

Atmospheric water generators (AWGs): An alternative to climate change in Honduras

Fernando José Zorto-Aguilera ¹; Dariusz Witkowski ²; Daniel Jodko ³

¹National Autonomous University of Honduras, Honduras, fernando.zorto@unah.edu.hn

^{2,3}Lodz University of Technology, Poland, dariusz.witkowski@p.lodz.pl, daniel.jodko@p.lodz.pl

Abstract– Worldwide, millions of people face the devastating effects of water scarcity due to climate change. This is the case of the Central American Dry Corridor, where 3.5 million people are currently vulnerable to the impacts of prolonged droughts. This study analyzes six meteorological stations located in different areas of the Honduran Dry Corridor to simulate various scenarios for the implementation of an Atmospheric Water Generator (AWG) system. Several outlet conditions of the dehumidified air are examined through dry-bulb temperature (DBT) and relative humidity (RH). Under the lowest production simulation scenario (DBT = 30°C; RH = 50%), a production range of 40 to 2,250 L per month was obtained in the rural area, enabling a water supply equivalent to 25 people per month.

Keywords-- Water, Atmospheric Water Generators, Climate Change, Central American Dry Corridor..

Generadores de agua atmosférico (AWG): Una alternativa al cambio climático en Honduras.

Fernando José Zorto-Aguilera ¹; Dariusz Witkowski ²; Daniel Jodko ³

¹Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, fernando.zorto@unah.edu.hn

^{2,3}Lodz University of Technology, Polonia, dariusz.witkowski@p.lodz.pl, daniel.jodko@p.lodz.pl

Resumen— *A nivel mundial millones de personas se enfrentan al efecto devastador de la escasez de agua, debido a los efectos del cambio climático. Este es el caso del corredor seco Centroamericano, donde existen actualmente 3.5 millones de personas que se encuentran vulnerables a los efectos de sequías prolongadas. El presente estudio analiza 6 estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes zonas del corredor seco hondureño para realizar simulaciones de diferentes escenarios para la implementación de un Sistema de Generador de Agua Atmosférico (AWG), en el cual se estudiará varias condiciones de salida del aire deshumidificado por medio de la temperatura de bulbo seco (TBS) y porcentaje de humedad relativa (%HR). Se obtuvo mediante la simulación más baja de producción (TBS=30°C; %HR=50%) un rango de producción en la zona rural de 40 a 2,250 L al mes. Lo que permite un suministro de agua a razón de 25 personas al mes.*

Palabras clave— Agua, Generadores de agua

I. INTRODUCCIÓN

El agua fresca es un bien muypreciado en todo el mundo, puesto que en la actualidad pueblos y ciudades enteras tienen problemas con la obtención de este vital líquido. La escasez se ve incrementada por varios aspectos, como ser: a) los efectos del cambio climático; b) la sobrepoblación, c) el bajo crecimiento económico de las naciones, d) el bajo desarrollo tecnológico, e) los diferentes patrones de producción y de consumo; lo cual genera un estrés hídrico en muchas poblaciones [1]–[6]. Mekonnen & M.Hoekstra, en el 2016, manifestaron que 4 billones de personas, es decir, $\frac{2}{3}$ de la población mundial, se encuentra sumergida de cara ante una escasez de agua [7].

Dicha escasez de agua genera diversos tipos de problemas, donde los más evidentes serán los de orden social: a) enfermedades, b) escasez de comida, c) cambio de modo de vida, d) desplazamiento, y e) ingobernabilidad [8,9]. Así mismo, varios autores extienden su preocupación a los posibles efectos que esto causará en el futuro orden económico [3,10].

Con base a lo anterior, existen modelos matemáticos, los cuales refuerzan el hecho que la escasez del agua no se verá paliada y varias economías se verán sumergidas en crisis económica por la falta de agua [11], [12]. Esto indicará que la huella hídrica de algunas naciones será completamente inmanejable, colocando aquellas que

tengan un mejor manejo de este recurso en una posición de ventaja [13].

Para tal fin, la ciencia y la tecnología tiene un rol importante en la búsqueda de las soluciones más sostenibles para la crisis de agua en el mundo [14]. López-Gunn & Llamas [[15] plantean que la búsqueda de dicha solución se encuentra en repensar el problema de manera más innovadora, para ello, proponen soluciones como: a) el uso extensivo de agua subterránea, b) la desalinización, y c) el uso de sistemas de información geográfica (GIS) para la planificación estratégica del uso del agua. En contraste, otros autores manifiestan, que la tecnología de membranas y los biorreactores son una solución efectiva, siendo tecnologías que buscan la masificación a pequeña escala y el uso descentralizado del agua [14].

Así mismo, existen otras tecnologías de baja escala que promueven la recolección de agua para áreas con condiciones áridas y semiáridas, con soluciones para unidades familiares o comunidades de muy bajo costo, tanto en operación como en construcción. Dicha tecnología está formada por estructuras de almacenamiento de agua de diversos tamaños y sistema constructivos, los cuales logran acumular desde 1m³ hasta 1,050 m³; el costo de estos oscila entre US \$44.00 - 11.896 respectivamente [16].

