

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y
Ambientales**

**Escuela de Ingeniería en Recursos Naturales
Renovables**

**DESARROLLO DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE
FILTRACIÓN Y USO DE ENERGÍA SOLAR, EN LA
DESINFECCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO
DOMÉSTICO EN EL SECTOR DE LA PLAYA DE
AMBUQUÍ PERTENECIENTE A LA PROVINCIA DE
IMBABURA.**

AUTORES:

**RICHARD ORLANDO MONTERO SANTILLÁN
GERMAN MARCELO NARVÁEZ FUEL**

DIRECTOR:

Dr. Marcelo Dávalos

Ibarra – Ecuador

2008

RESUMEN

DESARROLLO DE UN SISTEMA PROTOTIPO DE FILTRACIÓN Y USO DE ENERGÍA SOLAR, EN LA DESINFECCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO EN EL SECTOR DE LA PLAYA DE AMBUQUÍ PERTENECIENTE A LA PROVINCIA DE IMBABURA.

El presente estudio se realizó en la Provincia de Imbabura, Cantón Ambuquí en el sector la Playa de Ambuquí donde sus habitantes no tienen acceso a agua potable especialmente en estos sectores rurales en donde existe mayor pobreza y donde el agua contaminada es responsable de enfermedades tales como cólera, tifoidea entre otras.

La falta de conocimiento y desarrollo de tecnologías limpias de desinfección de agua económicamente alcanzables hace que los habitantes sigan consumiendo agua cruda y microbiológicamente contaminada, sin ningún tipo de tratamiento y cuidado; de aquí que el problema a resolver fue desarrollar una sistema alternativa que permite alcanzar la desinfección de agua y hacerla apta para su consumo humano.

Este sistema empieza, por la colecta del agua de una acequia por medio de una tubería PVC y su paso por un plato difusor para su distribución uniforme en el filtro casero.

El agua ingresa a un lecho filtrante compuesto por una primera capa de arena fina de 40cm, otra capa de arena gruesa de 5cm, y por ultimo una capa de gravilla de 5cm. Por el cual recorre el agua quedando reteniéndose las partículas coloidales y material orgánico, obteniéndose un agua clarificada.

Una vez filtrada el agua, se recoge en un reservorio, el cual tiene dos salidas, una para los quehaceres dentro del hogar; y otra salida dirigida hacia el esterilizador solar que permite desinfectar los microorganismos presentes en el agua filtrada usando la energía del sol. El agua que ingresa se mantiene almacenada en el interior del esterilizador solar hasta alcanzar la temperatura óptima de desinfección de 70°C por un periodo de tiempo de 20 minutos, garantizando así una desinfección completa, siendo apta para el consumo humano.

SUMMARY

THE DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE FILTRATION SYSTEM AND THE USE OF SOLAR ENERGY IN THE DESINFECTION OF WATER USED IN HOUSEHOLDS IN THE AREA OF THE RIVER SHORES OF AMBUQUÍ BELONGING TO IMBABURA PROVINCE.

This study was carried out in Imbabura province, Ambuquí canton in the area of the river shore of Ambuquí where its inhabitants have no access to tap water especially in rural areas with a higher poverty index and where contaminated water is responsible for diseases such as cholera, typhoid fever and others.

The lack of knowledge and the development of economically affordable clean disinfection technologies makes the inhabitants continue consuming raw and micro-biologically polluted water without any kind of treatment or care. Therefore the problem to be solved was to develop an alternative system that allows achieve the disinfection of water and make it suitable for human consumption.

The system starts with the collection of water from an irrigation canal through PVC pipes and its passing over a diffuser dish for its uniform distribution in the home filter.

The water enters a filtering bed made up by a first 40cm thick layer of fine sand, then a 5cm thick layer of thick sand and finally a 5cm thick layer of gravel. The water runs through it staying colloidal and organic material obtaining cleared water.

After filtering the water, it is collected in a reservoir with two outlets, one for the household chores in the house, and the other outlet is directly led to the solar sterilizer which allows the disinfection of present micro organisms in the filtered water using energy from the sun. The incoming water is kept in the interior of the solar sterilizer until it reaches the best disinfection temperature of 70°C over a period of 20 minutes ensuring complete disinfection being suitable for human consumption.

✚ MATERIALES

Los materiales y equipos que se utilizaron durante la investigación son:

Cuadro de Materiales y Equipos utilizados.

