

POTENCIAL DE CAPTURA DE AGUA ATMOSFÉRICA EN EL NOROESTE DE MÉXICO

Ana Laura Bautista-Olivas, Mayra Mendoza Cariño, Fidencio Cruz Bautista, Clara Rosalía Álvarez Chávez y Héctor Francisco Duarte Tagles

RESUMEN

En la actualidad, la disponibilidad de agua dulce y limpia es uno de los retos más importantes a los que se enfrenta la humanidad. El objetivo de esta investigación fue identificar comunidades rurales en el noroeste de México con problemas de escasez de agua (estrés hídrico), pero que presentan condiciones que permitan condensar el agua atmosférica y así subsanar parte de ese problema. Para determinar la potencialidad de las condiciones atmosféricas predominantes en las comunidades, se analizó en cada una de ellas la información sobre humedad relativa y temperatura ambiente de un periodo de tres años (2014-2016).

Los datos se obtuvieron de 22 estaciones meteorológicas automatizadas (EMAs) ubicadas en la región. Se identificaron 24 comunidades rurales con un grado de estrés hídrico extremo y con potencial medio para la captura de agua atmosférica. Dichas comunidades se ubican alrededor de las EMAs Presa Abelardo L. Rodríguez, San Juan, Presa Emilio López Zamora y Yécora, y registraron más de 100 días con condiciones de humedad relativa y temperatura óptimas. Esto representa 27,7% del total de las EMAs bajo estudio, donde es posible la captura de agua atmosférica por medios pasivos y activos.

Introducción

A escala mundial, la escasez de agua afecta a casi 1200 millones de personas. Casi una quinta parte de la población global vive en áreas de carencia física de agua, al tiempo que otros 500 millones se aproximan a esta situación. Además, 1600×10^6 (cerca de una cuarta parte del total mundial), enfrentan problemas de escasez económica de agua, ya que los países requieren infraestructura para transportar el agua desde ríos y acuíferos (ONU-DAES, 2014).

La escasez de agua se mide hidrológicamente a través de la relación agua/población: una zona experimenta estrés hídrico cuando el suministro anual de agua es $<1700 \text{ m}^3/\text{persona}$, escasez de

agua si es $<1000 \text{ m}^3/\text{persona}$, y escasez absoluta, si es $<500 \text{ m}^3/\text{persona}$.

Según la ONU-DAES (2014), casi 700 millones de personas procedentes de 43 países, sufren escasez de agua en la actualidad, mientras que las estimaciones para el año 2025 indican que 1800 millones vivirán en países o regiones con escasez absoluta de agua y dos terceras partes de la población mundial podrían hacerlo en condiciones de estrés hídrico. En el contexto de cambio climático, casi la mitad de la población global vivirá en áreas de estrés hídrico para el 2030, incluidos entre 75 y 250 millones de personas de África. Además, la escasez de agua en áreas áridas o semiáridas provocará el desplazamiento de entre 24 y 700 millones de personas.

Por ese motivo, la recolección de niebla para generar agua limpia ha atraído la atención de investigadores en las últimas décadas. En Chile se han desarrollado estudios del aprovechamiento de la neblina con fines domésticos (Schemenauer *et al.*, 1988). De hecho, este país es pionero en el aprovechamiento del agua atmosférica, y ha innovado la forma de acceder al recurso.

La captura de agua atmosférica es una tecnología simple y sostenible, con base en la exposición de una malla tipo Raschel a las masas de aire con niebla (Klemm *et al.*, 2012). De esta manera, la malla retiene el agua que se encuentra suspendida en el ambiente, la que a su vez depende de la saturación del aire, pudiéndose obtener por

métodos de captación activa o pasiva (Bautista *et al.*, 2013).