Estas tecnologías dependen de una fuente de agua, la cual se transferirá a un dispositivo de almacenamiento para ser acumulada. Las fuentes de agua pueden ser acuíferos, ríos o aguas lluvias; Sin embargo, el cambio climático ha generado un cambio radical en el ciclo hidrológico, produciendo una reducción en la disponibilidad del agua en el medio. Es por ello que en los países desarrollados y en vías de desarrollo, se investiga la posibilidad de recolectar el agua disponible en el aire, usando como fuente de dicha agua: a) la neblina [17]–[20]; b) la lluvia artificial [21]–[23], y c) La humedad relativa del aire [24]–[26].

La meta de este artículo es la de evaluar la implementación de los generadores de agua atmosféricos a través de la humedad relativa del aire y su posible aplicación en el corredor seco en Honduras, como una

solución viable a la escasez de agua y para reducir los efectos del cambio climático en dichos países de Centroamérica.

A. Corredor Seco Centroamericano

El clima de Centroamérica tiene características muy especiales; A diferencia de otras zonas climáticas del mundo, definiendo en este territorio geográfico dos condiciones de estaciones importantes ligadas a la precipitación: la estación seca y la estación lluviosa. En la condición seca se encuentran dos estaciones anuales, la primera denominada estación seca extendida (ESE), la cual se muestra desde noviembre hasta mayo y una estación seca corta (ESC), la cual se denomina canícula, desde julio a agosto.

No obstante, la estación lluviosa se desarrolla a inicios de mayo hasta junio, para luego dar paso a la canícula y retornar a la estación lluviosa nuevamente en septiembre y octubre de cada año [27], [28]. Esto se puede ver en la fig. 1.

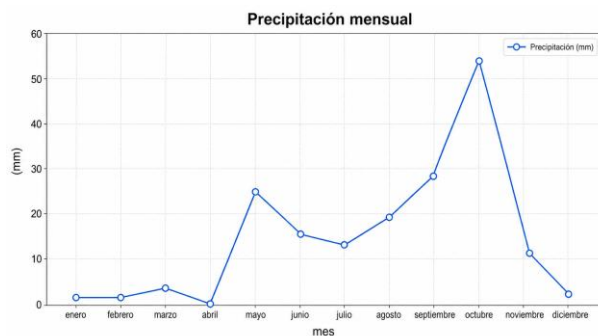


Fig. 1 Precipitación promedio del corredor seco año 2016

El Corredor Seco Centroamericano (CSCA) es una zona territorial que se extiende desde el sur de México hasta Panamá [29]. El término Corredor Seco está definido para un grupo de ecosistemas que se combinan en la ecorregión de bosque tropical seco de Centroamérica. En dicha región (0-800 m.s.n.m.) se presentan ciclos de sequías constantes, los cuales afectan de manera contundente a los pobladores de dichas zonas en el índole social, económico y ambiental [30]. La Fig 2, muestra un mapa de precipitación mínimo que se espera en los próximos 5 años, donde el color rojizo se muestra la ubicación del CSCA en la región.

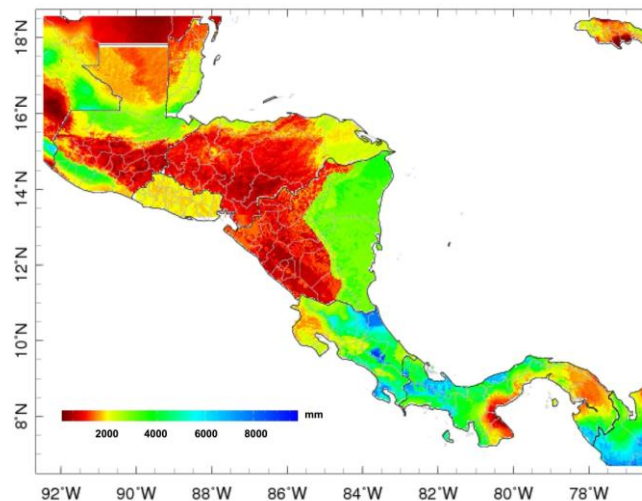


Fig. 2 Mapa de precipitación mínima esperada en el corredor Seco Centroamericano. Fuente: basado en los datos del Atlas de sequía en Centroamérica de la biblioteca de datos climáticos, Gobierno de Chile. <http://www.climatedatalibrary.cl/>

Las sequías en la región tienden a durar un período prolongado (~ 1-2 años) con pocos eventos lluviosos en la región. Su clima se caracteriza por cuatro factores importantes: a) la prolongación de la canícula, pocas precipitaciones durante la época lluviosa, un aumento de temperatura del aire y la finalización temprana de la época lluviosa [31].

