



Construcción y adecuación de un pasteurizador solar de aguas lluvias para el suministro de agua potable en la vereda Vega Grande, Alpujarra, Tolima

Freddy Leonard Alfonso Moreno¹, Yuri Carolina Salinas Trujillo², Nury Jizeth Jiménez Macías², Héctor Medina Pastrana²

Recibido: Junio 16 de 2013 **Aprobado:** Octubre 09 de 2013

Resumen:

En Colombia muchas poblaciones se encuentran en sectores aislados, lo cual imposibilita la construcción de una planta de tratamiento de agua, optando por soluciones rudimentarias, lo que soluciona su problema de abastecimiento, pero pone en riesgo su salud, ya que el agua recolectada presenta múltiples microorganismos que pueden provocar serias enfermedades. En este artículo se busca dar a conocer una solución a este problema, en donde el sistema de horno pasteurizador solar acoplado a un filtro purificador de arena se utilizó para el tratamiento fisicoquímico y microbiológico de las aguas lluvias para el abastecimiento de agua apta para consumo humano, encontrando que se mejoraban las propiedades fisicoquímicas del agua respecto al pH, alcalinidad, dureza, calcio, magnesio, turbidez, hierro y microbiológicas como la eliminación de las colonias de coliformes totales y *Escherichia coli*.

Palabras Clave: Aguas lluvias, Agua potable, Horno pasteurizador solar, Microorganismos patógenos, Alpujarra, riesgo a la salud

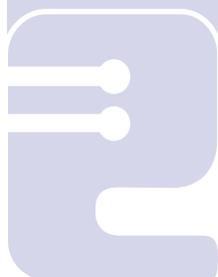
Abstract:

In Colombia many populations are in isolated areas, making it impossible to build a water treatment plant, choosing rudimentary solutions, which solves the supply problem but put your health at risk, as the collected water has many microorganisms that can cause serious illness. This article seeks to provide a solution to this problem, where the solar pasteurizer furnace system coupled to a sand filter purifier was used for the physicochemical and microbiological treatment of rainwater for water clean water supply for human consumption, finding that the physicochemical properties of the water was improved with respect to pH, alkalinity, hardness, calcium, magnesium, turbidity, iron and microbiological as the elimination of colonies of total coliforms and *Escherichia coli*.

Keywords: Rainwater, Drinking water, solar pasteurizer oven, pathogenic microorganisms, Alpujarra, health risk

1 Ing. Mg. Sci., (Programa de Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá-Colombia, Semillero de Investigación en la producción y uso de las energías alternativas y renovables en la industria-DIPIERA.

2 Estudiantes de Ingeniería Industrial (Programa de Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Bogotá-Colombia.



I. INTRODUCCION

Con miras a mejorar las precarias condiciones de potabilidad del agua de la mayoría de las localidades rurales en Colombia (Zapata, 2008), se propone recolectar aguas lluvias y filtrarlas con un sistema de arena tratada como se ha trabajado en diversas zonas rurales, para posteriormente disminuir sus niveles de contaminación microbiana por medio de la pasteurización térmica con radiación solar. (Nashar, et. al., 2006).

El diseño empleado considera el uso de materiales reciclables, a fin de disminuir los gastos de infraestructura sin sacrificar la eficiencia, promoviendo el uso de un prototipo de tecnología de purificación accesible a las comunidades de escasos recursos económicos.

El grado de contaminación de las aguas lluvias, generada en gran medida por la polución producida por la combustión de derivados del petróleo (automóviles, sector industrial, etc.) produce pequeñas nubes de partículas ácidas que se precipitan en forma de lluvia ácida, por esto el sistema diseñado se basa en los fundamentos de la filtración a través de lechos de relleno y la transferencia de calor combinada por los mecanismos de conducción y convección. El filtro de arena y grava acondiciona las propiedades fisicoquímicas del agua lluvia colectada para luego, por transferencia de calor, generar una diferencia de temperatura que permita el control sobre la reproducción y crecimiento de microorganismos patógenos que afectan la salubridad del agua. Se espera con este sistema brindar una alternativa a bajo costo a las comunidades de escasos recursos para el abastecimiento de agua apta para consumo humano contribuyendo al desarrollo con beneficios sociales. Este prototipo fue probado en la vereda Vega Grande del municipio de Alpujarra, Tolima-Colombia, comprobando su eficiencia y verificando que el agua tratada cumple con la normatividad vigente para la calidad del agua potable respecto al índice de riesgo a la salud. (MPS, Resolución 2115/07)

