

CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA OBTENIDA POR CONDENSACIÓN DE LA ATMÓSFERA EN TLAXCALA, HIDALGO Y CIUDAD DE MÉXICO

Ana Laura BAUTISTA OLIVAS^{1*}, Jorge Leonardo TOVAR SALINAS¹, Óscar Raúl MANCILLA VILLA¹, Héctor MAGDALENO FLORES¹, Carlos RAMÍREZ AYALA¹, Ramón ARTEAGA RAMÍREZ² y Mario Alberto VÁZQUEZ PEÑA²

¹ Postgrado de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, carretera México Texcoco, km 36.5. C.P. 56230, Texcoco, México

² Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5 C.P. 56230, Chapingo, México

*Autora responsable: analaura@colpos.mx

(Recibido mayo 2012, aceptado febrero 2013)

Palabras clave: agua atmosférica, *E. coli*, coliformes fecales, coligel, agua potable

RESUMEN

La disponibilidad de agua potable en cantidad y calidad, es un problema grave en el mundo. Hoy en día existen técnicas para obtener agua del aire y mitigar esta situación. Sin embargo, conocer la calidad microbiológica del agua proveniente de la atmósfera resulta relevante, debido al riesgo asociado con la ingesta de agua contaminada con bacterias provenientes de las heces de humanos y animales. No obstante, el diagnóstico de estos microorganismos, requiere de laboratorios especializados y representa varios días de análisis y costos elevados. El objetivo de esta investigación consistió en evaluar la cantidad de colonias de coliformes totales y fecales encontradas en el agua atmosférica condensada utilizando pruebas rápidas. El estudio se realizó en tres zonas: San Felipe Hidalgo, Tlaxcala; Huichapan, Hidalgo y en la Ciudad de México. En cada sitio se tomaron 9 muestras diurnas y 9 nocturnas con tres repeticiones, en dos épocas del año (agosto-septiembre, 2011) y (diciembre-enero 2011-2012). 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 se compararon con los límites permisibles de agua potable de acuerdo con la OMS. La ciudad de México presentó la mayor cantidad de colonias de coliformes totales y *Escherichia coli* en los dos muestreos. Mientras que Huichapan, Hidalgo presentó la menor cantidad de coliformes totales y fecales. El agua atmosférica en los tres sitios mencionados no se considera potable sin previo tratamiento.

Key words: atmospheric water, *E. coli*, fecal coliforms, coligel, drinking water

ABSTRACT

The availability of drinking water in quantity and quality is a serious problem in the world. Today there are techniques to obtain water from the air and mitigate this situation. However, knowing the microbiological quality of water from the atmosphere

is relevant, because of the risk associated with the ingestion of water contaminated with bacteria from the feces of humans and animals. Nevertheless, the diagnosis of these microorganisms requires specialized laboratories and represents several days of analysis and high costs. The objective of this investigation consisted on evaluating the number of total coliforms and fecal colonies found in condensed atmospheric water by using rapid tests. The study was conducted in three areas: San Felipe Hidalgo, Tlaxcala; Huichapan, Hidalgo; and Mexico City. In each site, 9 day samples and 9 night samples with three replications were taken in two seasons August-September, 2011 and December-January, 2011-2012. Water was captured with a prototype apparatus named higróiman, which decreases the contact surface temperature in order to induce the dew point and to condense the moisture from the atmosphere. It was applied a mean test (Tukey, $P \leq 0.05$) to the obtained results and these were compared with the permissible limits of drinking water according to World Health Organization. Mexico City had the highest number of total coliforms colonies and *Escherichia coli* in the two samples. Whereas Huichapan, Hidalgo presented the lowest number of total coliforms and fecal colonies. Atmospheric water at the three mentioned sites is not considered potable without treatment.

INTRODUCCIÓN

El agua es una de las principales fuentes de vida en el planeta. Sin embargo, puede ser uno de los principales transmisores de enfermedades si se llega a consumir en estado contaminado (OMS 1995).

La OMS (1994) establece que el agua es apta bacteriológicamente para consumo humano si se encuentra exenta de microorganismos patógenos de origen entérico y parasitario intestinal. Sin embargo, la presencia de coliformes en una muestra de 100 mL no siempre indica que el agua está contaminada con microorganismos patógenos, sino que, en términos estadísticos, su concentración es una característica que alerta sobre la existencia de contaminación fecal y de microorganismos patógenos (Campos 1999). Además, la densidad del grupo de los coliformes es un indicador del grado de contaminación y por lo tanto, de la calidad sanitaria que determina el uso que se le dará al agua (doméstico, industrial, agrícola entre otros) (Laws 1981, APHA 1989, APHA 2000).

Debido a que determinar la presencia de todos los organismos patógenos implicados en la contaminación ambiental es un proceso complicado y costoso, se analizan organismos indicadores de contaminación los cuales tienen un comportamiento similar a los organismos patógenos, siendo la detección más sencilla y económica (UM-FDA 2002).

