

Evaluación de la Viabilidad Técnica para la Captación del Agua Atmosférica acorde a las Condiciones Climatológicas del Municipio de Facatativá

Evaluation of the Technical Viability for the Atmospheric Water Capture according to the Climatological Conditions of Facatativá, Colombia

DOI: 10.34188/bjaerv4n4-066

Recebimento dos originais: 20/08/2021

Aceitação para publicação: 25/09/2021

Danilo A. Hernández Peñuela

Ingeniero Ambiental

Universidad de Cundinamarca/ Facultad de Ciencias Agropecuarias/ Universidad de Cundinamarca extensión Facatativá

Dirección: Universidad de Cundinamarca, Calle 14 con Avenida 15 Barrio Berlín, Facatativá, Cundinamarca. 253051. Colombia.

Correo Electrónico: danilo98hernandez@gmail.com

Jhonathan Ramírez Bohórquez

Ingeniero Ambiental

Universidad de Cundinamarca/ Facultad de Ciencias Agropecuarias/ Universidad de Cundinamarca extensión Facatativá

Dirección: Universidad de Cundinamarca, Calle 14 con Avenida 15 Barrio Berlín, Facatativá, Cundinamarca. 253051. Colombia.

Correo Electrónico: jhramirez@unal.edu.co

Rolando Mendoza Rincón

Ingeniero químico– Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia/ Profesor Ocasional Tiempo Completo de Ingeniería Ambiental, Universidad de Cundinamarca

Correo Electrónico: rmendozar@ucundinamarca.edu.co

ABSTRACT

The aim of this work was to determine the technical feasibility to obtain atmospheric water according to the weather conditions in Facatativá, Colombia. Atmospheric water capture is an alternative source for a population with limited access to water resources. This problem is especially serious for vulnerable communities that require the development of new sources of water supply. For the development of this work, three phases were considered: Climatological dataset related with relative humidity and temperature in Facatativá were obtained from the IDEAM Villa Inés Station for the period 2006 - 2016. With these data the maximum amount of condensable water per kilogram of air and operating ranges for the experimental setup were calculated. The second phase involved of an experimental setup consisting of a glass chamber connected to two Peltier cells. Saturated air was fed into the chamber. A 2⁴ factorial design was carried out where the factors were the air inlet flow and the temperature. The humidity and temperature data of the outlet air were obtained by means of electronic sensors. Finally, the interpretation of data and results of the water obtained were used to calculate the efficiencies of the process. The results of this work demonstrate the technical feasibility of obtaining water from humid air and propose improvements for the establishment of future assemblies.

Keywords: Atmospheric Humidity, Atmospheric Water Collection, Condensation, Water Resource.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la viabilidad técnica para la obtención de agua atmosférica según las condiciones climatológicas de Facatativá, Colombia. Lo anterior surge como alternativa al aumento en la densidad poblacional y a la escasa oferta hídrica en este municipio, lo cual genera limitación de acceso al recurso hídrico potable, y afectaciones a comunidades vulnerables. Considerando lo anterior, es relevante desarrollar nuevas alternativas que permitan la obtención y adecuado suministro del recurso hídrico. Este trabajo contempló tres fases: inicialmente, se obtuvieron y analizaron los datos climatológicos de humedad relativa y temperatura de Facatativá aportados por la Estación Villa Inés del IDEAM del 2006 - 2016, calculando la cantidad máxima de agua condensable por kilogramo de aire que es posible de obtener. La segunda fase consistió en un montaje experimental conformado por una cámara de vidrio conectada a dos celdas de Peltier. Aire saturado fue alimentado a la cámara. Se realizó un diseño factorial 2^4 donde los factores fueron el flujo de entrada de aire y la temperatura. Los datos de humedad y temperatura del aire de salida se obtuvieron mediante sensores electrónicos. Finalmente, la interpretación de datos y resultados de agua obtenida fueron usados para calcular las eficiencias del proceso. Los resultados de este trabajo demuestran la factibilidad técnica de obtener agua a partir del aire húmedo y propone mejoras para el establecimiento de montajes futuros.

Palabras Clave: Captación de Agua Atmosférica, Condensación, Humedad Atmosférica, Recurso Hídrico.

1 INTRODUCCIÓN

El incremento poblacional en el mundo cuya tasa de crecimiento se ha situado en un valor del 1.3% desde 1990 y la creciente urbanización en el mundo que ha pasado desde un 43% en 1990 a un 51% en 2010 (Nhapi, 2015) ha generado retos en el suministro de agua potable con una calidad adecuada. En América Latina, más del 20% de la población no tiene acceso a agua potable teniendo una tasa de 3 muertes de niños por cada 1000 por cada año (Montgomery & Menachem, 2017), lo cual hace necesaria que una correcta distribución de agua potable a toda la población sea una política pública de primer orden. Lo anterior inicia con la obtención de fuentes de agua renovables y perdurables en el tiempo.