II. MARCO TÉCNICO

Desde el siglo XIX el químico francés Louis Pasteur, demostró que el choque térmico en las sustancias provoca la destrucción de las bacterias patógenas, por eso este sistema es empleado en el tratamiento de líquidos alimenticios, alterando lo menos posible la estructura física y los componentes químicos de éstos. Existen evidencias experimentales entre el

nivel de temperatura y el tiempo de mortandad de las bacterias, mientras mayor es la temperatura menor es el tiempo necesario para realizar el proceso y viceversa, la temperatura debe ser superior a los 60°C y a partir de allí, el tiempo necesario va decreciendo a medida que se eleva la temperatura. (Saravia, R, 2007).

Para pasteurizar agua se debe calentar a 65° C (150° F); una fuente de calor para lograr esto es la exposición a la radiación solar durante 30 minutos, acorde a las condiciones solares, meteorológicas y de latitud de la región geográfica donde se realice el proceso; la pasteurización mata los gérmenes y seres patógenos del agua que ha de ser bebida incluyendo las bacterias, rotavirus, enterovirus y quistes, normalmente transmitidos por el agua contaminada. (Saravia, R, 2007).

Los colectores solares son dispositivos diseñados para captar la radiación solar, transformar la energía térmica y así elevar la temperatura de un fluido. En función de la temperatura que puede alcanzar el fluido, se puede dividir en los siguientes grupos:

Colectores planos, son los dispositivos más simples que permiten obtener energía calórica de baja temperatura (inferior a 100° C).

Colectores cilíndricos, la diferencia entre las temperaturas de entrada y salida del colector viene limitada por la relación entre el caudal circulante y la energía solar captada. La forma de mejorar esta relación consiste en utilizar colectores que concentren la radiación solar que incide sobre una superficie relativamente grande sobre otra superficie mucho más pequeña, que es donde se sitúa el tubo por donde circula el fluido que se desea calentar. La relación entre la superficie que capta la luz solar y la superficie de la mancha de radiación concentrada, se conoce como relación de concentración y cuanto mayor sea la relación, mayor será el salto térmico alcanzado (Guillén, O; 2004).

Colectores parabólicos, este sistema funciona correctamente cuando el espejo está orientado de forma tal que el eje principal de la parábola (recta definida por su foco y por su polo) se alinea con la posición del sol. Para conseguir que se cumpla esta condición a lo largo del día, el espejo se instala sobre una plataforma orientable, movida por motores eléctricos y gobernados por un sistema

de seguimiento solar. Los colectores concentrados solo aprovechan la radiación directa, no captan la radiación difusa ni la reflejada por el entorno. Los colectores planos son capaces de captar cuando menos en parte, los tres tipos de radiación. (Guillén, O; 2004).

Antes de la pasteurización el agua se debe adecuar mediante un filtro que actúa como dispositivo que separa una sustancia de otra. Por lo tanto la filtración es un proceso de separación física. La filtración de lecho filtrante (filtración con minerales) es un proceso de retención de partículas en el cual se separa la materia sólida del líquido como consecuencia de fenómenos diversos.

El objetivo en este proceso es recuperar el agua libre de sólidos para utilizarla en el proceso al que va destinada. Los sólidos rechazados son eliminados del sistema con una pequeña cantidad de agua. De esta forma se obtiene un efluente libre de sólidos y otro con gran concentración de partículas.

Existen muchos tipos de filtros de arena pero se pueden dividir en dos grupos:

Filtros abiertos: recipientes abiertos a la atmósfera, dentro de este grupo se puede hacer una subdivisión en:

- a) Filtros lentos: trabajan a presión atmosférica y a velocidades máximas de 10 m³ /día por m² de superficie.
- b) Filtros rápidos: trabajan a presión atmosférica y a velocidades de 5 a 20 m/h.

Filtros a presión: son recipientes cerrados metálicos ó plásticos en cuyo interior se colocan materiales filtrantes a través de los cuales se vehicula a presión el agua bruta que se desea clarificar.

En este grupo de filtros se pueden hacer muchas clasificaciones, y un mismo filtro puede pertenecer a más de un grupo.

Las principales clasificaciones son:

- a) Según la posición del filtro:
 - Horizontales. Son cilindros cerrados a presión dispuestos en posición horizontal.
 - Verticales. Son cilindros cerrados a presión dispuestos en posición vertical.