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) desde el 2016 se encuentra muy preocupada por los 3.5 millones de personas que necesitan asistencia humanitaria (33% de la población total del CSCA), donde 1.5 millones viven bajo condiciones de inseguridad alimentaria. Así mismo, se han contabilizado pérdidas del 50 - 90% de los granos básicos de las familias del CSCA. Para lo cual, prevén que sea necesario invertir la cantidad de US \$17 millones para la financiación de programas que permitan la seguridad alimentaria y nutricional de los pueblos centroamericanos [32]. Sin embargo, la FAO ha tratado de dar respuesta mediante el fortalecimiento de la resiliencia de las poblaciones en riesgo de desastre en esta región [30].

B. Situación actual de Honduras

Desde el inicio de esta década, Centroamérica se ha visto afectada por múltiples cambios climáticos que orillaron a la población más pobre a enfrentarse a muchas dificultades por su falta de adaptabilidad al cambio climático. En la fig. 3 se puede observar el número de eventos negativos experimentados a lo largo de la última década en el sector agropecuario [33].

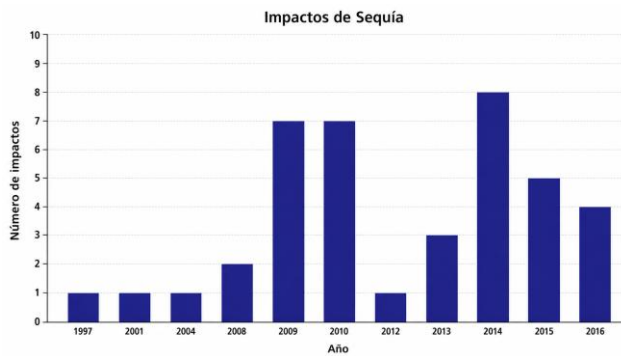


Fig. 3 Número de eventos de sequía registrados en el Corredor Seco Centroamericano [3].

Estos eventos de sequía a nivel nacional en Honduras generan problemas de desnutrición en la población, lo que conlleva un alto consumo de granos básicos en la dieta diaria (i.e., maíz & frijol) [34]. Esto se ve reflejado en la fig.4a y 4b donde 146 municipios y 161,304 familias respectivamente se vieron afectados por las sequías del año 2015 [35], [36].

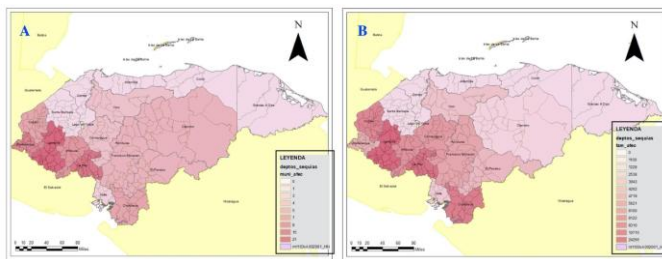


Fig 4. Municipios del país afectados por la sequía durante el 2018.

II. METODOLOGÍA

A. Datos Climatológicos de Honduras.

Los datos climatológicos se obtuvieron de bases de datos brindados por diferentes estaciones meteorológicas (EMs) a las cuales la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) tiene acceso. Dichas EMs se encuentran ubicadas en varias zonas afectadas por la sequía en el CSCA (tabla 1). Las variables tomadas en consideración en este estudio fueron: la temperatura de bulbo seco (TBS), el porcentaje de humedad relativa (%HR), c), la velocidad del viento, la dirección del viento y la precipitación pluvial. Dichos datos se agruparon de

manera mensual para analizar la cosecha de agua y captación de energía en dichas zonas durante los años 2016 y 2017.

TABLA 1.
ESTACIONES METEOROLÓGICAS.

Id	Sitio	Coordenadas (Latitud & Longitud)	Altitud (m.s.n.m)
EM-01	UNAH-CU	(14.087839°, -87.162622°)	1000
EM-02	Jesus de Otoro	(14.449680°, -87.973270°)	640
EM-03	Oropoli	(13.822731°, -86.815949°)	481
EM-04	Marcovia	(13.295353°, -87.270792°)	39
EM-05	Rio Amarillo	(14.913102°, -89.006852°)	720
EM-06	San Esteban	(15.211593°, -85.769032°)	446

Fuente: UNAH, 2018

En las fig. 5 y fig.6 se muestran los datos de TBS y %HR para las diferentes EMs consultadas. Los valores mínimo y máximo de TBS en todas las EMs fueron de 19 y 30°C respectivamente. Así mismo, el %HR osciló entre 50 y 92% promedio, lo cual significa que las EMs se encuentran ubicadas en zonas donde el aire no es muy seco para la obtención de agua.

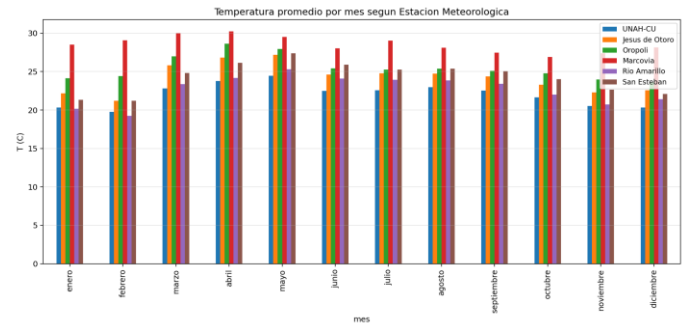


Fig 5. Temperatura promedio por mes por estación meteorológica.

