



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“DESTILADORES PARA LA DESALINIZACION DE AGUA DE
MAR”

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

Presentado por:

Rosa Jazmín Dueñas Ruiz

Asesor:

Mg. Franco Canziani Amico

Co-asesor:

Ph.D. Jaime Chacana Olivares

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°158-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 11 de noviembre de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Destiladores para la desalinización de agua de mar**, presentado por:

- **Dueñas Ruiz, Rosa Jazmin**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller en **Ingeniera 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: **Destiladores para la desalinización de agua de mar** con N° de registro de la carrera: **036-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Franco Canziani Amico** como asesor y **Jaime Chacana Olivares** como co-asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



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

DESTILADORES PARA LA DESALINIZACION DE AGUA DE MAR

Rosa Jazmín Dueñas Ruiz

Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

rjdr96@gmail.com

RESUMEN

De toda el agua que cubre el planeta, solo es accesible el 0,62% para el desarrollo de la actividad humana, la cual ha perdido notablemente su calidad, causando escasez en los últimos años, y se estima que en el 2050 los afectados por la escasez de agua potable serán 1,700 millones de habitantes. Dada esta problemática han evolucionado las técnicas para la desalinización de agua de mar, como la osmosis inversa, destilación multietapas, electrodiálisis y destilador solar. Siendo esta ultima la que más beneficios presentan referente a su rendimiento, la cual evalúa su bajo costo, efectividad, producción y calidad del agua desalada, gasto energético, mantenimiento y operación.

Palabras clave: destiladores, escasez de agua, rendimiento.

ABSTRACT

Of all the water that covers the planet, only 0.62% is accessible for the development of human activity, which has significantly lost its quality, causing scarcity in recent years, and it is estimated that in the 2050 those affected by the shortage of drinking water s Were 1.7 million of inhabitants. Given this problem have evolved techniques for the desalination of seawater, such as reverse osmosis, distillation multistage, electro dialysis and solar distiller. Being the latter the most benefits presented with respect to its performance, which evaluates its low cost, effectiveness, production and quality of desalinated water, energy expenditure, maintenance and operation.

Keywords: distillers, lack of water, performance

REVISIÓN TEÓRICA

Distribución de los cuerpos de agua

Los cuerpos de agua cubren gran parte de nuestro planeta, ya que el 97% se encuentra en los mares (Salamanca, 2016), lo que aproximadamente es 1,351 millones de km³ (Toledo, 2006). Con respecto al 3 % restante, solo el 0,62% es accesible para el desarrollo y sostenimiento de la vida humana (Arellano, 2002), donde se dispone de 0,5% y 0,2%, distribuidos en las aguas continentales, y en los ríos y lagos, respectivamente (Auge, 2007). La problemática se origina al ser que los cuerpos de aguas dulces tienen el menor volumen de agua en el planeta, ya que aproximadamente solo se tiene el 2,5%, lo que equivale a 34,650 millones de km³ (Toledo, 2006), esto se debe a que aproximadamente 113 km³ de agua que precipitan cada año en el ciclo hidrológico, 42 km³ se descargan en los acuíferos o retornan a los océanos y 71 km³ se evapora para retornar a la atmosfera (Toledo, 2002).

Contaminación del agua

El incremento de la contaminación del agua se ha dado por la magnitud de las actividades antropogénicas, considerándose de origen doméstico e industrial. El origen industrial, presente en el envenenamiento por metales pesados (Prieto-Méndez, Gonzales-Ramírez, Román-Gutiérrez y Prieto-García, 2009) y el uso de fertilizantes, los cuales ahora se consideran indicadores de la contaminación del agua (Cervantes, 2007). Pese a ello, la contaminación de origen domestico es la más evidente, ya que la carga de materia orgánica y microorganismos de origen fecal se ha propagado (Arcos-Pulido, Ávila de Navia, Estupiñán-Torres y Gómez-Prieto, 2005), teniendo en su mayoría, como disposición final los ríos por el depósito de basura en el cauce y/o en los márgenes

(Perló-Cohen y Zamora-Saenz, 2017). Finalmente, son estos casos los causantes de la contaminación en el agua, afectando notablemente su calidad.

