

Contaminación por bacterias fecales en el Lago Huayamilpas, Mexico, D. F.

Fecal bacteria contamination in Lake Huayamilpas, Mexico, D. F.

Patricia E. Namihira-Santillán,
Guadalupe Barrera-Escorcía
y Antonio Z. Márquez-García

Departamento de Hidrobiología, CBS, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. A.P. 55-535, C.P. 09340, D.F., México.

Namihira-Santillán, P. E., G. Barrera-Escorcía y A. Z. Márquez-García, 2002. Contaminación por bacterias fecales en el Lago Huayamilpas, Mexico, D. F. *Hidrobiológica* 12(2): 129-136.

RESUMEN

Se evaluó la calidad sanitaria del lago urbano de Huayamilpas, como parte de un programa de rehabilitación enfocado al restablecimiento de las condiciones adecuadas para la introducción de especies nativas de peces. Se determinaron mensualmente durante el ciclo 1997-1998, los Números Más Probables de bacterias coliformes totales (C.T.), fecales (C.F.) y estreptococos fecales (E.F.), en agua y sedimento con el método de tubos múltiples, en el cuerpo lacustre y los aportes. En estos, las C.T. rebasaron los niveles recomendables para la recreación con contacto primario hasta en un 83% de los casos; y las C.F. superaron las normas para la protección de la vida acuática hasta en un 67%. En el cuerpo lacustre los E.F. rebasaron estos límites hasta en un 55%. Las concentraciones de bacterias en sedimento fueron en promedio 100 veces más altas que en agua, llegando a ser 300 en los aportes. Se identificaron tres secciones: el cuerpo lacustre principal, con menor porcentaje de muestras contaminadas (C.T. 5%, C.F. 11%, E.F. 28%); el cuerpo lacustre anexo, con niveles intermedios (C.T. y C.F. 20%, E.F. 60%) y los aportes (C.T. 77%, C.F. 61% E.F. 85%), con altos niveles. La mala calidad sanitaria en estos se atribuyó a la entrada esporádica de agua residual. La contaminación por E.F. se asoció a la presencia de aves. Este indicador es relevante para reincorporar las especies nativas de peces. La calidad sanitaria puede mejorarse; evitando la contaminación de los aportes antes de su vertimiento al lago y se recomienda el control de la población de aves.

Palabras Clave: Calidad Sanitaria, bacterias coliformes, Estreptococos fecales.

ABSTRACT

The water sanitary quality was evaluated following a restoration program for native fish species introduction in an urban lake, Huayamilpas. The Most Probable Number of total coliforms (T.C.), fecal coliforms (F.C.) and streptococci (F.S.) were determinate as indicator organisms in water and sediment every month (1997-1998) at the main pond and the inflows. The T.C. bacteria were above the limits for recreation water (in 83% of the samples), the F.S. group was above the norm for aquatic life organisms protection (in the 67% in the inflows), the F.S. bacteria were 55% over those limits on the samples from the pond. The bacteria concentrations in sediments were 100 times greater than in the column of the pond, and 300 higher than the inflows. Three sections could be identified: the main pond with low percentage of contaminated samples (T.C. 5%, F.C. 11%, F.S. 28%); the secondary pond with intermediate levels (T.C. and F.C. 20%, F.S. 60%); and the inflows (T.C. 77%, F.C. 61%, F.S. 85%) with the highest levels. The poor bacteriological quality of the inflows was attributed to the sporadic drainage of domestic wastewater. The F.S. contamination was associated to the presence of the birds. F.S. is a relevant indicator to considerate for the fish introduction of native species. Water quality can be improved by avoiding the contamination by the water inflows prior to its entry to the lake, and by the recommendation of controlling bird population.

Key Words: Sanitary quality, coliform bacteria, fecal Streptococci.

INTRODUCCIÓN

Los lagos y embalses ubicados en las áreas urbanas se enfrentan al embate de distintas actividades antropogénicas, lo que motiva su deterioro paulatino y constante. Debido a ello, la rehabilitación de estos ambientes plantea una serie de problemas que deben ser analizados de manera integral para facilitar en lo posible, la restitución de las condiciones naturales.

En el manejo de los recursos debe existir un balance entre el uso racional, la conservación y la preservación a largo plazo; sin embargo, para que esto sea efectivo, las guías y regulaciones deben basarse en el conocimiento adecuado de los impactos derivados tanto de las alternativas de manejo, como de los medios aplicados para mitigar los efectos adversos en determinados ambientes (Pillay, 1992). Entre los requisitos necesarios para llevar a cabo la rehabilitación de la integridad fisicoquímica y biológica de un cuerpo acuático, se debe caracterizar la calidad sanitaria (National Research Council, 1992). Ésta se determina a través de indicadores de contaminación fecal, como las bacterias coliformes totales (C.T.) y particularmente, las coliformes fecales (C.F.) (DOF, 1989; Edberg *et al.*, 2000). En algunos países se ha adoptado la detección de estreptococos fecales (E.F.) de forma complementaria debido a que es un grupo de bacterias cuya presencia es común en las heces de animales de sangre caliente y manifiesta contaminación fecal reciente, e incluso han llegado a considerarse mejores indicadores que las bacterias coliformes (Godfree *et al.*, 1997; Thurman *et al.*, 1998).