- b) Según el tipo de lavado.
 - Filtros lavados por agua. Son equipos en los que para el proceso de regeneración del lecho de filtración se utiliza solo agua.
 - Filtros lavados por agua y aire. Son equipos en los que en el proceso de lavado se utiliza agua y aire en diferentes secuencias del proceso.
- c) Según el tipo de material filtrante.
 - Filtros mono capa. Son equipos que llevan un lecho de filtración de un material determinado (Sílice, basalto, antracita, granate).
 - Filtros multicapa. Son equipos que incorporan varios lechos de filtración de materiales, granulometría y densidades diferentes.

III. MATERIALES

Los materiales empleados para el diseño y construcción del prototipo se escogieron con base en la capacidad de absorción de radiación lumínica, transferencia de calor para los metales, economía y versatilidad para los plásticos.

- ✓ **Lámina reflejante:** acero maleable calibre 28, pulido a brillo espejo.
- ✓ **Tubo conductor:** tubería de cobre flexible con 15 m de largo y ½” de diámetro este material posee una alta conductividad térmica y maleabilidad frente al aluminio y el acero.
- ✓ **Tanques plásticos:** utilizados para el almacenamiento del agua a tratar y para el agua tratada, del tipo modular plástico con una capacidad de 50 litros.
- ✓ **Manguera:** plástica y flexible para el flujo del agua almacenada hasta el proceso de calentamiento.
- ✓ **Filtro de arena:** construido con un tanque plástico de 0.90 m de alto y de 0.38m de diámetro, una capa filtrante de gravilla de 0.20 m, arena gruesa de 0.30m, arena fina de 0.20m y arena procesada de 0.10 m; cada capa posee un tamiz de acero inoxidable de Ø=0.38 m, los tamices tienen un tamaño de malla de 16, 20, 30 y 40 y un mecanismo de tubería en PVC. (Véase Figura 1).



Figura 1. Construcción filtro de arena. (Autores, 2013)

- ✓ **Llaves:** se usaron 2 llaves de jardín para el filtro de arena y el tanque de almacenamiento final del agua procesada.
- ✓ **Soporte:** se instalaron 2 bases en forma de trípode colocando en los extremos superiores dos balineras (Figura 2), que permiten variar el ángulo de incidencia de la radiación solar siguiendo la trayectoria del sol a lo largo del día y maximizar el aprovechamiento de la radiación.



Figura 2. Base del horno pasteurizador. (Autores, 2013)

IV. METODOLOGÍA

Diseño y construcción filtro de arena

Se aplicó el diseño de filtro lento de arena (Aguilar, 2009), consistente en ubicar diferentes espesores de capas de materiales filtrantes inertes como grava, arena de río y carbón activado para retener los sólidos suspendidos.

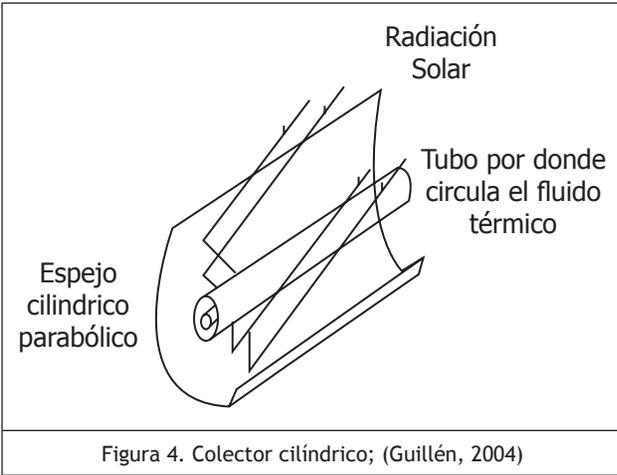
En la parte inferior del tanque se adaptó una llave de jardín, con tubería en PVC de $\frac{3}{4}$ " con orificios (Figura 3). El sistema de drenaje mencionado es separado con un tamiz 16 para evitar la mezcla de los materiales filtrantes.



Figura 3. Sistema de tubería para el filtro. (Autores, 2012)

Diseño del horno pasteurizador

El diseño del sistema pasteurizador hace referencia a un colector cilíndrico que concentra la radiación solar que incide sobre una superficie y la refleja sobre otra superficie que para este caso es donde se sitúa el tubo de cobre por donde circula el agua que se va a pasteurizar. Figura 4. (Guillén, O., 2004.)



la incidencia de la radiación solar sobre la superficie colectora y el tubo de cobre por donde fluiría el agua a pasteurizar.