El método pasivo consiste en sistemas que no consumen energía para que ocurra la condensación del agua y se emplea en lugares donde las condiciones climáticas favorecen la formación de niebla, donde la humedad relativa oscila entre 90 y 100%. Para que de manera natural se condense el agua que en forma gaseosa está en la atmósfera, únicamente se requiere de una superficie de contacto con temperatura adecuada (punto de rocío) (Bautista *et al.*, 2013). El método pasivo no requiere suministro de energía adicional, ya que se fundamenta en condiciones climáticas que favorecen la formación de niebla densa (Thomas, 2003). Por lo anterior, los atrapanieblas pueden

PALABRAS CLAVE / Atrapanieblas / Captadores Atmosféricos / Estrés Hídrico / Humedad Atmosférica / Punto de Rocío /

Recibido: 02/02/2018. Modificado: 11/09/2018. Aceptado: 17/09/2018.

Ana Laura Bautista-Olivas. Doctorado en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Profesora, Universidad de Sonora (UniSon), México. Dirección: Departamento de Agricultura y Ganadería, UniSon. Carretera Bahía de Kino, km. 21 C.P. 305

Hermosillo-Sonora México. e-mail: ana.bautista@unison.mx
Mayra Mendoza Cariño. Doctorado en Hidrociencias, COLPOS, México. Profesora, Universidad Nacional Autónoma de México.
Fidencio Cruz Bautista. Doctorado en Ciencias Agrarias, otorgado por la Universidad Autó-

noma Antonio Narro. Profesor, UniSon, México.
Clara Rosalía Álvarez Chávez. Ph.D. en Ingeniería en Prevención de la Contaminación y Producción más Limpia, University of Massachusetts Lowell, EEUU. Profesora, UniSon, México.

Héctor Francisco Duarte Tagles. Doctor en Ciencias de la Salud Pública, Instituto Nacional de Salud Pública, México. Profesor, UniSon, México.

POTENTIAL OF ATMOSPHERIC WATER CAPTURE IN THE NORTHWEST OF MEXICO

Ana Laura Bautista-Olivas, Mayra Mendoza Cariño, Fidencio Cruz Bautista, Clara Rosalía Álvarez Chávez and Héctor Francisco Duarte Tagles

SUMMARY

The availability of fresh and clean water is one of the most important challenges that humanity faces today. The objective in this study was to identify rural communities with water stress problems and appropriate atmospheric conditions to condense water vapor in Northwestern Mexico. We analyzed the relative humidity and temperature data over a period of three years to determine the predominant atmospheric conditions in these communities. The data was obtained from automated meteorological stations (EMAs) installed in this re-

gion. We identified 24 rural communities under extreme water stress and with medium potential to capture atmospheric water. These communities are located around the EMAs Presa Abelardo L. Rodríguez, San Juan, Presa Emilio López Zamora and Yécora, and recorded more than 100 days every year with optimum relative humidity and temperature conditions. This represents 27.7% of the total of the EMAs under study, where it is feasible to capture atmospheric water by using passive or active atmospheric water condensation.

POTENCIAL DE CAPTURA DE ÁGUA ATMOSFÉRICA NO NOROESTE DO MÉXICO

Ana Laura Bautista-Olivas, Mayra Mendoza Cariño, Fidencio Cruz Bautista, Clara Rosalía Álvarez Chávez e Héctor Francisco Duarte Tagles

RESUMO

Na atualidade, a disponibilidade de água doce e limpa é um dos desafios mais importantes aos que se enfrenta a humanidade. O objetivo desta investigação foi identificar comunidades rurais no noroeste do México com problemas de escassez de água (estresse hídrico), mas que apresentam condições que permitam condensar a água atmosférica e assim resolver parte de esse problema. Para determinar a potencialidade das condições atmosféricas predominantes nas comunidades, se analisou em cada uma delas a informação sobre umidade relativa e temperatura ambiente de um período de três anos (2014-

2016). Obtiveram-se dados de 22 estações meteorológicas automatizadas (EMAs) localizadas na região. Identificaram-se 24 comunidades rurais com um grau de estresse hídrico extremo e com potencial médio para captura de água atmosférica. Ditas comunidades se situam nas proximidades das EMAs Presa Abelardo L. Rodríguez, San Juan, Presa Emilio López Zamora e Yécora, e registraram mais de 100 dias com condições de umidade relativa e temperatura ótimas. Isto representa 27,7% do total das EMAs sob estudo, onde é possível a captura de água atmosférica por meios passivos e ativos.

atender necesidades de comunidades situadas en zonas marginales. Sin embargo, la cantidad de agua condensada que obtienen es, por lo general, reducida y depende de la humedad relativa, la temperatura, el viento y de la variabilidad interanual.