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
Construcción del filtro
Tuvo PVC con tapa
Arena fina
Arena Gruesa
Gravilla
Construcción del esterilizador solar
Válvula de control de temperatura
Tol Galvanizado
Poliuretano
Plancha de Vidrio 2.20 x 1.20m
Empaques de caucho
Tubería de cobre ½ pulg.
Funda de Plástico
Lámina de Aluminio 2.10 x 1.10m

EQUIPOS
Cronómetro
Termómetro
Suelda Autógena
Taladro
GPS
Potenciómetro
EC 10 PORTABLE Conductivity/TDS/Temperature METTER de HACH modelo 50050.
Espectrofotómetro de HACH (modelo DR/2010)
Conductímetro Mx300
Balanza analítica
Turbidímetro

Fuente: Montero R.; Narváez M.

✚ METODOS

Los métodos utilizados en la realización de la investigación fueron.

✚ Ubicación del área de estudio

Se seleccionó un sitio con una población de baja capacidad económica que en su mayoría, no tiene acceso al agua de buena calidad. Además, es necesario que el área de estudio brinde todas las condiciones climáticas favorables como: constante brillo solar, baja nubosidad durante el día y poca precipitación durante todo el año.

✚ Evaluación de las condiciones climáticas del área seleccionada

Se obtuvieron en los anuarios meteorológicos de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio registrados en el INAMHI. El tipo de información recopilada en cada estación es el siguiente:

- Temperatura y Precipitación, Nubosidad y Humedad Relativa, Brillo Solar, Radiación Solar.

✚ Diagnóstico físico-químico y microbiológico del agua a tratar

Se recopiló información sobre las necesidades básicas, condiciones y disposición de agua que presenta la población de la playa de Ambuquí. Además, se realizó la caracterización del agua a tratar mediante análisis físico-químicos y microbiológicos, para lo cual se estructuró un plan de muestreo.

✚ Diseño del filtro casero para la clarificación del agua

Se diseñó un filtro casero para clarificar el agua, acorde a las características físico-químicas y microbiológicas del agua a tratar en el área de estudio. Se empleó la técnica de filtración lenta de agua en arena por gravedad.

Construcción del filtro:

- El filtro es un tubo PVC, con un diámetro de 30cm, y una altura de 93cm.
- El conducto de drenaje del filtro es un tubo PVC de ½ pulg. de diámetro.
- En el interior se encuentra un lecho filtrante: una inferior de 5cm de gravilla, una intermedia de 5cm de arena gruesa, y una superior de 40cm de arena fina.
- Se adicionó un plato difusor, para distribuir uniformemente el agua.

Pruebas de eficiencia:**a) Parámetros de entrada:**

- Caudal, Velocidad de filtración, DQO, Turbidez, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspensión Totales.

b) Parámetros de salida:

- DQO, Turbidez, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspensión Totales.

✦ Diseño del dispositivo para la desinfección del agua filtrada, usando energía solar

El diseño y construcción del dispositivo solar se basa en el proceso térmico, donde las bacterias patógenas mueren por acción del calor, al calentar un líquido a 63°C durante un tiempo de 30 minutos.

Construcción del esterilizador solar:

- El cajón del esterilizador solar es de acero galvanizado, con dimensiones de 2.20m de largo, 1.20m de ancho y 0.10m de altura.
- Se colocó un aislante térmico de poliuretano de 5cm de espesor.
- Sobre el poliuretano se colocó una tubería de cobre en serpentín.
- A continuación viene una lámina de aluminio de 2.10m. de largo y 1.11m. de ancho, la misma que tiene 21 surcos separados entre sí por 4cm.
- Dos placas de vidrio de 1.10m de largo, 1.20m de ancho y 3 líneas de grosor son la tapa del esterilizador.
- Dos termómetros se encuentran en el exterior.
- Dos llaves se encuentran ubicadas a la entrada y salida de la tubería del esterilizador para controlar el flujo de agua.

Pruebas de eficiencia:

- Volumen de agua a tratar, Orientación e inclinación, Horas de operación, Temperatura óptima de desinfección, Tiempo en alcanzar la temperatura de desinfección, Tiempo óptimo de desinfección.

✦ Pruebas piloto del sistema prototipo de filtración-desinfección**- Instalación del sistema**

Se ensambló e instaló el sistema en una vivienda familiar en el área de estudio.

