

LA HUMEDAD ATMOSFÉRICA COMO FUENTE OPCIONAL DE AGUA PARA USO DOMÉSTICO

ATMOSPHERIC HUMIDITY AS OPTIONAL SOURCE OF WATER FOR DOMESTIC USE

Ana L. Bautista-Olivas¹, Jorge L. Tovar-Salinas^{2*}, Oscar L. Palacios-Velez¹, Oscar R. Mancilla-Villa¹

¹Hidrociencias. ²Edafología. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Carretera México-Texcoco, km. 36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. (analaura@colpos.mx).

RESUMEN

La escasez de agua en zonas áridas y suburbanas es un problema mundial, por lo que es necesario evaluar opciones para obtener agua por métodos no convencionales. Así, el objetivo de esta investigación fue evaluar una fuente de abasto de agua mediante la captación por condensación del vapor de agua de la atmósfera, con el prototipo higroimán CP-HI-03, que induce las condiciones del punto de rocío. En el estudio, realizado en la Ciudad de México del 14 de marzo al 3 de junio de 2008, se analizó el funcionamiento de siete niveles de temperatura y dos tiempos de operación del prototipo. Las medias de los resultados de la humedad relativa, la temperatura del ambiente, la temperatura del serpentín y el volumen de agua obtenido con el prototipo fueron analizados con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). La mayor cantidad de agua se obtuvo con una humedad relativa de 69.8 % a una temperatura promedio del higroimán de -10.6 °C condensando 1.980 L en un periodo de 15 h. Con el higroimán se obtiene agua del aire, y con mayor humedad relativa se obtiene mayor cantidad de agua con menor consumo de energía eléctrica.

Palabras clave: condensación de vapor de agua, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío, higroscopicidad.

INTRODUCCIÓN

La dispersión de las viviendas en el medio rural y el desarrollo irregular de áreas suburbanas reducen significativamente la rentabilidad de la instalación de redes hidráulicas para abastecer agua potable a los habitantes de esas zonas. Según UNICEF (2008) y OMS (2009), 46 % de los hogares del mundo no disponen de servicios de agua por

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: Abril, 2010. Aprobado: Marzo, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 45: 293-301. 2011.

ABSTRACT

Water shortage in arid and suburban areas is a worldwide problem, so it is necessary to evaluate options for obtaining water by unconventional methods. Thus, the objective of this study was to evaluate a source of water supply through collection by condensation of water vapor from the atmosphere, with the prototype higroimán (hygromagnet) CP-HI-03, which induces the dew-point conditions. In this study conducted in México City from March 14 to June 3, 2008, the performance of seven levels of temperature and two times of operation of the prototype were analyzed. Means of results of relative humidity, air temperature, coil temperature and volume of water collected with the prototype were analyzed with the Tukey test ($p \leq 0.05$). The maximum amount of water collected was obtained with a relative humidity of 69.8 % at an average temperature of the higroimán of -10.6 °C condensing 1.980 L in a 15 h period. With the higroimán, water from the air is obtained and with higher relative humidity higher amount of water is obtained with less consumption of electric energy.

Key words: condensation of water vapor, relative humidity, absolute humidity, dew point, hygrosopicity.

INTRODUCTION

The dispersion of houses in rural areas and the uneven development of suburban areas significantly reduce the profitability of the installation of water systems to supply drinking water to the inhabitants of those areas. According to UNICEF (2008) and WHO (2009), 46 % of the world's households have no piped water services in their homes or nearby. In México, 11.30 % of 24 748 938 occupied private dwellings do not have piped water from public water supply networks or other sources (INEGI, 2005). This situation has promoted

tubería en sus hogares o cerca de ellos. En México, 11.30 % de 24 748 938 viviendas particulares habitadas no disponen de agua entubada proveniente de redes públicas de abastecimiento o de otras fuentes (INEGI, 2005). Esta situación ha impulsado la investigación para utilizar agua de fuentes no convencionales, como los sistemas de captación de lluvia, la recolección de neblina o la condensación de la humedad atmosférica (Roman, 1999).

La atmósfera contiene $12\,900\text{ km}^3$ de agua dulce, de los cuales 98 % es vapor de agua y 2 % de agua condensada (nubes), lo cual es comparable a los recursos renovables de agua líquida dulce de la tierra habitada (Beysens y Milimouk, 2000). Según Marzol (2002) y Gandhidasan (2007), el agua obtenida de la neblina es importante para poblaciones pequeñas; así, en Chungungo en el norte de Chile, hay una superficie de captación de 3528 m^2 con una producción de agua de 10 580 L, es decir, 3 L m^{-2} .

La humedad atmosférica es una fuente alternativa de agua potable en las zonas áridas y semiáridas (Cereceda *et al.*, 2000), y se puede complementar con las fuentes tradicionales en los asentamientos agrícolas y en los sistemas de abastecimiento urbano de agua en estas regiones, como ocurre en Chile, Perú, Namibia e Islas Canarias, donde se utiliza como una fuente de agua potable (Shanyengana, 2002).

Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar una fuente no convencional de abasto de agua, mediante la captación por condensación del vapor de agua de la humedad atmosférica, con un prototipo que induce las condiciones del punto de rocío.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Ciudad de México, $19^\circ 24' 26.53''$ N a $99^\circ 08' 35.23''$ O, a una altitud de 2240 m, en la azotea de un domicilio particular. De acuerdo con los datos meteorológicos históricos, obtenidos en la estación Merced, los promedios máximos y mínimos anuales son: temperatura, $33.3\text{ }^\circ\text{C}$ y $12\text{ }^\circ\text{C}$; humedad relativa, 86.75 % y 23 % (SMA-DF, 2003).

La condensación del vapor de agua contenido en la humedad atmosférica se realizó con un prototipo llamado higroimán CP-HI-03, el cual induce las condiciones del punto de rocío, es una variante de un sistema de refrigeración y tiene una escala de siete intervalos de temperatura para alcanzar el punto de rocío o de escarcha (Cuadro 1).

El higroimán (CP-HI-03), trabaja con un circuito cerrado herméticamente y consta de: 1) compresor; 2) filtro; 3) tubo

research on how to use water from unconventional sources, such as rainwater harvesting systems, fog water collection or condensation of atmospheric humidity (Roman, 1999).

Atmosphere contains $12\,900\text{ km}^3$ of freshwater of which 98 % is water vapor and 2 % condensed water (clouds), which is comparable to the renewable resources of fresh liquid water on inhabited earth (Beysens and Milimouk, 2000). According to Marzol (2002) and Gandhidasan (2007), water collected from fog is important for small populations; such as in Chungungo in northern Chile, where there is a harvesting area of 3528 m^2 with a water production of 10 580 L, that is, 3 L m^{-2} .

Atmospheric humidity is an alternative source of drinking water in arid and semiarid regions (Cereceda *et al.*, 2000), and can be complemented with the traditional sources in the agricultural settlements and in the urban water supply systems in these regions, as in Chile, Perú, Namibia and Canary Islands, where it is used as source of drinking water (Shanyengana, 2002).

Therefore the objective of this study was to evaluate an unconventional source of water supply, through water collection by condensation of water vapor of the atmospheric humidity, with a prototype that induces the dew point conditions.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted in México City, $19^\circ 24' 26.53''$ N to $99^\circ 08' 35.23''$ W, at an altitude of 2240 m, on the roof of a private home. According to historical meteorological data obtained in the Merced station, maximum and minimum annual means are: temperature, $33.3\text{ }^\circ\text{C}$ and $12\text{ }^\circ\text{C}$; relative humidity, 86.75 % and 23 % (SMA-DF, 2003).

Condensation of water vapor contained in the atmospheric humidity was carried out with a prototype called higroimán CP-HI-03, which induces the dew point conditions; it is a variant of a cooling system and has a seven temperature interval scale to reach the dew or frost point (Table 1).

The higroimán (CP-HI-03) works with a closed circuit hermetically sealed and consists of: 1) compressor; 2) filter; 3) capillary tube; 4) condenser; 5) coil or evaporator; 6) thermostat; 7) two thermometers; 8) freon gas (R-12), whose purpose is to condensate the water vapor of the environment. This prototype has the following dimensions: cooling equipment, $1.85 \times 50 \times 50\text{ m}$; evaporator, $1.35 \times 30 \times 32\text{ m}$ (1.7 m^2 plates); approximate weight 10 kg; and for operation requires 115 V, 60 Hz (Figure 1).

capilar; 4) condensador; 5) serpentín o evaporador; 6) termostato; 7) dos termómetros; 8) gas freón (R-12), cuya finalidad es condensar el vapor de agua del medio ambiente. Este prototipo tiene las siguientes dimensiones: equipo refrigerante, 1.85×50×50 m; evaporador, 1.35×30×32 m (1.7 m² placas); peso aproximado 10 kg; y para su funcionamiento requiere 115 V y 60 Hz (Figura 1).

En la Figura 2 se muestra la parte donde el higrómetro atrae las moléculas de agua (serpentín). El tratamiento 1 (Cuadro 1) ejerce una menor influencia en la atracción de las moléculas del agua debido a que la temperatura promedio del evaporador es 4.46 °C, es decir, el gradiente de humedad disminuye al alejarse del serpentín. Pero en el tratamiento 7 (Cuadro 1) a temperatura de -10.6 °C la humedad relativa es mayor cerca del serpentín lo que se refleja en la cantidad de agua obtenida para un mismo volumen de aire.

Los datos se tomaron con una estación meteorológica automatizada modelo IMETOS[®]sm, la cual se programó para registrar la humedad relativa y temperatura del aire, cada hora por 82 d (14 de marzo al 3 de junio de 2008). Esta estación dispone de

Cuadro 1. Valores de temperaturas promedio del higrómetro evaluadas.

Table 1. Values of evaluated average temperatures of the higrómetro.