A diferencia de los dispositivos anteriores, los de captación activa requieren energía para disminuir la temperatura que se produce en su interior, cuando atraen las moléculas de agua que se encuentran en la atmósfera y logran su condensación al alcanzar el punto de rocío. Estos dispositivos se emplean en regiones donde el punto de rocío es menor a la temperatura ambiental, o bien donde la humedad relativa se encuentra entre 50 y 70%, lo que indica que el ambiente tiene una cantidad de agua insuficiente para permitir su condensación de forma natural (Bautista *et al.*, 2013).

En diversas localidades del mundo se ha demostrado que la captura de agua atmosférica es una excelente alternativa para obtener agua de consumo humano. Schemenauer *et al.* (1988) reportan que la comunidad de Chungungo, Chile, se abastece de este recurso con un rendimiento promedio anual de $4\text{L}\cdot\text{m}^{-2}/\text{día}$. Marzol (2002) menciona que en las islas Canarias los volúmenes de agua obtenida son de $4\text{L}\cdot\text{m}^{-2}/\text{día}$ en invierno y en verano; y cerca de la costa, hasta $5\text{L}\cdot\text{m}^{-2}/\text{día}$. También Estrela *et al.* (2008) reportan que en el sur de la región de Valencia, España, las tasas anuales de rendimiento de agua de niebla son de $7,1\text{L}\cdot\text{m}^{-2}/\text{día}$, en tanto en el norte son de $4\text{L}\cdot\text{m}^{-2}/\text{día}$. Ghassan (2009) menciona que en zonas altas de Arabia Saudita, como el poblado de Alsooda, la producción promedio es de $6,215\text{L}\cdot\text{m}^{-2}/\text{día}$; y en altitudes

más bajas, como la ciudad de Abha, de $3,3\text{L}\cdot\text{m}^{-2}/\text{día}$.

La captación de agua atmosférica mediante métodos pasivos se ha estudiado en más de 20 países, ya que es una alternativa útil y con alto potencial para complementar el abasto de agua cuando otras fuentes de suministro son escasas. Por ello, es una excelente opción para la captura de agua atmosférica en regiones áridas y semiáridas remotas (Schemenauer y Cereceda, 1994; Abdul y Lea 2008; Klemm *et al.*, 2012).

En ese contexto, numerosas comunidades de México presentan problemas de escasez de agua, debido a diversos factores como las condiciones climáticas y geográficas. Esto, aunado al incremento poblacional, deriva en la creciente necesidad de agua, por lo que se torna indispensable buscar fuentes adicionales de abastecimiento de agua. El objetivo de este trabajo fue identificar

las comunidades rurales en el noroeste de México que presentan estrés hídrico y tienen condiciones para condensar el agua atmosférica con fines domésticos.

Materiales y Métodos

Localización geográfica

El estudio se realizó para la región noroeste de México, que comprende los estados de Baja California, Baja California Sur, Sinaloa y Sonora, con una superficie total de $382,079\text{km}^2$ (Figura 1). El clima en la región se presenta de la siguiente manera:

Sinaloa exhibe climas cálido subhúmedo (37,14%), cálido semi-seco (21,27%), cálido seco (18,56%), semi-cálido subhúmedo (11,02%), cálido muy seco (9,75%) y templado subhúmedo (2,26%); registra una precipitación media anual de 790mm y una temperatura media anual de 25°C. Sonora presenta en la Sie-

