

## CONCENTRACIÓN DE METALES TRAZA EN EL AGUA OBTENIDA DE LA CONDENSACIÓN DE LA HUMEDAD ATMOSFÉRICA EN EL VALLE DE MÉXICO

Bautista Olivas Ana Laura<sup>1</sup>, Tovar Salinas Jorge Leonardo<sup>2</sup>, Mancilla Villa Oscar Raúl<sup>2</sup>, Flores Magdalena Héctor<sup>2</sup>, Ramírez Ayala Carlos, Arteaga Ramírez Ramón<sup>3</sup>, Vázquez Peña Mario<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Sonora, Km 21 carretera Hermosillo-Bahía de Kino Correo electrónico: [analaura@colpos.mx](mailto:analaura@colpos.mx).

<sup>1</sup>Postgrado de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, carretera México Texcoco km 36.5, C.P. 56230, Texcoco, México <sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Irrigación.

### Resumen

La escasez de agua potable es un grave problema en diversas partes del mundo, por lo cual es necesario buscar nuevas opciones para mitigar esta situación. El aprovechamiento del agua atmosférica es una opción. Sin embargo, es necesario garantizar la calidad del agua obtenida del aire, sobre todo en zonas con altos niveles de contaminación atmosférica, como es el Valle de México. Así, el objetivo de esta investigación consistió en evaluar en agua obtenida por condensación en el Valle de México. Las siguientes variables: conductividad eléctrica (CE) y potencial de hidrógeno (pH), y los siguientes elementos Al, As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn, El estudio se realizó en tres zonas: una en Texcoco, estado de México, y dos en la Ciudad de México, zona centro y zona norte.. En cada sitio se tomaron 25 muestras durante el periodo comprendido de mayo a agosto de 2010. Se obtuvo un total de 75 muestras de agua atmosférica. El agua se captó con el prototipo de un aparato denominado higoimán, el cual disminuye la temperatura de la superficie de contacto con el ambiente, para inducir el punto de rocío y condensar la humedad de la atmósfera. Se aplicó una prueba de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) a los resultados obtenidos y estos se compararon con los límites permisibles de agua potable establecidos por la OMS. La CE del agua atmosférica se encuentra entre 56.4 y 87.05  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , mientras que los valores de pH están entre 6.58 y 6.63. En algunas muestras, el Al, Fe y Pb rebasan los límites permisibles.

**Palabras clave:** *Condensación de agua atmosférica, Ciudad de México, Recursos de agua, metales traza.*

### Abstract

The shortage of drinking water is a serious problem in various parts of the world, making it necessary to seek new options to mitigate this situation. Atmospheric water harvesting is an option. However, it is necessary to ensure the quality of water obtained from the air, especially in areas with high levels of air pollution, such as the Valley of Mexico. The aim of this study was to evaluate in water collected by condensation in the Valley of Mexico the following variables: electric conductivity (EC), and potential of hydrogen (pH), which were measured with a conductivity/potentiometer; and Al, As, Ba, Cd, Cu, Cr, Fe, Hg, Mn, Pb and Zn, determined by an inductively coupled plasma (ICP) spectrophotometer, with the recommended methodology by EPA and APHA. The study was conducted in three areas: one in Texcoco, State of Mexico; and two more in Mexico City, central and northern areas. In each site 25 samples were taken during the period from May to August 2010. Water was collected with a prototype called "higoiman" –hygro-magnet–, which lowers the temperature of the contact surface with environment to induce the dew point and condense the humidity from the atmosphere. A test of means (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) was applied to obtained results and they were compared with the permissible limits of drinking water established by the WHO. EC of atmospheric water is found between 56.4 and 87.05  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , while pH values are between 6.58 and 6.63. In some samples, Al, Fe and Pb exceeded the permissible limits.

**Key words:** *Condensation of atmospheric water, Mexico City, Water resources, Trace metals*

### Introducción

La demanda de agua para consumo humano es un problema político, social y económico en el mundo. Las predicciones indican que los problemas seguirán aumentando, debido a que la población humana se incrementa de manera exponencial y el suministro de agua no aumenta de tal manera y, en algunos casos, se está agotando o se encuentra contaminada. Por lo que es necesario explorar fuentes no convencionales para obtener agua (Schemenauer y Joe, 1989).

Nikolaye *et al.* (1996) mencionan que la humedad atmosférica puede ser una alternativa viable en las zonas áridas y semiáridas, para obtener agua para consumo humano, debido a que aun en las zonas más secas del mundo hay humedad atmosférica (Shanyengana *et al.*, 2002). Sin embargo, es necesario garantizar la calidad del agua que se capta de la atmósfera, para no afectar la salud de quien la consume.