Construcción del horno pasteurizador

Para acumular la energía requerida para eliminar microorganismos patógenos, se tomó un tubo de cobre de 1500 cm de longitud que es doblado en forma sinodal a una distancia de 7 cm, hasta obtener un conjunto de ondulaciones de 0.7 cm de largo. El tubo es pintado de color negro mate para mejorar la absorción de la radiación reflejada por el espejo parabólico colector de la radiación solar que es una lámina de acero brillo espejo. (Figura 5).

La alta conductividad de calor mostrada por el cobre, 401 W/m °K, su poca emisividad 0.03 y disposición en zonas de influencia geográfica de Colombia, hace que sea un magnífico insumo para el sistema del tubo conductor del agua a un diámetro de ½”.

El volumen de fluido que pasa por el tubo se calcula para conocer si la energía interna almacenada es suficiente para generar un cambio de temperatura para eliminar los microorganismos patógenos presentes en el agua lluvia colectada que ha pasado por el filtro de arena.

$V = \pi r^2 h$; donde, $r = 0.635$ cm y $h = 1500$ cm.

$$V = \pi * (0.635 \text{ cm})^2 * 1500 \text{ cm.}$$

$$V = 1900.153047 \text{ cm}^3$$

$$V = 1.9 \text{ litros de agua}$$

Temperatura ambiente del agua lluvia filtrada = 15°C.

Temperatura para eliminar la E-Coli = 60°C (Solar cooking, S.f). $\Delta T = 45^\circ\text{C}$

$$p_{H2O} = 999 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{Vaxasofware. 2013}) \quad m = \rho * V$$

$$m = \frac{999 \text{ Kg}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} * 1.9 \text{ l}, \quad m = 1.898 \text{ 1Kg},$$

Sabemos que $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$

$$c_{pH2O} = 4.18 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} \text{ } ^\circ\text{C}, \quad Q = 1.898 \text{ 1Kg} * 4.18 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} \text{ } ^\circ\text{C} * 45^\circ\text{C},$$

$$Q = 357.03261 \text{ Kj}$$

$$Q = 357.03261 \text{ Kj} * \frac{1 \text{ Kwh}}{3600 \text{ Kj}}, \quad Q = 0.0991757$$

Kwh, energía requerida para eliminar microorganismos patógenos

El diseño considera alcanzar un nivel energético acumulado superior al calculado anteriormente, por



En una batea (media caneca) se coloca una lámina de acero inoxidable de 1.20 m x 0.70 m y 0.38 m, tomando como referencia el tubo de cobre sinodal que se ensambla con soportes a cada lado. El conjunto se soporta sobre una base de 1.20 m de altura que cuenta con un sistema de giro para seguir los movimientos del sol.

El sistema es alimentado por una manguera que conduce el agua lluvia tratada por el filtro de arena,

a la tubería de cobre que se precalienta con la radiación solar. (Figura 6)



Figura 6. Sistema de filtro conectado con el Horno pasteurizador. Fuente Autores 2013

Considerando variables como la temperatura y tiempo de flujo del agua lluvia tratada por el sistema de pasteurización, se adapta un termómetro bimetálico de 1" dial MENGTE de 250 °C y un cronómetro digital Niké led.

Para verificar la efectividad del prototipo en el proceso de pasteurización se realizan análisis físico-químicos y microbiológicos a cinco muestras de agua sin procesar y procesada que incluyeron parámetros como Alcalinidad, Calcio, Conductividad, olor, dureza, Hierro, magnesio, pH, turbidez, Coliformes totales y Escherichia coli.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El prototipo construido fue instalado e implementado en la vereda Vega Grande, municipio de Alpujarra, Tolima, Colombia. Esta población posee menos de cien habitantes, cuenta con pocas construcciones, el suministro de agua proviene de aguas lluvias recolectadas en tanques de almacenamiento y de una quebrada que nace en las montañas de la vereda, el líquido llega por tubería a las viviendas de forma intermitente y sin ningún tipo de tratamiento.

Las pruebas de funcionamiento se realizaron durante dos días, con nubosidad del 40%, 0% de precipitación, humedad promedio de 42% y temperatura ambiente de 32°C, para estas condiciones climáticas y ambientales se establece que en promedio la zona

cuenta con 4 a 5 horas de luz solar por día y entre 4-4.5 Kwh/m² de brillo y radiación solar de acuerdo con los mapas de brillo solar y radiación solar publicados en el Atlas de radiación solar de Colombia del IDEAM y la UPME (2010). (Véanse figuras 7 y 8).

