

# **Destiladores solares mejorados con condensación activa de baja complejidad en La Guajira**

## **Enhanced solar stills with low-complexity active condensation in La Guajira**

Roger David Pimienta Barros<sup>1</sup>

José María Duenas Meza<sup>2</sup>

*Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia*

### **Resumen**

Este estudio presenta una mejora en destiladores solares mediante un sistema de condensación activa de baja complejidad, diseñado para zonas de alta escasez hídrica, como las comunidades rurales de La Guajira. El sistema propuesto permite aumentar la eficiencia de recolección de agua en hasta un 92 % de la tasa de evaporación, superando los rendimientos típicos de destiladores convencionales sin requerir una infraestructura costosa o compleja. El destilador fue sometido a pruebas bajo condiciones de irradiancia propias de la región, comparando una fase sin condensación activa y otra con el sistema implementado. Los resultados indican un incremento en la cantidad de agua condensada en la fase activa, especialmente en momentos de alta irradiancia, sin exceder el balance de masa en el sistema. Los hallazgos destacan que esta tecnología es viable para contextos de bajos recursos, permitiendo adaptar la destilación solar a las condiciones áridas de La Guajira. Este diseño simple y efectivo no solo mejora el acceso a agua potable, sino que también ofrece una solución accesible y sostenible para comunidades afectadas por la sequía y la falta de recursos. La investigación contribuye a la base de conocimiento sobre tecnologías de desalación asequibles, adaptadas a las necesidades de regiones vulnerables.

**Palabras clave:** desalinización, destiladores solares, condensación activa, escasez de agua.

### **Abstract**

---

<sup>1</sup> Ingeniero electrónico, UNAD, <https://orcid.org/0000-0002-7921-1673> / roger.pimienta@unad.edu.co

<sup>2</sup> Ingeniero de sistemas, UNAD, jose.duenas@unad.edu.co

This study presents an improvement in solar stills through a low-complexity active condensation system designed for water-scarce areas, such as rural communities in La Guajira. The proposed system increases water collection efficiency up to 92% of the evaporation rate, surpassing the typical yields of conventional stills without requiring costly or complex infrastructure. The still was tested under regional irradiance conditions, comparing a phase without active condensation and another with the system implemented. Results indicate an increase in the amount of water condensed in the active phase, especially during high irradiance periods, without exceeding the mass balance of the system. The findings emphasize that this technology is viable for low-resource contexts, enabling solar distillation to adapt to the arid conditions of La Guajira. This simple and effective design not only improves access to drinking water but also provides an accessible and sustainable solution for communities impacted by drought and resource scarcity. This research contributes to the knowledge base on affordable desalination technologies tailored to the needs of vulnerable regions.

**Keywords:** Desalination, solar stills, active condensation, water scarcity.

## 1. Introducción

El acceso al agua potable es un desafío global, especialmente en regiones áridas y semiáridas como La Guajira, Colombia, donde la escasez de agua tiene impactos sociales y económicos críticos. La falta de recursos hídricos seguros y asequibles en esta región afectan el bienestar de las comunidades, en particular la población indígena wayuu, para quienes el agua es esencial no solo para el consumo, sino también para su sostenibilidad cultural (Ulloa, 2020; World Vision, 2019). La implementación de tecnologías sostenibles, como los destiladores solares de baja complejidad, representa una solución potencialmente viable. Estas tecnologías, impulsadas por la energía solar, permiten aprovechar los recursos naturales de la región y se alinean con iniciativas gubernamentales como el Programa Guajira Azul que ejecutó el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, y que buscó proporcionar soluciones de agua segura en zonas remotas (Minvivienda, 2019). En este contexto, la optimización de destiladores solares mediante técnicas que impliquen la condensación activa tiene el potencial de transformar la disponibilidad de agua en La Guajira.

Los estudios previos en destilación solar muestran que el diseño y los materiales de construcción son claves en la eficiencia de los destiladores.

Burbano (2014) analizó la eficacia de distintos materiales de aislamiento y el diseño de la cuenca del destilador en Kamusuchiwo, La Guajira, destacando la necesidad de adaptar estos sistemas al contexto local. Investigaciones como la de Rahmani & Zaidi (2022) sobre condensadores externos evidencian mejoras en la condensación, aunque son poco exploradas en entornos de recursos limitados y condiciones extremas como las de La Guajira. Además, el análisis comparativo de Hedstrand Welander (2023) resalta que las soluciones solares de bajo costo aún requieren optimizaciones para maximizar su aplicabilidad.