Diversas investigaciones muestran los riesgos en la salud por metales pesados encontrados en el agua (Lucho *et al.*, 2005). La importancia de estudiar los metales pesados radica en su capacidad de combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas y su fácil incorporación en el agua de lluvia y el agua atmosférica. De éstos, los más peligrosos son Pb, Mg, Cd, As, Cu, Zn y Cr, ya que influyen en diversas formas en los procesos fisiológicos de los organismos en los que tienden a bioacumularse (Marcovecchio *et al.*, 1991).

En general, el agua obtenida de la humedad atmosférica tiene bajo contenido de minerales y metales, en zonas poco contaminadas (Gandhidasan y Abualhama, 2007). Sin embargo, en sitios de alta contaminación se incorporan los elementos traza y partículas presentes en el aire en las gotas de agua (Fuzzi *et al.*, 1992).

En el Valle de México se concentra una parte importante de la actividad industrial, política y comercial del país, lo cual trae como consecuencia la concentración de 21.7 millones de personas, 20% de la población nacional, lo que origina altos valores de contaminación ambiental, debido a los procesos de industrialización, el uso de automóviles y el alto consumo de combustibles fósiles. Esto deteriora la calidad atmosférica en la Ciudad de México (Negrete-Salas, 2000). La influencia de tales actividades afecta la calidad del aire y, por consecuencia, la calidad del agua condensada.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la CE, el pH y la concentración de 11 metales traza en el agua obtenida por condensación con el higroimán CP-HI-03, en tres sitios y comparar los resultados con los estándares de agua potable establecidos por la OMS (1994).

### Materiales y Métodos

La investigación se efectuó en tres sitios: Sitio 1) Texcoco, estado de México, latitud norte 19° 30' 44.29'', longitud oeste 98° 52' 31.42'', altitud 2259 m; Sitio 2) Zona centro, México D.F., latitud norte 19° 24' 27.11'', longitud oeste 99° 08' 22.43'', altitud 2230m; Sitio 3) Zona norte, México D.F., latitud norte 19° 28' 55.32'', longitud oeste 99° 04' 55.32'', altitud 2236 m.

El muestreo de agua se llevó a cabo de mayo a agosto de 2010; se obtuvieron 25 muestras en cada sitio, un total de 75 muestras de agua atmosférica. Para obtener el agua se empleó un prototipo del higroimán CP-HI-03 (Bautista-Olivas *et al.*, 2011). El dispositivo se usó de 14:00 a 21:00 h.

Las muestras de agua atmosférica se colectaron según lo señalado por la APHA (1995). El primer litro de agua colectado se utilizó para determinar la CE y el pH, con la metodología descrita por la APHA (1995). Para determinar los metales traza se utilizó el otro litro de agua; la muestra se preservó con ácido nítrico concentrado, hasta un pH menor de 2. En la determinación de los metales traza (Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn) se empleó un espectrofotómetro de plasma acoplado inductivamente Perkin-Elmer, Modelo 5300, en el laboratorio de Ciencias Ambientales del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

Los resultados de la concentración de metales traza y la CE y el pH se analizaron estadísticamente por comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) con el Programa SAS (Statistical Analysis System), para

**Producción y protección de cultivos Bajo un escenario de cambio climático**

conocer si existen diferencias entre sitios de estudio; además, se compararon con los límites permisibles establecidos por la OMS(1994).

**Resultados y Discusión**

Los tres sitios de estudio se encuentran en el rango de CE de excelente calidad, según la DWA (1998). Sin embargo, existe una diferencia significativa entre la CE del agua condensada de Texcoco y la CE de los dos sitios del Distrito Federal, aunque se encuentra en el mismo rango de calidad. Shanyengana *et al.* (2002) observaron que el agua colectada de la niebla de Namibia, tomando en cuenta la CE, fue de excelente calidad, lo cual coincide con este trabajo. Los valores promedio de pH, los cuales se encuentran dentro de los límites permisibles y no hay diferencia significativa entre los tres sitios. Sin embargo, al analizar los valores individuales de cada muestra se observa que en la Zona 2 se registraron los valores extremos de 6.03 y 7.2; además, 22.6% de las muestras presentan pH por abajo de 6.5, valor indicado por la OMS (1994).

Gandhidasan y Abualhamayel (2007) detectaron muestras de agua de niebla cuyo pH se encontraba entre 7.23 y 8.02, a diferencia de Kulshrestha *et al.* (2005), quienes reportan que en el noreste de la India el promedio de pH de 10 muestras de agua de niebla fue de 5.6, por lo que se considera ligeramente ácida. Dichas diferencias de pH se deben a la contaminación de la atmósfera local de cada sitio mencionado, a mayor contaminación menor pH y viceversa.

