

Capítulo 5 Diseño, construcción y evaluación de un destilador solar ecológico

Chapter 5 Design, construction and evaluation of an ecological solar distiller

FUENTES-ALBARRÁN, María del Carmen†*, ALARCÓN-HERNÁNDEZ, Fidel Benjamín, GADEA PACHECO, José Luis y PALACIOS-SANTIAGO, Gloria Alejandra

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc. Av. Nicolás Bravo s/n, Parque Industrial Cuautla, C.P. 62717 Xalostoc, Ayala, Morelos, México.

ID 1^{er} Autor: *María del Carmen, Fuentes-Albarrán* / **ORC ID:** 0000-0003-1308-1332, **CVU CONACYT ID:** 171814

ID 1^{er} Coautor: *Fidel Benjamín, Alarcón-Hernández* / **ORC ID:** 0000-0002-2465-0898, **CVU CONACYT ID:** 131028

ID 2^{do} Coautor: *José Luis, Gadea-Pacheco* / **ORC ID:** 0000-0001-9341-9289, **CVU CONACYT ID:** 160429

ID 3^{er} Coautor: *Gloria Alejandra, Palacios-Santiago* / **ORC ID** 0000-0003-4111-8729, **CVU CONACYT ID:** 1022108

DOI: 10.35429/H.2019.1.39.49

M. Fuentes, F. Alarcón, J. Gadea, R. Camacho y G. Palacios

* carmeen.fuentes@uaem.mx

O. Benavides (Dir.). Ingeniería. Handbooks-©ECORFAN-Mexico, Campeche, 2019.

Resumen

En este trabajo se diseñó, construyó y evaluó el desempeño de un destilador elaborado con botellas de PET, empleando energía solar para su funcionamiento. La primera etapa, consistió en la construcción y ensamble del dispositivo. Posteriormente, se evaluó la eficiencia del sistema experimental, efectuando pruebas fisicoquímicas para determinar el grado de calidad del agua obtenida, de acuerdo a la Normas ASTM 1193: 2001 (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) e ISO 3696: 1987 (Organización Internacional de Normalización). El dispositivo se mantuvo en exposición a la radiación solar durante un período de 12 horas, y se monitoreo por 6 días. Los parámetros considerados, para evaluar la calidad del agua fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, carbón orgánico total y absorbancia. Los resultados mostraron un volumen de destilación del 50% del total considerado. Las pruebas fisicoquímicas demostraron el cumplimiento de las normas antes mencionadas, obteniendo agua destilada tipo II, la cual es adecuada para su uso en la mayoría de las pruebas analíticas y generales de laboratorio.

Energía solar, Sustentabilidad, Destilador ecológico, Agua destilada

Abstract

In this study was designed, construction and evaluated the performance of a distiller made with PET bottles, using solar energy for its operation. The first stage consisted in the construction and assembly of the device. Subsequently, the efficiency of the experimental system was evaluated, performing physicochemical tests to determine the degree of water quality obtained, according to ASTM 1193: 2001 (American Society for Testing and Materials) and ISO 3696: 1987 (International Organization for Standardization). The device was kept exposed to solar radiation during a period of 12 hours, and monitored for 6 days. The parameters considered to evaluate the quality of the water were: temperature, pH, electrical conductivity, dissolved total solids, total organic carbon and absorbance. The results showed a distillation volume of 50% of the total considered. The physicochemical tests showed compliance with the aforementioned standards, obtaining distilled water type II, which is suitable for use in most general laboratory tests.

Solar energy, Sustainability, Ecological distiller, Distilled water

Introducción

En la actualidad los combustibles fósiles suplen cerca del 80% del consumo de energía a nivel mundial, sin embargo, la combustión de estos recursos, tiene como consecuencia enormes emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera (Aleixandre et al., 2019). Este gas tiene un importante efecto de invernadero y podría estar provocando el calentamiento global de todo el planeta, con severos efectos en el cambio climático (Logan, 2008). El uso de energías renovables ha cobrado gran importancia durante los últimos años, ya que constituyen una alternativa para mitigar los efectos ambientales provocados por el uso excesivo de combustibles fósiles (Bogdanovet al., 2019). Fuentes de energía renovable tales como; biomasa, hidráulica, eólica, geotérmica, oceánica y solar, pueden proveer servicios de energía sostenible a largo plazo, incrementando la diversidad en el mercado energético internacional. (Devabhaktuni et al., 2013). En particular, la energía solar está mostrando promesas alentadoras, debido a las grandes cantidades de flujo de irradiación solar que llega a la Tierra. La energía solar disponible llega sobre la superficie de la tierra a una tasa de aproximadamente 120 petawatts, lo que significa que la cantidad de energía recibida del sol en un solo día puede satisfacer la demanda energética de todo el mundo por más de 20 años (Khan y Arsalan, 2016).

Las tecnologías de energía solar son de naturaleza diversa, y responden a los usos que se les confieren, por ejemplo; calefacción y electricidad (Braun et al., 2011; Gao et al., 2015; Koberle et al., 2015; Sharon y Reddy 2015; Xu et al., 2016). La energía solar puede ser utilizada en diferentes procesos tales como secado (Pirasteh et al., 2014; Mustayen et al., 2014), calentamiento (Bukker y Riffat, 2015), cocción y destilación (Blanco et al., 2009; Eltawil et al., 2009). Una de las aplicaciones prácticas importantes, es su uso para la operación de destiladores de agua, con la finalidad de potabilizar este líquido, ya sea para fines domésticos o de laboratorio (Instituto de Energías Renovables, 2017).