Los microorganismos indicadores de la calidad de agua, se encuentran en las bacterias del grupo coliformes, que son patógenos de transmisión fecal-oral perteneciendo a este grupo especies como *Escherichia coli*, entre otras. Estos organismos generalmente se pueden encontrar en la capa superficial del agua o

en los sedimentos del fondo (Pettibone *et al.* 1987, OMS 1995, Wyer *et al.* 1995).

Los coliformes fecales también denominados termotolerantes, llamados así porque soportan temperaturas de hasta 45 °C, comprenden un grupo reducido de microorganismos indicadores de calidad, ya que son de origen fecal (Hayes 1993, Grabow 1996, Ashbolt *et al.* 2001, George 2001, Sueiro 2001).

Este tipo de microorganismos pertenece al grupo de los coliformes totales, pero se diferencian de los demás en que son indol positivo, su presencia indica contaminación fecal de origen humano o animal, ya que las heces contienen dichos microorganismos, presentes en la microbiota intestinal y de ellos entre 90 y 100 % son *E. coli* (Gómez *et al.* 1999).

Por otro lado, las heces de animales y humanos pueden contaminar el suelo con microorganismos potencialmente patógenos (Tallon *et al.* 2005) y existe la posibilidad de que sean suspendidos posteriormente en la atmósfera. Incluso en diversas muestras de polvo urbano de la Ciudad de México se ha aislado la bacteria *Escherichia coli*, indicadora de contaminación fecal, que constituye 40 % del total de bacterias coliformes aisladas en el polvo (Rosas *et al.* 1997) lo que indica un riesgo potencial de contaminación por esta y otras bacterias patógenas, así como por virus o parásitos.

Fuzzi *et al.* (1997) mencionan que las bacterias que se encuentran en el aire se asocian con los núcleos de condensación y congelación, por lo que la presencia de los indicadores de contaminación fecal en el agua atmosférica resulta evidente. Además, la concentración de microorganismos aumenta durante la época de secas, debido al transporte convectivo de las partículas

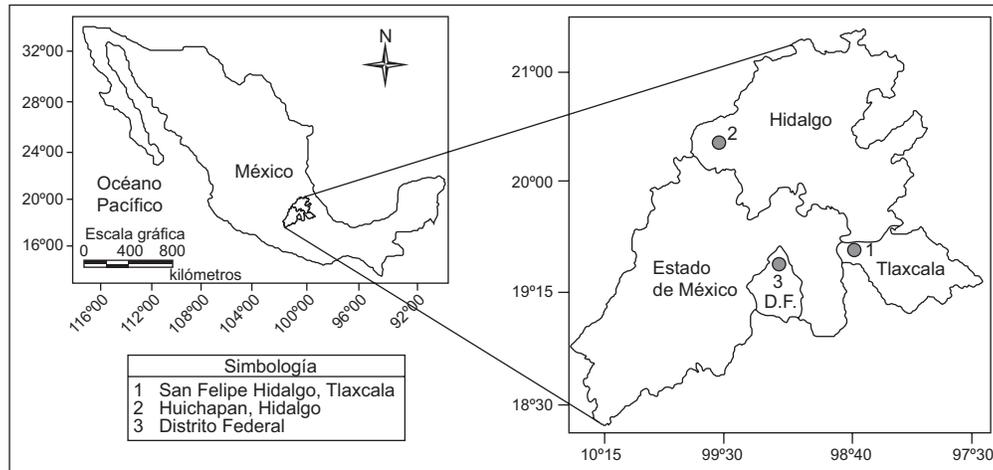


Fig. 1. Localización de la zona de estudio

provenientes de las superficies secas y durante la época de lluvias su número disminuye significativamente debido al lavado de la atmósfera (OPS 1997).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue detectar y cuantificar la cantidad de coliformes totales y fecales en el agua atmosférica captada con un condensador de la humedad atmosférica para evaluar la calidad bacteriológica en tres sitios de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

La investigación se efectuó en tres sitios: San Felipe Hidalgo, Tlaxcala, que se localiza a $19^{\circ} 29' 34.14''$ N, $98^{\circ} 35' 51.73''$ O (Fig. 1), con una altitud de 2920 m, temperatura media anual de 13.9°C , precipitación promedio anual de 1133.7 mm y clima $C(w_2)(w)big$; Huichapan, Hidalgo, a $20^{\circ} 22' 06.31''$ N, $99^{\circ} 39' 00.56''$ O, una altitud de 2131 m, temperatura y precipitación media anual de 16°C y 437 mm, y clima $BS_1kw''(w)(i)g$; Ciudad de México, a $19^{\circ} 24' 26.51''$ N, $99^{\circ} 08' 36.95''$ O, una altitud 2233 m, temperatura y precipitación promedio anual de 16.5°C y 573 mm, y clima $BS_1kw(w)(i)$ (García 1988).