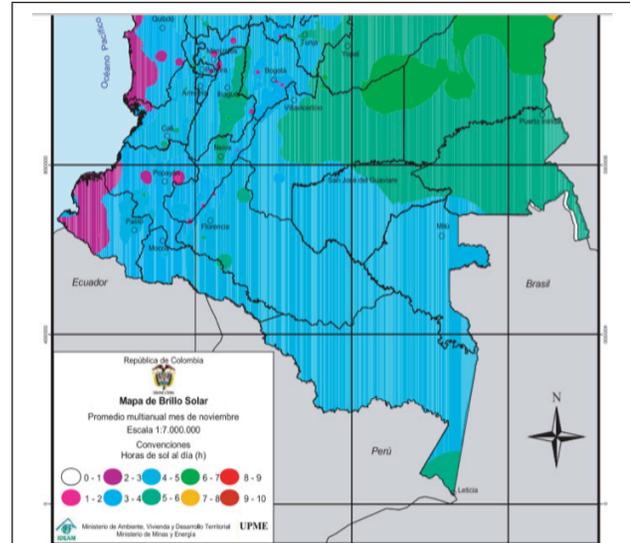


Figura 7. Mapa de brillo solar. Fuente, (IDEAM UPME, 2010).

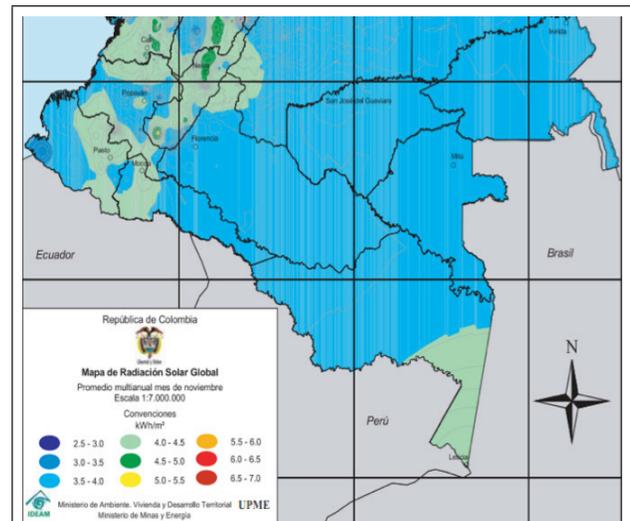


Figura 8. Mapa de radiación solar. Fuente, (IDEAM-UPME, 2010).

Durante cinco días previos a la realización de la prueba de funcionamiento del prototipo se colectaron 50 L de aguas lluvias, de donde se tomó la primera muestra para ser analizada, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultado análisis de muestra 1 (Agua lluvia colectada extraída del tanque de almacenamiento antes de pasar por el filtro). (Autores, 2013)

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO						
PARAMETRO ANALIZADO	RESULTADO	UNIDADES	VALORES PERMISIBLES RES 2115/07	DIAGNOSTICO	METODO	ANALISTA
Alcalinidad	43	mg/L	s 200 mg/L	aceptable	2320 B	William C.
Calcio	9,5	mg/L	s 60 mg/L	aceptable	3111 B,D	William C.
Conductividad	171,1	ms/cm	s 1000 ms/cm	aceptable	2510 B	William C.
Color	0	Unidades Pt-Co	s 15 U Pt-Co	aceptable	2120 C	William C.
Dureza total	84	mg/L	s 300 mg/L	aceptable	2340 B,C	William C.
Hierro total	0,06	mg/L	s 0,3 mg/L	aceptable	3111 B	William C.
Magnesio	2,3	mg/L	s 36 mg/L	aceptable	3111 B	William C.
PH	7,98	Unidades de pH	entre 6,5 y 9,0	aceptable	4500-H B	William C.
Turbidez	0,25	NTU	s 2 NTU	aceptable	2130 B	William C.
Coliformes totales	240	UFC/100 cm ³	OUFC/100 cm ²	No aceptable	9222 B,C	Dora L.
Escherichia coli	42	UFC/100 cm ³	OUFC/100 cm ²	No aceptable	9222 D	Dora L.