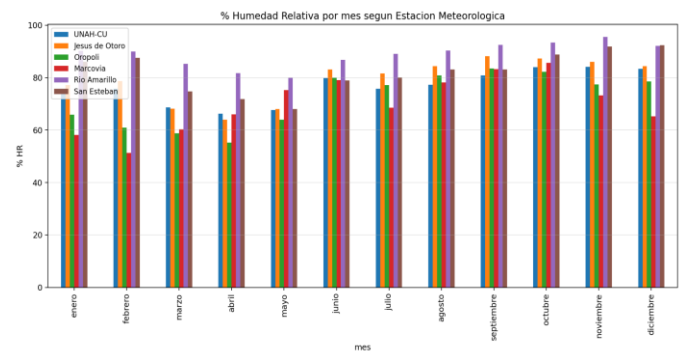


Fig 6. Porcentaje de humedad relativa por mes por estación meteorológica.

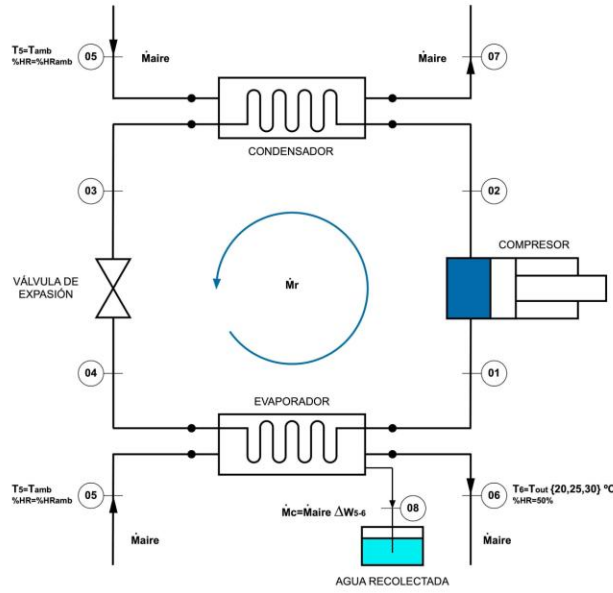


Fig. 7 Sistema AWG por enfriamiento

B. Descripción del sistema AWG analizado.

Para efectos de este estudio, el tipo de AWG usado será del tipo enfriamiento [37]. La fig. 7 muestra la configuración de dicho sistema. Este diagrama muestra un sistema de secado del aire funcionando mediante un ciclo termodinámico de refrigeración de una etapa de compresión, cuyo fluido de trabajo es un gas refrigerante, el cual es usado para extraer la energía interna del aire ambiente y lograr la deshumidificación. El aire ambiente en el estado termodinámico (ET) 5 es forzado por medio de un ventilador para tocar las paredes frías del evaporador, lo que reduce su temperatura y humedad relativa al salir del ET 6, logrando así condensar el vapor de agua del ambiente logrando de esta manera acumular el agua en el colector de condensados [38]–[40].

C. Análisis para la predicción de cosecha de agua por medio del sistema AWG.

Para poder desarrollar una predicción de la cosecha de agua por medio del sistema AWG es necesario realizar un balance de energía en el serpentín del evaporador entre sus estados ET 5-6-8; el cual queda de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_a (h_6 - h_5) + \dot{m}_a (w_5 - w_6) h_{fg@T_6} \quad (1)$$

Donde $\dot{m}_a$, h_5 , h_6 , w_5 , w_6 y $h_{fg@T_6}$ son el flujo másico del aire (kg/s), entalpías (kJ/kg), razón de humedad (gh₂O/kg_{aire seco}) y calor latente del agua (kJ/kg). La cantidad de agua que se condensa es directamente proporcional a la razón entre la humedad del ET-5 y la del ET-6, e inversamente proporcional a la cantidad de aire que se deshumidifica:

$$\dot{m}_c^k = \dot{m}_a (w_5^k - w_6) h_{fg@T_6} \quad (2)$$

Donde $\dot{m}_c^k$ y k son el flujo másico de agua condensada en kg/s y la k-ésima razón de humedad determinada por los i-ésimo y j-ésimo datos de TBS y %HR del mes respectivamente. Así, para conocer el caudal de líquido por mes que se condensa, es necesario usar la siguiente ecuación:

$$\dot{G}_c = \sum_{k=1}^k \frac{\dot{m}_c^k}{\rho} \quad (2)$$

Siendo $\dot{G}_c$ el caudal en l/mes, k es el número de datos climatológicos al mes que provee cada EM y ρ la densidad del agua. Para el cálculo de las propiedades termodinámicas del aire en el ET-5 y el ET-6, se ha desarrollado un nuevo algoritmo que permite analizar más de 50,000 datos de TBS y %HR.

TABLA 2.
ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE PROPIEDADES DE PSICROMÉTRICAS DEL AIRE.