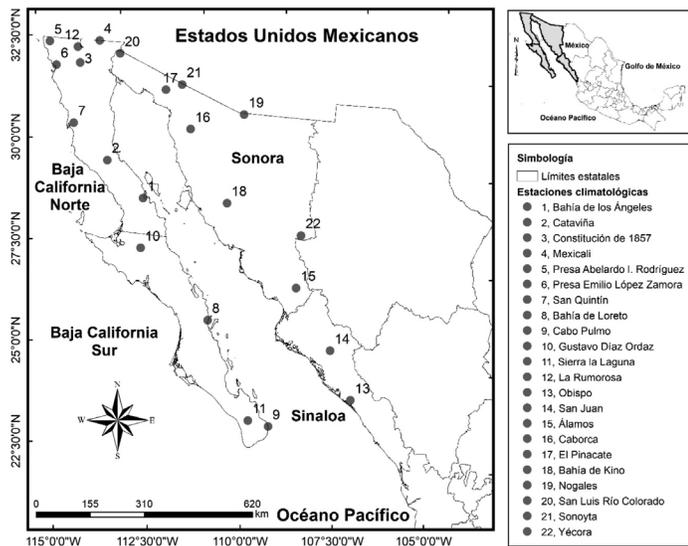


Figura 1. Localización de las Estaciones Meteorológicas Automatizadas en el noroeste de México.

rra Madre Occidental (corresponde a 48% de su territorio) un clima seco y semi-seco, en las llanuras costeras del Golfo (46,5%) un clima muy seco, hacia el este de la entidad un clima templado subhúmedo (4%) y hacia el sureste cálido subhúmedo (1,5%); la precipitación promedio anual es de 450mm y la temperatura media anual de 22°C; la época de lluvias se presenta en verano, en los meses de julio y agosto. En Baja California Sur se encuentran climas muy seco (92%), seco y semisecho (7%), y templado subhúmedo (1%) en la región de la sierra de la Laguna; la precipitación promedio anual es <200mm y la temperatura media anual 18-22°C; Las lluvias son muy escasas y ocurren en verano. En Baja California Norte se distinguen los climas muy seco (69%), seco (24%), templado subhúmedo y semi-frío (7%) principalmente en las Sierras de Juárez y San Pedro Mártir; la precipitación promedio anual es de 200mm y la temperatura media anual de 18-19°C, mientras que las temperaturas más altas (>30°C) se presentan de mayo a septiembre (INEGI, 2017).

Comunidades rurales de la región con desabasto de agua

La información documental se obtuvo de las bases de datos

del Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) 2016. Se recopilaron los nombres, las coordenadas geográficas y el número total de viviendas por comunidad; igualmente se registró el número de viviendas con agua entubada y viviendas sin servicio de abastecimiento de agua. Estos datos permitieron clasificar el grado de desabastecimiento de agua, considerando la regla de proporción de la Tabla I.

Humedad relativa y temperatura

La información climática se obtuvo de 22 estaciones meteorológicas automatizadas (EMAs) instaladas en la zona de estudio (Figura 1). Se recopilaron datos de humedad relativa y temperatura de cada 10min, por un período de tres años (2014-2016) (CONAGUA, 2017). Se integró una base de datos que permitió establecer los sitios que contaron con factibilidad técnica para capturar el agua atmosférica, lo que se estimó calculando el punto de rocío mediante la fórmula de Lisney *et al.* (1994),

$$Pr = \sqrt{\frac{H}{100}} * [112 + (0,9 * T)] + (0,1 * T) - 112$$

donde: Pr: punto de rocío, T: temperatura (°C), H: humedad relativa.

TABLA I
GRADO DE ESTRÉS HÍDRICO Y PROBLEMA DE DESABASTECIMIENTO QUE REPRESENTA

Categoría	Baja	Media	Alta	Extrema
%	0-25	25,1-50	50,1-75	75,1-100
Problema que representa	Poco	Considerable	Grave	Severo

Para determinar las condiciones de captura pasiva y activa, se calculó la diferencia entre la temperatura ambiente y el punto de rocío. Los valores obtenidos se clasificaron bajo el criterio de que la menor diferencia de temperatura, representa mayores condiciones para la captura pasiva y viceversa. En otras palabras, la captación pasiva se consideró posible cuando la diferencia entre la temperatura ambiente y el punto de rocío se encontró en el intervalo de -1,0 a 1,8°C (Grillo y Achkienasi *et al.*, 2013).

La captación activa se estimó viable, cuando la diferencia osciló entre 1,9 y 5°C, ya que este intervalo de temperatura es el que menor costo genera bajo este propósito, de acuerdo con Bautista *et al.* (2011).

Para los datos de captación pasiva y activa se agruparon y calcularon, por regla de proporción, los días al año que tienen estas condiciones durante 24h (Tabla II).