En diferentes Instituciones de Educación Superior, se cuentan con laboratorios de docencia e investigación, donde una de las necesidades es la obtención de reactivos y sustancias de uso común, entre ellas principalmente el agua destilada. El agua destilada es la más común después del agua corriente, puede emplearse en la limpieza de materiales, calibración de equipos, como disolvente en la preparación de soluciones químicas o como sustancia de referencia. El grado de calidad de ésta, dependerá en gran medida del uso al que se destine. En la Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, la demanda de este recurso fue de aproximadamente 200 L durante el 2015, demanda que seguirá creciendo con el aumento de la matrícula estudiantil.

Por otro lado, una de las problemáticas identificadas dentro de la institución y en general en nuestro país, es la contaminación generada por las botellas de Polietilén Tereftalato o Politereftalato de etileno (PET), debido al alto consumo de bebidas embotelladas. La gran cantidad de éstas, brinda una oportunidad para el aprovechamiento de este material, ya que por sus características físicas ayuda a la absorción de radiación solar a través de las paredes de la botella. Los materiales como el PET pueden ser empleados para construir dispositivos que sean ecológicos, brindando la oportunidad para el aprovechamiento de los recursos naturales para aplicaciones prácticas (Díaz y Yubeto, 2019; Rojas 2019). Desde esta perspectiva, en este trabajo se diseñó, construyó y evaluó el desempeño de un destilador construido con botellas de PET, empleando energía solar para su funcionamiento, con el propósito de satisfacer parte de la demanda de agua destilada en la Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc. Esta propuesta surge como una alternativa ecológica a la tecnología convencional y atractiva desde el punto de vista ambiental. La primera etapa de la investigación, consistió en el diseño, construcción y monitoreo el destilador solar. Posteriormente, se evaluó la eficiencia del sistema experimental, efectuando pruebas fisicoquímicas para determinar el grado de calidad del agua obtenida, de acuerdo a la Normas ASTM 1193:2001 (American Society for Testing and Materials) y la ISO 3696: 1987 (International Organization for Standardization), por sus siglas en inglés.

Metodología

Diseño y construcción del destilador

Para la construcción del destilador solar se emplearon materiales reciclados, como botellas de PET de 3 y 4 L, así como las tapas de estas botellas. Además, se utilizaron tubos de PVC de 1 ¼ pulgadas. Para el sistema hidráulico, se emplearon mangueras de silicona para pecera de 4 mm de diámetro interno y jeringas de 5 y 10 mL para el control del flujo de agua. Para la base del dispositivo, se usó fierro reciclado y electrodo 6013 para la soldadura.

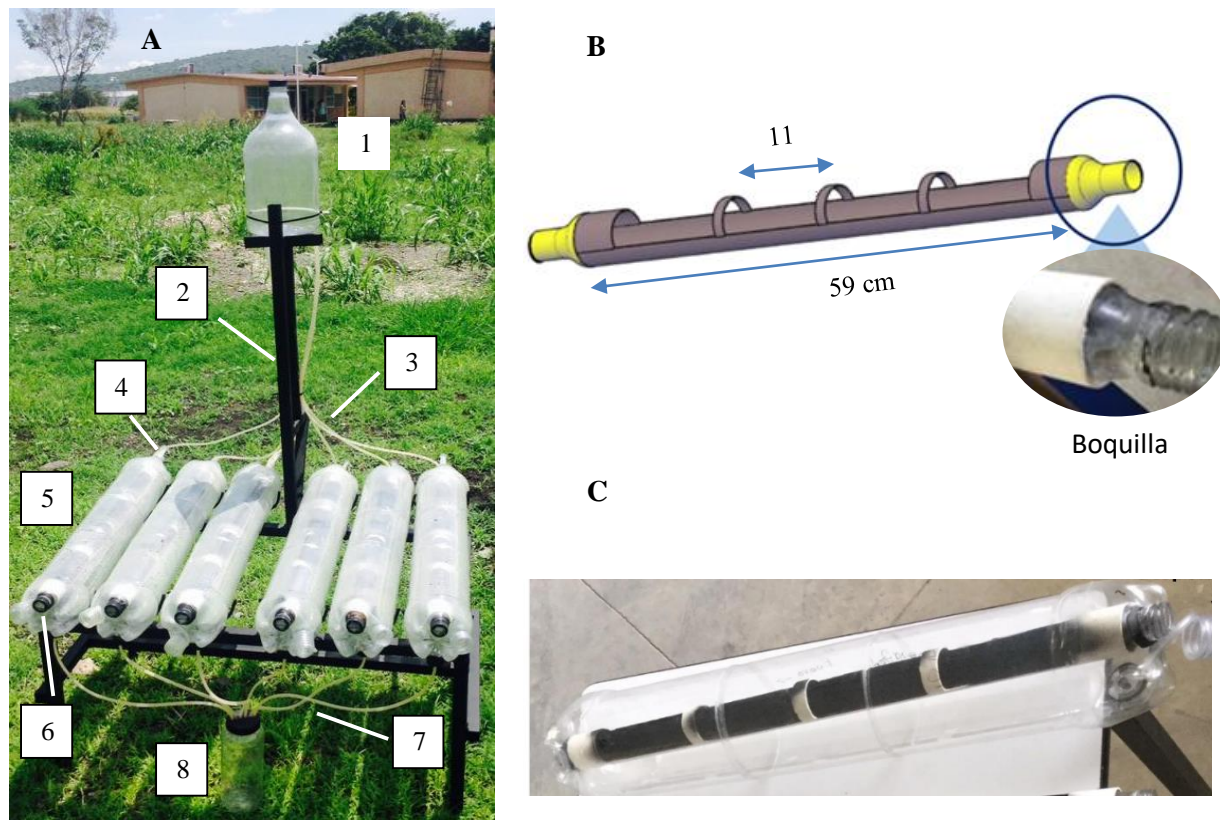
Tabla 5.1 Materiales utilizados en la construcción del destilador solar ecológico y algunas de sus características.