Si bien Colombia es considerado como un país con abundantes recursos hídricos, superando por seis veces el promedio mundial y por tres veces el promedio latinoamericano, presenta importantes retos tanto en manejo y conservación de sus recursos hídricos como en la distribución del agua a la población, debido principalmente a contaminación de sus fuentes superficiales por vertimientos domésticos e industriales, a una pobre protección de las cuencas y a la deforestación (Gutiérrez et al., 2016). A lo anterior hay que añadirle la desigual distribución del recurso hídrico, existiendo zonas con un alto crecimiento poblacional donde el recurso es escaso. De hecho, menos del 50% de los municipios colombianos tienen acceso a solo el 2,7% de las fuentes hídricas, mientras

que los municipios con más de 500.000 habitantes tienen solo el 2,2% (Morales-Pinzón et al., 2012). Facatativá es un municipio del Departamento de Cundinamarca ubicado a 36 km al occidente de Bogotá, su fuente de agua es el Río Botello. Presenta una relación de oferta:demanda de agua del 88,45% que puede ser del 104,059% en un año seco, por lo que es clasificado como un municipio de alta vulnerabilidad por disponibilidad de agua (IDEAM, 2014). Dado que la fuente principal de agua en Facatativá es insuficiente, se requieren de otras fuentes no convencionales para suplir la demanda faltante.

La captación de agua atmosférica puede proveer alrededor de 50.000 km³ de agua independientemente de las condiciones geográficas (Zhao et al., 2019). Además, la captación de agua atmosférica se convierte en una alternativa prometedora de producción descentralizada de agua, superando los retos asociados al transporte de agua a larga distancia o al suministro de agua potable en áreas rurales (Zhou et al., 2020). Las investigaciones sobre el aprovechamiento de la humedad atmosférica como fuente de agua surgieron a principios del siglo XX, con estudios de potencial de agua colectada a través de atrapanieblas naturales como árboles tales como olivos o araucarias (Cereceda et al., 2014). Actualmente, se han desarrollado tecnologías que se pueden dividir en tres ramas: la recolección artificial de lluvia, la obtención de agua a partir de la niebla y la obtención de agua a partir del rocío. Esta última se puede lograr pasando el aire ambiente húmedo sobre una superficie refrigerante para obtener agua líquida condensada si la temperatura de la superficie es menor que la temperatura del punto de rocío del aire (Tu et al., 2018).

En este trabajo se realizó un montaje a escala laboratorio basado en el Efecto Peltier, que consiste en el tránsito de una corriente eléctrica a través de un circuito conformado por dos materiales semiconductores donde las uniones de estos se encuentran a la misma temperatura, produciendo un efecto termoeléctrico en el cual una de las uniones absorbe calor y la otra desprende. La superficie fría se coloca en contacto con el aire húmedo para lograr para que se produzca el fenómeno de condensación del aire atmosférico disminuyendo su temperatura por debajo del punto de rocío.

2 MATERIALES Y METODOLOGÍA

SELECCIÓN DE DATOS CLIMATOLÓGICOS:

Inicialmente se recopilaron datos climatológicos de temperaturas y humedad relativa máxima, media y mínima mensual del periodo 2006 - 20016 pertenecientes a la Estación Meteorológica Villa Inés del IDEAM con Núm. 21205940, ubicada en la Vereda Los Manzanos en Facatativá y cuyas coordenadas son 4°50'05.9"N y 74°23'02.3"W a una elevación de 2590 msnm, actualmente en funcionamiento e instalada desde 1977.

A los datos recopilados, se hizo un tratamiento para generar la cobertura de los datos de temperatura y humedad relativa vacíos en el periodo ya mencionado. El tratamiento se hizo mediante el Método de Lagrange (Ecuación 1).

$F_1(x) = \frac{x - x_1}{x_0 - x_1} F(x_0) + \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} F(x_1)$	Ecuación 1
--	------------

Dónde: $F_1(x)$ corresponde al año del dato faltante, x es el dato faltante, x_1 es el dato posterior, x_0 es el dato anterior, $F(x_0)$ es el año anterior y $F(x_1)$ es el año posterior.

MONTAJE A ESCALA LABORATORIO

El montaje a escala laboratorio estuvo conformado por dos secciones: instrumental y electrónica. La primera comprende los implementos que controlan las variables en la experimentación y la segunda realiza la toma, almacenamiento y tratamiento de datos durante de las corridas de laboratorio como se ilustra en la Figura 1.