Resultados y Discusión

La base de datos integró 4363 comunidades rurales en la región del noroeste de México. Aquellas que padecen estrés hídrico y presentaron condiciones para condensar agua atmosférica,

se enlistan en la Tabla III. Se identificaron 24 comunidades con grado de estrés hídrico extremo y potencial medio para la captura de agua atmosférica, las cuales se encuentran alrededor de las EMAs Yécora, Presa Emilio López Zamora, Presa Abelardo L. Rodríguez y San Juan y representaron un 0,5% del total de las comunidades bajo estudio.

Esas 24 comunidades con grado de estrés hídrico extremo registraron más de 100 días con condiciones de humedad relativa y temperatura óptimas, lo que favorece la captura de agua atmosférica por medios pasivos y activos. El mayor número de localidades con grado de estrés extremo hídrico, correspondió a la EMA Presa Abelardo L. Rodríguez, seguida de San Juan y Yécora.

En la Tabla IV se observa que del total de 4363 comunidades rurales del noroeste de México consideradas, 2276 (52,2%) presentaron grado extremo de estrés hídrico. Baja California Sur registró 64,9%; Sinaloa 55,3%, Baja California 42,6% y Sonora 38,3%. Así mismo, se categorizaron 1180 comunidades rurales con bajo grado de estrés en la región noroeste, equivalentes a 27,04% del total de las localidades analizadas.

Con base en las condiciones atmosféricas de las EMAs, se encontró que solo 27,3% de las comunidades tiene un potencial medio para condensar el agua atmosférica. Esta proporción disminuye a 11,8% si solo se considera la captura de agua en forma pasiva; el resto de las localidades presentan un potencial de aprovechamiento escaso (Tabla V).

En lo que refiere a la captación pasiva, las comunidades de la EMA Presa Abelardo Rodríguez, obtuvieron el mayor promedio con 102 días. En cambio, la captura activa mos-

TABLA II
POTENCIAL PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA ATMOSFÉRICA VÍA PASIVA EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE DÍAS AL AÑO CON PRESENCIA DE NIEBLA

Número de días con niebla	Potencial
50-100	Escaso
101-200	Medio
201-300	Alto
> 300	Excelente

Elaborada con información de Pilar Cereceda Troncoso (2016).

TABLE III
COMUNIDADES RURALES QUE PRESENTAN ESTRÉS HÍDRICO Y CUENTAN CON CONDICIONES
MEDIAS PARA CONDENSAR AGUA ATMOSFÉRICA EN EL NOROESTE DE MÉXICO

Estado	EMA	Comunidades con grado de estrés hídrico (%)			
		Bajo	Medio	Alto	Extremo
Baja California	San Quintín	-	-	-	-
Sonora	Yécora	Pimas	-	-	La Ventana
Baja California	Presa Emilio López Zamora	-	-	Las Chivas	Las Tinajas, Familia Méndez
Baja California	Presa Abelardo L. Rodríguez	Buenos Aires	Dos Palmas El Realito	Rancho Herrera Los Olivos	Los García, El Indio, Piedras Blancas, Valle Bonito, Los Venados, Rancho Castlán, Familia González, Rancho Grijalva, Rosa de Castilla, El Naranja, La Purísima, Ranchito Mora, San Francisco, El Explorador, Rancho Machaca, Rancho Victoria
Baja California Sur	Gustavo Díaz Ordaz	Las Margaritas San Francisco	-	-	-
Sinaloa	San Juan	-	-	El Guasimal	El Reparto de los Galindo, Mautillo, El Salto, La Palma, La Campanilla

EMA: estación meteorológica automatizada; -: sin comunidades con grado de estrés.

TABLE IV
COMUNIDADES CON GRADO DE ESTRÉS HÍDRICO
EN CUATRO ESTADOS DEL NOROESTE DE MÉXICO

Estado	Grado de estrés				Total
	Bajo	Medio	Alto	Extremo	
Baja California Sur	57	22	34	209	322
Sinaloa	660	205	202	1319	2386
Baja California	151	109	180	401	841
Sonora	312	80	75	347	814
Total	1180	416	491	2276	4363

tró mayor viabilidad para el sitio de la EMA de San Quintín (Baja California), con un promedio de 115 días; este sitio también registró 183 días en promedio con condiciones favorables para la cosecha de agua atmosférica activa y pasiva. No obstante, en el sitio no se encontraron comunidades con estrés hídrico (Tabla III).

