



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EFICIENCIA DE FILTROS EN LA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN
ZONAS RURALES”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Edwar Tucto cueva

 <https://orcid.org/0000-0003-3370-7558>

Asesor:

Armando Vélez Azañero

 <https://orcid.org/0000-0003-4246-1502>

Lima – Perú

2019

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 250-2020-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 17 de noviembre de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **EFICIENCIA DE FILTROS EN LA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN ZONAS RURALES**, presentado por:

- **Edwar Tucto Cueva**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

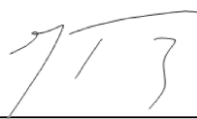
Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **EFICIENCIA DE FILTROS EN LA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN ZONAS RURALES** con N° de registro de la carrera: **0106-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Armando Jesús Vélez Azañero** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

EFICIENCIA DE FILTROS EN LA POTABILIZACIÓN DE AGUA EN ZONAS RURALES

Edwar, Tucto Cueva - Armando, Vélez Azañero

Afiliación de los autores

tucto.edu@gmail.com

RESUMEN

El consumo de agua de mala calidad es el principal problema de salud pública que causan enfermedades patógenas. La potabilización de agua en comunidades rurales comprende el uso de tecnologías avanzadas, convencionales y filtros. El presente estudio de revisión bibliográfica permite conocer la eficiencia de filtros en la potabilización de agua en zonas rurales. Con la finalidad de encontrar un método y tecnología eficiente con proceso de filtración, óptimo y barato, para eliminar o disminuir concentración en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de aguas contaminadas y obtener agua óptima para consumo humano en las comunidades rurales, de diseño simple con materiales de la zona, fácil mantenimiento y con costos accesibles de compra o implantación. Se estudió diversos métodos convencionales, modernos y filtros caseros para potabilizar y desinfectar el agua en zonas rurales, entre las tecnologías de tratamiento avanzado encontramos la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y osmosis inversa, muy costosos que requieren personal capacitado para su operación y mantenimiento. La eficiencia de purificar es alta retienen virus, bacterias y sólidos suspendidos al 99%. Los filtros caseros más utilizados en las zonas rurales para la potabilización de agua son los siguientes: filtro de vela de cerámica, bioarena, bioarena modificado, carbón activado, plata coloidal, xilema, lifestraw famyly y zeolita y su eficiencia está por encima del 90% para eliminar microorganismos. Los filtros de zeolita y carbón activado que remueven metales pesados y minerales (arsénico, calcio, magnesio, fosfatos y hierro) filtrando agua óptima para consumo, barato para mejorar calidad de vida en áreas rurales.

Palabra clave: Agua potable, zona rural, filtros, filtración, microorganismos, remoción.

ABSTRACT

The consumption of water of poor quality is the main public health problem that causes pathogenic diseases. Water purification in rural communities involves the use of advanced technologies, advanced technologies and filters. The present study of bibliographic revision allows to know the efficiency of the filters in the potabilization of water in rural areas. In order to find a method and an efficient technology, an adequate process to reduce or decrease the concentration in the physical, chemical and microbiological parameters of contaminated water and obtaining energy for human consumption in rural communities, simple design With materials from the area, easy maintenance and affordable purchase or implementation costs. Methods of advanced, modern methods and filters for water stabilization and disinfection in rural areas, filtration technology, ultrafiltration, nanofiltration and reverse osmosis are studied. The efficiency of purifying is high retains 99% of viruses, bacteria and suspended solids. The most used home filters in rural areas for water purification are: ceramic candle filter, biosand, modified biosand, activated carbon, colloidal silver, xylem, family life and zeolite and its efficiency is 90% To eliminate microorganisms. The filters of zeolite and activated carbon that remove heavy metals and minerals (arsenic, calcium, magnesium, phosphates and iron) filtering water for consumption, to improve the quality of life in rural areas.

Keyword: Drinking water, rural area, filters, filtration, microorganisms, removal.

REVISIÓN TEÓRICA

1. Calidad de agua en zona rural

El agua posee características y propiedades únicas en todos sus estados que se diferencian de los demás líquidos y su calidad se determina mediante parámetros físicos, químicos y microbiológico analizados en laboratorio (Sierra, 2011). La calidad de agua es referencial depende del uso que va tener. En la calidad influyen diversas factores como modificación de la cobertura vegetal, la actividad extractiva, el uso de fertilizantes, herbicidas, plaguicidas y otros productos químicos, actividades recreativas, actividades industriales, minería y desarrollo urbano o rural por eliminación de aguas residuales y disposición de residuos sólidos. Además, la calidad de agua depende de la ubicación geográfica donde se encuentre, fuente(mar, subterránea, superficial) y hábitos de la población (González-Dávila et al., 2019).

Como consecuencia del consumo de agua contaminada las personas que viven en zonas rurales pueden contraer enfermedades mortales infecciosas de origen hídrico como: la fiebre tifoidea, el cólera, hepatitis infecciosas A y B y enfermedades causado por *Shigella spp* y *E. coli* y los menos graves como diarrea por norovirus y *Cryptosporidium*. En el mundo se estima, el 58 % de carga de enfermedades mueren anualmente 842000 personas de los cuales 361000 son niños menores de 5 años debido a la mala calidad de agua, saneamiento e higiene en países en desarrollo (OMS y el UNICEF, 2018)(Organización Mundial de la Salud, 2011).

Los países en desarrollo de América Latina existen diferencias en el acceso y la gestión de agua. Por esta razón, el 17% de la población de muchas ciudades, pueblos y comunidades rurales son susceptibles a la enfermedad de hepatitis A y al rotavirus, los principales afectados son los niños por consumo de mala calidad de agua. La gestión de

calidad de agua en área rural es indispensable para mejorar la calidad de vida de la población (BID & CEPAL, 2018). Además, tan solo 65% de la población de la región tiene acceso al agua potable y 22% al saneamiento, existe más de 13 millones de habitantes urbanos no tienen acceso a fuentes mejoradas de agua y casi 61 millones a instalaciones mejoradas de saneamiento, situación que en el sector rural se agrava (BID & CEPAL, 2018).

En el caso de Perú, el problema de la centralización, el crecimiento demográfico y urbano en las ciudades demandan mayor alimento, agua potable y saneamiento básico, esto permitió mayor atención de servicios básicos en zona urbana y deficiencia en la atención en áreas rurales, lo que le hace más vulnerable de adquirir enfermedades (Gastañaga, 2018). Puesto que, la falta de servicios de agua potable, saneamiento y el aumento predominante de enfermedades diarreicas están directamente relacionados y están causando la desnutrición y mortalidad infantil en Perú. En nuestro país, el 28.1 % de la población rural que no tiene acceso a agua por red pública de los cuales 16.9% utiliza agua del río, manantial o acequia, 5.1 % de pozo y solo el 16,6 % tienen acceso para eliminar las excretas mediante el sistema de alcantarillado de la red pública (INEI, 2018). En una evaluación de calidad de agua de consumo humano realizado en tres departamentos de nuestro país: Cajamarca, Huancavelica y Huánuco obtuvo como resultado promedio de 69.4 % de coliformes totales, 42.3 % de *E.coli* y 6.7% de calidad bacteriológica (Tarqui, 2016). De lo cual Huancavelica tiene 4.3 % de calidad de agua bacteriológico sabiendo que 74 % de su población vive en el área rural. El agua para consumo humano debe tener los niveles de calidad que cumplan con los altos estándares determinados por las autoridades competentes, ya que puede afectar a la salud pública.