Tratamiento	Promedio de temperatura (°C)	Intervalo de temperatura (°C)
1	4.46	3 a 7
2	0.6	0 a 2
3	2.86	-5 a -1
4	-5.53	-7 a -3
5	-8.2	-13 a -3
6	-9.6	-14 a -6
7	-10.6	-17 a -4

Figure 2 shows the part where the higrómetro attracts water molecules (coil). The treatment 1 (Table 1) has a lower influence on the attraction of water molecules due to the fact that the average temperature of the evaporator is 4.46 °C, that is, the humidity gradient decreases when moving away from the coil.

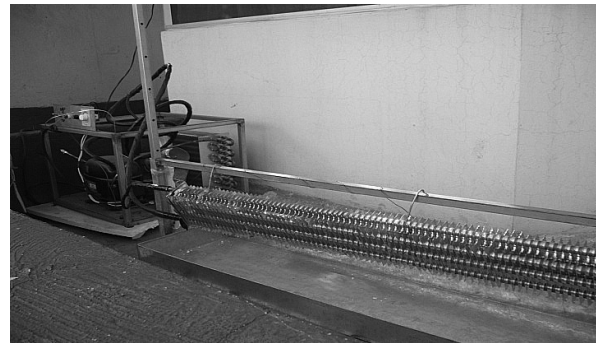
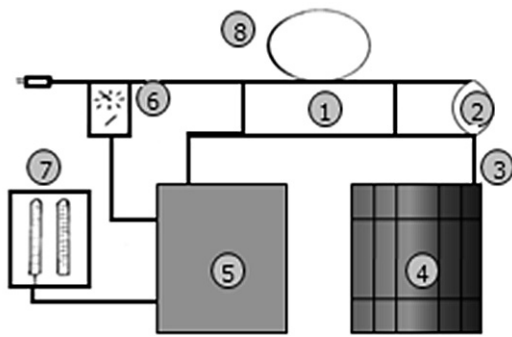


Figura 1. Partes del Higrómetro CP-HI-03 (izquierda) y fotografía del Higrómetro (derecha).
Figure 1. Parts of the Higrómetro CP-HI-03 (left) and photograph of the Higrómetro (right).

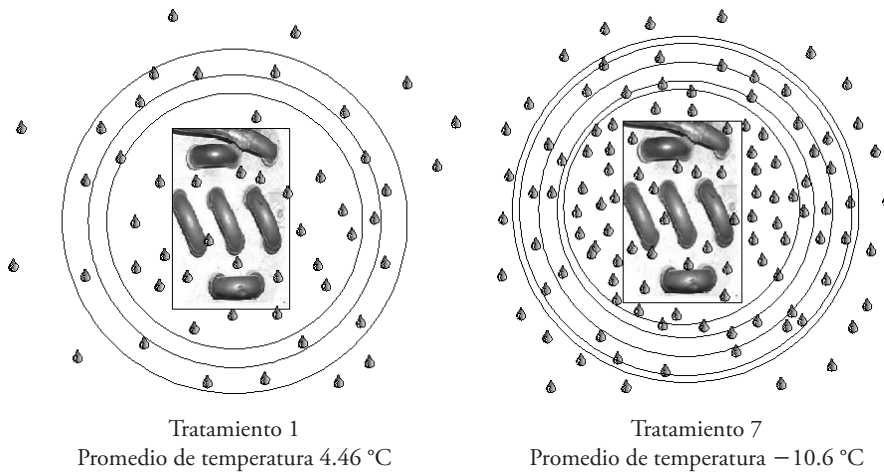


Figura 2. Representación esquemática de la vista lateral del serpentín y se muestra la influencia que ejerce la temperatura para atraer las moléculas de agua.

Figure 2. Schematic side view of the coil and the influence exerted by temperature to attract water molecules is shown.

un sistema de comunicación GPRS, y la información se transmite automáticamente a un servidor donde se guardaron los datos consultados en <http://www.imetos.at/fieldclimate>.

De los 82 d de uso de la estación meteorológica, se seleccionaron 28 d para obtener datos con el higrómetro; volumen de agua recolectada y la temperatura del serpentín. El consumo de energía se cuantificó con un watt-hímetro conectado entre el higrómetro y la toma de corriente eléctrica. Antes de tomar datos definitivos se obtuvieron datos del volumen de agua condensada cada h las 24 h del día durante dos semanas. Al analizar los datos se observó que de 10:00 a 19:00 h el volumen de agua recolectada fue mínimo. Por tanto, el higrómetro se usó sólo por periodos de 15 h: de las 19:00 h del día anterior a las 10:00 h del día siguiente, por ciclos de 50 min; en los 10 min restantes se evaluaron los datos mencionados a continuación en los pasos 2 y 3.

La evaluación se realizó así: 1) el higrómetro se operó manualmente para cada intervalo de temperatura; 2) el higrómetro se utilizó 170 min de cada ciclo de 3 h, en los 10 min restantes se registró el volumen de agua recolectada; 3) para el mismo intervalo se evaluaron el consumo, costo de energía eléctrica y la temperatura del serpentín.