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, 24 comunidades con grado de estrés hídrico extremo tienen potencial medio para la captura de agua atmosférica. Sin embargo, se recomienda realizar un análisis de factibilidad sobre la cantidad de agua que se puede obtener y el costo energético que ello implica. Por lo

TABLE V
POTENCIAL DE LAS COMUNIDADES RURALES UBICADAS ALREDEDOR DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS
AUTOMATIZADAS PARA CONDENSAR EL AGUA, EN LA REGIÓN DEL NOROESTE DE MÉXICO

Estado	Estación	Número de días para la captación						CP	CA	CP y CA	Potencial de aprovechamiento del agua atmosférica
		2014		2015		2016					
		Pasiva	Activa	Pasiva	Activa	Pasiva	Activa				
BCN	San Quintín	71	126	62,4	114,4	71,6	105,5	68,3	115,3	183,7	Medio
Sonora	Yécora	88,8	57,3	106,7	71,1	64,9	50,9	86,8	59,8	146,6	Medio
BCN	Presa Emilio López Zamora	16,2	129,3	15,5	119	24,5	113,1	18,8	120,5	139,2	Medio
BCN	Presa Abelardo L. Rodríguez	112,8	43,4	93,7	29,5	102,2	26	102,9	33	135,9	Medio
BCS	Gustavo Díaz Ordaz	50,9	85,6	70,3	70,8	58,3	62,8	59,9	73,1	132,9	Medio
Sinaloa	San Juan	26,6	107,5	31,2	125,4	22,6	70,8	26,8	101,2	128,1	Medio
BCN	Constitución 1857	45,9	43,4	53,6	62,3	32,9	41,6	44,1	49,1	93,2	Escaso
Sinaloa	Obispo	77,4	102,2	49,9	48	0	0,6	42,5	50,3	92,7	Escaso
Sonora	Bahía de Kino	21,2	47,1	28,1	54,5	11,4	29,2	20,2	43,6	63,8	Escaso
Sonora	Álamos	20,8	44,7	27,5	44,5	19,9	24,5	22,7	37,9	60,6	Escaso
BCS	Sierra Laguna	27,6	27,9	x	x	21,7	34,4	24,7	31,1	55,8	Escaso
BCS	Cabo Pulmo	0,4	64,8	0,4	39	0,5	46,6	0,5	50,1	50,6	Escaso
BCN	La Rumorosa	36,9	40,1	29,5	35,3	1,1	1,6	22,5	25,7	48,2	Escaso
Sonora	Caborca	13,8	46,9	9,8	40,8	3,3	22,8	8,9	36,8	45,8	Escaso
BCS	Bahía de Loreto	4,5	38,9	6,6	41,9	1	17,5	4,1	32,8	36,8	Escaso
Sonora	Nogales	1,6	18	5	41,7	5,2	22,6	3,9	27,4	31,4	Escaso
BCN	Cataviña	9	25,4	5,9	21,6	7,1	25,1	7,3	24	31,4	Escaso
Sonora	El Pinacate	10,5	24,1	7,1	19,7	3,7	11,7	7,1	18,5	25,6	Escaso
Sonora	Sonoyta	7,9	26,7	8	25,7	1,3	5,2	5,8	19,2	24,9	Escaso
Sonora	San Luis Río Colorado	6	24,8	5,1	18,4	2,5	15	4,5	19,4	23,9	Escaso
BCN	Bahía de los Ángeles	1,1	20	2,9	20,7	1,4	14,9	1,8	18,5	20,3	Escaso
BCN	Mexicali	3,6	9,6	4,3	6,8	0,7	6,4	2,9	7,6	10,4	Escaso

BCS: Baja California Sur; BCN: Baja California Norte; CP: captación pasiva; CA: captación activa; x: sin datos.

tanto, se sugiere instrumentar algunos dispositivos como el *standard fog collector* (Schemenauer y Cereceda, 1994), con la finalidad de medir la cantidad de agua que se puede obtener bajo condiciones de niebla (captador pasivo).