2. Tipos de potabilización de agua en zona rural

2.1. Potabilización de agua por ósmosis inversa

Es una tecnología para purificación y potabilización de agua, se puede utilizar a diferentes escalas, el proceso es conocido como hiperfiltración que permite el paso del agua a través de una membrana semipermeable de poros finos para que no permita el paso de iones disueltos, moléculas y partículas $> 0.005 \mu\text{m}$, utiliza una presión sobre el líquido (Solis, 2017). Además, su eficiencia no permitir el paso de bacterias, virus, hongos, etc. y más de 98 % de materia orgánica y asimismo es recomendado para el tratamiento con alto contenido de sales minerales como sodio, calcio, boro, hierro, cloruro, bicarbonato y 98% de rechazo de sulfatos, 99% de arsénico, 97% de fluoruros y 91 % de nitratos (Seminozelada, 2015). El principio de funcionamiento para tratar corrientes de agua salada que contiene impurezas que serán retenidos al pasar por la superficie de la membrana, se requiere de una bomba que suministra fuerza de alta presión lo cual genera dos corrientes: la primera, que pasa la membrana que está libre de sólidos disueltos y microorganismos aptas para el consumo humano y la segunda, agua de rechazo que representa 50-90 % del agua de alimentación que tiene alta concentración salina y microbiana que no pasó y no logra depositarse en la membrana, si logra quedarse generaría problemas de obstrucción y se reemplazaría constantemente (Calizaya, 2019). La potabilización de agua por sistema de ósmosis inversa requiere tres procesos de pretratamiento, el proceso de la membrana y postratamiento, el primero tiene la finalidad de cuidar las membranas de obstrucciones para preservar su eficiencia y durabilidad, consiste en añadir ácidos e inhibidores de incrustación al efluente para evitar la precipitación de sales insolubles y pasarlo por un filtro de 5 a 20 μm , también en esta etapa se realiza el ajuste del pH , desgasificación y se agrega sustancias para evitar corrosión. El segundo es la fase intermedia tiene unos microporos que no permite pasar moléculas grandes y deja pasar a las pequeñas, su función es separar en dos fases, rechazan el paso de microorganismos patógenos y 85% -

95% de sólidos inorgánicos. En la última etapa se realiza la aireación, ajuste del pH, fluorización, desinfección y control estricto de la calidad de agua para consumo (Yesenia, Delgado Rivera; Edith, 2018). Los problemas que puede presentar el sistema de tratamiento es la obstrucción de la membrana causado por el depósito de sólidos suspendidos, orgánicos y microbianas en el área de filtración de la membrana y la incrustación de una membrana por la precipitación de sales saturadas, ambos problemas requieren alta presión de operación fuera de lo normal, además genera alta caída de presión y menor rechazo de sales disueltos (Jimenez, 2019).

2.2. Tratamiento de agua convencional

La potabilización convencional es garantizar el abastecimiento de agua para la población mediante dos o más procesos que incluye coagulación, floculación, decantación, sedimentación, filtración y desinfección, la salida del proceso final el agua debe cumplir las normativas de calidad exigidas por las autoridades (LISBET, 2017). Por otro lado, para tener un buen resultado de la potabilización se requiere analizar características y propiedades físicas químicas y microbiológicas del fuente y calidad de agua del fuente de captación: río, pozo, embalses y acuíferos que se requiere potabilizar (MINSa, 2011). En Lima, la empresa encargada de la potabilización realiza los siguientes procesos: se inicia con la captación en donde se filtran materiales sólidos, el desarenado separa los sólidos más pesados mediante la precipitación, el precolado permite la reducción de microorganismos por suministro de cloro, embalses de almacenamiento de agua en tanque de regulación, la unidad de tratamiento convencional en donde se utiliza sulfato de cobre para eliminar las algas en el agua, la decantación en cual se agrega coagulantes para formar coágulos o manto de lodo, la filtración permite la reducción de turbiedad y bacterias de agua mediante filtros lentos, la cloración suministra dosis de cloro para la eliminación de patógenos y finalmente se traslada el agua tratada en depósitos de

regulación para su posterior distribución en conexiones domiciliarios (SEDAPAL, 2017). Estos procesos pueden estar administrados por una entidad pública o privada quien se encarga de realizar el control de calidad en los procesos críticos desde la fuente, la captación, producción, sistema de tratamiento y distribución. Además, debe velar por la calidad del agua hasta el consumidor final, los cuales son supervisados y monitoreados por la SUNASS. Un tratamiento convencional de procesos físicos químicos puede incluir un tratamiento avanzado como microfiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa, carbón activado la inclusión de nuevos procesos dependerá de los estándares de la calidad de agua potable que exige la autoridad y el sector competente.

2.3. Microfiltración

El tratamiento de agua se realiza por medio de una membrana de poros 0.03 a 10 μm , que no permite el paso de moléculas mayores de 100.000 daltons, la presión de agua que ejerce sobre la membrana tiene un rango aproximado de 100 a 400 kPa. El cual permite retener partículas como arena, arcilla, *Giardia*, *Cryptosporidium*, algas y algunas especies bacterianas. El problema de esta tecnología es que permite pasar los virus y retener compuesto orgánico que genera descomposición de la membrana (Jacangelo, Watson, & Buckley, 2016).

La operación es de forma automática y son eficientes en remover bacterias, materia orgánica natural y mejora el color, sabor y olor del agua. Por la facilidad de uso y mantenimiento la membrana tubular y de fibra capilar hueca, son los de mayor demanda, también existe la membrana espiral que no tiene uso común (Mourato, 2016).

Es recomendable incluir el proceso de pretratamiento mediante prefiltros de carbón activado o coagulantes para ampliar la vida útil de la membrana. La turbiedad elevada del agua afecta la vida útil de los filtros, por ello, se realizan operaciones frecuentes de desinfección química y lavado para evitar la descomposición rápida de la membrana. El

lavado se realiza con flujo de agua o aire a presión alta, para remover los sólidos adheridos y acumulados en la superficie de la membrana. La desinfección mediante la cloración después de la filtración podría generar subproductos por el contenido de materia orgánica (Ríos & Acosta, 2018).

2.4. Ultrafiltración

Es la potabilización de agua mediante el uso membrana con poros de 0.002 a 01 μm , el suministro de agua se realiza a través de una bomba que ejerce una presión que oscila entre 200 a 700 kPa sobre el agua para que pase la membrana y los poros que permiten retener moléculas > 10.000 daltons. Esta tecnología de ultrafiltración retiene el paso de agentes patógenos como bacterias y virus, sin embargo, podría ser permeable a algunos tipos de virus, materia disuelta como sustancia húmica, por ello, es recomendable realizar la cloración después del proceso de ultrafiltración (Firman, Ochoa, Marchese, & Pagliero, 2018).

