelícula y los medios para lograr la eliminación efectiva de patógenos y la biodegradación de contaminantes, mientras se va proporcionando un rendimiento suficiente de agua tratada en una manera económica, con dimensiones minimizadas.

***Mantenimiento del filtro lento de bioarena:*** El filtro de arena es el "cuello de botella" paso de este sistema de agua (es decir, el caudal en su etapa determinante). Mientras el material orgánico se

acumula en la zona de la biopelícula en la parte superior del lecho de arena, las tasas de flujo pueden disminuir por debajo del flujo mínimo de agua tratada que necesita la comunidad. Así, un par de veces al año, puede ser necesario limpiar el filtro de arena para restaurar la tasa de flujo original. Esto se logra usando un poste largo para agitar vigorosamente y suspender el sedimento acumulado de los primeros centímetros de arena en el agua por encima del lecho filtrante. La válvula de limpieza (situado a 5 a 10 cm por encima del nivel superior de la arena) se abre para permitir que el sedimento en suspensión y el material orgánico salgan rápidamente fuera de la parte superior del tanque. La mayoría de las partículas de arena en suspensión no son lavadas por el reasentamiento, y la biopelícula se restablece completamente en unos pocos días. Una pequeña cantidad de arena se lava durante este proceso. Después de hacer varios ciclos de mantenimiento, puede ser necesario reemplazar algo de arena en la parte superior del lecho filtrante.

La frecuencia de limpiar el filtro de arena para mantener tasas adecuadas de flujo está determinado por las necesidades de agua de la comunidad y las características de la fuente de agua. Puesto que el filtro de arena es el que limita la velocidad del sistema de tratamiento, un mayor rendimiento puede lograrse aumentando el tamaño (área de sección transversal) del filtro en el diseño original, o mediante la construcción de unidades adicionales en paralelo.

### **c) Filtro de carbón**

***Terminología y conceptos importantes:*** El filtro de carbón funciona principalmente por el proceso de adsorción. La adsorción significa una interacción superficial entre las especies disueltas y el carbón, es diferente de absorción, lo que esencialmente significa "tomar" o "tomar en." para ser exactos, sin embargo, en el tratamiento de aguas contaminantes las especies disueltas están difusas en los poros de carbón (absorción) donde se unen a las superficies de carbón (adsorción). Esto ha llevado a un amplio uso del término no específico "sorción".

La porosidad y el área superficial grande de carbón proporciona una multitud de sitios reactivos para la unión de compuestos disueltos. En estos sitios reactivos se pueden unir los compuestos orgánicos disueltos no problemáticos, así como pueden ser dirigidos contaminantes peligrosos. Un poco de materia orgánica disuelta, presente en todas las aguas naturales puede ocupar lugares en las superficies de carbón y con ello excluir los contaminantes de interés. Este problema en filtros de carbón es mitigado en nuestro caso por los procesos unitarios de la grava y filtro de arena que actúan para eliminar una parte sustancial de materia orgánica disuelta en el agua de la fuente antes de que se encuentre con el carbón. El principio es lograr un alto nivel de tratamiento antes del filtro de carbón, con el fin de "salvar el carbón" para la

eliminación de compuestos problemáticos disueltos que pasan a través de las etapas de tratamiento anteriores.

***Carbón local comparado a carbón activado:*** En el sistema de tratamiento descrito aquí, el filtro de carbón funciona como un "post-filtro adsorbente," similar a la utilización de carbón activado granular (CAG) en procesos unitarios de instalaciones municipales de tratamiento de agua. El filtro de carbón se coloca después de los filtros de grava y arena con el fin de orientar los componentes específicos de la materia orgánica de fondo (por ejemplo, compuestos que causan sabores, olores o aspectos indeseables) o compuestos orgánicos sintéticos (COS) como los pesticidas, productos farmacéuticos, compuestos de combustible, etc, que no estén bien eliminados por los procesos de las unidades precedentes.

Hay, sin embargo, algunas diferencias importantes entre el carbón de leña generado localmente y el **carbón activado** comercial. Primero, el carbón local (idealmente) está hecho a partir de residuos agrícolas y forestales y biomasa leñosa renovable y ambientalmente sustentable. La mayoría de carbones activados comerciales se hacen a partir de sub-bituminoso carbón de lignito (no renovable). Ambos carbones locales y carbones activados se someten a una etapa de carbonización donde se calienta el material de alimentación a varios cientos de grados Celsius bajo una atmósfera de oxígeno restringida. Sin embargo, los carbones comerciales son posteriormente "activados" por procesos físicos y / o químicos para desarrollar la estructura interna de poros y reactividad de la superficie usando vapor a alta presión, dióxido de carbono, o ácidos. En otras palabras, la etapa de activación es un proceso industrial que requiere instalaciones, energía, equipos y reactivos que no son accesibles en comunidades rurales.

Además, en comparación con el carbón activado, el carbón local puede contener proporciones sustanciales de alquitran residual incompletamente carbonizado y compuestos oleosos, en particular si el residuo carbonoso se genera a una temperatura más baja (es decir, por debajo de ~ 600 ° C, como en la fabricación de carbón para la cocina). El carbón hecho localmente también puede contener una alta proporción de ceniza si la materia prima consiste de un contenido alto de minerales (por ejemplo, paja o cáscaras de arroz). Como los carbonos locales no están "activados" y pueden contener una mayor proporción de ceniza, alquitranes y aceites residuales, no se espera que tengan la misma capacidad de tratamiento de agua que el carbón activado granular CAG hecho industrialmente. Esta disparidad se compensa mediante el diseño, usando tasas del uso de carbón mayores (es decir, la masa de carbono utilizado para tratar un determinado volumen de agua).