El montaje posee una línea de flujo de aire seco (Linde Colombia S.A., Bogotá, Colombia) moderada por un controlador de flujo másico de aire de 0 a 500 mL min⁻¹ (Aalborg Instruments & Controls, Orangeburg, New York, USA) el flujo se varió entre 50 mL/min y 300 mL/min, este se dirige al humidificador, donde se satura con un burbujeador cuya temperatura se controló a través de recirculación de agua fría suministrada por un baño termostatado a una temperatura de 5°C, 10°C, 15°C y 20°C, posteriormente pasa por la cámara de condensación en donde están conectadas dos celdas de Peltier de área 38,44 cm² y finalmente a la cámara de medición donde se obtienen de manera electrónica los datos de temperatura y humedad relativa del aire de salida. Los datos finalmente son recopilados en un computador.

EXPERIMENTO

Se realizó un diseño factorial 2⁴ donde los factores fueron el flujo de entrada de aire y la temperatura. El flujo de aire se controló con un controlador de flujo de aire de 0 mL min⁻¹ a 500 mL min⁻¹ marca Aalborg. La temperatura del aire fue controlada mediante el enfriamiento del agua del humidificador a través de un baño termostatado de circulación forzada. La humedad inicial al interior de la cámara de humidificación siempre se mantuvo uniforme con 99.99% de HR, dado el sistema de aireación aportado por el burbujeador señalado en el gráfico de Figura 1, además se variaron las temperaturas en cuatro rangos específicos (5°C, 10°C, 15°C y 20°C) con el fin de replicar condiciones climatológicas del municipio y que generara el proceso de descenso de

temperatura en la cámara de condensación, y así mismo se evidenciara mediante el proceso el correcto funcionamiento de las celdas Peltier.

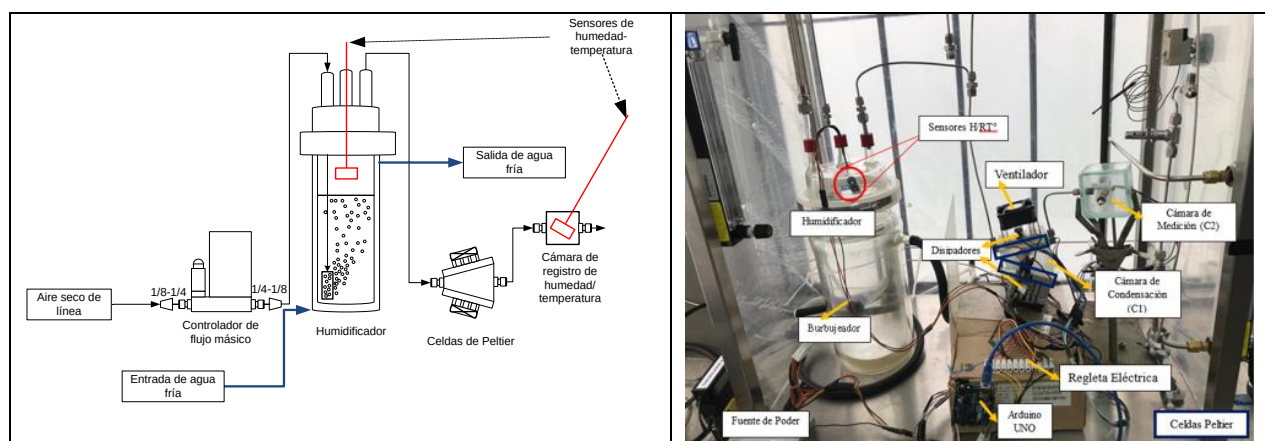


Figura 1. Estructura del Montaje Experimental.

CÁLCULO DE EFICIENCIAS

Para calcular la eficiencia tanto energética como de condensación, se calculó la humedad de saturación y_s a través del cálculo de la presión de vapor usando la ecuación de Clausius -Clapeyron como se muestra en la Ecuación 2

$p_{vap} = 10^{[A - \frac{B}{T+C)]} * HR$	Ecuación 2
---	------------

Donde p_{vap} es la presión de vapor (mmHg), A, B y C son constantes de la ecuación ($A= 8.07131$, $B = 1730.63$ y $C= 233.426$), T es la temperatura del aire ($^{\circ}C$) y HR es la humedad relativa. La presión de vapor se utilizó para calcular la humedad de saturación (y_s) de acuerdo con lo mostrado en la Ecuación 3.