- Operación

Realizó individualmente las pruebas de eficiencia al filtro casero y al esterilizador solar se procedió a unirlos, formando el sistema prototipo de filtración y desinfección.

- Calidad de desinfección

Las muestras del agua tratada, fueron analizadas en el laboratorio. Para determinar si cumple con la norma INEN 1108.

✦ **Capacitación familiar**

Se realizaron las siguientes actividades:

- Reuniones con los integrantes de las familias, para involucrarlos con el proyecto.
- Capacitación a los miembros de las familias.
- Charlas dirigidas a las familias cercanas al proyecto.

✦ **Obtención y procesamiento de información**

Se realizó T1: Filtración y T2: Desinfección solar. Y la prueba estadística “t pareada”, a intervalos de confianza del 95% y 99%. Las variables evaluadas son:

- pH, Turbiedad, Sólidos disueltos totales, Sólidos suspendidos totales, DBO₅, DQO, Recuento de aerobios totales, Recuento de coliformes totales, Recuento de *Escherichia coli*.

✦ **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Se da a conocer los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación.

✦ **Ubicación del área de estudio**

Latitud Norte 00° 27' 39,5“, Longitud Oeste 78° 00' 42,5“, Provincia: Imbabura, Cantón: Ibarra, Parroquia: Ambuquí, Sector: Playa de Ambuquí, Altitud: 1880msnm, Zona de Vida: Monte Espinoso premontano (me-PM)

✦ **Evaluación de las condiciones climáticas del área seleccionada**

La información recopilada es el promedio anual:

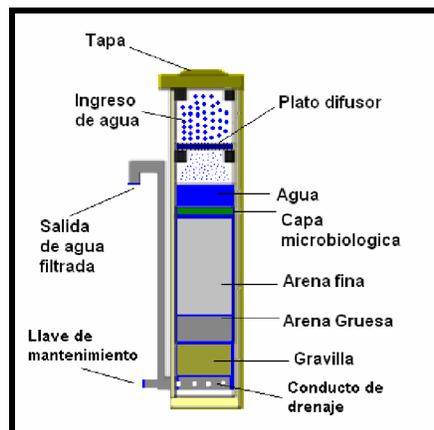
- Temperatura 19,4°C, Precipitación 303,4mm, Nubosidad 4/8 de cielo cubierto, Humedad Relativa 80%, Brillo Solar (Ibarra) 1990,5; 44%, Radiación Solar no existe.

✦ **Diagnóstico físico-químico y microbiológico del agua a tratar**

Los parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles son DBO₅, DQO, Turbidez, Recuento aerobios total, Recuento coliformes totales y Recuento *Escherichia coli*, que debieron ser tomadas en cuenta para su debido tratamiento.

✦ **Diseño del filtro casero para la clarificación del agua**

El filtro casero, constituye una herramienta para clarificar el agua turbia.



El agua a ser tratada recorre por el lecho filtrante, permitiendo la retención de material orgánico y partículas coloidales; obteniéndose un agua totalmente clarificada. Se adquiere un volumen de 140 litros de agua filtrada al día. El mantenimiento cada 4 meses.

Pruebas de eficiencia:

a) Parámetros de entrada:

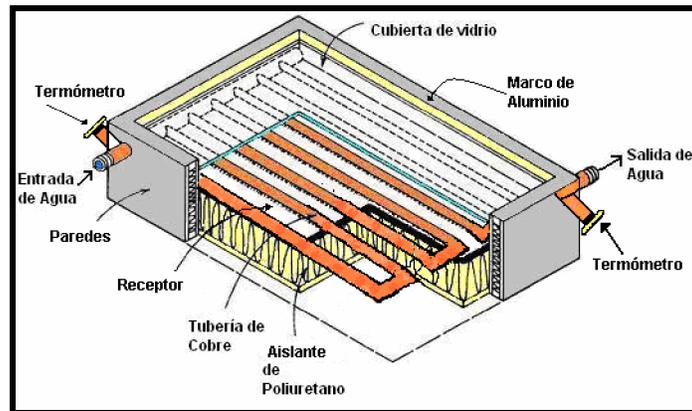
- Caudal: 240ml/min, Velocidad de filtración: de $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{xh}$, DBO₅: 4mgO₂/L, Turbidez: 32,2NTU, Sólidos Disueltos Totales: 20mg/L, Sólidos Suspendidos Totales: 14mg/L.

b) Parámetros de salida:

- DBO₅: 2mgO₂/L, Turbidez: 5,5NTU, Sólidos Disueltos Totales: 8,3mg/L, Sólidos Suspendidos Totales 1mg/L.