Para la evaluación técnica del prototipo se analizaron dos variables: temperatura del higrómetro con siete niveles (Cuadro 1), y dos tiempos (50 y 170 min) de condensación; la combinación de ambas variables generó 14 tratamientos. El diseño experimental fue completamente al azar y se usó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para determinar diferencias estadísticas en el volumen de agua recolectado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según Schemenauer (2009), meteorológicamente cada día es un evento independiente y los valores de humedad relativa (HR) y temperatura del aire cambian constante e inversamente, uno respecto al otro en el transcurso del día. Para evaluar las condiciones meteorológicas en este estudio se registraron cada día estas dos variables durante 82 d (Figura 3). De 11:00 a 17:00 h el intervalo de HR fue 20 a 30 %, en el cual se captó sólo 10 % de agua en un día (promedio 15 mL d^{-1}), mientras que 90 % del volumen de agua se obtuvo de las 18:00 del día anterior a las 10:00 h del día siguiente. Este resultado difiere con Marzol (2002) y Kulshrestha (2005), quienes reportan 100 % de HR y el tiempo para obtener mayor cantidad de agua de niebla para el primero fue entre 18:00 h y las 23:00 h del mismo día, y para el segundo de las 22:00 h del día anterior

But in treatment 7 (Table 1) at temperature $-10.6 \text{ }^\circ\text{C}$, relative humidity is higher near the coil which is reflected in the amount of water obtained by a same volume of air.

Data were collected from an automatic weather station model IMETOS[®]sm, which was programmed to record relative humidity and air temperature, every hour for 82 d (March 14 to June 3, 2008). This station has a GPRS communication system, and information is automatically reported to a webserver where data were maintained and consulted in <http://www.imetos.at/fieldclimate>.

Of the 82 d of use of the weather station, 28 d were selected to obtain data with the higrómetro; volume of collected water and temperature of the coil. Energy consumption was measured with a watt-hour meter connected between the higrómetro and the electric outlet. Before taking definitive data, data of the volume of condensed water were obtained every hour for 24 h a day during two weeks. In analyzing the data it was observed that from 10:00 to 19:00 h the volume of water collected was minimal. Therefore, the higrómetro was used only for periods of 15 h: from 19:00 h of the previous day to 10:00 h of the following day, by cycles of 50 minutes; in the remaining 10 min data listed below in the steps 2 and 3 were evaluated.

The evaluation was carried out as follows: 1) the higrómetro was operated manually, for each interval of temperature; 2) the higrómetro was used 170 min of each cycle of 3-h, in the 10 remaining minutes the volume of water collected was recorded; 3) for the same interval, consumption, electrical energy cost and coil temperature were evaluated.

For technical evaluation of the prototype two variables were analyzed: temperature of the higrómetro with seven levels (Table 1), and two times (50 and 170 min) of condensation; the combination of both variables generated 14 treatments. The experimental design was completely randomized and the Tukey test was used ($p \leq 0.05$) to determine statistical differences in the volume of collected water.

RESULTS AND DISCUSSION

According Schemenauer (2009), meteorologically each day is an independent event and values of relative humidity (RH) and air temperature change constantly and inversely to each other during the day. To evaluate the weather conditions in this study these two variables were recorded each day during 82 d (Figure 3). From 11:00 to 17:00 h the RH interval was 20 to 30 %, in which only 10 % of water was collected in a day (average, 15 mL d^{-1}), while 90 % of the volume of water was obtained from 18:00 of the previous day to 10:00 h of the following day. This

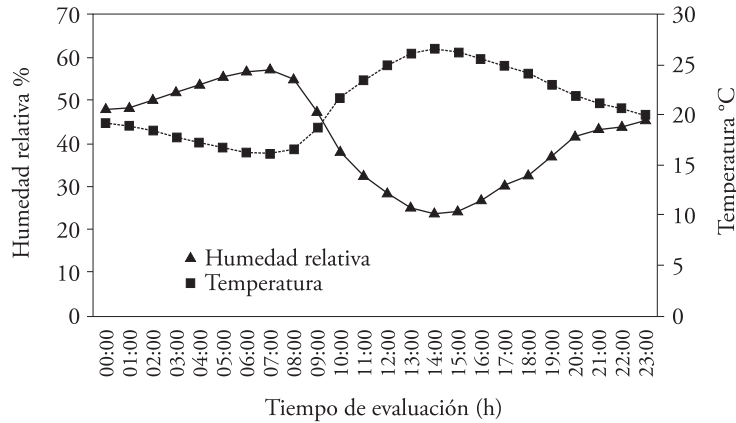


Figura 3. Humedad relativa y temperatura ambiente promedio del 14 de marzo al 3 de junio de 2008.
Figure 3. Relative humidity and average air temperature from March 14 to June 3, 2008.

a las 6:00 h del día siguiente. En los 82 d de registro de la HR y la temperatura del aire promedio horaria, se observó que: 1) los valores máximo y mínimo de la HR fueron 57.56 % a las 7:00 h, y 23.69 % a las 14:00 h; 2) la temperatura fue 26.61 °C a las 14:00 h, y 16.10 °C a las 7:00 h. Dichos resultados coinciden con los reportados por Arteaga (1993).