Descripción	Fórmula.	
Temperatura en K.	$T = C + 273.15$	
Presión atmosférica (P), kPa	$P_{atm} = 101.325 (1 - 2.25577 \times 10^{-5} Z)$	(3)
Presión de saturación del vapor de agua (Pws), Pa.	$\ln P_{ws} = C_8 T^{-1} + C_9 + C_{10} T + C_{11} T^2 + C_{12} T^3 + C_{13} \ln T$ $C_8 = -5.800\ 220\ 6\ E+03$ $C_9 = 1.391\ 499\ 3\ E+00$ $C_{10} = -4.864\ 023\ 9\ E-02$ $C_{11} = 4.176\ 476\ 8\ E-05$ $C_{12} = -1.445\ 209\ 3\ E-08$ $C_{13} = 6.545\ 967\ 3\ E+00$	(4)
Razón de Humedad (kgagua/kgas).	$W = 0.6218 \frac{P_w}{P - P_w}$	(5)
Volumen específico (m3/kg).	$v = 0.2871(t + 273.15)(1 + 1.6078 W)/P$	(6)
Entalpía (kJ/kg).	$h = 1.006t + W(2501 + 1.805 t)$	(7)
Punto de rocío (°C).	$T_d = \frac{\left(\left(13.743 \left(\ln \ln (\%HR) + \left(\frac{17.27t}{237.34 + t} \right) \right) \right) \right)}{\left(1 - \left(\ln \ln (hr) + \left(\frac{17.27t}{237.34 + t} \right) \right) / 17.27 \right)}$	(8)

Las propiedades termodinámicas del aire que se calculan por medio del TBS, %HR y la altitud (Z). Dichas propiedades son las siguientes: la presión atmosférica, la presión de saturación del vapor de agua (P_{ws}), la razón de humedad por saturación (W_s), el grado de Saturación ($\mu\mu$), la razón de humedad (w), el volumen específico (v), la entalpía, la temperatura de bulbo húmedo (TBH) y la temperatura del punto de rocío (TPR). En la tabla 2 se describen las ecuaciones más importantes para el cálculo [41].

III. RESULTADOS

La cosecha de agua mediante el AWG se muestra en la fig. 7 con diferentes configuraciones en las propiedades de salida en el ET-6. En la fig. 7.A, se configuró un sistema para un aire deshumidificado con valores fijos en el ET-6 de TBS=30 °C y %HR=50%. El equipo, en la ubicación de la EM-01, dio lugar a una cosecha muy baja todo el año variando en un rango de entre 0 y 500 l/mes. Para las ubicaciones EM-02, EM-03, EM-05 y EM-06 su producción varió en un rango de 40 a 2,250 l/mes. En el sitio EM-04 la cosecha fue superior 3500 l/mes entre los meses de abril y octubre.

En la fig. 7.B, al configurar el sistema para un aire deshumidificado con valores fijos en el ET-6 de TBS=25 °C y %HR = 50%, en los meses de mayo, junio, julio, agosto y octubre se logró un rango de cosecha de agua de 2,000 a 5,500 l/mes, para la mayoría de las estaciones. Sin embargo, para los meses de enero, febrero, marzo, abril,

noviembre y diciembre el rango de producción fue de 600 a 3,000 l/mes.

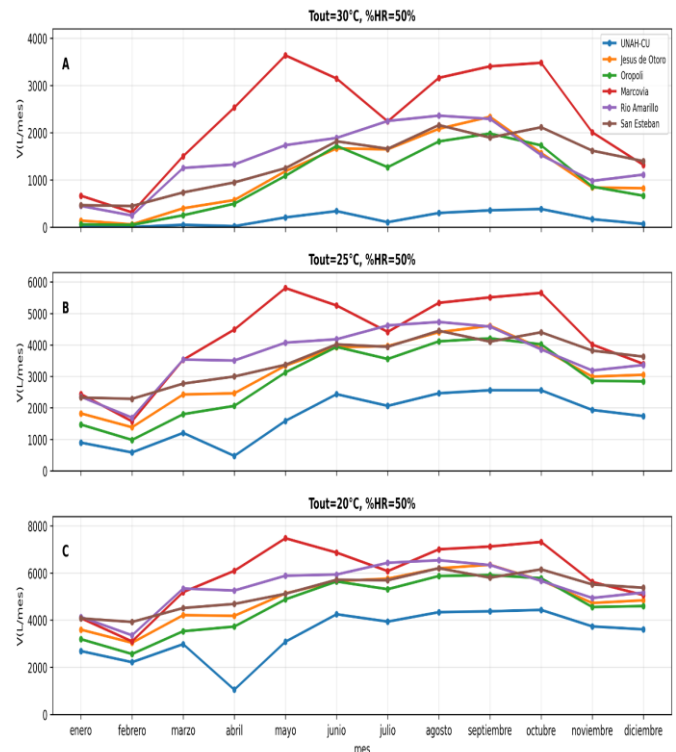


Fig 7. Cosecha de agua del AWG por enfriamiento según temperatura de salida en el evaporador. 7A. T6=30°C / %HR=50%; 7B. T6=25°C / %HR=50% & 7C. T6=20°C / %HR=50%.