Los resultados evidencian que el agua almacenada no cumple con los requisitos de agua apta para consumo humano especificados en la resolución 2115/07 del Ministerio de la Protección Social, para los ítems de Coliformes totales y Escherichia Coli. Por esto

el agua lluvia se hace pasar por el filtro de arena por acción de la gravedad a una altura de 1.70 m, tardando 2 horas, la muestra dos se tomó del agua de salida y se analizaron los parámetros fisicoquímicos, encontrando los resultados mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultado análisis de muestra 2 (agua lluvia colectada después del proceso de filtración). (Autores, 2013)

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO						
PARAMETRO ANALIZADO	RESULTADO	UNIDADES	VALORES PERMISIBLES RES 2115/07	DIAGNOSTICO	METODO	ANALISTA
Alcalinidad	42	mg/L	s 200 mg/L	aceptable	2320 B	William C.
Calcio	9,1	mg/L	s 60 mg/L	aceptable	3111 B,D	William C.
Conductividad	223,0	ms/cm	s 1000 ms/cm	aceptable	2510 B	William C.
Color	0	Unidades Pt-Co	s 15 U Pt-Co	aceptable	2120 C	William C.
Dureza total	78	mg/L	s 300 mg/L	aceptable	2340 B,C	William C.
Hierro total	0,05	mg/L	s 0,3 mg/L	aceptable	3111 B	William C.
Magnesio	2,5	mg/L	s 36 mg/L	aceptable	3111 B	William C.
PH	7,79	Unidades de pH	entre 6,5 y 9,0	aceptable	4500-H B	William C.
Turbidez	0,21	NTU	s 2 NTU	aceptable	2130 B	William C.

El proceso de tratamiento del agua lluvia se hace continuo al ensamblar por medio de una manguera el filtro de arena y el horno pasteurizador que se precalentó durante tres horas por acción de la radiación solar incidente a una temperatura de 70°C, luego se permite el paso del agua lluvia a través del

tubo sinodal de cobre llenándolo por completo, el caudal establecido fue de 2.0 L/h. Del agua saliente de la pasteurización se obtiene la muestra tres que es llevada al laboratorio para el análisis fisicoquímico y microbiológico reportándose los resultados de la Tabla 3.

Tabla 3. Resultado análisis de muestra 3, Agua tratada, pasteurizador solar. (Autores, 2013)

RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO						
PARAMETRO ANALIZADO	RESULTADO	UNIDADES	VALORES PERMISIBLES RES 2115/07	DIAGNOSTICO	METODO	ANALISTA
Alcalinidad	41	mg/L	s 200 mg/L	aceptable	2320 B	William C.
Calcio	9,2	mg/L	s 60 mg/L	aceptable	3111 B,D	William C.
Conductividad	236,8	ms/cm	s 1000 ms/cm	aceptable	2510 B	William C.
Color	0	Unidades Pt-Co	s 15 U Pt-Co	aceptable	2120 C	William C.
Dureza total	75	mg/L	s 300 mg/L	aceptable	2340 B,C	William C.
Hierro total	0,07	mg/L	s 0,3 mg/L	aceptable	3111 B	William C.
Magnesio	2,4	mg/L	s 36 mg/L	aceptable	3111 B	William C.
PH	7,85	Unidades de pH	entre 6,5 y 9,0	aceptable	4500-H B	William C.
Turbidez	0,18	NTU	s 2 NTU	aceptable	2130 B	William C.
Coliformes totales	0	UFC/100 cm ³	O UFC/100 cm ²	aceptable	9222 B,C	Dora L.
Escherichia coli	0	UFC/100 cm ³	O UFC/100 cm ²	aceptable	9222 D	Dora L.

La comparación de los resultados físicoquímicos de la muestra 1 con las dos muestras siguientes en el proceso, presentan cambios significativos de los cuales vale resaltar que las muestras dos y tres modifican los límites establecidos en la Res. 2115/07 Ministerio de la Protección Social, para el agua potable, siendo los cambios mas relevantes los mencionados a continuación. (Figura 9).

- Se redujo un 2,4% de alcalinidad
- Se redujo un 4,5% de calcio
- Aumentó la conductividad en un 30%
- Disminuyó la dureza en un 7%
- Disminuyó un 20% el Hierro Total
- Aumentó el Magnesio en un 9%
- Disminuyó el PH en un 2,4%
- Redujo un 20% de turbiedad