$y_s = 0.625 \left(\frac{p_{vap}}{p - p_{vap}} \right)$	Ecuación 3
--	------------

Donde p es la presión del ambiente (560 mmHg). La humedad de saturación (y_s) se expresa como masa de aire por masa de are seco. A partir de la humedad de saturación, se procedió a calcular la fracción másica de agua en el aire húmedo (X_{AH}), a través de la Ecuación 4 y donde se identifica la cantidad de agua que es posible recolectar por unidad de masa de aire Húmedo.

$X_{AH} = \frac{y_s}{1 + y_s}$	Ecuación 4
--------------------------------	------------

En la celda de Peltier se puede establecer un balance de masa de agua como el que se muestra en la Ecuación 5

$\dot{m}_E = \dot{m}_s + \dot{m}_c$	Ecuación 5
-------------------------------------	------------

Donde $\dot{m}_E$ es el flujo másico de agua a la entrada de la celda, $\dot{m}_s$ es el flujo másico de agua a la salida y $\dot{m}_c$ es el flujo másico de condensado. Como se conocen las humedades relativas y la temperatura del aire a la entrada, así como la humedad y la temperatura del aire en la cámara de registro de humedad/temperatura a la salida de la celda de Peltier, se pueden calcular las fracciones másicas de agua en el aire húmedo (X_{AH}) de estas dos corrientes. El flujo de aire seco es conocido dado que se puede registrar mediante el controlador de flujo másico instalado antes del humidificador. Por lo tanto, se puede calcular el flujo de condensado ($\dot{m}_c$) como se muestra en la Ecuación 6 y el flujo másico de entrada ($\dot{m}_E$) como se muestra en la Ecuación 7.

$\dot{m}_c = \dot{m}(X_{AHE} - X_{AHS})$	Ecuación 6
$\dot{m}_E = \dot{m}(1 - X_{AHS})$	Ecuación 7

Siendo $\dot{m}$ el flujo másico de aire antes de entrar al humidificador, X_{AHE} y X_{AHS} las fracciones másicas de agua en el aire húmedo a la entrada y la salida de la cámara donde se encuentran las celdas de Peltier respectivamente. La eficiencia del proceso de condensación se calcula como la relación entre el flujo másico de agua que ingresa en fase vapor a la celda de Peltier y el flujo de condensado como es mostrado en la Ecuación 8.

$Ef_M = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_E}$	Ecuación 8
--------------------------------------	------------

Por otra parte, la eficiencia energética del proceso se puede calcular como se muestra en la Ecuación 9.

$Ef_M = \frac{\dot{Q}_\lambda}{\dot{Q}_E} = \frac{\dot{m}_c \lambda}{2VI}$	Ecuación 9
--	------------

Donde $\dot{Q}_\lambda$ es el flujo de calor latente que se retira por la condensación del vapor del agua y $\dot{Q}_E$ es el flujo de energía gastado. El flujo de calor latente es igual al producto del flujo másico y el calor latente de vaporización, mientras que el flujo de energía gastado por las celdas equivale al producto del potencial eléctrico y la intensidad de corriente eléctrica gastada por cada celda de Peltier multiplicada por las celdas dispuestas en la cámara.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SERIE DE DATOS DE HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA DE FACATATIVÁ

En la Figura 1 se presentan los datos de humedad relativa y temperatura a lo largo de un año en Facatativá junto con sus variaciones