Las membranas de ultrafiltración son eficientes en retención de materiales coloidales, especies de alto peso molecular, material particulado, moléculas orgánicas e inorgánicas como quelatos de hierro y manganeso. Además, retienen bacterias, protozoos y un porcentaje de virus. Las membranas para ultrafiltración tienen dos formas de fabricación de hojas planas o tubular con las que se elaboran los filtros (Solís, Vélez, & Ramírez, 2017).

2.5. Nanofiltración

Es una tecnología de potabilización de agua mediante el uso de membrana que posee poros de 0.001 μm , que permiten retener moléculas > 1.000 daltons. La presión de agua que ingresa y ejerce contra la membrana de nanofiltración debería estar entre 600 kPa y 1.000 kPa, asimismo, retiene todo tipo de bacterias, virus, quistes y materia disuelta húmeda. Finalmente, al agua filtrada se puede añadir cloro, esto no generará subproducto

o residuos puesto que no contiene materia orgánica (Cuevas, 2015). La desventaja del tratamiento por este medio es que el agua posee características corrosivas, en proceso de filtrado se remueven carbonatos, bicarbonatos y muchas sustancias que están disueltas en el agua. Por lo que es recomendable adicionar álcali para reducir el problema (Aurelia, 2018).

2.6. Tratamiento con sistema de cloración

Después del proceso de filtración se realiza la cloración para destrucción de microorganismos, usando 5 mg de cloro activo por dm^3 de agua, 30 min. de retención hidráulico. Tiene una eficiencia de remoción de 87% de coliformes fecales en comunidades rurales.

Bomba dosificadora de hipoclorito, utiliza una bomba de diafragma flexible de material resistente que bombea solución de hipoclorito en tubería de agua. Compuestos por dos válvulas de retención colocados en la salida y entrada que aseguran el flujo unidireccional de hipoclorito. La eficiencia de la desinfección dependerá de la dosificación del cloro y flujo de agua, puede desinfectar hasta un l/seg. La ventaja principal de bomba dosificador de otros hipocloradores es que puede introducir la solución de cloro directamente en la tubería hasta 6.0 kg/cm^3 (Bareño & Figueroa, 2016).

2.7. Radiación Ultravioleta (UV)

La radiación ultravioleta o luz ultravioleta, es un método físico práctico utilizado en comunidades pequeñas para desinfectar agua para consumo sin generar problemas de residuos o subproductos de desinfección. La dosificación varía entre 6.000 y 10 000 $\mu\text{Ws/cm}^2$ de luz ultravioleta para destruir los microorganismos (Pseudomonas, coliformes, etc). La lámpara ultravioleta tiene una envoltura transparente a la radiación UV hecho de cuarzo el cual protege el tubo (Torres et al, 2018).

3. FILTROS

3.1 El filtro de bioarena (BSF)

Es un filtro utilizado en áreas rurales, fue adaptado del tradicional filtro de arena lento utilizada por casi 20000 años, cuenta con un diseño pequeño ideal para tratamiento de agua con interrupciones. El contenedor del medio filtrante puede estar elaborado de concreto, plástico y acero inoxidable o cualquier otro material no tóxico. El contenedor diseñado por Centro for affordable wáter and satation technology (CAWST) tiene diferentes tipos de arenas y gravas como medios filtrantes. En las dos primeras capas de 5 cm cada una, la primera con grava de 6 a 12 mm de diámetro para el drenaje, en la siguiente capa de grava de separación de 1 a 6 mm de diámetro que permite la retención de arena de la filtración y la última capa de 54.3 cm con arena de diámetro menores o igual que 0.7 mm, encargada de retener microorganismos patógenos y de todo tipo de sólidos (Miranda, 2018). En la capa final de la arena de filtración se encuentra una caja difusora que permite la difusión de agua de manera uniforme y lenta hacia el interior. En el interior de la capa de arena se forma una biocapa de 5 a 10 cm, que permite el desarrollo de microorganismos benéficos esencial para eliminar los patógenos. La formación completa de biocapa se realiza en 30 días aproximadamente, durante este periodo la eficiencia de remoción de agentes patógenos y sólidos suspendidos será paulatino (Castañón, 2017).

Tabla 1. Porcentaje de eficiencia de filtro bioarena para eliminar diversos agentes patógenos (Leguía Ramírez & Puma Torres, 2016)

	Bacterias	Virus	Protozoos	Turbiedad	Helmintos	Hierro
Laboratorio	95.5 %	70 - >99%	>99.9	95%	100%	-----

Campo	85.9	-	-----	-----	85%	100%	90-
	98.5%						95%

Fuente: (Leguía Ramírez & Puma Torres, 2016)

La eficiencia del filtro de bioarena probada para eliminar patógenos (bacteria, protozoos, helmintos y virus) estudio realizado a nivel laboratorio comprobó la eliminación de *Escheria coli* hasta 99% en una columna de bioarena de baja concentración. Además, experiencia en España comprobó capacidad de eliminación de *E. coli* 75.46 %, *Vidrio alginolyticus* (100%), *Salmonella Typhimurium* (98%), *Strongyloides venezuelensis* (99.95) y *Schistosoma mansoni*(100%) (Elliott, Stauber, Digiano, de Aceituno, & Sobsey, 2015). Asimismo, el estudio en el campo resultó que la reducción de turbiedad es de 95% y la eliminación de bacterias es de 87.9 a 98.98.5 %. Por otra parte, el estudio en Ghana se obtuvo la eliminación de 71.3% de sólidos suspendidos, 66.2% de sólidos disueltos totales y 99.9% de coliformes totales; produciendo agua filtrada de color transparente con agradable sabor y olor (Mensah & Udofia, 2018). Sin embargo, no elimina productos químicos disueltos como pesticidas orgánicos o arsénico (Leguía & Puma, 2016).

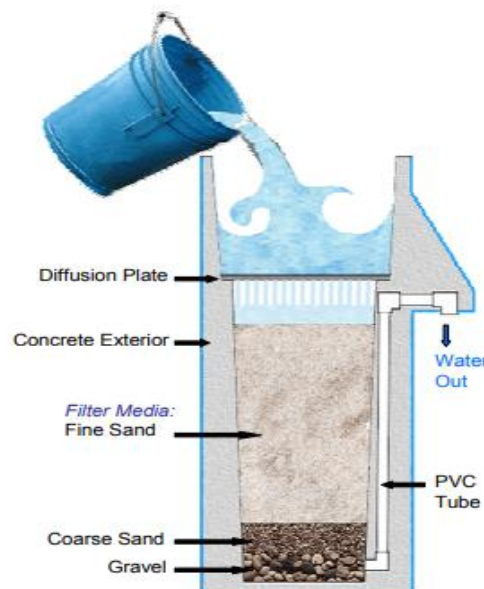


Figura 1. Diagrama del filtro bioarena. Se observa todas las capas del medio filtrante diseño perteneciente a (Elliott et al., 2015)