Dentro del periodo de registro de datos sólo se recolectó el agua durante 28 d, cuyos valores de HR y temperatura del aire se analizaron y compararon contra los datos de los 82 d, de las 19:00 a las 10:00 h. En la Figura 4 se muestra que la HR máxima y la mínima promedio del muestreo fueron 62.2 % a las 7:00 h, y 40.69 % a las 10:00 h. Los valores máximos y mínimos de HR por evento fueron 89 % a las 21:00 h, y 20 % a las 20:00 h.

En la Figura 5 se observa que la temperatura máxima promedio fue 22.31 °C a las 10:00 h, y

result differs from Marzol (2002) and Kulshrestha (2005), who report 100 % RH and the time to obtain higher amount of fog water for the first one was between 18:00 h and 23:00 h on the same day, and for the second one from 22:00 h of the previous day to 6:00 h of the following day. In the 82 d of the RH record and the average air temperature by hour, it was observed that: 1) the maximum and minimum values of RH were 57.56 % at 7:00 h, and 23.69 % at 14 h; 2) temperature was 26.61 °C at 14 h, and 16.10 °C at 7:00 h. Such results coincide with those reported by Arteaga (1993).

Within the period of data record water was only collected during 28 d, whose RH and air temperature values were analyzed and compared against data of 82 d, from 19:00 to 10:00 h. Figure 4 shows that the average maximum and minimum RH of sampling were 62.2 % at 7:00 h, and 40.69 % at 10:00 h. The

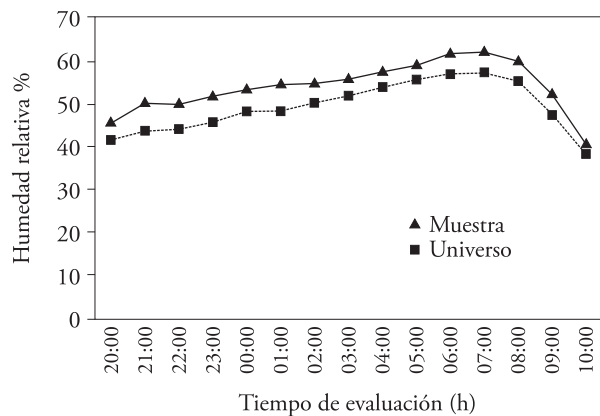


Figura 4. Distribución de la humedad relativa promedio horaria, durante 82 y 28 d del muestreo.
Figure 4. Distribution of hourly average relative humidity, for 82 and 28 d of sampling.

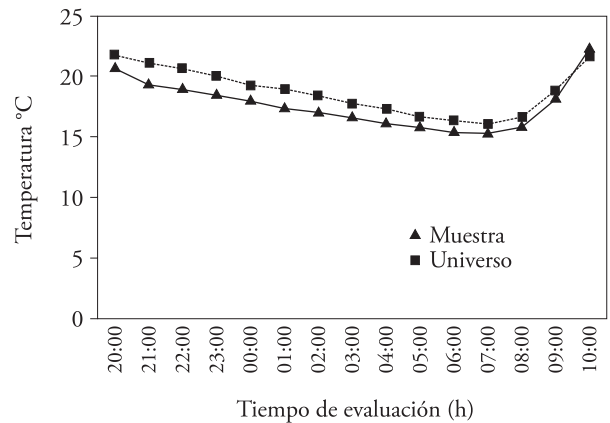


Figura 5. Comportamiento de la temperatura promedio horaria, durante 82 y 28 d del muestreo.
Figure 5. Behavior of the hourly average temperature, for 82 and 28 d of the sampling.

la mínima 15.28 °C a las 7:00 h, mientras que la temperatura máxima fue 27.7 °C a las 10:00 h, y la mínima 10.9 °C a las 7:00 h. Los datos mostrados en las Figuras 4 y 5 tienen una distribución similar, por lo que se corrobora que las determinaciones de volumen de agua recolectada, con base en los datos de 28 d, son confiables al ser una muestra representativa de los 82 d en que se registró la HR y la temperatura del aire.

En función de la temperatura del serpentín, en los tratamientos 3, 4, 5, 6 y 7 el agua se sublimó a la temperatura con intervalo promedio de 2.86 a -10.6 °C. Esto se debió a que la temperatura del serpentín en dicho intervalo se mantuvo en la temperatura de escarcha, lo cual provocó que el vapor de agua contenido en el aire se congelara en el momento de entrar en contacto con el dispositivo; mientras que en los tratamientos 1 y 2, con intervalo de temperatura de 0 a 7 °C, pudieron condensar la humedad atmosférica.

Al analizar el primer tiempo de trabajo (50 min) del higroimán se observa que el intervalo promedio de temperatura del serpentín en los tratamientos 5, 6 y 7, fue de -4 a -17 °C, condiciones en las cuales el volumen de agua obtenido fue similar dado que la HR y la temperatura del aire oscilaron de 47.05 a 59.86 % y de 18.44 a 21.98 °C. Además, hubo diferencia significativa con el tratamiento 1, a pesar de que la HR y la temperatura fueron 50.86 % y 16.03 °C (Cuadro 2).