Este estudio propone mejorar la eficiencia de destiladores solares mediante condensación activa de baja complejidad, con el fin de cubrir las necesidades hídricas en La Guajira. La investigación contribuirá tanto al conocimiento en desalación solar como a ofrecer una solución práctica y escalable.

## **2. Metodología**

Se adoptó un enfoque experimental para evaluar la eficiencia de un destilador solar con condensación activa, tomando como base las metodologías establecidas por Velázquez-Limón *et al.* (2020), Patel *et al.* (2023) y Rahmani & Zaidi (2022), quienes analizaron destiladores de una cuenca mejorados mediante condensadores externos. Este enfoque se considera adecuado para evaluar en condiciones controladas el efecto de la condensación activa sobre la producción de destilado, permitiendo identificar las variaciones en la eficiencia y adaptarlas a las condiciones específicas de La Guajira.

El equipo principal incluye un destilador solar de cuenca simple, fabricado en acero inoxidable con una superficie de captación de 0,1225 m<sup>2</sup>, elegido por su resistencia en ambientes de alta salinidad. Para el sistema de condensación activa, se implementó un condensador externo basado en un enfriador por absorción simple, siguiendo las especificaciones de Su *et al.* (2017), Velázquez-Limón *et al.* (2020) y Yavuz *et al.* (2018). También se incorporaron características propias del destilador que ayudan a optimizar la transferencia térmica, como un fondo oscuro y la inclinación de la cubierta de vidrio.



*Figura 1.* Destiladores solares con y sin condensación activa.

El procedimiento experimental se dividió en fases. En la primera, el destilador se expuso a irradiancia solar cercana a  $1000 \text{ W/m}^2$ , registrando las tasas de evaporación y condensación cada 60 minutos como línea base. En la segunda fase, se activó el sistema de condensación y se midieron variables clave como temperatura y flujo de agua condensada para evaluar el rendimiento. Todos los equipos fueron calibrados previamente para asegurar la precisión en los datos.

Para el análisis de eficiencia, se usaron modelos de transferencia de masa (Javadi Yanbolagh *et al.*, 2020) y análisis exergético, aplicando MATLAB para simulaciones y procesamiento de datos. Los resultados serán sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de  $p < 0.05$  para comparar configuraciones y evaluar el impacto del condensador en la eficiencia. Las limitaciones principales del sistema incluyen la escala experimental y las variaciones climáticas, que pueden influir en la aplicación a gran escala.

### **3. Discusión**

El presente estudio demuestra cómo un sistema de condensación activa de baja complejidad, aplicado a un destilador solar de única cuenca en La Guajira, puede incrementar de manera significativa la eficiencia de recolección de agua sin comprometer la simplicidad y accesibilidad del diseño.



Figura 2. Temperatura del destilador a lo largo del día.

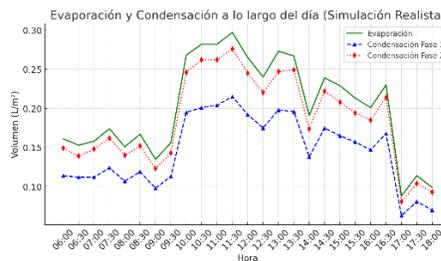


Figura 3. Evaporación y condensación a lo largo del día para fases 1 y 2.

El análisis de fases muestra diferencias en la eficiencia de condensación del destilador solar al activar el sistema de condensación adicional. En la Fase 1, sin el sistema activo, la tasa de condensación es limitada y depende de la evaporación, irradiancia y temperatura, alcanzando el 72 % del volumen evaporado. En la Fase 2, con el sistema activo, la tasa de condensación aumenta hasta el 92 %, especialmente en horas de alta irradiancia. La correlación entre irradiancia, temperatura, y tasas de evaporación y condensación respalda estos resultados.

Estos hallazgos coinciden con Patel *et al.* (2023), quienes demostraron que los sistemas de enfriamiento mejoran la producción de destilado, aunque incrementan la complejidad y costos. En contraste, esta investigación se enfoca en un sistema de bajo costo y complejidad, esencial para su aplicación en regiones de bajos recursos como La Guajira. Además, enfatiza la adaptación de tecnologías de destilación solar a condiciones áridas, como sugiere Burbano (2014a) en su estudio en la alta Guajira. Al combinar diseño pasivo con técnicas activas de baja complejidad, proponemos un sistema robusto y adaptable para el clima de La Guajira, contribuyendo al avance de la desalación sostenible en áreas de escasez hídrica.