3.2 El Filtro de Bioarena Modificado (MBSF)

El material para su construcción e implementación de MBSF es similar al filtro de bioarena BSF en medida y orden de colocación de capas de los medios filtrantes, con una diferencia de colocar una capa más de 5 cm de medio filtrante que contiene arena fina mezclado con partícula de hierro o latón granulado, la cual permite tener eficiencia en eliminar microorganismos patógenos y sólidos suspendidos mediante reacciones exotérmicas. El mantenimiento de MBSF es fácil, es ligero y su costo es bajo por lo que es recomendable para comunidades de pueblos indígenas que demandan agua potable. Estudio realizado en Filipinas se comprobó su eficiencia en pruebas químicas, la eliminación de fósforo, fosfato, manganeso, hierro, sulfato, nitrato y carbonato de calcio y al 100% de bacterias (Depelopment, 2015). La eficiencia en estudio a nivel laboratorio concluyó que la eliminación del contaminante en promedio fue en turbidez 92.37%, Cu (99%), Zn (99.12%), Ni (98.17%), Fe II (93.8%), DQO (45.18%), TOC (48.36%) y *E. coli* (98.07%), Coliformes totales (94.28) (Sizirici, 2018). Además, al adicionar una capa ladón o hierro cero valencias (ZVI) en MBSF proporciona mejores resultados en la turbidez y elimina el total de coliformes. Para mejorar la eficiencia de MBSF se puede adicional otro sistema, como pasteurizadores solares utilizados para el tratamiento de agua potable individual, se realizó con experiencia y se obtuvo reducción de 100% de *E. coli* y el 99.99% coliformes totales en el agua filtrada que pasó por MBSF y luego por pasteurizadores (Yildiz, 2016).

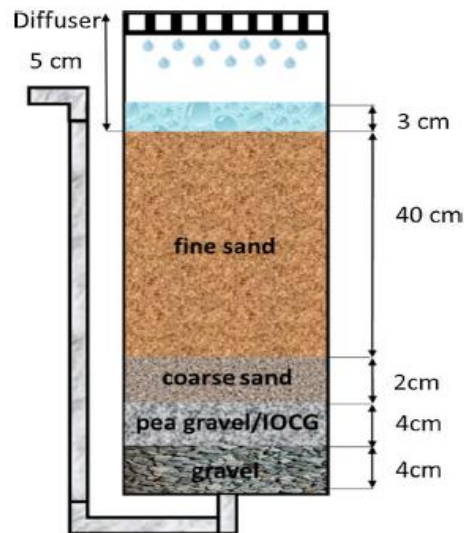


Figura 2. Diagrama del filtro de bioarena modificado. Se observa el diseño con las capas del medio filtrante diseñado por (Sizirici, 2018).

3.3 Filtros caseros de vela cerámica

El proceso de fabricación se realiza utilizando dos baldes nuevos de 20 litros con tapas, se coloca el balde uno encima del otro balde tapado, se perforará dos agujeros de 3/5 pulgada de diámetro que coinciden entre la base del segundo balde y en la tapa del primero, se instala las dos velas de cerámica de 6 pulgadas lo cual cuentan con dos accesorios (empaques) que le permitirán estar fija mediante presión y empernado en los agujeros en el fondo del balde. Las velas están fabricadas de cerámica se caracteriza por poseer micro poros que evita el paso de partículas suspendidas y microorganismos, también vienen recubierta con plata helicoidal que elimina los agentes patógenos y en su interior están rellenos de carbón activado que cumple la función de absorción de contaminantes químicos mejorando el olor y sabor del agua. En el balde inferior se realiza una perforación y se instala un grifo de plástico para la salida de agua filtrada. Mediante este tipo de filtro se puede obtener 15 l/h de agua filtrada. Por otro lado, su diseño solo filtra baja concentración bacteriológico y turbiedades menores de 100 UNT (Peñaranda, 2016).

En una investigación para evaluar la eficiencia de remoción de turbidez y *E. coli* en dos sistemas de filtración a escala laboratorio por 14 meses se concluyeron que el filtro de cerámica de vela (0.38 UNT \pm 0.4 UNT) es más eficiente en eliminar turbiedad en comparación al filtro de olla cerámica (0.65 UNT \pm 0.4 UNT) de la misma manera ambos son eficientes en eliminar *E.coli* (4-5 unidades log) para efluente 33,6 UNT y 3x10⁵ UFC/100 mL (Castellanos-Rozo, 2016). Del mismo modo en otro estudio se comprobó que este tipo de sistema retiene sustancias sólidas hasta 0.5 micrones y elimina más de 85% de agentes patógenos (bacterias, hongos virus, etc.) y el agua filtrada se puede consumir de manera directa y es considerado segura (Alfredo & Jaramillo, 2017). En el último estudio que realizaron en Sudáfrica en la comunidad Mackware con una población de 77.5% de hogares que sufrieron enfermedades diarreicas, mediante la implementación de filtro de cerámica de vela en hogares demostraron una reducción de enfermedades diarreicas en 96.2% del total de hogares estudiados (Moropeng et al., 2018).

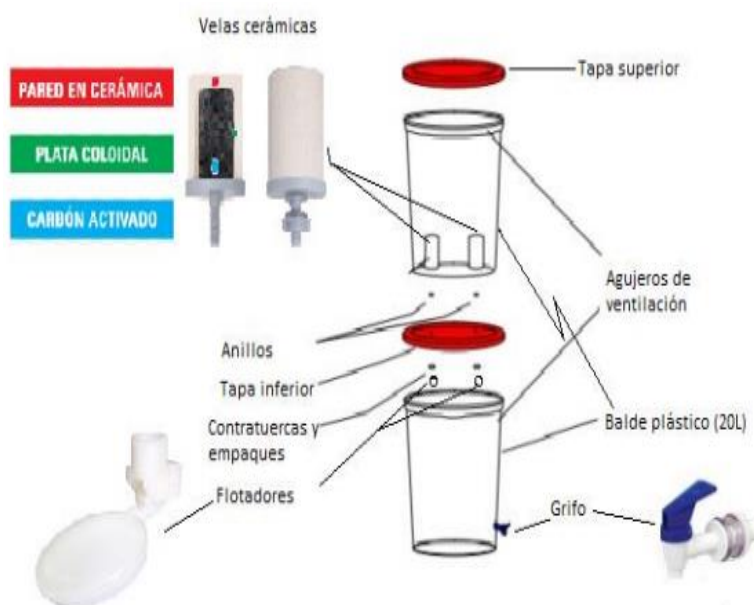


Figura 3. Diagrama del filtro de vela cerámica. Se observa todos los componentes del filtro de vela cerámica diseñado por (Alfredo & Jaramillo, 2017).