Uso en el destilador	Tipo de material	Descripción
Parte externa (Condensadores).	Plástico PET, botellas de 3 L.	Material ubicado en la parte externa del destilador individual.
Contenedor interno (Evaporador).	Tubos de PVC de 1 ¼ pulgadas.	Estructuras ubicadas en el interior de los condensadores.
Control de llenado.	Jeringas de 5 y 10 mL.	Permitieron controlar el flujo de agua que ingresa por las mangueras de alimentación hacia los evaporadores.
Sistema hidráulico.	Manguera de silicona para pecera.	Constituido por mangueras de 4 mm diámetro interno y 6 mm diámetro externo. Se emplearon para permitir el flujo del agua del contenedor de agua de la llave a los evaporadores, y de éstos al colector de destilación.
Base metálica.	Fierro.	Base de fierro reciclado sobre la cual se fijó el destilador, con espacios designados para cada condensador, y una columna que elevó el contenedor de agua de la llave para abastecer a los evaporadores.
	Soldadura.	Electrodo 6013.
Contenedores	Plástico PET, botellas de 4 L.	Se emplearon dos contenedores. El que alimenta los evaporadores con agua de la llave, y el que se utiliza para recolectar el agua destilada de todos los destiladores individuales.
Contenedores.	Boquillas de botellas de PET.	Puntos de observación en las tapas finales de los evaporadores que marcan el nivel de llenado correcto de agua.

Fuente: Elaboración Propia

Los materiales utilizados en la construcción del destilador solar se enlistan en la Tabla 5.1, también se menciona el uso que se le dio en el destilador y una breve descripción de su función en el dispositivo. En la Figura 5.1 se muestra un esquema del dispositivo, donde se muestran cada uno de sus componentes.

Figura 5.1 A. Componentes del destilador solar ecológico: 1. Contenedor de agua de la llave, 2. Base metálica, 3. Mangueras de alimentación, 4. Control de llenado, 5. Evaporador/Condensador, 6. Nivel de referencia, 7. Mangueras de recolección de agua destilada, 8. Colector de agua destilada. B. Vista del evaporador, C. Sistema evaporador/Condensador (destilador individual).



Fuente: Elaboración Propia

Operación del destilador solar

El desempeño del destilador solar se monitoreo entre los meses de Mayo y Junio del 2017, en las instalaciones de la Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, en el estado de Morelos. El volumen inicial del agua de la llave para cada uno de los evaporadores fue de 100 mL, con un total de 600 mL dentro del sistema. El destilador se mantuvo en exposición a la radiación solar durante 12 horas, de 7 am a 19:00 horas, por un período de 6 días, cuantificando el volumen de destilación para cada destilador individual al final de cada proceso. Para examinar el efecto de la temperatura ambiente en el sistema, se seleccionaron un día considerado como nublado y uno soleado (con temperatura ambiente promedio de 27°C y ~30°C, respectivamente), monitoreando la temperatura interna de cada destilador individual cada media hora, empleando un termómetro de mercurio.

Pruebas fisicoquímicas

Para evaluar la calidad del agua obtenida con el destilador, se efectuaron pruebas fisicoquímicas de acuerdo a las Normas ASTM 1193: 2001 e ISO 3696: 1987.

Las pruebas realizadas fueron; conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), pH, absorbancia y carbón orgánico total (COT). Se utilizó un potenciómetro HANNA Instruments HI 9811, para las mediciones de CE, SDT y pH. Para las pruebas de absorbancia y COT se empleó un Espectrofotómetro HACH DR 3900. Todos los equipos fueron calibrados antes de cada medición, se trabajó a una temperatura de 25°C.