## 4. Conclusiones

Este estudio demuestra que la incorporación de un sistema de condensación activa de baja complejidad en un destilador solar de única cuenca mejora la eficiencia de recolección de agua en hasta un 92 % de la tasa de evaporación, sin exceder los límites físicos realistas y sin requerir tecnologías avanzadas. A diferencia de los sistemas convencionales, el enfoque propuesto es de bajo costo y accesible, lo cual es fundamental para su implementación en regiones de bajos recursos, como las comunidades indígenas de La Guajira.

Los resultados confirman que es posible adaptar tecnologías de destilación solar a contextos áridos, optimizando el rendimiento sin comprometer la simplicidad del diseño. La combinación de condensación pasiva y activa permitió maximizar la producción de agua potable, ofreciendo una solución potencial para mitigar los problemas de acceso a agua en áreas vulnerables. Este enfoque representa una alternativa viable y sostenible, contribuyendo a la resiliencia de las comunidades frente a la escasez hídrica. Este estudio proporciona un modelo adaptable y eficaz para mejorar la eficiencia de destiladores solares en zonas de alta necesidad, sentando una base para futuras investigaciones en tecnologías de desalación accesibles y sostenibles.

## Referencias

- Burbano, A. M. (2014). Evaluation of basin and insulating materials in solar still prototype for solar distillation plant at kamusuchiwo community, high guajira. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(12), 547–552. <https://doi.org/10.24084/repqj12.395>
- Hedstrand Welander, J. (2023). *Addressing Water Scarcity in La Guajira: A Comparative Analysis of Four Water Systems*. (Tesis de grado). KTH Institute of Technology. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1780244/FULLTEXT01.pdf>
- Javadi Yanbolagh, D., Mazaheri, H., Saraei, A., & Jafari Mehrabadi, S. (2020). Experimental study on the performance of three identical solar stills with different heating methods and external condenser fully powered by photovoltaic: energy, exergy, and economic analysis. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 46(1). <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1817187>

- Minvivienda. (2019). *Colombia programa de agua potable y saneamiento para el departamento de la guajira* (CO-L1242). [https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-08/marco-de-gestion-ambiental-y-social-mgas\\_0.pdf](https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-08/marco-de-gestion-ambiental-y-social-mgas_0.pdf)
- Patel, V., Kaushik, L. K., Khimsuriya, Y. D., Mehta, P., & Kabeel, A. E. (2023). Performance investigation of a modified single-basin solar distiller by augmenting thermoelectric cooler as an external condenser. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(22), 61829–61841. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26291-z>
- Rahmani, A., & Zaidi, Y. (2022). Effect of condenser design on the performance of the natural circulation loop solar still: An experimental study. *Heat Transfer*, *51*(5), 4783–4798. <https://doi.org/10.1002/htj.22523>
- Su, B., Han, W., & Jin, H. (2017). An innovative solar-powered absorption refrigeration system combined with liquid desiccant dehumidification for cooling and water. *Energy Conversion and Management*, *153*, 515–525. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.028>
- Ulloa, A. (2020). The rights of the Wayúu people and water in the context of mining in La Guajira, Colombia: demands of relational water justice. *Human Geography*, *13*(1). <https://doi.org/10.1177/1942778620910894>
- Velázquez-Limón, N., López-Zavala, R., Hernández-Callejo, L., Aguilar-Jiménez, J. A., Ojeda-Benítez, S., & Ríos-Arriola, J. (2020). Study of a Hybrid Solar Absorption-Cooling and Flash-Desalination System. *Energies*, *13*(15). <https://doi.org/10.3390/en13153943>
- World Vision. (2019, March 22). *Niños de La Guajira están en riesgo por falta de agua potable*. <https://www.worldvision.co/sala-de-prensa/ninos-de-la-guajira-estan-en-riesgo-por-falta-de-agua-potable>
- Yavuz, Ö., Zehra, Ö., & Yaşar, T. N. (2018). Modelling, simulation and optimization of solar-assisted absorption cooling systems. In: F. Aloui & I. Dincer (eds.). *Green Energy and Technology* (pp. 1047–1071). Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-62572-0\\_67](https://doi.org/10.1007/978-3-319-62572-0_67)