3.4 Filtro poroso de plata coloidal

El proceso de fabricación se realiza utilizando como materia prima la arcilla y nitrato de plata, mediante este tipo de filtro se puede filtrar 1 a 3.5 l/h, la función principal del nitrato de plata es antimicrobiano lo cual elimina todos los microorganismos dentro del filtro (Ibarra, 2016). El filtro tiene cuatro partes: tapa, balde para almacenar agua, unidad filtrante constituida de cerámica de arcilla con plata coloidal y una llave de agua para la salida de agua filtrada. La unidad filtrante tiene la capacidad de ocho litros y está fabricado por porcentajes iguales de barro de arcilla y aserrín, este último se puede variar con cáscara de arroz u otro material lignocelulosa, se somete al horno a alta temperatura y resulta poroso medio por el cual permite pasar el agua y retener partículas, finalmente se pinta con Microdyn, este último es un producto compuesto de plata coloidal que tiene la función de retener y dar muerte a los microorganismos (Mayhua inaya, 2018). La operación y mantenimiento que tiene este filtro es simple, se debe conservar el agua por encima de la mitad de la unidad filtrante, el filtrado se realiza sin ninguna presión. La calidad de agua filtrada es alta porque tiene una eficiencia en eliminar de 99.85% al 100% de coliformes fecales totales y remoción promedio de 98.41 % de la actividad bacteriana y una remoción significativa de la turbiedad (Cornelio Espinoza, 2018).

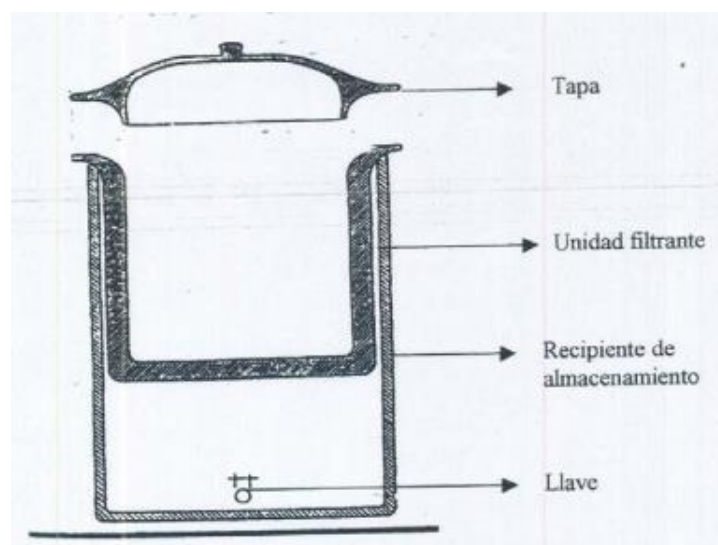


Figura 4. Diagrama del filtro poroso de plata coloidal. Se observa todos los componentes del filtro diseñado por Potters.

3.5 Filtro de Carbón activado

El proceso de elaboración de un filtro de carbón activado, consiste en añadir en la primera capa de 25cm cada piedra o canto rodado para el drenaje rápido, en la siguiente capa de 5cm grava, luego 2.5 cm de grava menudo o arena gruesa de 1 a 6 mm de diámetro que permite la retención de arena, la penúltima capa de 2.5 cm arena de diámetro menores o igual que 0.7 mm y por último 30 cm de carbón activado, el tamaño recomendado es de <math><44 \mu\text{m}</math> que permite mayor adsorción en menor tiempo de contacto, dejando espacio libre de 20 cm del recipiente para el depósito de agua (Bareño & Figueroa, 2016).

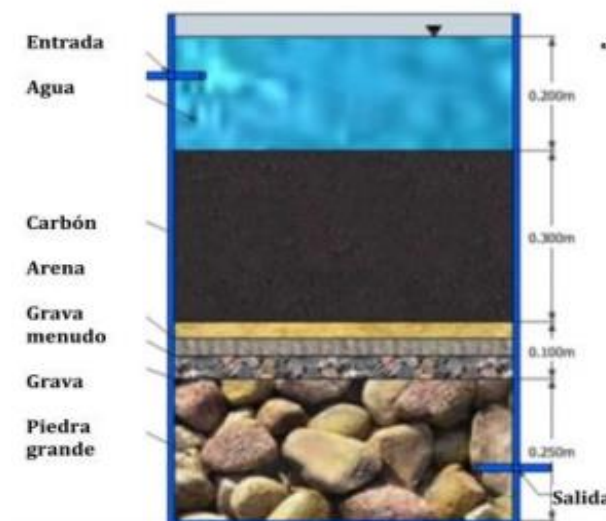


Figura 5. Diagrama del filtro de carbón activado. Se observa todos los medios filtrantes con su respectiva proporción (Bareño & Figueroa, 2016).

Un estudio realizado en Colombia en columna de filtro de carbón activado en combinación con otras capas de medio filtrante a nivel laboratorio como alternativa de potabilización de agua para comunidades rurales, logró la reducción de 99.9% de coliformes totales (9 UFC/100 ml a 0 UFC/100 ml), 99.9% de coliformes fecales (31 UFC/100 ml a 0 UFC/100 ml), 98% de turbiedad (de 55UTN a 1.3 UTN), 83% de color

y 6.9 y 7.4 valores de pH promedio en caudal de salida de 1.5 l/min aptas para consumo humano (Torres *et al*, 2018).

Por otro lado, una investigación realizada en la Universidad Técnica de Ambato de Ecuador, el filtro de Carbón activado en el tratamiento de agua residual proveniente del camal con caudal máximo 6.49 m³/h, consiguió reducir parámetros como la concentración en 24.3% de aceites y grasas (de 2.51mg/l a 1.98 mg/l), 111.6% de pH (de 7.39 a 7.00), 83.14% de DBO5 (de 5280 mg/l a 890 mg/l), de 86.68% de DQO (de 10500mg/l a 1399 mg/l) (Escobar, 2017).

3.6 Filtro xilema

Es un filtro para abastecer de agua a una sola persona, elaborado a partir de 100 mm de una rama de árbol de pino sin corteza, el cual se pega en un tubo de manguera plástica y se asegura ajustando con una abrazadera metálica. Es un sistema de elaboración rápida, los materiales disponibles son económicos, desechables y biodegradables. Su eficacia es probada usando xilema de pino, 3cm³ de xilema (albura) puede filtrar el agua con caudal de 0.16 litros/hora, suficiente para satisfacer de agua potable a una persona (Peñaranda, 2016).

La eficiencia que tiene este tipo de filtro, según Karkin puede purificar agua reduciendo 99.9% de bacterias, protozoos y casi todas las partículas mayores de 100 nm de diámetro aplicando una presión de 5 psi, en los 2 a 3 mm del filtro de xilema se los denomina membrana de hoyos porque es la unidad funcional donde ocurrió la filtración real y se retuvo las bacterias. Es recomendable su uso en países en desarrollo y en áreas rurales donde no cuentan con agua potable libre de patógenos (Boutilier, *et al*, 2016).