En relación con la eficiencia para condensar el vapor de agua del aire con respecto a la cantidad de energía consumida, el tratamiento 6 fue el mejor con 104.4 mL h⁻¹, mientras que el tratamiento 1 fue el menos eficiente con 33.13 mL h⁻¹ (Cuadro 2).

En el segundo intervalo de tiempo analizado los volúmenes de agua se recolectaron por 3 h, con una actividad continua del higroimán de 170 min y 10 min para tomar datos (Cuadro 3). El promedio de HR fue diferente entre los dos intervalos de tiempo de condensación: en el primero (1 h) la HR fue 53.41 % y la diferencia entre los promedios diarios máximos y mínimos fue 20.22 %; en el segundo (3 h) el promedio fue 58.8 % y la diferencia entre los valores máximo y mínimo fue 37.1 %. Además, el volumen promedio de agua de los siete tratamientos fue 70.99 mL h⁻¹ para 1 h y 85.87 mL h⁻¹ para 3 h, lo que representa un incremento 20.96 % en el volumen de agua condensada. En el Cuadro 3 también

maximum and minimum values of RH per event were 89 % at 21:00 h, and 20 % at 20:00 h.

Figure 5 shows that the average maximum temperature was 22.31 °C at 10:00 h, and the minimum 15.28 °C at 7:00 h, while the maximum temperature was 27.7 °C at 10:00 h, and the lowest 10.9 °C at 7:00 h. Data shown in Figures 4 and 5 have a similar distribution, so it is confirmed that the determinations of volume of water collected, based on data for 28 d, are reliable to be a representative sample of the 82 d in which HR and air temperature were recorded.

Depending on the temperature of the coil, in treatments 3, 4, 5, 6 and 7 water was sublimated at temperature with an average interval of 2.86 to -10.6 °C. This was due to the fact that the temperature of the coil in that interval was maintained at the temperature of frost, which caused water vapor contained in air to freeze in the time of contact with the device, while the treatments 1 and 2, with temperature interval from 0 to 7 °C, were able to condense atmospheric moisture.

In analyzing the first working time (50 min) of the higroimán it is observed that the average temperature interval of the coil in treatments 5, 6 and 7, was -4 to -17 °C, conditions in which the volume of water obtained was similar since RH and air temperature ranged from 47.05 to 59.86 % and 18.44 to 21.98 °C. In addition, there was significant difference with treatment 1, although RH and temperature were 50.86 % and 16.03 °C (Table 2).

In terms of efficiency for condensing water vapor from the air with respect to the amount of energy consumed, treatment 6 was the best with 104.4 mL h⁻¹, while treatment 1 was the least efficient with 33.13 mL h⁻¹ (Table 2).

In the second interval of time analyzed the volumes of water were collected for 3 h, with an ongoing activity of the higroimán of 170 min and 10 min to collect data (Table 3). The average of RH was different between the two time intervals of condensation: in the first interval (1h) RH was 53.41 % and the difference between the maximums and minimum daily averages was 20.22 %; in the second (3 h), average was 58.8 % and the difference between the maximum and minimum values was 37.1 %. In addition, the average water volume of

Cuadro 2. Promedios de consumo de energía eléctrica, volumen de agua recolectada, humedad atmosférica y temperatura ambiental por cada intervalo de temperatura a una altitud de 2240 m usando el higoimán cada hora.**Table 2. Averages of electric power consumption, volume of collected water, atmospheric humidity and air temperature for each temperature interval at an altitude of 2240 m using the hidroimán every hour.**

Tratamiento [†]	Consumo de energía eléctrica kW h ⁻¹	Volumen de agua coleccionado mL	H R %	Temperatura ambiental °C	Volumen de agua ajustado mL kW h ⁻¹ §	Eficiencia % §
1	0.35b	33.13cb	50.86	16.03	94.66	49.97
2	0.44ba	56.60cb	65.10	17.03	126.95	66.88
3	0.42ba	47.73b	44.88	20.07	113.51	59.80
4	0.52ba	62.00b	51.57	19.85	117.16	61.72
5	0.53 ^a	95.86a	47.05	21.98	178.35	93.96
6	0.55 ^a	104.40a	54.53	19.09	189.81	100.00
7	0.54 ^a	97.20a	59.86	18.44	178.07	93.81

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). [†]Se refiere a las diferentes temperaturas en las que trabaja el higoimán (Cuadro 1). [§]El volumen de agua se ajustó al consumo de energía de 1 kW h⁻¹. [§]Se obtiene considerando el volumen máximo de agua recolectada con relación al volumen de agua ajustado al consumo de energía de 1 kW h⁻¹. [‡]Means with different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). [†]It refers to different temperatures in which the higoimán operates (Table 1). [§]The volume of water was fitted to the power consumption of 1 kW h⁻¹. [§]It is obtained by considering the maximum volume of water collected in relation to the volume of water fitted to energy consumption of 1 kW h⁻¹.