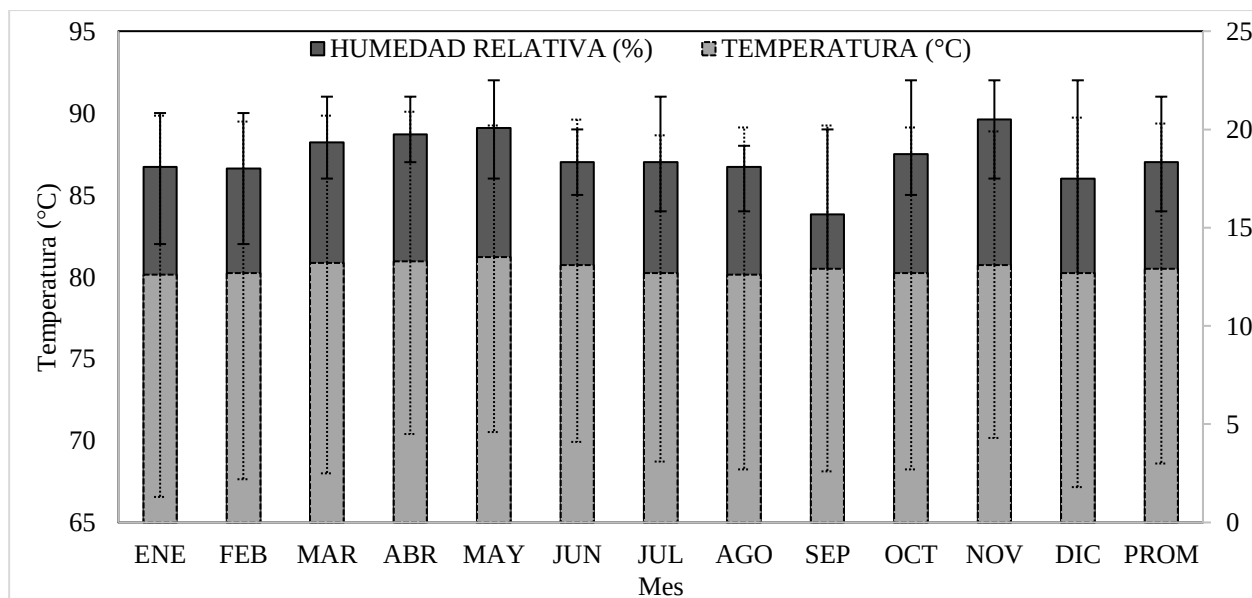


Figura 1. Obtención de promedios mínimos, medios y máximos de temperatura y humedad relativa. Las barras representan la variación que pueden tener los datos a lo largo del mes

De la Figura 1 se puede observar un régimen bimodal de humedades relativas y temperaturas asociadas a los dos regímenes de lluvias que se presentan durante el año no sólo en Facatativá sino en Colombia (Knoben et al., 2019), uno cuyo pico de intensidad se encuentra en mayo y otro que se encuentra en noviembre. Si bien la variación de temperatura es más pronunciada debido a la variación diaria que se puede tener, la humedad relativa tiene una menor variación a lo largo del año.

CANTIDAD TEÓRICA DE AGUA CONDENSADA

A partir de los datos obtenidos en la Figura 1, se calculó la fracción másica de agua en el aire húmedo (Figura 2). Este valor se constituye en la cantidad máxima posible de agua condensada por unidad de masa de aire húmedo que se puede obtener. Se puede apreciar también una tendencia bimodal acorde con los datos de temperatura y humedad relativa registrados en la Figura 1. En promedio, se puede obtener una cantidad de 0.0108 kg agua por cada kg de aire procesado con un máximo posible de producción cercano a los 0.0180 kg de agua por cada kg de aire. En Bogotá, el consumo de agua por residencia varía entre 8 y 12 m³ por mes (Vargas et al., 2018) por lo que sería

necesario un procesamiento entre 500 000 y 750 000 m³ de aire húmedo para satisfacer la demanda de agua de una familia.

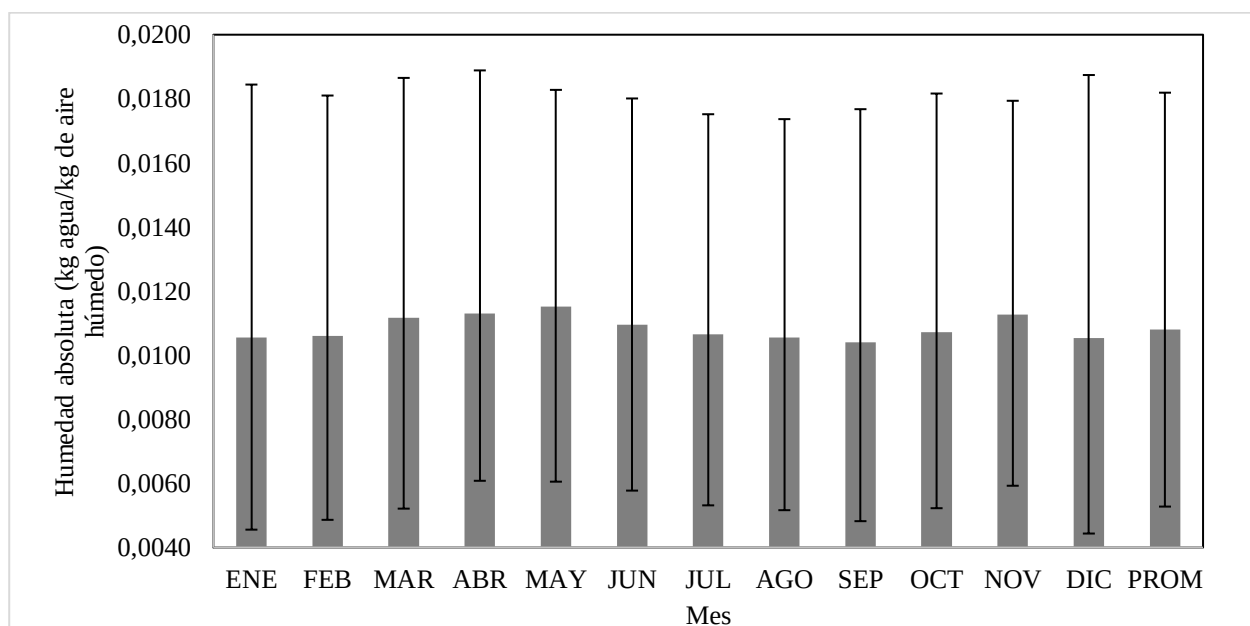


Figura 2. Cálculo de cantidad teórica de agua condensada bajo condiciones óptimas de operación.

RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

En la Figura 3, se observa el comportamiento de la fracción másica de agua en ensayos a temperaturas iniciales máximas, donde el humidificador permaneció saturado (Temperatura y X_{AH}), mientras que en la cámara de condensación hay una relación inversa entre la temperatura que disminuye y X_{AH} que aumenta hasta la constante del humidificador reflejando condiciones saturadas y produciendo el fenómeno de condensación (Magrini *et al.*, 2017) que se evidencia a través del área entre la cámara de condensación y cámara de medición en la segunda intersección.

Aunque en el inciso A de la Figura 3, se refleja un comportamiento inusual respecto al de los incisos B, C y D de la misma Figura, hubo un flujo másico condensado en el balance de materia, por lo que se asume una condensación superficial donde el aire entrante tuvo contacto con las caras frías de las Celdas Peltier y se produjo una reducción de temperatura hasta el punto de rocío (Martínez *et al.*, 2005).

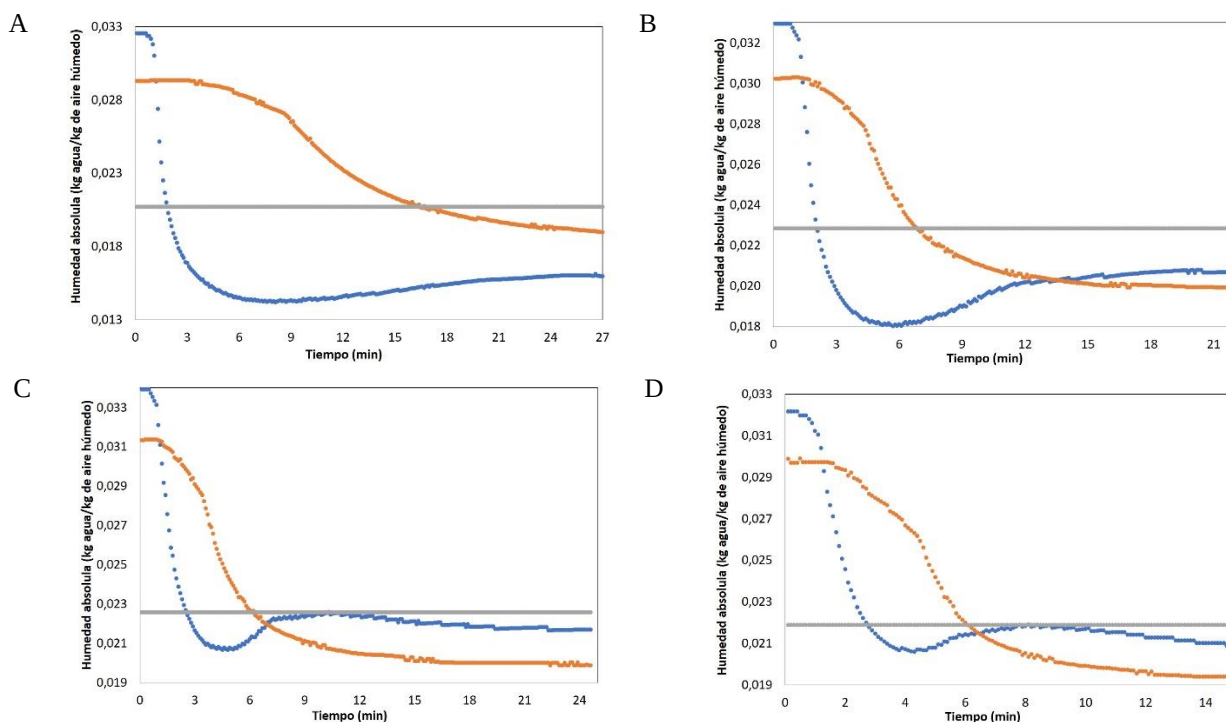


Figura 3. Comportamiento de X_{AH} a temperaturas máximas de: (A) 21°C , (B) $22,6^{\circ}\text{C}$, (C) $22,4^{\circ}\text{C}$ y (D) $21,9^{\circ}\text{C}$. Las líneas azules son los datos tomados en la cámara con las celdas de Peltier, los puntos naranjas son los datos tomados en la cámara de adquisición de datos y la línea gris corresponde a la humedad del aire después de pasar por el humidificador