Figura 6. Diagrama de construcción del filtro de xilema. Se observa todos los procesos de construcción del filtro de xilema (Boutilier *et al.*, 2016)

3.7 Filtro de Lifestraw Family

Este sistema es diseñado por la empresa Vestergaard fransen S.A, para el tratamiento de agua mediante ultrafiltración mecánica por gravedad. Los componentes que tiene el sistema es un balde de pre-filtro que retiene o elimina contaminantes mayores a 80 micras, una cámara de halógeno que esparce cloro en el interior de la manguera para evitar que se forme biopelículas, 26 cm de largo por 3cm de diámetro de manguera de plástico conectado a un cartucho que contiene hallow- fibra con poros de 20 mm, permite retener parásitos, virus, bacterias y partículas suspendidas finas, por medio de ultrafiltración por gravedad. Además, tiene una llave azul que controla la salida de agua filtrada. Este sistema permite filtrar 9 l/h y puede filtrar 18000 litros de agua antes de cumplir su vida útil (Pérez *et al.*, 2016).

Un estudio realizado en la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, concluyeron que el filtro LifeStraw es una tecnología recomendada como alternativa para mejorar la calidad de agua en comunidades rurales, los resultados de los parámetros analizados cumplieron con la normativa colombiana. Además, la tecnología cumple con factores ambientales, económicos, socioculturales y técnicos operativos (Montaño, 2017).

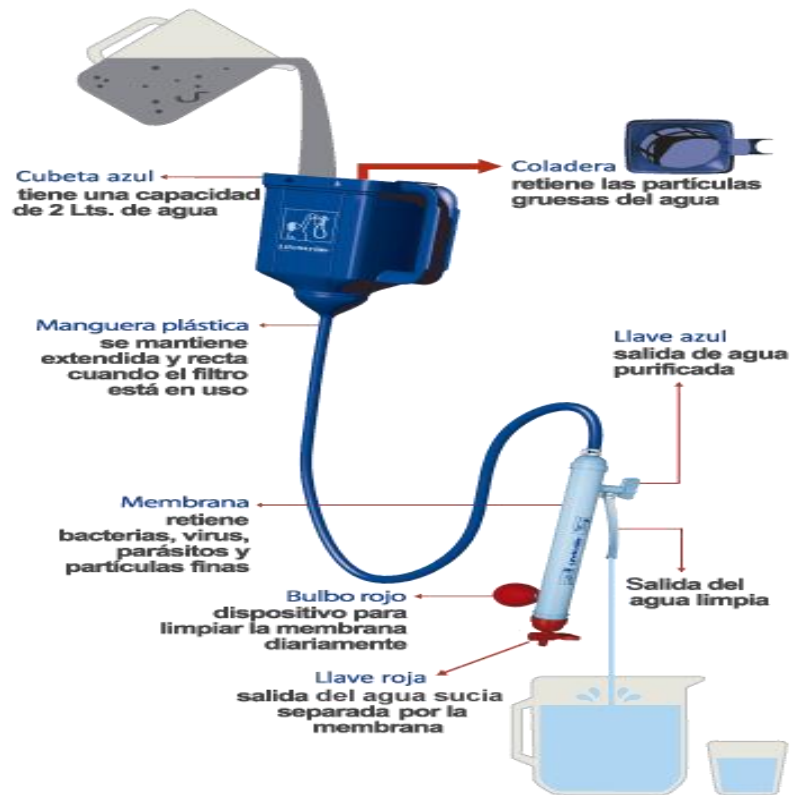


Figura 7. Diagrama de la construcción del filtro LifeStraw. Se observa todos los procesos de filtración y todos los componentes descritos (Peñaranda, 2016).

3.8 Filtro de zeolita

El filtro de zeolita puede tratar aguas subterráneas o superficiales en comunidades rurales, se realiza utilizando materiales de la zona complementado con instalaciones de tubería, el espesor de capas del filtro de zeolita contiene: 20 cm de grava con $\frac{3}{4}$ " diámetro, 10 cm de gravilla con diámetro mayor de 1mm y 30 cm de zeolita que tiene la propiedad de retener partículas hasta $5 \mu\text{m}$, sus propiedades de intercambio catiónico permiten neutralizar muchas sustancias (Vargas, 2015).

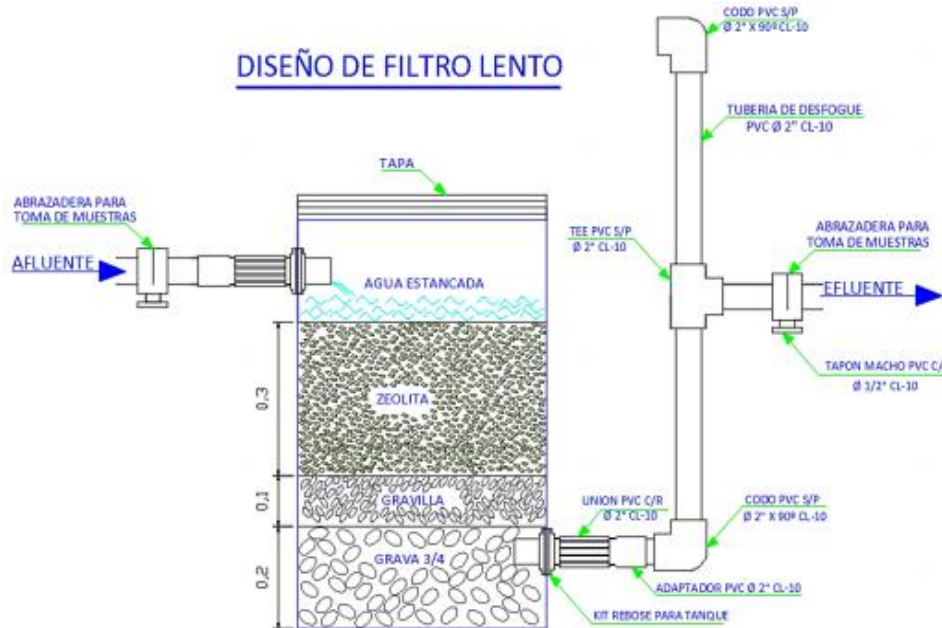


Figura 8. Diagrama del filtro de Zeolita. Se observa todos los componentes del filtro de zeolita diseñado por (Yzquierdo, 2018).

Un estudio realizado en Ecuador, para conocer la eficiencia de la aplicación de zeolita como medio filtrante para descontaminación de aguas residuales y mejorar los parámetros de calidad del agua. El filtro de zeolita logra mejorar los parámetros de la calidad de aguas residuales en 50-75% nitrógeno en total, 2- 8% de sólidos disueltos, 35-85% de sólidos suspendidos, 50-95% de fosfatos, 45% de DBO se mejoró, 3% de Conductividad eléctrica, 2-7% de oxígeno disuelto (Guerrero, Vázquez, & Rodríguez, 2017).

Por otra parte, se realizó un estudio para comprobar la eficiencia de remoción de metales pesados como plomo, hierro, cobalto y cromo; en dos filtros de zeolita de tipo Clinoptilolita de 0.264 m/h y Mordenita de 0.366 m/h velocidad de filtración (Carreño, Lucas, Hurtado, Barrios, & Silva, 2018).