Resultados

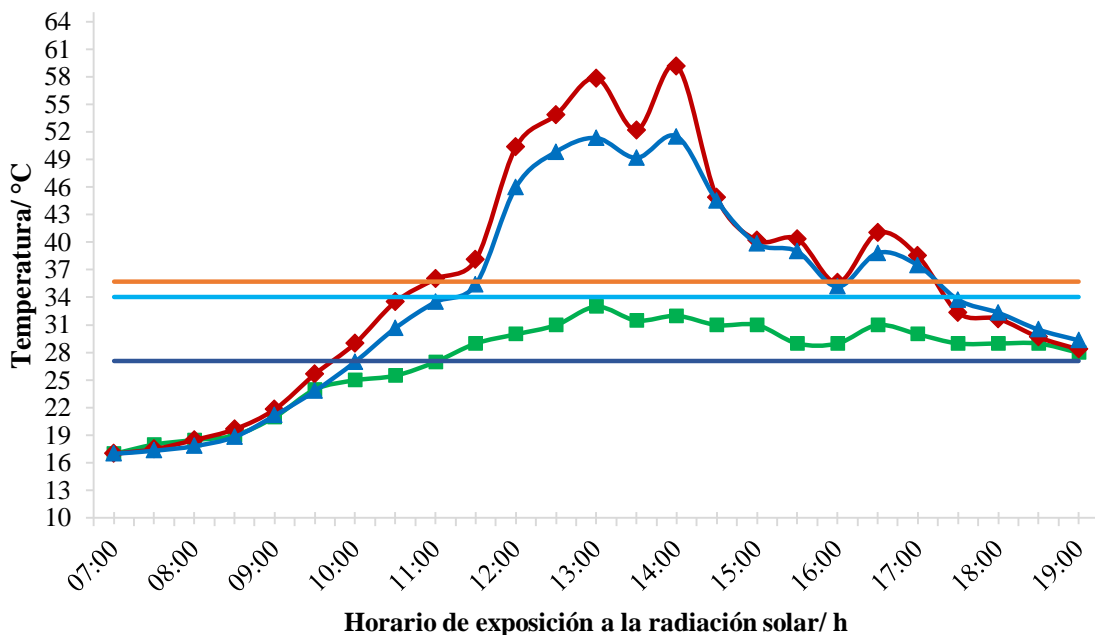
Temperaturas de operación

En el estado de Morelos, la temperatura media anual es de 21.5 °C, siendo los meses de Marzo, Abril, Mayo y Junio los más calurosos, con temperaturas que llegan a superar los 40 °C en la zona oriente y sur del estado (INEGI, 2016). El destilador solar se mantuvo en operación entre Mayo y Junio del 2017.

Las temperaturas registradas para cada uno de los destiladores individuales se promediaron, examinando temperaturas del agua interna en los evaporadores, la temperatura interna del destilador, así como la temperatura ambiente. Si bien las condiciones del clima fueron variables, los destiladores siguieron operando incluso en días nublados o con temperaturas por debajo del promedio en la zona.

El día 6 de junio fue un día registrado como nublado, con una temperatura ambiente promedio de 27°C. Este día se obtuvo una cantidad de agua destilada de 190 mL aproximadamente, comprobando la funcionalidad del dispositivo incluso en días nublados.

Gráfico 5.1 Comportamiento de las diferentes temperaturas registradas en un día nublado. (Día 06 de Junio 2017). ♦ Interna-vapor destilador, ▲ Agua dentro del destilador, ■ Temperatura Ambiente. Temperaturas promedio: — Interna-vapor destilador, — Agua dentro del destilador, — Temperatura ambiente.

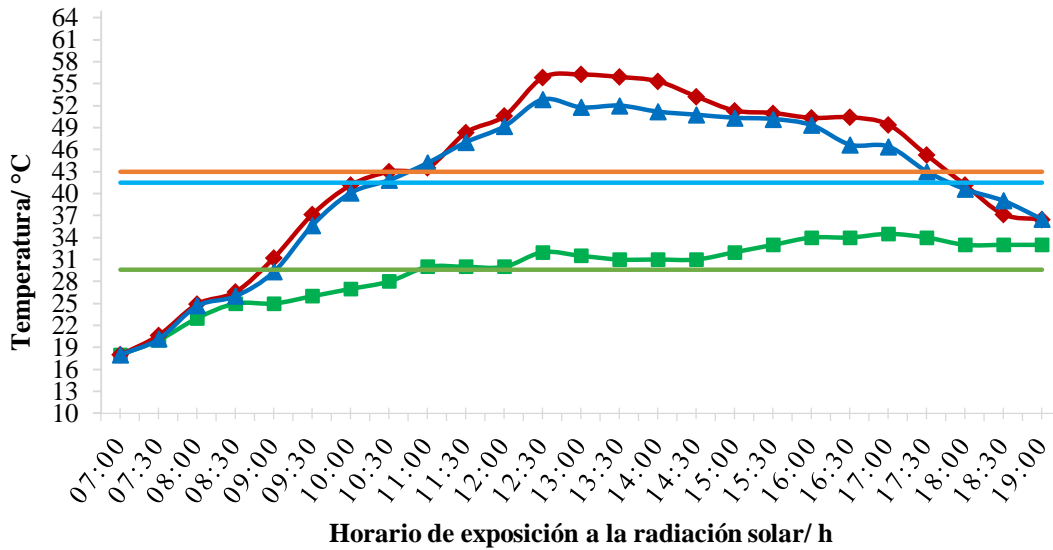


Fuente: Elaboración Propia

En la Gráfica 5.1 se puede observar que durante las primeras horas de mediciones, la temperatura interna dentro del destilador (línea roja ♦), fue incrementando de manera ascendente, desde los 17 °C hasta alcanzar los 38 °C al mediodía cuando la temperatura ambiente (línea verde ■) osciló entre los 17 y 29 °C. Éste es el intervalo de tiempo donde comienza la producción de agua destilada ya que la evaporación alcanza su punto máximo y comienzan a descender las gotas de vapor por las paredes de los condensadores a medida que la temperatura dentro y fuera del destilador disminuye.