EFICIENCIAS DE CONDENSACIÓN Y CALORÍFICAS

Los resultados de eficiencia calorífica que se observa en la Figura 4, establecen que la primera está dada por la energía eléctrica necesaria para la operación de las Celdas Peltier que extraen calor del interior de la cámara de condensación, formando un ambiente de saturación, por tanto, el rendimiento de las Celdas Peltier se puede controlar por medio de la potencia impuesta (Mardini-Bovea et al., 2019). De manera que, el voltaje y amperaje inducidos al sistema, pueden mejorarse con la incorporación de un regulador de intensidad.

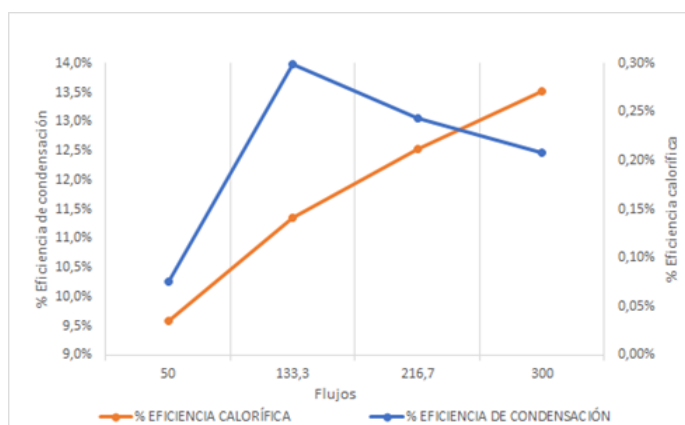


Figura 4. Relación de las eficiencias caloríficas y de condensación en ensayos con temperaturas máximas.

La eficiencia de condensación fue relativamente alta (Figura 4), sin embargo, se generó un decaimiento, debido al aumento de la temperatura ambiente, causado por el calor disipado de las Celdas Peltier al ambiente exterior, que entra en contacto con las paredes de vidrio de la cámara de condensación, afectando la temperatura interna y reduciendo la eficiencia de las Celdas y de condensación.

Es posible que haya existido una estratificación térmica en la cámara de condensación debido a que por los lados fríos de la Celda Peltier pudieron generarse estratos de aire frío. Estratos de aire más caliente pudieron existir a medida que se aleja de las paredes frías de las celdas (Waluyo & Majid, 2010). Dicha estratificación pudo promover las bajas eficiencias obtenidas durante el proceso de condensación debido a que se generan resistencias a la transferencia de calor. Lo anterior puede mejorarse mediante una mejor disposición geométrica de la cámara como por ejemplo disminuir la distancia entre las celdas o el uso de deflectores.

Además, de acuerdo a lo experimentado en laboratorio e investigaciones consultadas se evidencia que en el inicio del proceso de condensación las gotas son más pequeñas y su efecto gravitacional es mayor a la adhesión de las mismas a la superficie de vidrio de la cámara de condensación, por consiguiente se adhirieron a la superficie fría de la celda peltier, lo que permite comprobar que junto con la pequeña capacidad de enfriamiento de la celda, estas dos condiciones son relevantes para lograr un aumento de la eficiencia de condensación (Kadhim et al., 2020). De manera que, sería adecuado lograr una optimización del diseño de la cámara de condensación y utilizar una celda peltier con mayor capacidad de enfriamiento.

Por último, es válido tener en cuenta, un material más idóneo para la cámara de condensación con menor rugosidad que el utilizado para la experimentación, a su vez, procurar por tener un diseño previamente realizado que permita optimizar el espacio según el volumen estimado de agua condensada.

4 CONCLUSIONES

Las condiciones climatológicas de Facatativá con temperaturas entre 5°C Y 20°C y humedad relativa que típicamente se mantiene por encima del 80%, son aptas para la obtención de agua a partir de la humedad del aire atmosférico, ya que con una disminución de 4°C se puede llegar al punto de rocío que daría paso al proceso de condensación del agua. En este sentido, se podría desarrollar un prototipo enfocado en garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua.