Actividades antropogénicas

La actividad del hombre ha tenido un enorme dominio en el desequilibrio del sistema del balance de agua y calor, ya sea por la cantidad de quema de árboles y el aumento de la concentración de desechos (Guerrero, 2012) que se ha magnificado por diversos factores como; desenvolvimiento industrial y agropecuario, crecimiento poblacional y posición geográfica de las ciudades (Herrera, Vela, Morales y Castro, 2016), lo que causa la denigración de la calidad del agua y alza de costos para su tratamiento (Andrade, 2004), siendo este último necesario, si es que se desea destinar para consumo humano, industrial y agrícola (Dévora-Isiordia, González-Enríquez, y Ponce-Fernández, 2012).

Desarrollo agropecuario

El desarrollo agropecuario está afectando las fuentes dulces de agua de maneras distintas; la degradación de su calidad y el agotamiento del recurso. La degradación de la calidad del agua muchas veces se debe a la contaminación del suelo para fines agrícolas (Tobón-Marulanda, López-Giraldo y Paniagua-Suárez, 2010), esto se debe principalmente a los insumos que emplean para el suelo que afectan las aguas subterráneas (García-González, Carvajal-Escobar y Jiménez-Escobar, 2007), como los plaguicidas y fertilizantes, este último causa grandes cantidades de nitrógeno residual que provoca la aglomeración de nitrato en la zona de atiborramiento de agua (Abarca y Mora, 2007). Por último, son estas actividades las que consumen aproximadamente el 80% de fuentes de agua dulce (Guerrero, 2012).

Desarrollo industrial

El avance en la industria se ha dado con fines de lucro, lo que ha causado la modificación de los paisajes hidrológicos e intensificado los riesgos de impactos incurables (Toledo, 2006), para esta actividad se designa aproximadamente el 20% del agua de fuentes dulces (Guerrero, 2012). La contaminación por el factor industrial provoca grandes cantidades de aguas residuales no amigables con el ambiente, como el caso de la industria láctea, donde el lactosuero se descarga al drenaje, motivo por el cual altera las propiedades del suelo y el agua, a razón del nitrógeno soluble (Valencia y Ramírez, 2009), asimismo, la contaminación por la industria de curtiembre, minera y petróleo son complicados de tratar sus aguas residuales, ya sea por el uso de metales pesados, sales inorgánicas, polímeros orgánicos, entre otros (Esparza y Gamboa, 2001).

Escasez de agua potable

En el mundo, 1 100 millones de habitantes necesitan acceso al agua potable (Centro Virtual de Información del Agua, 2006), esto ha conllevado que el 45% no tengan acceso al servicio del mismo, lo que en cifras corresponde aproximadamente en 2,5 mil millones de habitantes que no tienen del servicio de purificación del agua y 1000 millones de habitantes que carecen del acceso agua potable (Aguilar y Camacho, 2011), esto se debe a la penuria del recurso hídrico provocada, en su mayoría, por la actividad antropogénica, que es causante del deterioro de su calidad, que conlleva a generar limitaciones de acceso por la calidad y costos (Jaramillo, Molina y Bentacur, 2011). Dadas las circunstancias mencionadas anteriormente, se estima que en el 2050 los afectados por la escasez de agua potable serán 1,700 millones de habitantes (Toledo, 2006).

Crecimiento demográfico

La crisis ambiental se debe principalmente, al escaso conocimiento del ecosistema natural, lo que pone en riesgo cumplir con las necesidades básicas de su población (Izazola, 2001), sobre todo, por el incremento excesivo de la misma (7,53 mil millones en el 2017, Banco Mundial, 2017). Por ello, la población reclama a sus autoridades la gestión desordenada del crecimiento de la ciudad (Perló-Cohen y Zamora-Saenz, 2017), como por la centralización en la zona costa, ya que en el mundo 40% de habitantes vive a una distancia menor de 100 km del mar (Guaita, Muñoz, Rivera, Tobar y Uribe, 2009), siendo esta zona la que más carece de agua dulce.

Consumo de agua

Existen conflictos por el empleo de agua a nivel mundial, ya que el consumo se presenta en el saneamiento, agricultura, industrial y consumo humano (Otto, Guerrero, y Cordova, n.d.), este último es un acto habitual y válido, ya que es necesario para realizar las actividades humanas, por ello se sugiere que el consumo diario de agua sea de 50 L por habitante para satisfacer sus necesidades, sin embargo, se encuentra que 960 millones carecen de este volumen de agua y 85 millones tienen menos de 10 L diarios por habitante (Guerrero, 2012). A nivel global, el consumo de agua en Europa, que mantiene 8% de los recursos hídricos, sus habitantes consumen de 250 L/d a 350 L/d y el consumo de agua en América, que mantiene 41% de los recursos hídricos, los habitantes de los Estados Unidos consumen 600 L/d y los habitantes de México consumen 350 L/d (Nava, 2006).