***Filtración con carbón biológicamente activo:*** En el filtro de carbón como en el filtro de arena, el proceso desinfectante se añade a continuación, el sistema natural de una biopelícula se desarrolla

fácilmente en las superficies del carbón del filtro. Esto es generalmente una buena cosa. Mientras que a la biopelícula se suma la entrada de materia orgánica natural en el sistema y por lo cual se puede ocupar espacio en los poros del carbón, los microorganismos ambientales que componen la biopelícula previenen el desarrollo de colonias de patógenos en los agregados a través de la competencia y la depredación.

Además, investigaciones recientes sobre la diversidad biológica en filtros de carbón activado ha demostrado sinergismo entre adsorción y mecanismos de biodegradación para mejorar la remoción de compuestos orgánicos sintéticos COS. La eficacia de la combinación de adsorción-biodegradación hace que el proceso sea mayor que procesos solamente de adsorción o biodegradación. La adsorción por el carbón atenúa contaminantes disueltos dando tiempo para su distribución por la biopelícula, que a su vez libera sitios superficiales sobre el carbono para la sorción adicional, extendiendo la vida de los medios del filtro. Incluso algunos compuestos típicamente clasificados como no-biodegradables se descomponen en biofiltros de carbón que están en uso por muchos años. La exposición de los contaminantes retenidos por el carbón durante periodos de semanas o meses permite que los microorganismos se aclimaten y desarrollen las vías enzimáticas necesarias para descomponer algunos compuestos que de otra manera son ambientalmente recalcitrantes. Así, la sinergia entre los procesos de biodegradación y adsorción puede dar lugar a una eliminación neta de unos COS peligrosas del sistema.

#### ***Lixiviación de contaminantes del proceso de carbón usado (CORRECCION)***

***Lixiviación de contaminantes y procesando carbón usado:*** Una preocupación común para la filtración de carbón es la retrodifusión, o "lixiviación", de los contaminantes dentro del carbón al agua, ya sea durante su tiempo de vida en el lecho de filtro o, posteriormente afuera del filtro. Investigaciones recientes sobre los sistemas de carbón activado han mostrado que ocurre muy poca lixiviación del carbón usado. Las medidas de retrodifusión (contaminantes que están liberados de las superficies y salen a través de los poros) son muy lentas debido a la obstrucción de los poros por la materia orgánica natural. Esencialmente, los contaminantes se difunden en los poros, se adhieren a las superficies interiores de los poros, y se quedan atrapados allí por materia orgánica natural que bloquea los poros durante la vida operativa del filtro. Por otra parte, los contaminantes orgánicos más sintéticos se unen más fuertemente a las superficies que el carbón disuelto natural que la materia orgánica –así que es poco probable que los compuestos orgánicos naturales desplacen los contaminantes adsorbidos.

Esto sugiere que la liberación de contaminantes adsorbidos del carbón no debería ser una gran preocupación, ya sea durante la fase de uso del filtro de carbón o posteriormente en la fase de eliminación. Como se indica en estudios de biofiltración, el tiempo y la actividad metabólica de los microorganismos son los medios más eficaces para descomponer los contaminantes adsorbidos. En el

contexto de comunidades rurales, esto se puede lograr haciendo compostaje del carbón del filtro y luego aplicarlo a los suelos agrícolas en la forma sugerido por los practicantes de biocarbón. Un enfoque conservador a la aplicación de carbón gastado del filtro también se puede adoptar, mediante bajas tasas de incorporación de ~ 100 kg de carbón por hectárea.

***Renovación del filtro de carbón:*** El tiempo de vida efectivo del carbón en el filtro depende de la calidad del carbón, así como las características de la fuente de agua y la eficacia de las etapas de tratamiento de las aguas que entran el filtro. En el contexto de una comunidad rural en vías de desarrollo, estos factores se caracterizan por un alto grado de variabilidad e incertidumbre. Como el carbón puede ser generado localmente, y económicamente se recomienda un enfoque conservador, diseñando para una cantidad de carbón mucho mayor que la tasa de utilización que se emplea en sistemas avanzados de CAG. Un filtro de carbón construido de acuerdo con las especificaciones descritas aquí, que suministra 2000 L / día debe ser renovado por lo menos cada 2-3 años.

Esta estimación se debe tomar como una guía aproximada. La investigación de la organización, Aqueous Solutions y sus colaboradores está refinando especificaciones de diseño y protocolos recomendados para la operación del filtro. Sin embargo, la discreción (prudencia, cuidado) de la comunidad y el operador del sistema de agua, deben considerar factores tales como la variabilidad en la demanda de agua de la comunidad y la calidad del agua durante diferentes temporadas del año (por ejemplo, aumento de la turbidez y la materia orgánica disuelta durante la temporada de lluvias, ciclos y periodos de aplicación de plaguicida local, el desarrollo industrial cercano que pueda afectar las fuentes de agua, etc) considerar estos factores interviene en la determinación de una adecuada vida útil del carbón en el filtro y la frecuencia de intercambio de carbón para cada instalación.

#### **d) Almacenamiento seguro del agua**

El tanque de almacenamiento debe ser dimensionado para satisfacer las necesidades de agua de la comunidad con un adicional factor de seguridad apropiado. Se debe tener gran cuidado para asegurar que el agua tratada no vuelva a contaminarse durante el almacenamiento, en el sistema de distribución, o en recipientes de agua como bidones usados por los miembros de la comunidad.