✦ **Diseño del dispositivo para la desinfección del agua filtrada, usando energía solar**

Con el esterilizador solar se consigue un instrumento para desinfectar el agua filtrada.



La operación comienza al ingresar el agua filtrada en la tubería de cobre, almacenándose completamente; a continuación se deja a la presencia del sol hasta alcanzar la temperatura óptima de desinfección. Una vez obtenida esta temperatura se expone el agua por un periodo de tiempo, hasta eliminar los microorganismos. El agua desinfectada se recoge en un pondo ubicado en la cocina de la vivienda, donde se almacena y enfría para su consumo.

Pruebas de eficiencia:

- Volumen de agua a tratar: 40litros/día, Orientación: Este, Inclinação: 14°, Horas de operación: 09:00 hasta 15:00, Temperatura óptima de desinfección: 70°C, Tiempo en alcanzar la temperatura de desinfección: 30 minutos, Tiempo óptimo de desinfección: 20 minutos.

✦ **Pruebas piloto del sistema prototipo de filtración-desinfección**

- Instalación del sistema

Está ubicado en la terraza de la vivienda.



- **Operación**

Hay que regirse a la operación del filtro casero y del esterilizador; ya que al unirlos forman el sistema prototipo, que trabajan en conjunto.

- **Calidad de desinfección**

El agua desinfectada cumple con los límites establecidos según la norma INEN 1108.

✦ **Capacitación familiar**

Tuvo un gran énfasis, acciones que se ven reflejadas en los siguientes resultados:

- Aproximadamente quince personas integrantes de varias familias involucradas al proyecto asistieron a cuatro reuniones durante un mes.
- Los miembros de las familias comprendieron el funcionamiento y manejo del sistema prototipo con la capacitación impartida permanentemente.
- Mediante charlas, las familias cercanas al proyecto lograron obtener una comprensión clara del método de desinfección, y una aceptación del sistema.

✦ **Obtención y procesamiento de información**

Con la prueba estadística “t pareada”, se evaluó la existencia de diferencia significativa en los parámetros de calidad físico químicos y microbiológicos del agua a tratar con la aplicación de la filtración y esta a su vez con la desinfección solar.

Demostrando que la Turbiedad, Sólidos disueltos totales, Sólidos suspendidos totales, DBO₅, DQO, presentan un efecto significativo por el proceso de filtración sobre estos parámetros.

Mientras que Recuento de aerobios totales, Recuento de coliformes totales y Recuento de *Escherichia coli*. Presentan un efecto significativo por el proceso de desinfección solar sobre estos parámetros.

✦ **CONCLUSIONES**

- Las condiciones climáticas evaluadas en la Playa de Ambuquí, demuestran ser favorables para la implementación del sistema prototipo de filtración desinfección, encontrando en el diagrama ombrotérmico un periodo de precipitación bajo durante tres meses al año, una nubosidad baja de 4/8 de cielo cubierto promedio al año y un brillo solar constante de 6 horas durante el día.

- La composición del agua a tratar, presenta cargas contaminantes en, DQO 21.95mg/L, DBO₅ 4.00mg/L, Turbidez 30.00mg/L, Recuento aerobios total 5600UFC/100ml, Recuento coliformes totales 2350UFC/100ml, Recuento *Escherichia coli* 555UFC/100ml, por lo que fue necesario su tratamiento.
- El filtro casero esta en la capacidad de proveer un volumen de agua de 14litros por hora, siendo el caudal de entrada constante de 240ml/min, y la velocidad de filtración de 0.2m³/m²xh.
- El tiempo óptimo en que el esterilizador solar elimina los microorganismos presentes en el agua es de 20 minutos, bajo una temperatura constante de 70 grados centígrados. Y esta en la capacidad de desinfectar un volumen de agua de 40litros en un día de operación.
- El tiempo de operación del sistema prototipo de filtración y desinfección en la Playa de Ambuquí, es de 6 horas que va desde las 09:00 hasta 15:00, debido a que en estas horas presenta mayor brillo solar y baja nubosidad.
- Las personas involucradas en el proyecto, tuvieron gran aceptación en la aplicación del sistema prototipo de filtración y desinfección de agua, como un sistema alternativo de tratamiento.
- El sistema prototipo de filtración y desinfección implementado en la Playa de Ambuquí, permitió obtener agua de calidad apta para el consumo humano según la norma INEN 1108.