La presencia de metales traza en el agua condensada por el higroimán se debe a diversos procesos naturales y antropogénicos que acidifican la atmósfera; este proceso está determinado por la neutralización de compuestos ácidos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  y  $\text{HCOOH}$ ), los cuales, al impactar el suelo liberan los metales como el Al, Hg, Cd, Cr, por lo que la concentración de éstos se incrementa en el aire (García *et al.*, 2006). En el Cuadro 1 se presentan los valores de los límites permisibles de pH y 11 metales traza, de acuerdo con la OMS (1994); además, se muestran los valores promedio obtenidos en cada sitio en este trabajo, así como los resultados de otras investigaciones. La concentración de Al, Fe, Hg, Pb y Zn no presenta diferencias significativas entre los tres sitios en este estudio, mientras que en el resto de los metales traza si existe diferencia (Cuadro 1). En este trabajo se detectaron As, Cd y Cr en cantidades mínimas, lo que concuerda con Gandhidasan y Abualhamayel (2007), quienes reportaron ausencia de estos metales traza en Kingdom, Arabia Saudita. Sin embargo, en la investigación de Patel *et al.* (1998) se observan concentraciones de Cr que superan los estándares de la OMS (1994) y su presencia está relacionada con el proceso de productos de la manufactura (ATSDR, 2008). Los valores de Mn y Zn están por debajo de 0.15 y 5  $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente, lo que coincide con Gandhidasan y Abualhamayel (2007). Dichas concentraciones cumplen con la norma de la OMS (1994). El Al, Fe y Pb superan, en algunas muestras, el límite permisible establecido por los estándares, por lo que se hace una discusión más extensa de éstos. En los tres sitios de estudio, el Al se encuentre en 94% de las muestras, sobrepasa los límites permisibles establecidos por la OMS (1994), mientras que en 6% de las muestras restantes la concentración se encuentra cercana a dichos límites. Esto se puede explicar debido a que el aluminio es el elemento más abundante en suelos y, aunque está unido a los minerales que lo constituyen, la acidez de la precipitación pluvial favorece su solubilidad y su incorporación a la atmósfera (Cyrus *et al.*, 2003). A pesar de que la superficie de contacto para condensar el agua de la atmósfera en el higroimán es de Al, no provee de este elemento al agua condensada, lo que se corroboró en el blanco analizado. En el Distrito Federal, zona norte, se detectó la mayor dispersión de la concentración de Al. Por su parte, Gandhidasan y Abualhamayel (2007) no detectaron Pb en ninguna muestra de agua de niebla. En este trabajo, la presencia de Pb en las muestras se debe a que la ZMCM se caracteriza por ser una zona de alta industrialización y tráfico vehicular. A pesar de que en México se redujo el uso de este metal en gasolinas y en la manufactura de productos con compuestos de plomo, las cantidades que hay en el ambiente aún son altas (Caridi y Kreiner, 1989). Esto se debe a que una vez liberado el Pb en la atmósfera es removido del aire por la lluvia y se deposita en el suelo permanece fuertemente unido a partículas del suelo por años, por lo

## Producción y protección de cultivos Bajo un escenario de cambio climático

que el uso del Pb en el pasado tiene un impacto considerable en la cantidad de este metal en la atmósfera (ATSDR, 2008). Lo anterior explica la presencia de Pb en el agua condensada con el higroimán.

**Cuadro 1. Comparación de los estándares de calidad de agua potable de OMS 1994, con el pH y las concentraciones de elementos medidos en la presente investigación en (ppm)**

Característica	OMS, 1994	̄ Texcoco	̄ Zona centro, México D.F.	̄ Zona norte, México D.F.
pH	6.5-8.5	6.62a	6.63a	6.58a
Al	0.2	0.27a	0.29a	0.28a
As	0.01	0.002a	0.0003b	0.0002a
Ba	0.3	0.017a	0.005a	0.021b
Cd	0.003	0.0017a	0.0013a	0.0009b
Cu	2	0.493a	0.344b	0.0498c
Cr (total)	0.05	0.001b	0.01a	0.007ab
Fe	0.3	0.0119 <sup>a</sup>	0.003a	0.005a
Hg	0.001	0a	0a	0a
Mn	0.5	0.0107a	0.003b	0.011a
Pb	0.01	0.011a	0.003a	0.005a
Zn	3	0.192a	0.288a	0.11a

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ )

### Conclusiones

La calidad del aire en el Valle de México influye en la calidad del agua obtenida por el higroimán. Al considerar los estándares de calidad de Namibia el agua de la atmósfera en los tres sitios de estudio se considera agua de excelente calidad. En cuanto al pH en las muestras analizadas 77.4% presentan una calidad excelente y en 22.6% es buena. Se encontró que no hay diferencias significativas en la detección de Al, Fe, Hg, Zn y pH, en los tres sitios de estudio. En algunas muestras, el Al, Fe y Pb rebasaron los estándares de calidad de la OMS, por lo que se recomienda aplicar ósmosis inversa al agua condensada para disminuir estos metales traza y que pueda utilizarse para consumo humano. Se recomienda continuar investigando sobre la calidad del agua que se puede obtener de la atmósfera en el Valle de México, considerando el análisis de coliformes fecales y *E. coli*.