Obtención de muestras de agua

El agua condensada de la humedad atmosférica se obtuvo con un prototipo de higroimán que atrapa el vapor de agua presente en la atmósfera, similar al propuesto por Bautista *et al.* (2011). Con la diferencia que este nuevo condensador higroimán modelo CP-HI-04 tiene un ventilador que inyecta aire a un tanque e induce el punto de rocío del aire del tanque condensando en una superficie de contacto (Fig. 2). Previo a la toma de muestras, se

aplicó aire a presión para la limpieza del higroimán además de esterilizar la superficie de contacto del agua atmosférica con una lámpara de luz ultravioleta a 260 nm. La humedad relativa y temperatura se midieron con una mini estación Watch Dog serie 1000, la cual se programó para medir estas variables cada hora y se obtuvo un promedio de las horas en que se tomaron las muestras diurnas y nocturnas del agua atmosférica.



Fig. 2. Prototipo del higroimán CP-HI-04

Muestreo

Para analizar el agua atmosférica se realizaron dos muestreos: el primero en época de lluvias (agosto y septiembre de 2011) y el segundo en época de secas (diciembre de 2011 y enero de 2012). Para cada sitio y época del año se muestreó durante 9 días con sus noches en un horario de 8:00 a 20:00 h y de 20:30 a

7:30 h, respectivamente, condensando aproximadamente 2 L de agua atmosférica por horario, obteniendo 2 muestras por día. Cada muestra se obtuvo por triplicado y un blanco para garantizar la veracidad de la prueba. Dando un total de 18 muestras triples por sitio con sus respectivos blancos. Como resultado de este trabajo se tomaron un total de 108 muestras.

Material utilizado para la prueba microbiológica

Con el objetivo de detectar y cuantificar la presencia de coliformes totales y *E. coli* en el agua atmosférica se utilizó una prueba microbiológica de detección rápida, llamada Coligel, la cual está reconocida internacionalmente para obtener los mismos resultados que aplicando la técnica del número más probable en unidades formadoras de colonias (UFC) por 100 mL (Montville y Matthews 2005, Bail *et al.* 2012).

Este medio de cultivo está autorizado como una prueba para la detección y cuantificación de coliformes totales y *E. coli* por la Agencia de Protección Ambiental de los EUA (EPA). Para realizar esta prueba se agregan 100 mL de la muestra de agua sin ninguna preparación, la bolsa de la prueba actúa como envase de muestra, posteriormente se enrolla el sobrante de la bolsa y se impulsa el agua hasta romper el contenedor donde se encuentra el medio de cultivo.

El Coligel cuenta con un gelificante capaz de provocar que las colonias de bacterias formen puntos visibles para la lectura de los resultados. Después de incubar a 35 °C por 21 h la bolsa de prueba detecta hasta una colonia de coliformes totales en forma de manchas de color azul y después de 7 h más de incubación detecta *E. coli* fecales siempre y cuando se observen manchas azules fluorescentes bajo luz ultravioleta. Siendo el número de manchas igual al número de coliformes totales y fecales en una muestra de 100 mL de agua.

Análisis de resultados

La información sobre la cantidad de coliformes totales y *E. coli* se comparó con los lineamientos estipulados por la OMS (1994) donde se menciona que no debe de existir ninguna colonia en una muestra de agua de 100 mL para considerar el agua apta para consumo humano. A las variables de humedad relativa y temperatura y al número de microorganismos que se obtuvieron en este trabajo se aplicó un análisis de covarianza. Además, se aplicó la técnica de Tukey para determinar si hay diferencia significativa en el contenido de coliformes totales y *E. coli* entre los 3 sitios de estudio, entre época del año y entre horario (diurno, nocturno).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a que cada día es un evento independiente con respecto al comportamiento de las variables de humedad relativa y temperatura, se consideró necesario tomar los datos promedio diurnos y nocturnos de cada sitio y en cada época (seca y lluvias), cuando se recolectaron las muestras de agua atmosférica que se presentan en los **Cuadros I, II III y IV**.

Al hacer un análisis de covarianza entre la humedad relativa y la temperatura con los datos de coliformes totales en los tres sitios de estudio, se encontró que estos dos factores no explican el número de microorganismos obtenidos del agua atmosférica.

Sin embargo, al estudiar la correlación entre la temperatura y el número de coliformes totales en las muestras de agua atmosférica del sitio de San Felipe Hidalgo, Tlaxcala, en los datos de la época de secas y lluvia en los turnos diurnos y nocturno se obtiene cierta relación confirmada por el p-valor que se obtiene indicando que hay una regresión li-

CUADRO I. PROMEDIO DE LA HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA (8:00 A 20.00 h) DE LA ÉPOCA DE LLUVIAS EN LOS TRES SITIOS DE ESTUDIO