Cuadro 3. Promedios de consumo de energía eléctrica, volumen de agua recolectada, humedad atmosférica y temperatura ambiental por cada intervalo de temperatura a una altitud de 2240 m usando el higoimán por 3 h.**Table 3. Averages of electric power consumption, volume of collected water, atmospheric humidity and air temperature for each temperature interval at an altitude of 2240 m using the higoimán for 3 h.**

Tratamiento [†]	Consumo de energía eléctrica kW h ⁻¹	Volumen de agua mL	Humedad relativa %	Temperatura ambiental °C	Volumen de agua ajustado mL kW h ⁻¹ §	Eficiencia % §
1	0.737d	95.60d	53.4	16.26	129.62	38.87
2	0.825cd	100.40d	34.2	18.90	121.69	36.49
3	0.937c	350.00a	71.0	15.95	373.33	111.95
4	0.987c	270.00bc	71.3	16.29	273.41	81.99
5	1.024c	250.00c	42.1	19.76	244.04	73.18
6	1.087ab	341.20ab	69.9	14.60	313.74	94.08
7	1.187a	396.00a	69.8	12.07	333.47	100.00

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). [†]Se refiere a las diferentes temperaturas en las que trabaja el higoimán (Cuadro 1). [§]El volumen de agua se ajustó al consumo de energía de 1 kW h⁻¹. [§]Se obtiene considerando el volumen máximo de agua recolectada con relación al volumen de agua ajustado al consumo de energía de 1 kW h⁻¹. [‡]Means with different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). [†]It refers to different temperatures in which the higoimán operates (Table 1). [§]The volume of water was fitted to the power consumption of 1 kW h⁻¹. [§]It is obtained by considering the maximum volume of water collected in relation to the volume of water fitted to energy consumption of 1 kW h⁻¹.

se observa que no hubo diferencia en el consumo de energía eléctrica entre los tratamientos 3 y 5, pero se captaron diferentes volúmenes de agua: 350 mL con el tratamiento 3 y la HR fue 71 %; 250 mL con el tratamiento 5 y la HR fue 42.15 %.

La eficiencia del tratamiento 3 fue 111.95 % (Cuadro 3), es decir, se necesitó un menor consumo de energía eléctrica para obtener un mayor volumen

de los siete tratamientos fue 70.99 h mL⁻¹ for 1 h and 85.87 mL h⁻¹ for 3 h, representing a 20.96 % of increase in the volume of condensed water. Table 3 also shows that there was no difference in electricity consumption between treatments 3 and 5, but different volumes of water were collected: 350 mL with treatment 3 and RH was 71 %; 250 mL with treatment 5 and RH was 42.15 %.

de agua, debido a que la HR fue 71 % y la temperatura 15.95 °C en un periodo de tiempo prolongado (5 h), por lo cual hay una mayor cantidad de gramos de agua en la atmosfera (humedad absoluta) y por tanto el consumo de energía es menor.

El tratamiento 7 fue el más eficiente en cuanto a la obtención de agua, y el menos eficiente fue el tratamiento 2 (Cuadro 3). Esto se puede explicar porque mientras más fría se mantiene la superficie del serpentín se atrae una mayor cantidad de moléculas, lo cual depende directamente de la HR y la temperatura en el ambiente. Adicionalmente, entre más cerca se encuentren las moléculas del serpentín se aumenta la HR en un determinado volumen de aire (Figura 2).

En resumen, la cantidad de agua promedio obtenida durante 15 h con el higoimán en el tratamiento 1, para periodos de 1 y 3 h, fue 0.496 y 0.478 L, mientras que con el tratamiento 7 se captó 1.458 y 1.980 L de agua. En el primer caso no se observó diferencia alguna, pero a menor temperatura y mayor tiempo el volumen captado aumentó en 35.8 %. Cereceda (2000) y Olivier (2004) usaron neblina y una HR de 100 % y reportan valores de agua captada de 3.2 y 5 L d⁻¹ m⁻², es decir, 2 y 2.5 L por 15 h, volúmenes comparables a los obtenidos en le presente estudio, a pesar de que el higoimán operó con HR de 59.58 y 69.8 %.

Este es un estudio preliminar y se continuará la investigación con un prototipo con base en los resultados obtenidos, con el objetivo aumentar la eficiencia de la condensación de la humedad atmosférica.

CONCLUSIONES

Mediante la condensación de la humedad relativa del aire, que es una fuente no convencional para captar agua, se recolectaron 1.98 L de agua cada 15 h al utilizar un higoimán funcionando entre -17 a -4 °C. Además a temperaturas mayores de 0 °C la humedad atmosférica se condensa, mientras que se sublima inversamente (pasa del estado gaseoso al líquido) cuando las temperaturas son menores a 0 °C. El higoimán fue más eficiente al operar en periodos mayores a 1 h.

Considerando que es un estudio preliminar y que en promedio se consumieron 3 kW h⁻¹ (a un costo de \$0.617 por kW h⁻¹; 1 US\$ = \$12.20) para obtener 1 L de agua, el costo fue de \$1.80 que es menor al costo de 1 L de agua purificada comercial.