Por otro lado, al configurar el sistema para un aire deshumidificado con valores fijos en el ET-6 de TBS = 20 °C y %HR = 50% (fig. 7.C), se obtiene una producción de entre 3,000 y 8,000 l/mes, para la mayoría de las estaciones en los meses de mayo, junio, julio, agosto y octubre. Sin embargo, para los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre el rango de producción baja a entre 2,000 a 5,000 l/mes.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos confirman que, bajo las condiciones climatológicas del CSCA en Honduras, es técnicamente posible implementar AWG por enfriamiento como alternativa descentralizada para abastecimiento hídrico en zonas rurales. En este estudio se analizaron datos de seis estaciones meteorológicas (EM-01 a EM-06) ubicadas en regiones afectadas por sequía, considerando variables como temperatura de bulbo seco (TBS) y humedad relativa (%HR), entre otras, agrupadas mensualmente para los años 2016 y 2017. Los rangos observados de TBS (19–30 °C) y %HR (50–92% promedio). Estos datos son similares a los planteados por el estudio [42] donde demostraron que la producción de agua aumenta significativamente con la humedad relativa: a 90% HR y 30 m³/h de flujo de aire, la producción de agua se incrementó en un 43.4% respecto a condiciones de menor humedad. Por lo sugieren que aun en un corredor catalogado como “seco”, existen ventanas climáticas con suficiente humedad atmosférica para permitir la condensación y recolección de agua.

La variabilidad espacial y estacional de la producción estimada se explica por el principio termodinámico del sistema: el AWG reduce la temperatura del aire al hacerlo pasar por el evaporador, disminuyendo la temperatura y la humedad relativa de salida y provocando la condensación del vapor de agua, que luego se colecta como condensado. En consecuencia, la producción aumenta cuando el sistema opera con condiciones de salida más “agresivas” (mayor enfriamiento), ya que se incrementa el gradiente de humedad entre el aire de entrada y el aire deshumidificado. Esto se constata con el estudio [43], donde se realizaron las mismas pruebas y dependiendo del lugar y la estacionalidad cambia la producción del AWG.

En el escenario conservador (TBS₆=30 °C; %HR₆=50%), se obtiene el rango de cosecha más bajo reportado, con valores que para las estaciones rurales EM-02 a EM-06 se sitúan entre 40 y 2,250 L/mes, mientras que la estación EM-01 se mantiene por debajo del resto.

Esto indica que la factibilidad del AWG depende fuertemente de las condiciones locales (microclima) y de la estrategia de control del equipo. Además, se identifican diferencias relevantes por estación: por ejemplo, EM-04 presenta cosechas superiores a 3,500 L/mes entre abril y octubre, lo que sugiere una disponibilidad atmosférica de humedad particularmente favorable en esa zona durante esos meses.

Al reducir la temperatura de salida del aire deshumidificado, la cosecha se incrementa de forma marcada. Con TBS₆=25 °C y %HR₆=50%, la mayoría de las estaciones alcanza entre 2,000 y 5,500 L/mes en los meses de mayo, junio, julio, agosto y octubre; mientras que en meses típicamente más secos (enero–abril, noviembre y diciembre) el rango disminuye a 600–3,000 L/mes. Al llevar el sistema a TBS₆=20 °C y %HR₆=50% la producción sube aún más: 3,000–8,000 L/mes en los meses más favorables, aunque en los meses secos baja a 2,000–5,000 L/mes. Esto evidencia un patrón estacional consistente: la mayor productividad coincide con meses de mayor humedad ambiental, lo cual es crucial para planificar operación, almacenamiento y dimensionamiento comunitario (por ejemplo, priorizar operación en meses de alto rendimiento y almacenar para periodos secos).

No obstante, el aumento de producción por mayor enfriamiento también implica un reto central: el consumo energético [44][45]. El propio estudio señala la necesidad de cuantificar la energía requerida para la captación y acoplarse a fuentes renovables (solar, eólica u otras) para lograr una operación autónoma y sostenible.

En términos de implementación, esto abre la discusión hacia el diseño integral del sistema (AWG + fuente de energía + almacenamiento + mantenimiento), donde el objetivo no es únicamente maximizar litros/mes, sino optimizar la relación agua producida/energía consumida y asegurar continuidad operativa.

Finalmente, los resultados permiten dimensionar el impacto potencial: el manuscrito plantea que una producción de 2,250 L/mes podría abastecer aproximadamente a 25 personas, lo cual es relevante para comunidades pequeñas o como solución complementaria a otras estrategias de abastecimiento. Como trabajo futuro, se recomienda: (i) incorporar un análisis energético detallado (COP del ciclo, potencia del ventilador/compresor y perfil horario), (ii) validar con datos experimentales en al menos dos estaciones representativas (alta vs baja producción), y (iii) incluir evaluación de costos y operación (mantenimiento, calidad del agua condensada y requerimientos de tratamiento),

con el fin de traducir la viabilidad climática demostrada aquí en una viabilidad técnica-económica real para comunidades del corredor seco.