Número de muestra	Fecha	San Felipe Hidalgo, Tlaxcala		Fecha	Huichapan, Hidalgo		Fecha	Ciudad de México	
		Humedad Relativa %	Temp. °C		Humedad Relativa %	Temp. °C		Humedad Relativa %	Temp. °C
1	14 Ago. 2011	53.88	17.51	24 Ago. 2011	40.16	23.41	16 Sep. 2011	32.68	27.71
2	15 Ago. 2011	59.95	17.23	25 Ago. 2011	51.04	21.82	17 Sep. 2011	40.73	23.33
3	16 Ago. 2011	56.28	17.89	26 Ago. 2011	58.70	21.53	18 Sep. 2011	28.77	27.09
4	17 Ago. 2011	55.24	17.42	27 Ago. 2011	64.90	19.64	19 Sep. 2011	29.83	26.21
5	18 Ago. 2011	54.20	19.59	28 Ago. 2011	42.84	24.32	26 Sep. 2011	31.10	25.35
6	19 Ago. 2011	58.74	15.19	29 Ago. 2011	43.08	23.52	27 Sep. 2011	38.81	22.84
7	20 Ago. 2011	62.34	16.43	30 Ago. 2011	50.82	22.16	28 Sep. 2011	45.32	19.76
8	21 Ago. 2011	56.08	17.75	31 Ago. 2011	41.42	23.89	29 Sep. 2011	40.17	20.23
9	22 Ago. 2011	63.01	15.06	1 Sep. 2011	43.24	23.94	30 Sep. 2011	37.56	23.29

CUADRO II. PROMEDIO DE LA HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA (20:30 A 7:00 h) DE LA ÉPOCA DE LLUVIAS EN LOS TRES SITIOS DE ESTUDIO

Número de muestra	Fecha	San Felipe Hidalgo, Tlaxcala		Fecha	Huichapan, Hidalgo		Fecha	Ciudad de México	
		Humedad Relativa %	Temp. °C		Humedad Relativa %	Temp. °C		Humedad Relativa %	Temp. °C
1	14-15 Ago. 2011	64.32	10.31	24-25 Ago. 2011	57.94	18.15	16-17 Sep. 2011	58.97	18.35
2	15-16 Ago. 2011	74.15	8.87	25-26 Ago. 2011	67.60	17.28	17-18 Sep. 2011	62.10	16.23
3	16-17 Ago. 2011	75.75	9.02	26-27 Ago. 2011	75.77	17.04	18-19 Sep. 2011	52.27	16.55
4	17-18 Ago. 2011	69.44	10.61	27-28 Ago. 2011	55.16	18.16	25-26 Sep. 2011	35.61	19.15
5	18-19 Ago. 2011	73.03	10.28	28-29 Ago. 2011	59.27	18.6	26-27 Sep. 2011	40.36	18.64
6	19-20 Ago. 2011	71.29	10.08	29-30 Ago. 2011	70.79	17.01	27-28 Sep. 2011	55.98	16.24
7	20-21 Ago. 2011	64.46	9.40	30-31 Ago. 2011	59.33	17.92	28-29 Sep. 2011	57.52	15.17
8	21-22 Ago. 2011	78.60	8.81	31 Ago. 1 Sep. 2011	54.23	19.7	30 Sep.- 1 Oct. 2011	55.67	16.33
9	22-23 Ago. 2011	76.72	8.90	1-2 Sep. 2011	71.20	17.03	1-2 Oct. 2011	60.10	15.60

CUADRO III. PROMEDIO DE LA HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA (8:00 A 20.00 h) DE LA ÉPOCA DE SECAS EN LOS TRES SITIOS DE ESTUDIO

Número de muestra	Fecha	San Felipe Hidalgo, Tlaxcala		Fecha	Huichapan, Hidalgo		Fecha	Ciudad de México	
		Humedad Relativa %	Temp °C		Humedad Relativa %	Temp °C		Humedad Relativa %	Temp °C
1	8 Dic. 2011	41.20	11.76	16 Dic. 2011	45.23	16.23	14 Ene. 2011	38.69	18.49
2	9 Dic. 2011	40.20	12.62	17 Dic. 2011	36.03	17.77	15 Ene. 2011	44.01	19.87
3	10 Dic. 2011	42.99	10.62	18 Dic. 2011	40.61	16.40	16 Ene. 2011	39.97	18.81
4	11 Dic. 2011	43.37	11.37	19 Dic. 2011	42.10	15.67	17 Ene. 2011	37.06	19.65
5	12 Dic. 2011	44.55	11.12	20 Dic. 2011	39.20	16.70	18 Ene. 2011	34.24	20.47
6	13 Dic. 2011	41.10	13.32	21 Dic. 2011	41.02	17.54	19 Ene. 2011	32.05	20.84
7	14 Dic. 2011	39.70	13.10	22 Dic. 2011	45.12	15.98	20 Ene. 2011	25.13	22.76
8	15 Dic. 2011	42.87	11.48	23 Dic. 2011	37.83	16.89	21 Ene. 2011	18.22	26.88
9	16 Dic. 2011	40.91	10.41	24 Dic. 2011	42.45	17.45	22 Ene. 2011	30.81	24.25

neal significativa, confirmada por el coeficiente de determinación $r^2 = 0.3521$.