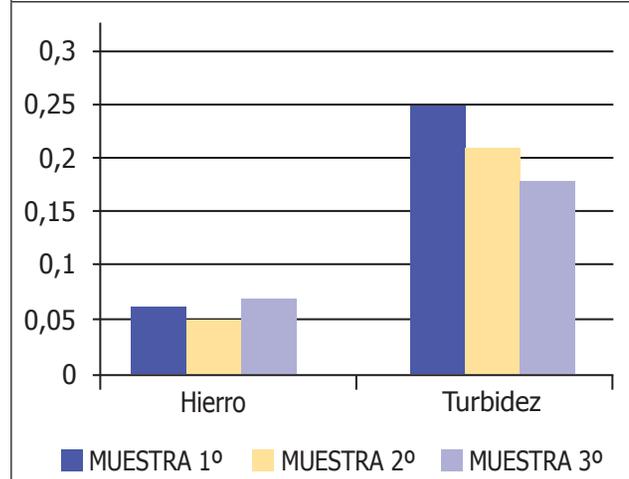
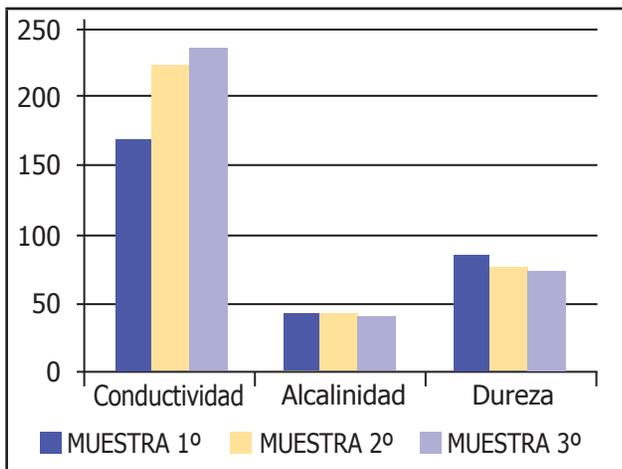
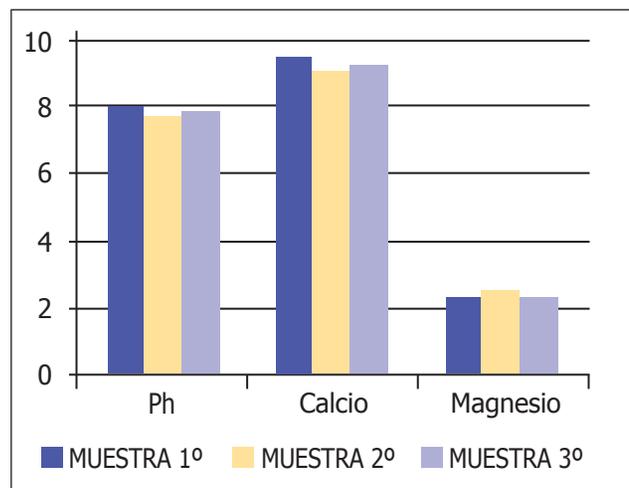
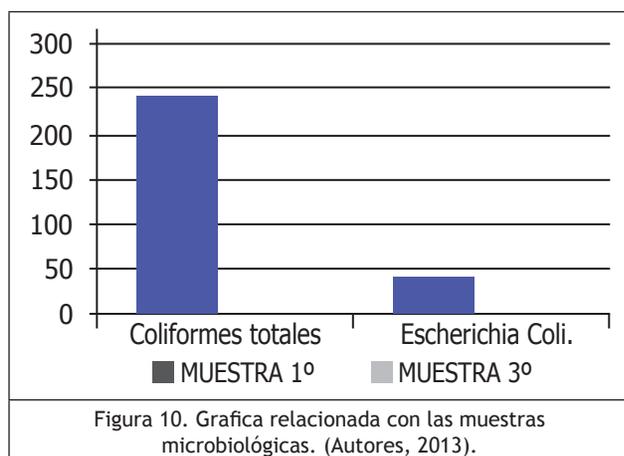


Figura 9. Propiedades físico-químicas para las 3 muestras de agua lluvia. (Autores 2013).

La muestra 3 (agua tratada prototipo pasteurizador solar), cumple con todos los parámetros establecidos por el Ministerio de la Protección Social en la Resolución 2115/07, demostrando así su funcionalidad y logrando el objetivo de reducir agentes contaminantes presentes en el agua, fisicoquímicos (Figura 9) y microbiológicos (Figura 10).



VI. CONCLUSIONES

El prototipo construido evidenció su efectividad al realizar cambios favorables y representativos en los contenidos fisicoquímicos y microbiológicos del agua lluvia, al considerar los principios de cambios térmicos de la pasteurización empleando la energía radiante del sol como fuente energética que permite obtener agua apta para el consumo humano, basados en los parámetros especificados en el Decreto 2115/07 del Ministerio de la Protección Social-Colombia.