Tabla 2. Porcentaje de eficiencia del filtro bioarena para remover diversos metales pesados (Carreño et al., 2018)

Tratamiento	Resultado de metales pesados (mg/dm ³)					
	Cobre	Plomo	Hierro	Aluminio	Cobalto	Cromo
%Eficiencia Clinoptilolita	33,33	93,46	8,11	8,11	8,11	76,32
% Eficiencia Mordenita	55,56	93,46	27,03	35,71	9,52	92,11

Fuente: (Carreño et al., 2018)

Una investigación realizada en nuestro país, en filtros de zeolita para mejorar la calidad de agua superficial para abastecer a 23 familias en distrito de Celendín, resultó con una eficiencia de 1.31% en bajar el nivel de pH, bajar hasta 62,5 % el nivel de turbidez, mejoró significativamente el color verdadero, eliminó el 100% de coliformes totales y eliminación de 100% de coliformes termotolerantes. En tres semanas de filtración cumplió con el reglamento de calidad de agua (Yzquierdo , 2018).

Tabla 3. Porcentaje de eficiencia de los filtros para remover diversos microorganismos.

<i>Microorganismos</i>	Filtro	Remoción
<i>Escherichia coli</i>	Vela cerámica	97.7- 100%
	Bioarena	98 -91.5 %
	Bioarena modificado	99.3%
	Poroso de plata coloidal	99%
	Xilema	99.9
	Zeolita	100%
	Carbón activado	99.9%
<i>Vidrio cholerae</i>	Bioarena	99%
	Vela cerámica	99%
	Carbón activado	99.9%
<i>Salmonella tyssenteriae</i>	Poroso de plata coloidal	100%
	Vela cerámica	98%
	Bioarena	98%
<i>Shigella dysenterlae</i>	Poroso de plata coloidal	99%
	Bioarena	99%
	Vela cerámica	99%

	Poroso de plata coloidal	99%
<i>Klebsiella terrigena</i>	Bioarena	99.3-100%
<i>Esporas perfringens</i>	Carbón activado	99.9%
<i>Esporas Bacillus subtilis</i>		

Fuente: (Peñaranda, 2016).

Finalmente, los resultados de investigaciones realizadas con el uso de filtros caseros en Nigeria por Pappelly, permitieron evidenciar la remoción de microorganismos presentes en el agua. Asimismo, Mwabi estudió la comparación de diferentes filtros caseros a nivel laboratorio y evidenció una alta remoción de bacterias por encima de 97%. Por el contrario, en la ciudad de México, Robles y colaboradores, realizaron la evaluación de remoción de bacterias usando filtros purificadores de agua, concluyendo que los filtros son deficientes para remoción de microorganismos (Peñaranda, 2016).

CONCLUSIONES

El consumo de agua de mala calidad es el principal problema de salud pública que causan enfermedades patógenas en zonas rurales. Existen diversas tecnologías avanzada y convencional como la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y osmosis inversa para purificar y potabilizar aguas, estas tecnologías son muy costosas y requieren personal capacitado para su operación y mantenimiento. Mediante la revisión bibliográfica se pudo comprobar que la eficiencia de purificar agua por filtros es alta incluso puede retener virus, bacterias y sólidos suspendidos al 99%, no generan sub productos. Entre los filtros estudiados el filtro de zeolita tiene mayor eficiencia, sin embargo, todos los filtros estudiados eliminan microorganismos por encima de 90%, resultando un medio de tratamiento de agua óptimo para consumo, el diseño utiliza materiales de la zona, su mantenimiento es práctico y fácil, los costos de implementación o compra de filtros son accesibles para familias de escasos recursos económicos, es barato.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfredo, E., & Jaramillo, M. (2017). *Apropiación social de una tecnología no convencional para el tratamiento del agua en la vivienda, vereda el motilón, pasto*. universidad tecnológica de pereira.
- Arboleda Montaña, N. (2017). Evaluación de alternativas tecnológicas para el tratamiento básico del agua lluvia de uso doméstico en el consejo comunitario de la comunidad negra de los lagos, Buenaventura. *Scientia et Technica*, 21(3), 278. <https://doi.org/10.22517/23447214.11291>
- Aurelia, C. G. (2018). Nanotecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales : Avances , Ventajas y Desventajas Nanotechnology an alternative for wastewater treatment : Advances , Advantages and Disadvantages Introducción. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 9, 52–61.
- Bareño, I. R. A., & Figueroa, M. A. M. (2016). Diseño, Propuesta e Implementación de un Filtro para Tratamiento de Aguas de Uso Doméstico en Tanques de Reserva en la Población del Casco Urbano de la Inspección de San Antonio de Anapoima (UNIVERSIDAD LIBRE; Vol. 3). <https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-b-000238666>
- BID, & CEPAL, C. E. para A. L. y el C. (2018). *Proceso Regional De Las Américas Foro Mundial Del Agua 2018. América Latina Y El Caribe / Resumen Ejecutivo*. Retrieved from https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/informe_regional_america_latina_y_caribe.pdf
- Boutillier, M. S. H., Lee, J., Chambers, V., Venkatesh, V., & Karnik, R. (2016). Water

filtration using plant xylem. *PLoS ONE*, 9(2).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089934>

CALIZAYA, C. I. Q. (2019). *Evaluación de la calidad fisicoquímica, microbiológica y sensorial del agua de mesa embotellada que se expenden en la ciudad de Tacna.*

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann – Tacna.

Carreño, Á., Lucas, L., Hurtado, E. A., Barrios, R., & Silva, R. (2018). *Sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la Microcuenca del río Surface water treatment system for human consumption in the Microbasin of the Carrizal River*, . 11, 76–87.

Castañón Cuadrado, H. (2017). *Estudio de un sistema de potabilización mediante filtros de bio-arena implantado en Benín.* Retrieved from

<https://gredos.usal.es/jspui/handle/10366/135824>

Castellanos-Rozo, J. (2016). *Eficiencias de remoción de turbiedad y E . coli en filtros caseros para el tratamiento de agua a nivel familiar José Castellanos Rozo.*

(December). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28597.88801>

Cornelio Espinoza, J. C. (2018). Potabilización del agua de lluvia a través del filtro cerámico plata coloidal, para favorecer a la economía de los pobladores del centro poblado de la Quínua-Pasco-2018. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.*

Retrieved from <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/544>

Cuevas, S. M. (2015). *Eliminación de micro-contaminantes mediante combinación de sistemas de membrana (nanofiltración) y procesos avanzados de oxidación.*

Universidad de Almería Departamento.

Depelment, P. C. for S. (2015). *Science , Technology and Innovation for Sustainable Development Proceedings of the 2 nd Palawan Research Symposium 2015*. Puerto Princesa, Philipinas.

Elliott, M., Stauber, C. E., Digiano, F. A., de Aceituno, A. F., & Sobsey, M. D. (2015). Investigation of E. Coli and virus reductions using replicate, bench-scale biosand filter columns and two filter media. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(9), 10276–10299. <https://doi.org/10.3390/ijerph120910276>

ESCOBAR PEÑAFIEL, F. (2017). *Análisis del carbón activado como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de un camal ubicado en el barrio El Porvenir del Cantón Tisaleo, Provincia de Tungurahua*. Universidad Técnica de Ambato.