Por otro lado, al analizar la temperatura de la época de lluvias (turno diurno y nocturno) así como en la época de secas (turno diurno y nocturno) con los coliformes totales, se obtuvo que el sitio de San Felipe Hidalgo, Tlaxcala, presentó los p-valor de 0.02 y 0.03, así como los coeficientes de determinación de 0.2712 y 0.2403. Lo que indica que la temperatura influye de alguna manera en la cantidad de microorganismos en el agua.

En cuanto a Huichapan, Hidalgo y la Ciudad de México los resultados de la correlación de la época

de lluvias y secas en ambos turnos, los p-valores y el coeficiente de determinación no señalan relación entre la temperatura y los microorganismos en el agua.

Por otra parte, se observa en las **Figs. 3, 4 y 5**, que en los tres sitios de estudio hubo presencia de coliformes totales y fecales. En San Felipe Hidalgo, Tlaxcala en 100 y 69.4% de la muestras de agua se presentaron coliformes totales y *E. coli*. En 50 y 22% de las muestras de Huichapan, Hidalgo hay presencia de coliformes y *E. coli* respectivamente. En el caso de la Ciudad de México en 100% de las muestras se presentan coliformes totales y *E. coli*.

CUADRO IV. PROMEDIO DE LA HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA (20:30 A 7:00 h) DE LA ÉPOCA DE SECAS EN LOS TRES SITIOS DE ESTUDIO

Número de muestra	Fecha	San Felipe Hidalgo, Tlaxcala		Fecha	Huichapan, Hidalgo		Fecha	Ciudad de México	
		Humedad Relativa %	Temp. °C		Humedad Relativa %	Temp. °C		Humedad Relativa %	Temp. °C
1	8-9 Dic. 2011	55.03	2.64	16-17 Dic. 2011	61.83	11.02	13-14 Ene. 2011	35.50	13.11
2	9-10 Dic. 2011	48.10	9.79	17-18 Dic. 2011	50.12	12.55	14-15 Ene. 2011	57.64	12.40
3	10-11 Dic. 2011	55.16	4.05	18-19 Dic. 2011	63.85	11.04	15-16 Ene. 2011	41.53	19.31
4	11-12 Dic. 2011	57.02	2.78	19-20 Dic. 2011	59.03	12.06	16-17 Ene. 2011	41.17	19.57
5	12-13 Dic. 2011	50.28	7.14	20-21 Dic. 2011	49.10	10.09	17-18 Ene. 2011	36.25	20.76
6	13-14 Dic. 2011	47.09	4.90	21-22 Dic. 2011	63.12	10.20	18-19 Ene. 2011	35.19	21.19
7	14-15 Dic. 2011	57.28	3.87	22-23 Dic. 2011	60.09	12.43	19-20 Ene. 2011	32.66	21.61
8	15-16 Dic. 2011	58.11	5.20	23-24 Dic. 2011	57.23	10.98	20-21 Ene. 2011	41.80	13.79
9	16-17 Dic. 2011	57.04	5.70	24-25 Dic. 2011	59.11	11.03	21-22 Ene. 2011	38.27	13.70

Al agua atmosférica de estos tres sitios es necesario aplicarle algún método de desinfección para que sea bacteriológicamente apta para consumo humano.

Del total de las muestras de agua atmosférica de San Felipe Hidalgo, Tlaxcala, 5.5, 61.1 y 33.4% se clasifican como agua de bajo, intermedio y alto riesgo respectivamente. Mientras que el agua de Huichapan se clasifica en 55 y 45% en riesgo bajo e intermedio. Para la Ciudad de México 86.12 y 13.88% de las muestras son de riesgo alto e intermedio para la salud. Por lo que Huichapan, Hidalgo es el sitio donde hay menor concentración de coliformes totales en las muestras colectadas.

A pesar de que San Felipe Hidalgo, Tlaxcala se

caracteriza por ser una zona boscosa y con escasa urbanización se observa presencia de coliformes totales y *E. coli* en las muestras de agua atmosférica. Esto se puede explicar por la cercanía de un relleno sanitario en el municipio de Nanacamilpa y además por la colindancia con la Ciudad de México y el Estado de México donde el fecalismo canino en las calles es mayor que en San Felipe, Tlaxcala, y los contaminantes son transportados por las corrientes de aire. Considerando el **cuadro V**, se corrobora que el consumo del agua condensada en este sitio sería de alto riesgo para la salud humana.