Después del mediodía, la temperatura interna del destilador se incrementó rápidamente, alcanzando un máximo pico de 59 °C a las 14:30 horas. A partir de las 15:00 horas la temperatura empezó a descender hasta llegar a los 29 °C. Mientras que la temperatura ambiente se mantuvo casi estable, entre los 27 y 31 °C. La temperatura del agua en el destilador (línea azul ▲) mostró un comportamiento similar a la temperatura interna del destilador. El día 11 de Mayo fue un día registrado como soleado con una temperatura ambiente promedio de 29.5°C. Este día se obtuvo una cantidad de agua destilada de 320 mL aproximadamente, casi dos veces mayor que la obtenida en un día nublado. Esto demuestra que con la temperatura ambiente normal de la zona es posible producir agua destilada sin necesidad de otro tipo de energía ni costo adicional de operación.

Gráfico 5.2 Comportamiento de las diferentes temperaturas registradas en un día soleado. (Día 11 de Mayo del 2017). ♦ Interna-vapor destilador, ▲ Agua dentro del destilador, ■ Temperatura Ambiente. Temperaturas promedio: — Interna-vapor destilador, — Agua dentro del destilador, — Temperatura ambiente.



Fuente: Elaboración Propia

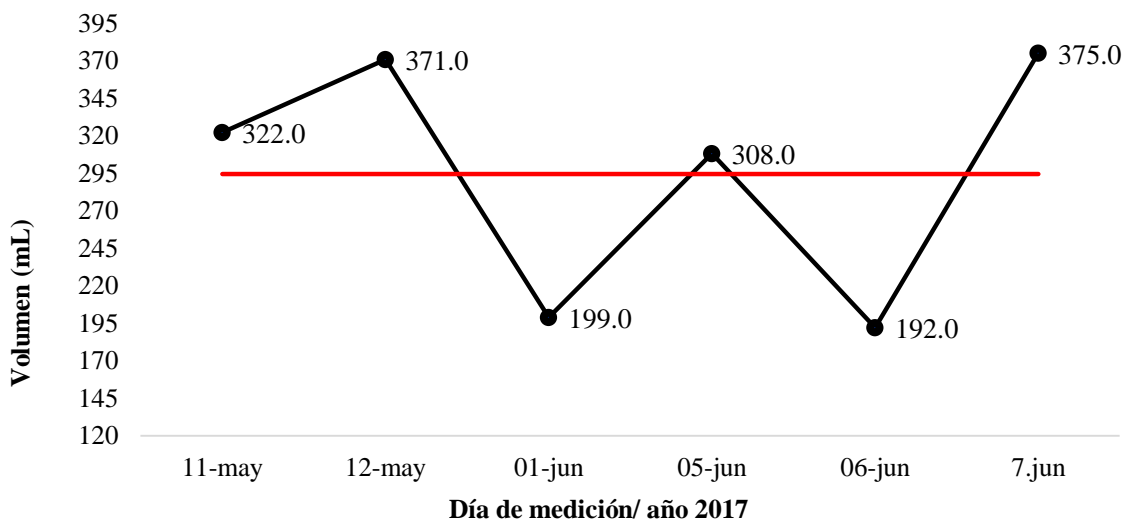
En la Gráfica 5.2 se puede observar que la temperatura interna dentro del destilador (Línea roja ♦), comienza a incrementarse rápidamente a la par de la temperatura interna del agua (Línea azul ▲), hasta llegar a una temperatura máxima al mediodía, manteniéndose casi estable en un intervalo de temperatura de 50 ± 5 °C aproximadamente durante 5 horas, para posteriormente ir descendiendo con el atardecer. Después de las 17:00 horas, tanto la temperatura interna dentro del destilador, como la del agua, continúan aproximadamente unos 5 °C por encima de la temperatura ambiente (Línea verde ■).

Esto permite que el destilador, a pesar de ya no estar expuesto directamente al sol, pueda seguir funcionando, por tanto, continúa produciendo agua destilada. La exposición prolongada del destilador a los rayos del sol facilita y aumenta la producción de agua destilada en comparación con un día nublado.

Volumen de destilación

Entre los parámetros que se examinaron, se encuentra el volumen de destilación obtenido al final de cada uno de los 6 días de operación del dispositivo. En la Gráfica 5.3, se observa que se puede obtener un volumen de destilación mínimo de aproximadamente 192 mL y un máximo de 375 mL en condiciones de temperaturas ambientales promedio de 28 ± 1 °C.

Gráfico 5.3 Volumen de destilación obtenido los días de prueba. ● Volumen de destilación por día (mL), — Promedio de agua destilada obtenido ~300 mL



Fuente: Elaboración Propia

Del volumen inicial de agua que ingresó al destilador, el 50% se destiló, 47% correspondió a residuos (agua sin destilar) y el 3% quedó distribuido en el interior del dispositivo y las mangueras, agua que no fue capaz de llegar al colector de destilación.

Considerando el promedio de destilación obtenido de aproximadamente 300 mL, con una producción diaria de 5 días a la semana, al final de un semestre se obtendrían 36 L de agua destilada, aproximadamente un tercio de la necesaria para abastecer los laboratorios de docencia dentro de la institución. El agua destilada estaría siendo producida única y exclusivamente con energía solar y agua común.