IV. CONCLUSIONES

La zona rural de Honduras, más aquella que se encuentra en el CSCA, tiene condiciones de vida muy deplorables. Estas zonas no cuentan con fuentes de agua para satisfacer sus necesidades más básicas. El cambio climático, si continúa su evolución, causará grandes sequías en estos territorios, que a su vez producirán hambrunas en la población. Una manera de paliar su efecto devastador en estas zonas es desarrollando sistemas tecnológicos que permitan a estas comunidades la captación de fuentes de agua completamente innovadoras.

Por tal razón, este estudio brinda una idea de la captación de agua por medio de sistemas AWG de enfriamiento. Dicho estudio indica una producción de 2,250 L/mes que permite brindar agua a 25 personas. Esto garantizaría la seguridad alimentaria para varias poblaciones dentro del Corredor Seco Hondureño. Por lo tanto, los AWG son una alternativa para mitigar los efectos del cambio climático en países como Honduras.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

A nuestras familias por siempre ser nuestro apoyo a lo largo de estos años. Sin ellas, nada de esto es imposible.

REFERENCES

- [1] A. E. Ercin and A. Y. Hoekstra, "Water footprint scenarios for 2050: A global analysis," *Environ. Int.*, vol. 64, pp. 71–82, 2014.
- [2] A. Y. Hoekstra, "Water scarcity challenges to business," *Nat. Clim. Chang.*, vol. 4, no. 5, pp. 318–320, 2014.
- [3] World Economic Forum., "Global Risks Report 2019," Zurich, 2019.
- [4] J. Alcamo, M. Flörke, and M. Märker, "Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes," *Hydrol. Sci. J.*, vol. 52, no. 2, pp. 247–275, 2007.
- [5] T. Distefano and S. Kelly, "Are we in deep water? Water scarcity and its limits to economic growth," *Ecol. Econ.*, vol. 142, pp. 130–147, 2017.
- [6] C. A. Schlosser et al., "The future of global water stress: An integrated assessment," Massachusetts, 2014.
- [7] M. M. Mekonnen and A. Y. Hoekstra, "Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity," *Sci. Adv.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–7, 2016.
- [8] R. Gasper, A. Blohm, and M. Ruth, "Social and economic impacts of climate change on the urban environment," *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, vol. 3, no. 3, pp. 150–157, 2011.
- [9] P. Woodhouse and M. Muller, "Water Governance—An Historical Perspective on Current Debates," *World Dev.*, vol. 92, pp. 225–241, 2017.
- [10] R. Roson and R. Damania, "The macroeconomic impact of future water scarcity: An assessment of alternative scenarios," *J. Policy Model.*, vol. 39, no. 6, pp. 1141–1162, 2017.
- [11] H. Zhao, S. Qu, S. Guo, H. Zhao, S. Liang, and M. Xu, "Virtual water scarcity risk to global trade under climate change," *J. Clean. Prod.*, vol. 230, pp. 1013–1026, 2019.
- [12] Y. Wada, L. P. H. Van Beek, and M. F. P. Bierkens, "Modelling global water stress of the recent past: On the relative importance of trends in water demand and climate variability," *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 15, no. 12, pp. 3785–3808, 2011.
- [13] a K. Chapagain and a Y. Hoekstra, "Water footprints of nation," Delft, 2004.
- [14] W. A. Jury and H. Vaux, "The role of science in solving the world's emerging water problems," vol. 102, no. 44, pp. 15715–15720, 2005.
- [15] E. Lopez-Gunn and M. R. Llamas, "Re-thinking water scarcity: Can science and technology solve the global water crisis?," *Nat. Resour. Forum.*, vol. 32, no. 3, pp. 228–238, 2008.
- [16] R. Lasage and P. H. Verburg, "Evaluation of small scale water harvesting techniques for semi-arid environments," *J. Arid Environ.*, vol. 118, pp. 48–57, 2015.
- [17] F. J. Tan, M. A. P. Estanislao, A. M. A. Gregorio, and I. J. D. Navea, "The potential of fog harvesting in tropical highlands as an alternative water resource: the case of Atok, Benguet, Philippines," in *E3S Web of Conferences*, 2019, vol. 117, p. 00007.
- [18] M. Qadir, G. Jiménez, R. Farnum, L. Dodson, and V. Smakhtin, "Fog Water Collection: Challenges beyond Technology," *Water*, vol. 10, no. 4, p. 372, Mar. 2018.
- [19] C. M. Regalado and A. Ritter, "The design of an optimal fog water collector: A theoretical analysis," *Atmos. Res.*, vol. 178–179, pp. 45–54, Sep. 2016.
- [20] D. M. Fernandez et al., "Fog water collection effectiveness: Mesh intercomparisons," *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 18, no. 1, 2018.
- [21] R. T. Bruintjes, "A Review of Cloud Seeding Experiments to Enhance Precipitation and Some New Prospects," *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, vol. 80, no. 5, pp. 805–820, 1999.
- [22] M. Lompar, M. Čurić, D. Romanic, L. Zou, and H. Liang, "Precipitation enhancement by cloud seeding using the shell structured TiO₂/NaCl aerosol as revealed by new model for cloud seeding experiments," *Atmos. Res.*, vol. 212, no. May, pp. 202–212, 2018.
- [23] J. R. Kulkarni, S. B. Morwal, and N. R. Deshpande, "Rainfall enhancement in Karnataka state cloud seeding program 'Varshadhare' 2017," *Atmos. Res.*, vol. 219, no. September 2018, pp. 65–76, 2019.
- [24] Z. Almusaed and B. Asiabanpour, "Atmospheric water generation: Technologies and influential factors," in *67th Annual Conference and Expo of the Institute of Industrial Engineers 2017*, 2017, pp. 1448–1453.
- [25] K. Patel, J. Patel, and H. Raval, "Potential Study of Atmospheric Water Generator (AWG) for Humid Climatic Conditions of Eastern States in India," in *Renewable Energy and Climate Change*, 2020, pp. 239–248.
- [26] B. Gido, E. Friedler, and D. M. Broday, "Assessment of atmospheric moisture harvesting by direct cooling," *Atmos. Res.*, vol. 182, 2016.
- [27] R. A. Muller, H. J. Walker, and S. A. Hsu, "Coastal climate," *Encycl. Earth Sci. Ser.*, pp. 294–298, 2005.
- [28] H. G. Hidalgo, E. J. Alfaro, J. A. Amador, and Á. Bastidas, "Precursors of quasi-decadal dry-spells in the Central America Dry Corridor," *Clim. Dyn.*, vol. 53, no. 3–4, pp. 1307–1322, 2019.
- [29] W. F. Programme, "Final Draft Standardized Food and Livelihood Assessment in Support of the Central American Prro World Food Programme Regional Bureau," 2002.
- [30] FAO, "Estudio de Caracterización del Corredor Seco Centroamericano.,," Tegucigalpa, 2012.
- [31] A. B. Vargas, M. Antonio, and M. Guzmán, "Patrones de sequía en Centroamérica," 2014.
- [32] FAO, "Corredor Seco América Central," Roma, 2016.
- [33] O. D. Calvo-Solano, L. E. Quesada-Hernández, H. Hidalgo, and Y. Gotlieb, "Impactos de las sequías en el sector agropecuario del Corredor Seco Centroamericano," *Agron. Mesoam.*, vol. 29, no. 3, p. 695, 2018.
- [34] C. Bouroncle, P. Imbach, B. Rodríguez-Sánchez, C. Medellín, A. Martínez-Valle, and P. Läderach, "Mapping climate change