En el **cuadro VI** se observa la concentración de coliformes totales en el sitio de San Felipe Hidalgo,

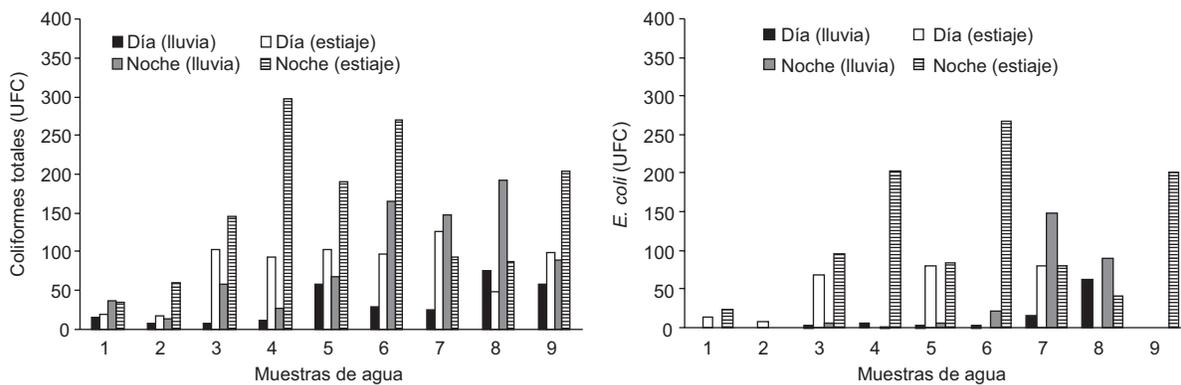


Fig. 3. Presencia de Coliformes totales (izquierda) y *E. coli* (derecha) en los dos muestreos de agua atmosférica condensada en San Felipe Hidalgo, Tlaxcala en muestras de 100 mL

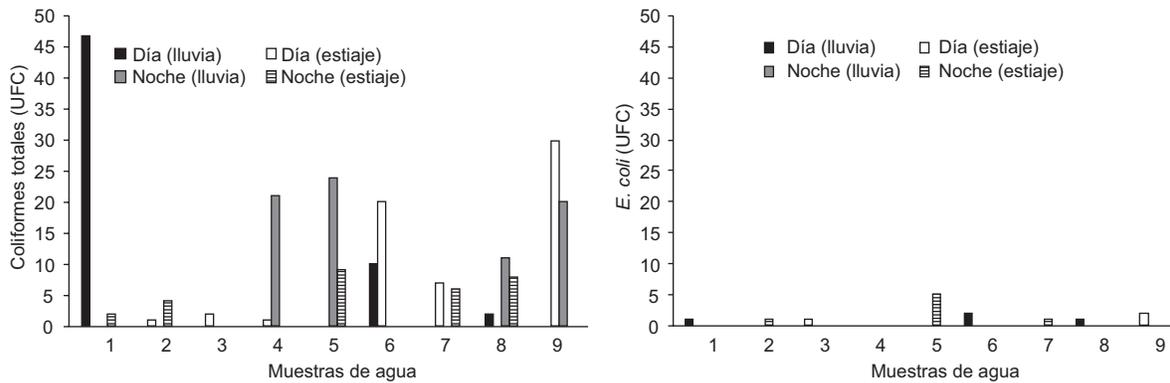


Fig. 4. Presencia de coliformes totales (izquierda) y de *E. coli* (derecha) en los dos muestreos de agua atmosférica condensada en Huichapan, Hidalgo en muestras de 100 mL

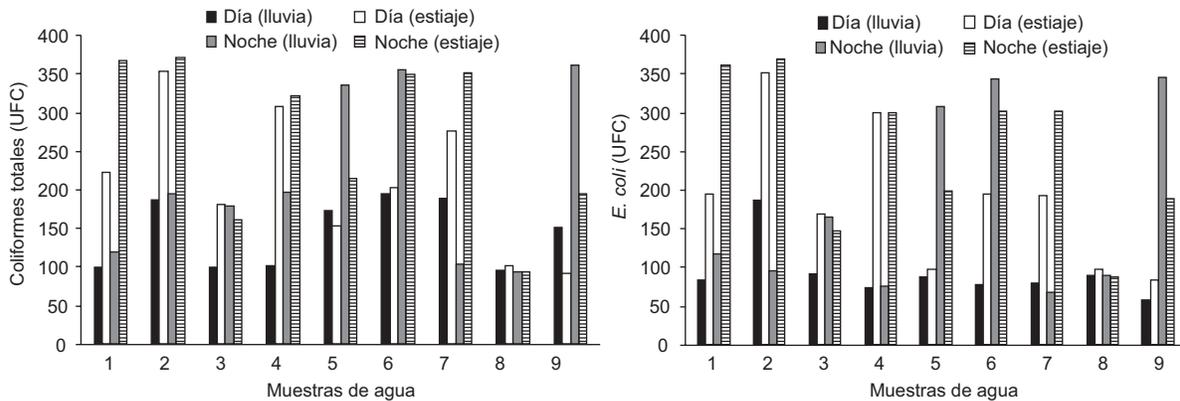


Fig. 5. Presencia de coliformes totales (izquierda) y de *E. coli* (derecha) en los dos muestreos de agua atmosférica condensada en la Ciudad de México en muestras de 100 mL

TLaxcala. En este sitio hay diferencias significativas en las muestras tomadas en el horario diurno y nocturno en época de secas. Mientras que en la época de lluvias la concentración de las colonias guarda cierta relación con los datos obtenidos en la época de secas. La concentración máxima de *E. coli* se obtuvo en la época de secas y por la noche (109.4 UFC) y este dato es significativamente diferente del resto de los resultados del muestreo en este sitio.