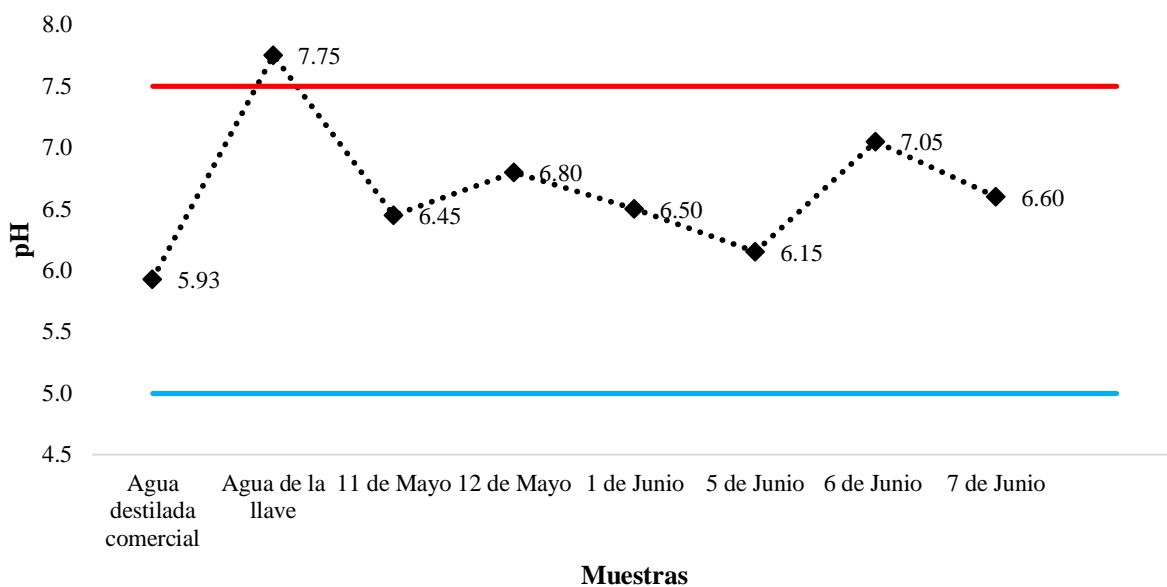
Pruebas fisicoquímicas

pH

De acuerdo a las Normas ASTM 1193: 2001, Standard specification for reagent water e ISO 3696: 1987 Water for analytical laboratory use – Specification and test methods, donde se hace referencia a los niveles de pureza y calidad de distintos tipos de agua de acuerdo a su uso (Valdivia et al., 2010).

El pH del agua destilada debe estar en un intervalo de 5 a 7.5. En la Gráfica 5.4 se muestra el pH del agua destilada obtenida, comparada con la comercial, y de la llave. Se puede observar que el pH del agua destilada obtenida en el dispositivo, está dentro de los límites permitidos por las normas, con un pH que se encontró en 6.5 ± 0.5 , valores muy cercanos al del agua destilada comercial, y menores que el agua de la llave con la cual se alimentó el destilador.

Gráfica 5.4 Comparación de los valores de pH del agua destilada, respecto de las Normas ASTM 1193: 2001 e ISO 3696: 1987, agua destilada comercial y de la llave. ♦ pH de diferentes muestras. Límites según normas: — Mínimo 5.0, — Máximo 7.5

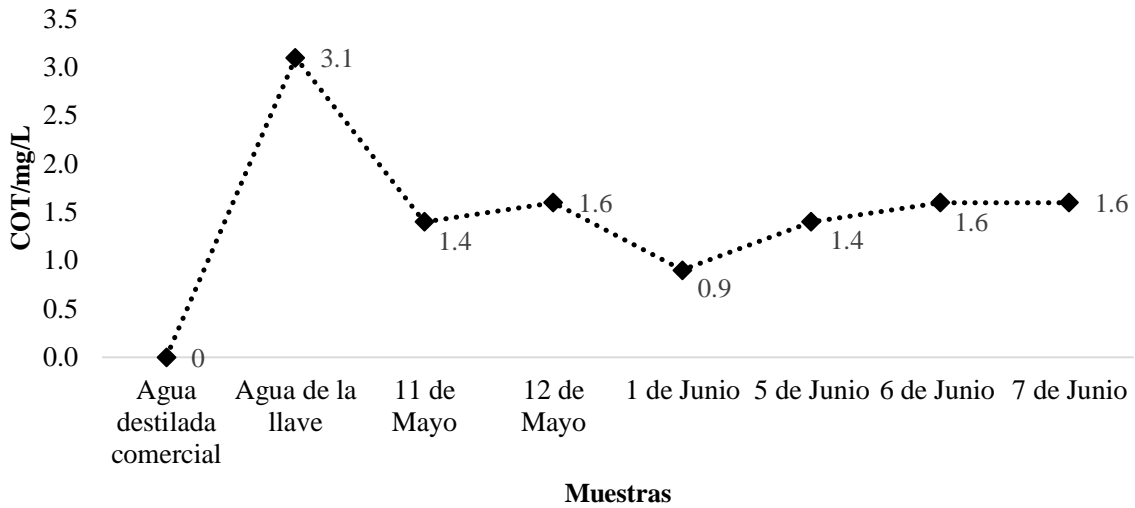


Fuente: Elaboración Propia

Carbón Orgánico Total (COT)

Los valores máximos permitidos de carbón orgánico total, indicados en las Normas ASTM 1193: 2001 son de 0 a 50 mg/L para el grado Tipo II, la cual es recomendada para la mayoría de las pruebas analíticas y generales de laboratorio, tales como los análisis hematológicos, serológicos y microbiológicos.