RECOMENDACIONES

- Es importante que el área de estudio cuente con una estación meteorológica, que permitan obtener datos más exactos de sus condiciones, y que para en futuras investigaciones se cuente con información de primera mano.
- Es recomendable que en aquellas comunidades donde se instale el sistema prototipo de filtración y desinfección se prevea la realización de análisis físico químicos y bacteriológicos del agua, así como también la evaluación de las condiciones climáticas favorables para la implementación del sistema prototipo.
- Se recomienda que el caudal de entrada al filtro casero sea de 240ml/min. debido a que si varia, la velocidad de filtración cambiaria y de esta manera el filtro disminuiría su eficiencia de filtrado.
- Para la eliminación de microorganismos patógenos en el esterilizador solar, se recomienda que el tiempo de exposición del agua sea de por lo menos 20 minutos, para garantizar su desinfección.
- Se debe tomar en cuenta que el sistema prototipo de filtración y desinfección, no opera en días que estén nublados y lluviosos, ya que el sistema depende exclusivamente de la energía solar para su funcionamiento.
- Se sugiere a los usuarios del sistema prototipo mantener el esterilizador solar limpio, libre de polvo y en buen estado, para evitar en la medida de lo posible, obstáculos para la incidencia de la energía solar.
- Se recomienda a las familias conservar bien el agua desinfectada una vez que se almacena en el pondo sellándola herméticamente para evitar de esta manera su contaminación.
- Buscar materiales alternativos para la construcción del esterilizador solar que permitirán disminuir los costos de construcción y de esta manera ser mas accesible a para su implementación.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. **ACOSTA, J.** Energía solar: utilización y aprovechamiento. Editorial Paraninfo. Madrid, 1983.
2. **ALMANZA, R.;** Muñoz Gutiérrez, F. Ingeniería de la energía solar. México DF, El Colegio Nacional (1994).
3. **BARRAGAN, R.** 1997. Principios de Diseño Experimental.
4. **CATALÁN, E.** Tratamiento y depuración de aguas: eficiencia y alcance de estos procesos en la transmisión de las enfermedades hídricas.: Ediciones Hermann Blume. Madrid 1982.
5. **CEPIS.** Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Lima, 1992.
6. **CEPIS/OPS.** Plantas de filtración rápida y Tratamiento de agua para consumo humano. Lima, 2004.
7. **FUNDACIÓN SODIS Y ZEVALLOS M.** Desinfección solar del agua. Lima, 2003.
8. **GERMAIN, L.** Tratamiento de aguas. Ediciones Omega, Barcelona 1982.
9. **HERNÁNDEZ, C.** Las energías renovables y medio ambiente. Madrid 1990.
10. **INAMHI,** Anuario meteorológico 1978, N° 18, Quito Ecuador
11. **INAMHI,** Anuario meteorológico 2005, N° 45, Quito Ecuador
12. **MARTÍNEZ, F.** La energía solar como alternativa energética. Editores Cantón. Cartagena 1995.
13. **O.M.S.** Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones. Volumen 1. 1995.
14. **PÉREZ J., VARGAS L.** Filtración rápida convencional. Lima, 1982.
15. **REIFF F., WITT V.** Selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe. Documento OPS/OMS. 1995
16. http://www.aosol.pt/tecno_esp.htm
17. <http://www.cidbimena.desastres.hn/docum/ops/publicaciones/who91s/who91s.htm>
18. <http://www.construir.com/Econsult/Construr/Nro63/document/solar.htm>
19. <http://www.geocities.com/institutoingefor2/cursos/curso03/solar1.html>
20. <http://www.internatura.uji.es/estudios/energias/energias.html>
21. <http://www.inamhi.gov.ec>
22. http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/aula_verde/aulaverde27/proyeco.html
23. <http://www.luzverde.org/main1.html>
24. <http://www.plansolar-uis.pdf>
25. <http://www.sodis.ch>
26. <http://www.solarcookers.org>
27. <http://www.salohogar.com/ciencias/naturaleza/elagua/filtrosdeagua.htm>