Tecnologías para desalinización

Son técnicas que permiten obtener agua purificada y apropiada para el consumo humano (Moreno, 2015), estas se basan en separar la sal del agua de mar. Actualmente, existen diversas tecnologías que persiguen la desalinización, las cuales se diferencian en el costo de operación, su impacto en el ambiente y el consumo energético (Lechuga, Rodríguez, y Lloveras, 2007), este último suele ser el más llamativo, puesto que, si se desea obtener mayor producción, se necesitan grandes cantidades de energía (Mercado y Lam, 2015). Finalmente, las tecnologías desalinizadoras se revelan como viables para su aplicación (Dévora-Isiordia et al., 2012).

Osmosis inversa

La osmosis inversa (OI), consiste en la división de agua dulce del agua salada usando una membrana semipermeable (Guaita et al., 2009), de modo que extraen los sólidos del agua por medio de las mismas que mantienen permeabilidad baja para sales y alta para el agua (Moreno, 2015). Las ventajas de la OI es la remoción efectiva de contaminantes orgánicos e inorgánicos, sin embargo, su desventaja es el elevado costo por la limpieza de la membrana que retiene aquellos contaminantes (Lechuga et al., 2007), el consumo de la energía de 2 kWh/m³ a 2,8 kWh/m³ (Dévora-Isiordia et al., 2012), finalmente, es la tecnología de la OI la que se aplica con mayor cotidianidad en la actualidad.

Destilación multietapas (MED)

Consiste en múltiples etapas orientadas una sobre la otra, donde el agua superior cae hasta llegar a la última etapa, la cual será calentada por la bandeja para seguir el proceso de evaporación y condensación (Franco, Saravia y Esteban, 1999). Usualmente se aplica para proyectos de escala mayor, dado que el costo del mantenimiento es elevado

(Lechuga et al., 2007), ya que su consumo energético oscila es de 3,4 kWh/m³ a 4 kWh/m³, lo que causa que su costo de producción sea de aproximadamente 1,5 \$/m³ (Dévora-Isiordia et al., 2012).

Electrodiálisis

Emplea la metodología de separación electroquímica para agua salobre donde las sales disueltas atraviesan la membrana selectiva, donde se reduce el 40% del total de sales (Dévora-Isiordia et al., 2012), sin embargo, este proceso de separación de sales consume alto consumo de energía (Lechuga et al., 2007), elevado costo de mantenimiento y complejidad de operación, es decir, es efectivo para su fin, pero se recomienda su aplicación para industrias que puedan asumir sus costos.

Destilador solar

Los destiladores solares consisten en eliminar los residuos de sal existentes en el agua de mar mediante la radiación solar (Guaita et al., 2009), estos métodos han sido empleados por el hombre desde hace miles de años (Prakash y Velmurugan, 2015), donde consiste en captar el vapor condensado para la obtención de agua desalada (Lechuga et al., 2007). De modo que, esta tecnología presenta su mayor beneficio en su sencilla implementación en zonas rurales y áridas, y en el empleo de la energía solar (Yabroudi, Cárdenas, Aldana, Núñez, y Herrera, 2011).

Rendimiento de los destiladores solares

La tecnología que desarrolla los destiladores solares tienen como motivo aumentar su rendimiento, por ello recurren a ligeras innovaciones como adaptarles concentradores solares que permitan aumentar la eficiencia (34,04%; Mercado y Lam, 2015). El

rendimiento de los destiladores solares se puede medir en varios términos como costos, complejidad del mantenimiento y operatividad, producción y calidad. De los beneficios más atractivos de la destilación es la inexistencia del costo de operación y de mantenimiento, ya que en su mayoría los destiladores se adaptan a los factores climáticos (Mercado y Lam, 2015), asimismo, el costo unitario oscila en 28\$/m³. lo que se le atribuye a su baja producción, restricción en instalación y al no causar gasto energético por funcionar mediante energía solar (Lechuga et al., 2007).