Por otro lado, se observa la necesidad de instalar más EMAs, con la finalidad de aumentar la cobertura del territorio mexicano y por ende, incrementar la información climática. Las EMAs del noroeste de México cubren 1727,9km² (cada una cubre radialmente 5km) lo que representa 0,44% del territorio mexicano.

Conclusiones

En la región noroeste de México, 24 comunidades rurales con grado de estrés hídrico extremo tienen un potencial medio para la captura de agua atmosférica. Estas comunidades se ubican alrededor de las estaciones meteorológicas automatizadas Presa Abelardo L. Rodríguez, San Juan, Presa Emilio López Zamora y Yécora. Los resultados mostraron que 27% de las estaciones tienen un potencial medio para

condensar el agua atmosférica, vías activa y pasiva. En el caso de captura pasiva, 11,8% de los sitios analizados presentan un potencial medio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP), a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) por la información climática, a Julián Armando Yañez Arvizu del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) por la información y el procesamiento de datos, y a Pilar Cereceda Troncoso por la información que permitió elaborar la Tabla II.

REFERENCIAS

Abdul W, Lea V (2008) Causal Factors for Nighttime Increases in Temperature Observed at a Coastal Meteorological Station. *Environ. Eng. Sci.* 25: 791-796.

Bautista-Olivas A, Tovar-Salinas J, Palacios-Vélez O, Mancilla-Villa O (2011) La humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico. *Agrociencia* 3(45): 293-301

Bautista-Olivas A, Tovar-Salinas J, Mancilla-Villa O (2013) ¿Puede utilizarse el agua atmosférica para el consumo doméstico y universal? *Agroproductividad* 6(3): 15-20.

CONAGUA (2017) *Información Climatológica*. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua. México. <http://smn.cna.gob.mx/es/emas>.

Estrela MJ, Valiente JA, Corell David, Millan M (2008) Fog collection in the western Mediterranean basin (Valencia region, Spain) *Atmos. Res.* 87: 324-337.

Ghassan A. Al-hassan (2009) Fog Water Collection Evaluation in Asir Region-Saudi Arabia. *Water Resour. Manag.* 23: 2805-2813.

Grillo N, Achkienasi A (2013) La niebla en el Aeropuerto Internacional José Martí, su relación con los eventos y variables meteorológicas. *Water Resour. Manag.* 23: 2805-2813.

INEGI (2016) *Mapa Digital*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0O-jIzLjMyMDA4LGVxbjotMTAyLjE0NTY1LHo6MSxsOmMxMT-FzZXJ2aWNpb3N8dGMxMT-FzZXJ2aWNpb3M=>

INEGI (2017) *Sobreexplotación y Contaminación -Agua*. Cuéntame. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/sobreexplota.aspx?tema=F>

Klemm O, Schemenauer R, Lummerich A, Cereceda P, Marzol V, Corell D, Fessehaye G (2012) Fog as a fresh-water resource: Overview and perspectives. *Ambio* 41: 221-234.

Lisney R, Kohler M, Paulus J (1994) *Hidrología para Ingenieros*, McGraw-Hill. México. 386 pp.

Marzol J (2002) Fog water collection in a rural park in the Canary Islands (Spain). *Atmos. Res.* 64: 239-250.

ONU-DAES (2014) *Decenio Internacional para la acción "El agua fuente de vida", 2005-2015*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Organización de las Naciones Unidas. <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>

Schemenauer R, Fuenzalida H, Cereceda P (1988) A neglected water resource: the camanchaca of South America. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 69: 138-147.

Schemenauer R, Cereceda P (1994) A proposed standard fog collector for use in high-elevation regions. *J. Appl. Meteorol.* 33: 1313-1322.

Thomas T (2003) Memoria de la XI Conferencia Internacional Sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia en Bautista-Olivas A, Tovar-Salinas J, Mancilla-Villa O (2013) ¿Puede utilizarse el agua atmosférica para el consumo doméstico y universal? *Agroproductividad* 6(3): 15-20.