The efficiency of treatment 3 was 111.95 % (Table 3), indicating that it took less electricity consumption to obtain a greater volume of water, because RH was 71% and temperature 15.95 °C over an extended period of time (5 h), for which there is a greater number of grams of water in the atmosphere (absolute humidity), and therefore power consumption is lower.

Treatment 7 was the most efficient in terms of obtaining water, and the least effective was treatment 2 (Table 3). This may be explained because the colder the coil surface remains the greater number of molecules is attracted, which depends directly on RH and the ambient temperature. Moreover, as the molecules are closer to the coil RH is increased in a determined volume of air (Figure 2).

In summary, the average amount of water obtained during 15 h with the higoimán, in treatment 1 for periods of 1 and 3 h, was 0.496 and 0.478 L, while with treatment 7 1.458 L and 1.980 L of water were collected. In the first case there was no difference, but at a lower temperature and more time the collected volume increased in 35.8 %. Cereceda (2000) and Olivier (2004) used fog and a RH of 100 % and reported values of water collected of 3.2 and 5 L d⁻¹ m⁻², that is, 2 and 2.5 L per 15 h, volumes comparable to those obtained in this study, despite the higoimán operated with RH of 59.58 and 69.8 %.

This is a preliminary study and research will be continued with a prototype based on the results, in order to increase the efficiency of the condensation of atmospheric humidity.

CONCLUSIONS

By condensation of relative humidity in the air, which is an unconventional source to collect water, 1.98 L of water was collected every 15 h by using a higoimán operating between -17 to -4 °C. In addition to temperatures above 0 °C atmospheric humidity is condensed, while inversely sublimates (changes from a gas to liquid state) when temperatures are below 0 °C. The higoiman was more efficient by operating in periods longer than 1 h.

Considering it is a preliminary study and that on average 3 kW h⁻¹ were consumed (at a cost of \$0.617 per kW h⁻¹, 1 US\$ = \$12.20) for 1 L of

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca de postgrado otorgada para realizar el presente trabajo. A la Unidad de Mantenimiento de equipo del Colegio de Postgraduados por la construcción del prototipo y en especial a la colaboración del Ing. Marcos Arévalo Godínez, del departamento de aire acondicionado, y al señor Mario Vázquez García del departamento de Maquinado. A la Sra. Carmen Olivas Rodríguez por su importante colaboración en la toma de datos de este estudio.

LITERATURA CITADA

Arteaga, R. 1993. Introducción a la Meteorología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp: 66-72.

Beysens, D., and I. Milimouk. 2000. The case for alternative fresh water sources. *Pour les ressources alternatives en eau, Secheresse* 11(4): 1-16.

Cereceda, P. 2000. Los atrapanieblas, tecnología alternativa para el desarrollo rural. *Revista Medio Ambiente y Desarrollo* XVI (4): 51-56.

Cereceda, P., H. Larrain, P. Lázaro, P. Osses, R. S. Schemenauer, y X. Boroevic. 2000. La niebla, agua potable para zonas rurales. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis* 45: 143-160.

Gandhidasan, P. 2007. Fog collection as a source of fresh water supply in the kingdom of Saudi Arabia. *Water Environm. J.* 21: 19-25.

INEGI. 2005. http://www.inegi.gob.mx/lib/olap/general_ver3/MDXQueryDatos.asp. (Consultado: noviembre, 2007).

water, the cost was \$1.80 which is lower than the cost of 1 L of commercial purified water.

—End of the English version—



Kulshrestha, M. 2005. Deposition fluxes of chemical components of fog water at a rural site in north-east India. *Tellus* 57: 436-439.

Marzol, M. 2002. Fog water collection in a rural park in the Canary islands. *Atmospheric Res.* 64: 239-250.

Olivier, J. 2004. Fog harvesting: An alternative source of water supply on the West Coast of South Africa. *Geo J.* 61: 203-214.

OMS. 2009. Estadísticas Sanitarias Mundiales. http://www.who.int/whosis/whostat/ES_WHS09_Full.pdf (Consultado: diciembre, 2009).

Roman, L. 1999. Obtención de agua potable por métodos no tradicionales. *Ciencia al Día Int.* 2(2): 1-13.

SMA-DF. 2003. Informe Climatológico Ambiental del Valle de México. <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion26&id276>. (Consultado: diciembre, 2009).

Schemenauer, R. S. 2009. Fog Harvesting. Book Contribution in *Principles of Water Resources. History Development; Management, and Policy.* 3rd ed. John Wiley & Sons. USA. 359 p.

Shanyengana, S. 2002 Exploring fog as a supplementary water source in Namibia. *Atmospheric Res.* 64: 251-259.

UNICEF. 2008. Progresos en materia de agua y saneamiento Enfoque especial Saneamiento. [http://www.unicef.org/spanish/publications/files/Progress_for_Children_No._5_-_Spanish\(1\).pdf](http://www.unicef.org/spanish/publications/files/Progress_for_Children_No._5_-_Spanish(1).pdf). (Consultado: diciembre, 2009).