Sin embargo, en términos de su producción de agua salada es lo menos atractivo de esta tecnología, dado que al depender de las condiciones climáticas no asegura una producción constante, sin embargo, éstas se han ido mejorando al acoplar otras tecnológicas, tales como; un destilador solar con un concentrador cilíndrico parabólico que mantiene una producción de 2,37 L/d (Mercado y Lam, 2015), un destilador solar tubular con una producción de 2,42 L/d (Yabroudi et al., 2011), un destilador solar de fibra de vidrio tiene una producción de 2,2 L/d (Fonseca-Fonseca, Abdala-Rodríguez, Griñán-Villafañe, y Sánchez-Hechevarría, 2005), y un destilador solar de bandeja de fibra de vidrio con producción de 2,2 L/d (Fonseca-Fonseca, Brito-Sauvanell, Andión-Torres, Perdomo-Miranda, Fernandez-Parra, 2009), de manera que el promedio de producción de agua desalada es 2,29 L/d. Pese a ello, el destilador solar permite obtener alta calidad de agua, dado que, mayormente la conductividad es baja (Mercado y Lam, 2015).

CONCLUSIONES

La actividad antrópica es la principal causante de la pérdida de calidad del agua disponible para las actividades humanas, frente a esta problemática han surgido diversas tecnologías para la desalinización de agua mar como; osmosis inversa, destilación multietapas, electrodiálisis y destilador solar. La osmosis inversa es la tecnología con mayor dominio en el mercado, pese a que no han evolucionado en los últimos años, como los destiladores solares que en los últimos años están persiguiendo el incremento de su rendimiento. Los destiladores solares, mantienen bajo costo unitario (28 \$/m³), incremento en la producción de agua desalada (2,29 L/d), efectividad de 34,04%, alta calidad de agua desalada, inexistente gasto en mantenimiento, incremento en producción de agua desalada, operación y gasto energético, estos cambios se han logrado gracias a las diversas innovaciones como el acoplamiento de concentradores solares, cambios en los parámetros de diseño y materiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abarca, S. y Mora, B. (2007). Contaminación del agua. *Revista Biocenosis*, 20(1-2), 137-139.

Aguilar, L. y Camacho, E. (2011). *Mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado mixto de la localidad de Quiruvilca Santiago de Chuco - La Libertad* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3281>.

Andrade, A. (2004). Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico. Ciudad de México, México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Arcos-Pulido, M., Ávila de Navia, S., Estupiñán-Torres, S. y Gómez-Prieto, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA Publicación En Ciencias Biomédicas*, 3(4), 69-79.

Arellano, J. (2002). *Introducción a la ingeniería ambiental*. Ciudad de Mexico, Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Auge, M. (2007). *Agua fuente de vida*. La Plata, Argentina.

Banco Mundial. (2017). *Población, total*. Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?end=2017&start=2017&view=bar>.

Centro Virtual de Información del Agua. (2006). *El agua en México: lo que todas y todos debemos saber*. Ciudad de México, México: Centro Mexicano de Derecho Ambiental.

Cervantes, A. (2007). El balance hídrico en cuerpos de agua cársticos de la Península de Yucatan. *Teoría y Praxis*, 3, 143-152.

Dévora-Isiordia, G., González-Enríquez, R. y Ponce-Fernández, N. (2012). Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México. *Ra Ximhai*, 8(2.), 57-68.

Esparza, E. y Gamboa, N. (2001). Contaminación debida a la industria curtiembre. *Revista de química*, 15(1), 41-63.

Flores-Ruiz, E., Miranda-Navales, M. G., y Villasís-Keever, M. A. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. Estadística inferencial. *Revista alergia México*, 64(3), 364-370. <https://dx.doi.org/10.29262/ram.v64i3.304>.

Fonseca-Fonseca, S., Abdala-Rodríguez, J., Griñán-Villafañe, P., y Sánchez-Hechavarría, J. (2005). Prototipo de destilador solar de fibra de vidrio. *Tecnología Química*, 25(3), 57-64.

Fonseca-Fonseca, S., Brito-Sauvanell, A., Andión-Torres, R., Perdomo-Miranda, E., Fernandez-Parra, M. (2009). Análisis exergético del destilador solar de bandeja de fibra de vidrio. *Tecnología Química*, 29(3), 17-26.

Fonseca-Fonseca, S., Brito-Sauvanell, A., Andión-Torres, R., Perdomo-Miranda, E., Fernandez-Parra, M. (2009). Análisis exergético del destilador solar de bandeja de fibra de vidrio. *Tecnología Química*, 29(3), 17-26.