Los cálculos teóricos obtenidos con respecto a la radiación solar y los mapas de brillo que se obtuvieron del IDEAM (2010), demuestran que las zonas de mayor influencia en el país para el correcto funcionamiento del prototipo, son aquellas donde el rango superior de radiación solar es de 1Kwh y que presente un brillo solar superior a 4 horas para lograr la temperatura suficiente para la pasteurización del agua.

Se brinda un método para acondicionar agua lluvia como un líquido que cumpla las condiciones de potabilidad necesarias para consumo humano a razón de 2.0 L/h., basado en el empleo de la energía del sol, siendo asequible a las comunidades que carecen de agua potable y recursos económicos para el empleo de los sistemas de tratamiento tradicionales del agua potable.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Aguilar D. (2009); *montaje de filtro lento de arena para agua potable*. Universidad Minuto De Dios, sede Girardot. Recuperado en: http://dspace.uniminuto.edu:8080jspui/bitstream/10656/569/1/TIC_AguiarHernandezDanielFernando_09.pdf
2. Dforcesolar. (2011); *Agua solar pasteurizada*. Recuperado en: <http://www.dforcesolar.com/energia-solar/agua-solar-pasteurizada/>
3. Esteves. F, Buenanueva. F, Cavagnaro. L. (2006) *Pasteurización utilizando un horno solar*. ASADES Asociación Argentina de energías renovables y del medio ambiente. Vol. 10. Recuperado en: <http://www.cricyt.edu.ar/lahv/asades/modulos/averma/trabajos/2006/2006-t003-a005.pdf>
4. Hidroglobal (2002). *“Manual técnico de filtración de arena”*. *Hidros tecnología del agua*. Recuperado julio del 2002 en: <http://www.hidroglobal.com/libreria/Manual%20Filtraci%F3n%20Arena.pdf>
5. Gonzales, J. (2009). *Energías renovables*. Barcelona: Reverte S.A.
6. Guillén, O. (2004). *Energías renovables: una perspectiva ingenieril*. México: Ed. Trillas.
7. IDEAM. (2010); *Atlas de radiación solar de Colombia*. Recuperado en: <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019649/019649.htm>
8. IDEAM. (2010); *“lluvias máximas”*., *Ministerio de ambiente, II congreso nacional del clima*. Recuperado en: <http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile6624&downloadname=lluvias%20maximas.pdf>
9. IDEAM. (2010) *“clasificación climática”*., *Ministerio de ambiente, II congreso nacional del clima*. Recuperado en: <http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile7195&downloadname=climas%20%5BModo%20de%20compatibilidad%5D.pdf>

10. Metcalf. R. (s.f) *Avances recientes en la pasteurización solar de agua. Solar cooking internacional* recuperado en: <http://solarcooking.org/pasteurization/metcalf.htm>
11. Montoya H. (2008); *microbiología básica para el área de la salud y afines; (2 Edición)*. Colombia: Universidad de Antioquia
12. Nashar. A, Gobaisi. D, Makkawi. B, (2006). *Energía Solar Para Desaladora En El Mundo Árabe. International Centre for Water and Energy Systems (ICWES)*, Abu Dhabi, U.A.E
13. Resolución 2115/07. *Los ministros de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial*. Recuperado en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=30008>.
14. Saravia, L. R (2007). *Energía solar*. Argentina: INENCO.
15. Vaxasofware. (2013) *Densidad del agua líquida entre 0 °C y 100 °C* recuperado en: http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/denh2o.pdf
16. Vía industrial. (2013). *Termómetro bimetalico de bolsillo* recuperado en: <http://viaindustrial.com/producto.asp?codigo=132204>
17. Zapata. E. (2007) “*En Medellín ya se reporta lluvia acida*”. Uni>ersia. Recuperado el 1 de noviembre 2008 en: <http://noticias.universia.net.co/vida-universitaria/noticia/2008/11/01/240108/medellin-ya-reporta-lluvia-acida.html>
18. Zapata. H. (2008) *Formas de generación eléctrica en el mundo, su participación en Colombia y perspectiva*. ministerio de minas y energía- república colombiana. Recuperado el 2 de octubre del 2008 en: http://www.uninorte.edu.co/extensiones/IDS/Ponencias/ponencias/Pdf/Formas_de_Generacion.pdf