Firman, L. R., Ochoa, N. A., Marchese, J., & Pagliero, C. L. (2018). Tratamiento de efluentes acuosos provenientes de la industria de biodiesel, utilizando tecnología de membranas. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23(2). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180002.0418>

Gastañaga, M. del C. (2018). Agua, saneamiento y salud. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(2), 181. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3732>

González-Dávila, Ventura-Houle, Garza-Requena;, D. la, & Heyer-Rodríguez. (2019). *Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna La Vega Escondida, Tampico, Tamaulipas-México*. Vol. 10, n, 1–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.24850/jtyca-2019-01-01>

- Guerrero, M. S., Vázquez, A., & Rodríguez, M. (2017). Zeolite in Wastewater Decontamination as local Development solution. *Universidad, Ciencia y Tecnología.*, 21, 109–117.
- INEI. (2018). *Perú: Formas De Acceso a Agua Y Sanemiento Básico*. Retrieved from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_y_sanea_miento.pdf
- Jacangelo, J. G., Watson, M., & Buckley, C. A. (2016). MICROFILTRACIÓN. In *Tratamiento del agua por procesos de membrana* (sexta, pp. 1–13). Mexico.
- Jimenez, A. G. (2019). *Estudio de viabilidad Técnica y Económico - Financiera para la construcción, Explotación y Mantenimiento de una Desaladora de Agua del Mar*. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID.
- Leguía Ramírez, J. C., & Puma Torres, P. S. (2016). *DISEÑO DE FILTROS DE BIOARENA PARA REMOVER METALES PESADOS (As, Cd, Cr, Pb y Fe) EN AGUAS DE USO DOMÉSTICO*. 1–198.
- Lipa Paye, Y. (2017). Influencia de la caracterización del agua en la determinación de los procesos de tratamiento para consumo humano en el centro poblado de San Isidro, Año 2017 (Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez). Retrieved from <http://190.116.50.20:8080/xmlui/bitstream/handle/UANCV/284/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mauro Solis, V.-M. (2017). *Sistema de tratamiento de aguas mediante osmosis inversa*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mayhua inaya, Y. N. (2018). *Eficiencia de filtros a diferentes concentraciones tipo 1 y 2*

de arcilla, aserrín y plata coloidal en aguas del canal de regadío Chuquitanta para recuperar agua categoría 3. 138. Retrieved from http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/13999/Mayhua_TYN.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/18362/Peixoto_PEF.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR0QfQkMWRrwpmbiRoQ99STBy6r2BevFdD-dSP_Wi5JEIshyNYe--

Mensah, I. T., & Udofia, E. A. (2018). *Biosand Filtration as a Green Approach to Septic Tank Effluent Management in a Tertiary Institution in Ghana*. 26, 203–216.

MINSA. (2011). *DS N° 031-2019-SA, Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano*. 1–46.

Miranda, K. C. C. (2018). *Construcción y evaluación de un filtro bioarena piloto para mejorar la calidad de agua para consumo humano en la localidad de Huariquiña, distrito de Matucana-Provincia Huarochirí* (Universidad Cesar Vallejo). Retrieved from http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/13999/Mayhua_TYN.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/18362/Peixoto_PEF.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR0QfQkMWRrwpmbiRoQ99STBy6r2BevFdD-dSP_Wi5JEIshyNYe--

Moropeng, R. C., Budeli, P., Mpenyana-Monyatsi, L., & Momba, M. N. B. (2018). Dramatic reduction in diarrhoeal diseases through implementation of cost-effective household drinking water treatment systems in Makwane village, Limpopo province, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph15030410>

- Mourato, D. (2016). *Microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable*.
- Nubia Esperanza Ibarra Peñaranda C. (2016). Análisis de Filtros Caseros como Técnica de Potabilización del Agua en el Sector Rural Colombiano. *IOSR Journal of Economics and Finance*, 3(1), 1–75. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000238666>
- OMS y el UNICEF. (2018). Agua. Retrieved May 18, 2019, from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda*. 636.
- Peñaranda, N. E. I. (2016). Análisis de Filtros Caseros como Técnica de Potabilización del Agua en el Sector Rural (Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD; Vol. 3). <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000238666>
- Pérez-Vidal, A., Díaz-Gómez, J., Salamanca-Rojas, K. L., & Rojas Torres, L. Y. (2016). Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica. *Revista de Salud Pública*, 18(2), 275–289. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n2.48712>
- Ríos, M. de los, & Acosta, Y. (2018). *Perspectivas Del Tratamiento De Efluentes De Destilerías Y Plantas De Derivados Mediante Tecnologías De Membranas*. 45, 14–23. Retrieved from http://centroazucar.uclv.edu.cu/media/articulos/PDF/2018/3/2_Vol.45_No.3_2018.pdf
- SEDAPAL. (2017). Informe de Sostenibilidad. In 1 (Vol. 1). Lima.

- Semino-zelada, F. (2015). *Producción de agua de mesa por ósmosis inversa para autoabastecimiento de UDEP*. Universidad de Piura.
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua, Evaluación y diagnóstico* (1° edición; L. López escobar, Ed.). Medillín.
- Sizirici, B. (2018). Modified biosand filter coupled with a solar water pasteurizer: Decontamination study. *Journal of Water Process Engineering*, 23(April), 277–284.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.04.008>
- Solís, C., Vélez, C., & Ramírez, J. (2017). *Tecnología de membrana: Ultrafiltración*. (22), 26–36.
- Tarqui Mamani, C. B. (2016). Calidad bacteriológica del agua para consumo en tres regiones del Perú. *Revista de Salud Pública*, 18(6), 904.
<https://doi.org/10.15446/rsap.v18n6.55008>
- Torres Parra, C. A., García-Ubaque, C. A., Garcia-Ubaque, J. C., García-Vaca, M. C., & Pacheco García, R. (2018). Agua segura para comunidades rurales a partir de un sistema alternativo de filtración. *Revista de Salud Pública*, 19(4), 453–459.
<https://doi.org/10.15446/rsap.v19n4.56039>
- Vargas, C. J. L. (2015). *Aplicación de un filtro de zeolita para potabilización del agua a nivel domiciliario en el sitio la palestina, cantón el guabo, provincia de el oro*. Universidad Técnica de Machala.
- Yesenia, Delgado Rivera; Edith, D. A. (2018). *efecto del flujo volumétrico y variación de presión sobre el porcentaje de sílice en el permeado durante el proceso de osmosis inversa de agua de pozo de la empresa AGROLMOS.S.A*. Universidad Nacional

“Pedro Ruiz Gallo.”

Yildiz, B. S. (2016). Performance assessment of modified biosand filter with an extra disinfection layer. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 65(3), 266–276. <https://doi.org/10.2166/aqua.2016.103>

Yzquierdo, E. L. (2018). *Incorporación de filtros de zeolita en la calidad del agua en las captaciones del sistema de agua potable del Barrio Serafinpampa*. Universidad Privada del Norte.