García-González, M., Carvajal-Escobar, Y., Jiménez-Escobar, H. (2007). La gestión integrada de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático. *Ingeniería y competitividad*, 9(1), 19-29.

Guaita, C., Muñoz, P., Rivera, A., Tobar, J. y Uribe, D. (2009). *Plantas desalinizadoras de agua de mar*. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/ECE3CA6BE5247E7A0525811A0072B930/\\$FILE/86826665-Plantas-desalinizadoras-OK.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/ECE3CA6BE5247E7A0525811A0072B930/$FILE/86826665-Plantas-desalinizadoras-OK.pdf).

Guerrero, M. (2012). *El agua*. Ciudad de México, México: Fondo cultura económica.

Herrera, A., Vela, L., Morales, G. y Castro, I. (2016). Implementación de ósmosis directa y nanoaditivos magnéticos para desalinización de agua. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 199-206.

Izazola, H. (2001). Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, (47), 285-320.

Jaramillo, C., Molina, F., y Bentacur, T. (2011). Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de Corantioquia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10(19), 33-46.

Lechuga, J., Rodríguez, M., Lloveras, J. (2007). Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica. *Ingeniería*, 11 (3), 5-14.

Luque, F y Romero, M. (2017). *Diseño y construcción de un destilador de agua salada alimentado por medio de energías renovables* (Tesis de pregrado). Recuperado de <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004055.pdf>.

Mercado, C. y Lam, E. (2015). Evaluación de un sistema de desalinización solar, tipo concentrador cilíndrico parabólico de agua de mar. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 6(4), 19-27.

Mercado, C. y Lam, E. (2015). Evaluación de un sistema de desalinización solar, tipo concentrador cilíndrico parabólico de agua de mar. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 6(4), 19-27.

Moreno, D. 2015. *Control predictivo generalizado multivariable de un bastidor de osmosis inversa de una planta desalinizadora de agua de mar*. (Tesis de maestría). Recuperado de http://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/CONCYTEC/516/3/2015_Moreno_Control-predictivo-generalizado-multivariable.pdf.

Nava, L. (2006). Cuando la gestión del agua se vuelve problemática: el caso de México. *La Chronique des Amériques*, (38).

Otto de Keizer, Guerrero, E., y Cordova, R. (n. d.). *La aplicación del enfoque ecosistémico en la gestión de los recursos hídricos*. Unión Mundial para la Naturaleza.

Perló-Cohen, M. y Zamora-Saenz, I. (2017). Perspectivas ambientales sobre la contaminación y la recuperación del río Magdalena en la ciudad de México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(3), 377-391. <https://dx.doi.org/10.20937/rica.2017.33.03.02>.

Prakash, P. y Velmurugan, V. (2015). Parameters influencing the productivity of solar stills – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 585-609. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.136>.

Pratap, D., Veer, K., Singh, V. (2014). *Construction of double slope type solar still* (Tesis de pregrado). Recuperado de

<https://es.slideshare.net/ErVinayChauhan/solar-still-project-report>.

Prieto-Méndez, J., González-Ramírez, C., Román-Gutiérrez, A. y Prieto-García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10 (1), 29-44.

Salamanca, E. (2016). Tratamiento de aguas para el consumo humano. *Módulo Arquitectura CUC*, 17 (1), 29-48. <https://doi.org/10.17981/moducuc.17.1.2016.02>.

Sodha, M. S., Ashvini-Kumar, Twari, G.N., Tyagy, R. C. (1981). Simple multiple wick solar still: analysis and performance. *Solar Energy*, 26(2), 127-131. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(81\)90075-X](https://doi.org/10.1016/0038-092X(81)90075-X).

Tobón-Marulanda, F., López-Giraldo, L. y Paniagua-Suárez, R. (2010). Contaminación del agua por plaguicidas en un área de Antioquia. *Revista de salud pública*, 12(2), 300-307.

Toledo, A. (2002). El agua en México y el Mundo. *Gaceta Ecológica*, (64), 9-18.

Toledo, A. (2006). *Agua, hombre y paisaje*. México: Raul Marcó del Pont Lalli.

Valencia, E. y Ramírez, M. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua. *Elementos*, 16(73), 27-31.

Yabroudi, S., Cárdenas, C., Aldana, L., Núñez, J. y Herrera, L. (2011). Desalinización de agua empleando un destilador solar tubular. *Interciencia*, 36(10), 731-737.

Franco, J., Saravia, L., Esteban, S. (1999). Destilador multietapa. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, 9-21.