La viabilidad técnica de captación de agua atmosférica dada la temperatura y humedad relativa de Facatativá es posible, ya que, estas condiciones climatológicas que presenta el municipio facilitan el proceso saturación del vapor de agua del ambiente y por ende la captación de agua, es

así, que a pesar de que la eficiencia de condensación máxima fue de 14%, al implementar procesos de mejora, se podrían desarrollar métodos no convencionales de captación de agua como herramientas para un impacto en el desarrollo social, ambiental y económico dentro del municipio.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado por medio del Convenio entre la Universidad de Cundinamarca y la Universidad Nacional de Colombia, además del aporte financiero y de espacios por el Laboratorio de Poscosecha de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

REFERENCIAS

- Cereceda, P., Hernández, P., Leiva, J., & Rivera, J. de D. (2014). Agua de Niebla. *Dirección General de Aguas*, 13–132. <http://www.cda.uc.cl/wp-content/uploads/2015/12/Libro-Agua-de-Niebla-1.pdf>
- Gutiérrez, J. P., Delgado, L. G., Van Halem, D., Wessels, P., & Rietveld, L. C. (2016). Multi-criteria analysis applied to the selection of drinking water sources in developing countries: A case study of Cali, Colombia. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 6(3), 401–413. <https://doi.org/10.2166/washdev.2016.031>
- IDEAM. (2014). Estudio nacional del agua 2014. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*, 253. [http://www.ideam.gov.co/documents/14691/16404/ENA cuadros.pdf/9741632b-0e3d-42c8-9ce7-197c0c593b37](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/16404/ENA+cuadros.pdf/9741632b-0e3d-42c8-9ce7-197c0c593b37)
- Kadhim, T. J., Abbas, A. K., & Kadhim, H. J. (2020). Experimental study of atmospheric water collection powered by solar energy using the Peltier effect. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 671, No. 1, p. 012155).
- Knoben, W. J. M., Woods, R. A., & Freer, J. E. (2019). Global bimodal precipitation seasonality: A systematic overview. *International Journal of Climatology*, 39(1), 558–567. <https://doi.org/10.1002/joc.5786>
- Magrini, A., Cattani, L., Cartesegna, M., & Magnani, L. (2017). Water production from air conditioning systems: Some evaluations about a sustainable use of resources. *Sustainability* (Switzerland), 9(8), 17. <https://doi.org/10.3390/su9081309>
- Mardini-Bovea, J., Torres-Díaz, G., Sabau, M., De-La-hoz-Franco, E., Niño-Moreno, J., & Pacheco-Torres, P. J. (2019). A review to refrigeration with thermoelectric energy based on the peltier effect. *DYNA (Colombia)*, 86(208), 9–18. <https://doi.org/10.15446/DYNA.V86N208.72589>
- Martínez, P., Sarmiento, P., & Urquieta, W. (2005). Evaluación de la humedad por condensación al interior de viviendas sociales. *Revista INVI*, 20(055), 154–165. <https://doi.org/10.4067/invi.v20i55.323>
- Montgomery, M. A., & Menachem, E. (2017). Water and sanitation in developing Countries: Including health in the equation. *Environmental Science & Technology*, 1, 17–24. <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es072435t>
- Morales-Pinzón, T., Rieradevall, J., Gasol, C. M., & Gabarrell, X. (2012). Potential of rainwater resources based on urban and social aspects in Colombia. *Water and Environment Journal*, 26(4), 550–559. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2012.00316.x>
- Nhapi, I. (2015). Challenges for Water Supply and Sanitation in Developing Countries: Case Studies from Zimbabwe. *Global Issues in Water Policy*, 15, 91–119. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9801-3_4
- Tu, Y., Wang, R., Zhang, Y., & Wang, J. (2018). Progress and Expectation of Atmospheric Water Harvesting. *Joule*, 2(8), 1452–1475. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.07.015>
- Vargas, L., Mingoti, S. A., & Heller, L. (2018). Impact of a programme for water affordability on residential consumption: Implementation of the “Programa Mínimo vital de Agua Potable” in Bogotá, Colombia. *Water (Switzerland)*, 10(2), 1–22. <https://doi.org/10.3390/w10020158>

Waluyo, J., & Majid, M. A. A. (2010). Temperature profile and thermocline thickness evaluation of a stratified thermal energy storage tank. *International Journal of Mechanical and Mechanics Engineering*, 10(1), 7–12.

Zhao, F., Zhou, X., Liu, Y., Shi, Y., Dai, Y., & Yu, G. (2019). Super Moisture-Absorbent Gels for All-Weather Atmospheric Water Harvesting. *Advanced Materials*, 31(10), 1–7. <https://doi.org/10.1002/adma.201806446>

Zhou, X., Lu, H., Zhao, F., & Yu, G. (2020). Atmospheric Water Harvesting: A Review of Material and Structural Designs. *ACS Materials Letters*, 2(7), 671–684. <https://doi.org/10.1021/acsmaterialslett.0c00130>