CUADRO V. CLASIFICACIÓN DE LOS COLIFORMES TOTALES EN LAS FUENTES DE AGUA

Número de coliformes totales en 100 mL de agua (UFC)	Observación
0.0	Cumple con las normas de la OMS
1.0 -10.0	Riesgo bajo para la salud
10.0-100.0	Riesgo intermedio
100.0-1000.0	Riesgo alto
>1000.0	Riesgo muy alto

Fuente: (WHO 1997)

En la zona de Huichapan, Hidalgo la concentración de coliformes totales y *E. coli* no indican diferencias significativas entre las épocas y los horarios de muestreo. Además el agua de la atmósfera es de bajo riesgo para la salud (WHO 1997). Esto se explica por las características de planicie que tiene esta zona por donde corre libremente el aire dispersando los contaminantes, además de ser una ciudad con baja cantidad de población canina en las calles y que se encuentra a distancias importantes de rellenos sanitarios u otro tipo de foco de contaminación atmosférica.

En la Ciudad de México, en el comportamiento de los coliformes totales y *E. coli*, se observa que hay diferencias significativas entre las dos épocas de muestreo y entre el horario diurno y nocturno (letras A y B), y guarda cierta relación con los resultados obtenidos de coliformes totales y *E. coli* en la época de secas en el sitio de San Felipe Hidalgo, Tlaxcala. Estas altas concentraciones de coliformes en el Distrito Federal se pueden explicar, porque este sitio se caracteriza por ser una cuenca cerrada, rodeada por

CUADRO VI. PROMEDIO DE COLIFORMES TOTALES Y *E. coli*

Sitio	Coliformes totales				<i>E. coli</i>			
	Lluvia		Secas		Lluvia		Secas	
	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
San Felipe Hidalgo, Tlaxcala	32.2 D	89.5 DC	79.6 DC	154.7 BC	10.4 CD	30 CD	27.6 CD	109.4 BC
Huichapan, Hidalgo	6.5 D	8.4 D	6.7 D	3.2 D	0.4 D	0.0 D	0.3 D	0.77 D
Ciudad de México	144.0 BC	215.8 AB	210.1 AB	270.1 A	92 B	178 AB	186.4 AB	250.4 A
	*DMS=100.4				*DMS=98.1			

*DMS=Diferencia mínima significativa

**Las letras significan el resultado de la aplicación de la prueba de Tukey y medias con distinta letra son significativamente diferentes

una cadena montañosa, que constituye una barrera natural que dificulta la libre circulación del viento y la dispersión de los contaminantes.

Aunado a lo anterior las 36 ton de heces fecales diarias producidas por la población canina en la vía pública de la ciudad (DGPS 2013) generan partículas suspendidas con un alto contenido de coliformes totales y otro tipo de bacterias, lo que se ve reflejado en los resultados obtenidos en las muestras de agua atmosférica.

En el **cuadro VI** se observa que el menor contenido de coliformes totales y de *E. coli* (UFC) se encuentra en la época de lluvias, debido a que las precipitaciones provocan lavado troposférico lo que se ve reflejado en los resultados de este estudio.

Otro factor en la concentración de UFC en época de secas es la inversión térmica que provoca una mayor concentración de UFC. En la ciudad de México las inversiones térmicas son un fenómeno natural que se presenta con mayor frecuencia en los meses de noviembre a abril, lo que se aprecia en los resultados de este trabajo en relación con la concentración de coliformes totales.

Asimismo, las concentraciones de coliformes totales en San Felipe Hidalgo, Tlaxcala indican que no hay diferencias significativas entre las dos épocas analizadas. Por otro lado, este lugar no presenta diferencias en obtener agua en época de lluvias o secas. No obstante, la Ciudad de México sí muestra la diferencias entre las dos épocas de estudio.

El comportamiento de las diferencias entre época de estudio y horario en la concentración de coliformes totales es similar a las muestras diurnas en Huichapan, Hidalgo. Sin embargo, en los resultados de la Ciudad de México no hay diferencia significativa en muestrear en época de lluvias y secas.

La concentración de *E. coli* indica que en la Ciudad de México entre las dos épocas del muestreo hay diferencias y el resto de los datos se pueden considerar significativamente iguales.

Por último, se observa que hay diferencias entre los sitios de estudio. Sin embargo, entre la época de lluvias y secas en que se tomaron los datos por sitio no hay diferencias significativas y los resultados de la época de secas de San Felipe Hidalgo, Tlaxcala son similares con los de la época de lluvia de la Ciudad de México.

CONCLUSIONES

En los tres sitios de estudio se encontró contaminación por coliformes totales y fecales. Huichapan, Hidalgo fue el sitio donde hubo muestras con ausencia de UFC de coliformes totales y fecales.