adaptive capacity and vulnerability of smallholder agricultural livelihoods in Central America: ranking and descriptive approaches to support adaptation strategies,” *Clim. Change*, vol. 141, no. 1, pp. 123–137, 2017.

- [35] H. COPECO, “PLAN DE ACCIÓN DE SEGURIDAD ALIMENTARIA POR SEQUÍA 2015 Junio 2015,” Tegucigalpa, 2015.
- [36] S. Mattson, “Region : Central American Droughts Threaten Food Security Region.,” *Lat. Am. Data Base ,News Educ. Serv.*, p. 3, 2010.
- [37] F. Painter, “Condensate Harvesting from Large Dedicated Outside Air-Handling Units with Heat Recovery.,” *ASHRAE Trans.*, vol. 115, 2009.
- [38] Y. A. Çengel, *Termodinámica*. McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2012.
- [39] J. P. Holman, *Thermodynamics*, 3d ed. New York : McGraw-Hill.,
- [40] P. Glanville, A. Kozlov, and V. Maisotsenko, “Dew point evaporative cooling: Technology review and fundamentals,” *ASHRAE Trans.*, vol. 117, no. PART 1, pp. 111–118, 2011.
- [41] D. W. Mangold, D. S. Bundy, and M. A. Hellickson, “Psychrometrics.,” in *ASHRAE Handbook*, no. 6, Atlante, 1983, pp. 7–22.
- [42] W. He, P. Yu, Z. Hu, S. Lv, M. Qin, and C. Yu, "Experimental Study and Performance Analysis of a Portable Atmospheric Water Generator," *Energies*, vol. 13, no. 1, p. 73, Dec. 2019, doi: 10.3390/en13010073
- [43] A. Mulchandani, J. Edberg, P. Herckes, and P. Westerhoff, "Seasonal atmospheric water harvesting yield and water quality using electric-powered desiccant and compressor dehumidifiers," *Science of The Total Environment*, vol. 825, p. 153966, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153966.
- [44] N. Shafeian, A. A. Ranjbar, and T. B. Gorji, "Progress in atmospheric water generation systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 161, p. 112325, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112325.
- [45] V. P. Joshi, V. S. Joshi, H. A. Kothari, M. D. Mahajan, M. B. Mandale, and P. V. S. N. M. B. Pujari, "A comprehensive study of an atmospheric water generator using Peltier effect," *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 6, pp. 264–276, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.tsep.2018.02.015.