Gráfica 5.5 Valores de la prueba de COT, de los días seleccionado en Mayo y Junio del 2017



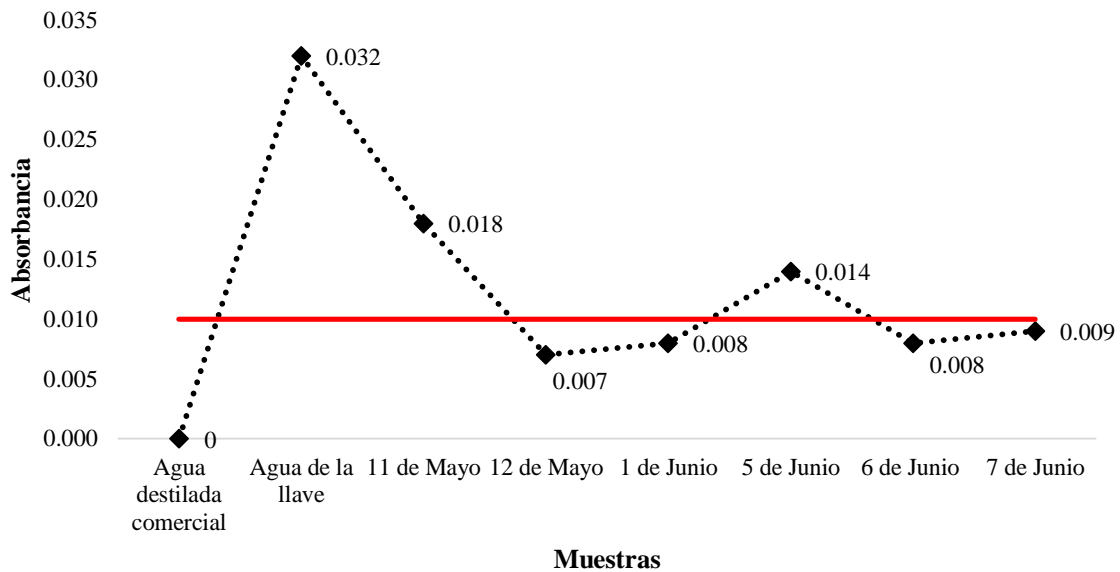
Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en la Gráfica 5.5, que los valores de COT del agua destilada están dentro de las especificaciones. Esta gráfica también muestra que los niveles de COT del agua de la llave disminuyen con el proceso de destilación solar, en aproximadamente un 50% de su valor inicial. Considerando esto se puede decir que existe la posibilidad de procesar nuevamente el agua destilada obtenida (bidestilación) para disminuir los niveles de carbón orgánico y aproximarlos al valor del agua destilada comercial.

Absorbancia

La espectrofotometría es uno de los métodos de análisis más usados, y se basa en la relación que existe entre la absorción de luz por parte de un compuesto y su concentración. Cada sustancia tiene su propio espectro de absorción, el cual es una curva que muestra la cantidad de energía radiante absorbida por la sustancia en cada longitud de onda del espectro electromagnético, es decir; a una determinada longitud de onda de la energía radiante cada sustancia absorbe una cantidad de radiación que es distinta a la que absorbe otro compuesto (Neira, 2010). La medición de los datos de la absorbancia fue realizada a una longitud de onda de 321 nm, puesto que es donde se encontró el pico de absorbancia más alto al momento de la medición con el espectrofotómetro. Los valores obtenidos se muestran en la Gráfica 5.6. Los niveles permisibles indicados en las normas consideran a 254 nm de longitud de onda un valor de 0.01.

Gráfica 5.6 Valores de la absorbancia del agua a una longitud de onda de 321 nm de Mayo a Junio del 2017. ♦ Absorbancia, — Nivel de referencia de acuerdo a normas



Fuente: Elaboración Propia

En los datos presentados en la Gráfica 5.6 se observa que las muestras obtenidas el día 11 de mayo y 5 de junio se encuentran sólo unas milésimas por arriba del nivel permitido para la calidad de agua destilada grado II según la ISO 3696: 1987, que es comparativa con el grado tipo II de la ASTM 1193: 2001. Las demás muestras cumplen satisfactoriamente con el valor de referencia de acuerdo a las normas.

Los valores del agua producida por el destilador, fueron comparados con los del agua destilada comercial utilizada en los laboratorios de docencia dentro de la Universidad, a fin de tener una referencia del grado de calidad del agua producida en el destilador. Los parámetros se encuentran dentro de las especificaciones de las Normas antes mencionadas, donde se señalan los valores máximos permitidos para la determinación del grado de calidad de agua para uso de laboratorios.

3.3.4. Conductividad eléctrica, Sólidos Disueltos Totales.

De acuerdo a las normas, el valor máximo de la conductividad eléctrica para el agua destilada calidad tipo II y grado II a 25°C debe ser de 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En este estudio, el agua destilada tuvo una conductividad de 0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que se encuentra dentro del límite permisible, y es idéntico que el valor del agua comercial examinada. Los sólidos disueltos totales obtenidos fueron de 0 g/L, idéntico que el valor del agua comercial examinada.