Los niveles de contaminación de origen fecal hacen necesario un estricto control de la calidad microbiológica del agua atmosférica.

El agua condensada de la humedad atmosférica representa una alternativa viable como agua para consumo humano aplicándole algún método de desinfección.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada a Ana Laura Bautista Olivas para hacer posible la realización del presente trabajo.

A la Unidad de Mantenimiento de Equipo del Colegio de Postgraduados, Sr. Marcos Arévalo Godínez y Mario Vázquez García por la realización del prototipo con el cual se pudieron obtener las muestras de agua.

Al personal del parque ecoturístico Piedra Cantada por las facilidades otorgadas en la toma de muestras.

A la señora Carmen Olivas Rodríguez por su participación en el proceso de toma de muestras.

REFERENCIAS

- APHA (1989). Standard methods for the examination of water and wastewater. 17a. ed. 1220 pp.
- APHA (2000). Métodos normalizados para el análisis de agua potable y residual. 17a. ed. Editorial Díaz de Santos. Madrid, España 1147 pp.
- Ashbolt N.J., Grabow W. y Snozzi M. (2001). Indicators of microbial water quality. Water quality: Guidelines, standards and health—Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. Londres (Reino Unido), IWA Publishing, 289-315.
- Bautista O. A., Tovar S.J., Palacios V. O. y Mancilla V. O. (2011). La humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico. Agrociencia 45, 293-301.
- Campos C. (1999). Indicadores de contaminación fecal en la reutilización de aguas residuales para riego agrícola. Tesis doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. 250 pp.
- DGPS (2013) (en línea) Dirección General de Promoción de la Salud, Secretaría de Salud, México. <http://www.promocion.salud.gob.mx/cdn/?p=3614>. 16/04/2013.
- Fuzzi S., Mandreoli P. y Perfetto, A. (1997). Fog droplets an atmospheric source of secondary biological aerosol particles. Atmos. Environ. 31, 267-290.
- García E. (1988). Modificaciones al Sistema de Clasificaciones Climáticas de Köppen. 4a. ed. UNAM. Méx. D.F. 217 pp.
- George I. (2001). Use of rapid enzymatic assays to study the distribution of faecal coliforms in the Seine river (France). Water Sci. Technol. 43, 77-80.
- Gómez M., Peña P. y Vázquez M. (1999). Determinación y diferenciación *Escherichia coli* y coliformes totales usando un sustrato cromógeno. Laboratorio Centra. Aqzgest. Galicia, España.
- Grabow W. (1996). Waterborne diseases: Update on water quality assessment and control. Water Sci. Technol. 22, 193-02.
- Hayes (1993). Microbiología e higiene de los alimentos. Acribia. Zaragoza, España.
- Laws E.A. (1981). Aquatic Pollution. Wiley, Nueva York, 482 pp.
- Montville T.J. and Matthews K.R. (2005). Food microbiology: An introduction 2a ed. American Society for Microbiology.
- OMS (1994). Lineamientos del agua potable. Organización Mundial de la Salud (En línea) http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWAN4rev1and2.pdf 2/01/2012.
- OMS (1995). Guía sobre los requisitos de las prácticas adecuadas de fabricación segunda parte, validación. Organización Mundial de la Salud, Ginebra. Resolución 2115, 2007.
- OPS (1997) Guías para la calidad del agua potable. Vol. 2, criterios relativos a la salud y otra información base. Organización Panamericana de la Salud, Publicación Científica N° 506 Washington D.C.
- Pettibone G.W., Sullivan S.A. y Shiaris M.P. (1987). Comparative survival of antibioticresistant and sensitive fecal indicator bacteria in estuarine water. Appl. Environ. Microbiol. 53, 1241-1245.
- Rosas I., Salinas E., Yela A., Calva E., Eslava C. y Cravioto A. (1997). *Escherichia coli* in settled dust and air samples collected in residential environments in Mexico city. Applied Environ. Microbiol. 63, 4093-4095.
- Sueiro R.A. (2001). Evaluation of Coli-ID and MUG Plus media for recovering *Escherichia coli* and other coliform bacteria from groundwater samples. Water Sci. Technol. 43, 213-216.
- Tallon P., Magajna, B., Lofranco C. and Leung K.T. (2005). Microbial indicators of faecal contamination in water: a current perspective. Water Air Soil Poll. 166, 139-166.
- UM-FDA (2002). Buenas Prácticas Agrícolas. Sección II. University of Maryland – Food and Drug Administration UM-FDA. (En línea) http://jifsan.umd.edu/pdf/gaps_es/SECCI_N_II.pdf 10/1/2012.
- WHO (1997). Guidelines for drinking water quality. World Health Organization (En línea) http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf 15/2/2012.
- Wyer M.D., Kay D., Jackson G.F., Dawson H.M., Yeo J. y Tanguy L. (1995). Indicator organism sources and coastal water quality: a catchment study on the island of Jersey. J. Appl. Bacteriol. 78, 290-296.