### Literatura citada

- APHA, 1995. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. APHA (American Public Health Association), WWA (American Water Works Association), WPCF (Water Pollution Control Federation), Washington, DC, USA. 1030 p.
- ATSDR, 2008. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts13.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html) (Consultado el 1 de agosto 2011).
- Bautista-Olivas A. L., Tovar-Salinas J. L., Palacios-Vélez O. L., Mancilla-Villa O. R. 2011 La humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico. *Agrociencia*. 45, 293-301.
- Caridi A y Kreiner A. 1989. Plomo en la atmósfera. *Ciencia Hoy* 1
- Cyrus J., Stölzel M., Heinrich J., Krejlig W.G., Menzel N., Wittmaack K., Tuch T., Wichmann T. E., 2003. Elemental composition and sources of fine and ultrafine ambient particles in Erfurt, Germany. *The Sci. of the Total Environ.* 305, 143-156.
- Department of water Affairs Namibian Government (DWA), 1998 Guidelines for the Evaluation of Drinking Water for Human Consumption with Regard to Chemical, Physical and bacteriological Quality. Namibia.

**Producción y protección de cultivos Bajo un escenario de cambio climático**

- EPA (Environmental Protection Agency). 1996. Method 6010B. Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Revision 20. EPA Las Vegas, Nevada, USA.
- Fuzzi, S., Facchini, M.C., Orsi, G., Lind, J.A., 1992 The Po valley fog experiment, An overview. 44b,448-469
- Fuzzi, S., Castillo, R.A., Justo, J.E., Lala, G.C. 1984 Chemical composition of radiation fog at Albany, New York and its relationship to fog microphysics. *J. Geophys. Res.* 85,7159-7164
- Gandhidasan, P. Abualhamayel H., 2007. Fog collection as a source of fresh water supply in the kingdom of Saudi Arabia. *Water Environ. J.* 21,19-25.
- Kulshrestha, M., Sekar R., Krishna D., Hazarika K., Dey N., Rao P., 2005. Deposition fluxes of chemical components of fog water at a rural site in north-east India. *Tell.* 57,436-439.
- Lucho C.A., Prieto, F., Del Razo, L.M., Rodríguez, R., Poggi, H., 2005. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. *Agric. Ecosyst. Environ.* 108, 57-71.
- Marcovecchio, J.E.; Moreno, V.J., A. Pérez, 1991. Metal accumulation in tissues of sharks from the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Marine Environ. Res.* 31, 263-274.
- Negrete-Salas, M., 2000. Dinámica demográfica en la Ciudad de México: la Ciudad de México en el fin del segundo milenio. El Colegio de México. México D.F.
- Nikolayev, D. Beysens, A. Gioda, I. Milimouk, E. Katiouchine, J.-P. Morel, 1996. Water recovery from dew. *J. Hydro.* 182,19-35.
- OMS, 1994 [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/GDWAN4rev1and2.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWAN4rev1and2.pdf) (consultado el 1 agosto 2011).
- Patel, K S, Tripathi, An, Chandrawanshi, C K, Aggarwal S G, Patel, R M, Deb M K, Agnihotri, P. K. Patel, V. K., 1998. Yellowish fog precipitation In Central India proceeding of the first international conference on fog and fog Collection, Vancouver, Canada. July 19-24, 1998. 309-312.
- Schemenauer, R S and Cereceda, P., 1991 Monsoon cloudwater chemistry on the Arabian Peninsula. *Atmos Environ*, 26a, 1583-1587
- Schemenauer, R S and Cereceda, P., 1992 The quality of fog water collected for domestic and agricultural use In Chile. *J. Appl. Meteorol.*, 31, 275-290
- Schemenauer, R., Joe P. 1989. The collection efficiency of a massive fog collector. *Atmos. Res.* 24; 53-69.
- Shanyengana, S. Henschel J. Seely M. and Sanderson R. (2002) Exploring fog as a supplementary water source in Namibia. *Atmos. Res.* 64: 251-259.