Agradecimiento

Se agradece a la Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, perteneciente a la Universidad del Estado de Morelos, por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

Conclusiones

El destilador solar ecológico construido, permite aprovechar la radiación directa de los rayos del sol con el uso de botellas de PET transparentes. El estado de Morelos ofrece temperaturas en su mayoría cálidas, por lo cual el destilador puede funcionar satisfactoriamente. Además, se demostró que aún en un día nublado el dispositivo continúa con su funcionamiento sin afectar los parámetros de calidad. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que el destilador ecológico tiene una producción promedio diaria de destilación de aproximadamente 300 mL, utilizando 600 mL de agua de la llave. Se concluye que la eficiencia del destilador es del 50% en condiciones diversas de clima y con un tiempo de exposición a la radiación solar de 12 horas. Queda demostrado que es posible obtener agua destilada con un dispositivo experimental que funcione única y exclusivamente con energía solar. Los resultados de las pruebas fisicoquímicas y el cumplimiento de los parámetros de calidad de agua con las Normas ASTM 1193: 2001 e ISO 3696: 1987 permiten concluir que el agua obtenida con el destilador es de calidad tipo II y grado II con respecto a los estándares antes mencionados. La pureza del agua obtenida, es la adecuada para pruebas analíticas y generales de laboratorio, lo cual brinda la oportunidad para producir agua destilada de manera sustentable.

Sugerencias para futuros trabajos

En este trabajo se planteó la necesidad de proponer una alternativa para la producción de agua destilada empleando materiales reciclados, así como energía solar, como una aplicación práctica en la Institución. Sin embargo, la eficiencia del dispositivo aún es baja, así que para futuros trabajos se buscará incrementar la eficiencia del sistema, así como el volumen de destilación. Además, es necesario monitorear el desempeño del destilador considerando un mayor período de tiempo y condiciones ambientales.

Referencias

- Aleixandre, J., L., Castelló, L., Cogollos, J., L. Aleixandre, J.,L., Aleixandre, R. (2019). Renewable energies: Worldwide trends in research, funding and international collaboration. *Renewable Energy*, 139, 268-278.
- Blanco, J., Malato, S., P. Fernández-Ibáñez, Alarcón, P. D., Gernjak, W., Maldonado, M. I. (2009). Review of feasible solar energy applications to water processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 1437-1445.
- Bogdanov, D., Farfan, J., Sadovskaia, K., Aghahosseini, A., Child, M., Gulagi, A., Oyewo, A., S., Barbosa, L., S., N., S., and Breyer, C. (2019). Radical transformation pathway towards sustainable electricity via evolutionary steps. *Nature Communications*, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08855-1>.
- Braun, F.G., Hooper, E., Wand, R., Zloczysti, P. (2011). Holding a candle to innovation in concentrating solar power technologies: A study drawing on patent data. *Energy Policy*. 39, 2441-2456.
- Buker, M. S., Riffat, S. B. (2015). Building integrated solar thermal collectors – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.51, 327-346.
- Castillo, M. (2017). Cap. 4. Sistemas termosolares para el sector industrial. *Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial servicios e industrial*, pp (101-134). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Energías Renovables.
- Devabhaktuni, V., Alam, M., Reddy, Depuru., S. S. R., GreenII, R. C., Nims, D., Near, C. (2013). Solar energy trends and enabling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,19, 555-564.
- Díaz, C., Yubeto, E. (2019). Evaluación de la eficiencia de los bioabonos del baño ecológico en la producción de plantones de quenual (*polylepis incana*) en el vivero forestal ubicado en la quebrada cáchina- distrito de Huallanca-provincia de Bolognesi -región Ancash-2018.
- Eltawil, M. A., Zhengming, Z., Yuan, L. (2009). A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 2245-2262.
- Gao, X. Z., Hou, Z. X., Guo, Z., Chen, X. Q. (2015). Reviews of methods to extract and store energy for solar-powered aircraft. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 44, 96-108.
- INEGI. (2016). Cuéntame INEGI. Recuperado el 3 de Agosto del 2017 de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mor/territorio/clima.aspx?tema=me&e=17>.
- Khan, J., Arsalan, M. H. (2016). Solar power technologies for sustainable electricity generation – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.55, 414-425.
- Köberle, A. C., Gernaat, D.E.H.J., van Vuuren, D. P. (2015). Assessing current and future techno-economic potential of concentrated solar power and photovoltaic electricity generation. *Energy* 89, 739-756.
- Logan, B., E. (2008). *Microbial Fuel Cells*. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA.
- Mustayen, .G.M.B., Mekhilef, S., Saidur, R. (2014). Performance study of different solar dryers: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 34, 463-470.
- Neira M. (2010). Fundamentos de espectrofotometría. Recuperado el 1 de Junio del 2017 de https://www.u-cursos.cl/odontologia/2010/2/OD0903/1/material_docente/objeto/566977
- Pirasteh, G., Saidur, R., Rahman, S. M. A., N.A.Rahim, N. A. (2014). A review on development of solar drying applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 31,133-148.

Rojas, J. I., (2019). Diseño a nivel conceptual de un biodigestor para la producción de biogás a nivel residencial.

Sharon, H., Reddy., K. S. (2015). A review of solar energy driven desalination technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 41, 1080-1118.

Valdivia, R.Y., Valdés, S. P., Gómez, M. L. (2010). Agua para uso en laboratorios. Recuperado el 1 de Junio del 2017 de <http://www.redalyc.org/pdf/2230/223017807002.pdf>

Xu, X., Vignarooban, K., Xu, B., Hsu, K., Kannan, A. M. (2016). Prospects and problems of concentrating solar power technologies for power generation in the desert regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53, 1106-1131.