Derivado de lo anterior, se planteó como objetivo determinar el contenido de bacterias coliformes y estreptococos en el agua y el sedimento, así como su comportamiento durante un ciclo anual, para establecer la calidad sanitaria del Lago Huayamilpas. Este trabajo forma parte del "Proyecto de rehabilitación del Lago Huayamilpas", en el cual se analizaron diversas alternativas de manejo integral, enfocados a la recuperación de las condiciones adecuadas para restablecer las especies nativas como es el caso del pez *Chirostoma humboldtianum*.

ÁREA DE ESTUDIO

El lago Huayamilpas se encuentra en el parque del mismo nombre localizado al sur de la Ciudad de México en la delegación Coyoacán, formando parte de lo que se conoce como el Pedregal de San Ángel (19°19'25" N y 99°09'05" W). El clima de la región es templado subhúmedo con lluvias en verano y poca oscilación de temperatura (García, 1981).

Esta cuenca es de tipo urbano, formada hace aproximadamente 50 años, debido a procesos volcánicos y antropogénicos. Las paredes rocosas del área se han utilizado como bancos de extracción de materia prima destinada a la fabrica-

ción de asfalto para la zona metropolitana. El proceso de excavación de la desaparecida cantera de basalto alcanzó su base entre 7 y 10 m de profundidad, originando una depresión que al atravesar la cota superior del manto freático, inundó el área. El vaso lacustre se terminó de formar cuando fue levantado el bordo arenoso artificial, localizado al extremo norte del lago (Márquez-García y Pérez-Rojas, 1994). El lago tiene forma rectangular y ocupa cerca de una hectárea. Debido a su naturaleza la profundidad máxima varía de 60 cm, hasta casi 3 m en la temporada de lluvias (meses de junio a septiembre), recargándose principalmente de la Sierra del Chichinautzin. El lago posee dos manantiales que le abastecen de agua, ambos ubicados al oeste: uno de ellos dentro del cuerpo principal, mientras que el otro se encuentra afuera a una distancia de 500 m. El agua de este manantial es directamente bombeada al lago a través de una cascada que se abre en época de estiaje (febrero a mayo) para minimizar la drástica pérdida de volumen que sufre el lago en esta temporada.

MATERIALES Y MÉTODO

Se realizaron muestreos mensuales durante un año (mayo de 1997 a mayo de 1998) en seis sitios: cuatro ubicados en el lago (estaciones 1, 2, 3 y 5) y dos en los aportes, uno en la cascada (estación 4) y el otro en el manantial externo (estación 6). En las estaciones 1, 2, 3, 5 y 6 se tomaron muestras de agua y sedimento, y en la 4 únicamente de agua; dando un total de 59 muestras de agua y 51 muestras de sedimento analizadas. El agua se colectó con frascos de vidrio estériles de 250 mL de capacidad, a 20 cm de la superficie. El sedimento se obtuvo por medio de una draga van Veen de 3 L de capacidad y de éste, se extrajeron submuestras por medio de jeringas despuntadas y esterilizadas (Wright *et al.*, 1996). Simultáneamente se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura y oxígeno disuelto, utilizando un multianalizador Horiba U10, y la transparencia con disco de Secchi. Inmediatamente después de coleccionar las muestras, se mantuvieron en frío y se analizaron entre 4 y 6 horas después.

Se hicieron para agua seis diluciones decrecientes decimalmente (de 10^{-1} a 10^{-6}) y para sedimento siete diluciones (de 10^{-1} a 10^{-7}). Se aplicó la técnica del Número Más Probable (NMP) por tubos de fermentación (DOF, 1987). Para la determinación de bacterias coliformes se hicieron cultivos en caldo lactosado a 35°C por 48 h. Para coliformes totales, como prueba confirmativa se utilizó caldo verde brillante bilis al 2%, a 35°C por 48 h; y para coliformes fecales, se empleó caldo EC, a 44.5°C por 48 h. Para el grupo de estreptococos fecales se siguió la secuencia de cultivo propuesta por Merck (1982), usando caldo de azida dextrosa a 35°C por 48 h y sembrando en tubos con caldo púrpura de bromocresol azida colocados a la misma temperatura para la prueba confirmativa.

Tabla 1. Criterios base para la interpretación de resultados.

Grupo Bacteriano	Límite Máximo Permissible para la Protección de la vida acuática (NMP/100 mL)
Coliformes totales	500 ^{a)}
Coliformes fecales	200 ^{b)}
Estreptococos fecales	150 ^{c)}

a) Reinheimer (1994); b) no más del 10% de las muestras mensuales debe rebasar de 400 C.F./100mL, DOF (1989); c) los valores de la media geométrica mensual no deben pasar los 33 enterococos/100 mL. EPA (1996).

Los resultados obtenidos fueron comparados con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 (DOF, 1989) para C.F.; debido a que no incluye a C.T., éstos se evaluaron con el Criterio de Reinheimer (1994) y los E.F. con los Criterios de Calidad del Agua del Code of Federal Register 40, EPA (1996) (Tabla 1).

Finalmente, se realizó el análisis de varianza y se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman (Rs) para determinar la posible asociación entre los tres grupos de bacterias y los parámetros físicoquímicos con el paquete de cómputo Estadística versión 5 (Statsoft, 1997).

RESULTADOS

Los datos obtenidos a través del análisis del agua indicaron que la calidad sanitaria del lago fue variable en el periodo analizado, presentándose elevados NMP de coliformes totales en los meses en los cuales se registran las temperaturas más altas (abril a julio). Las mayores concentraciones de coliformes fecales se presentaron en los mismos meses y en noviembre ($p = 0.02$ por ANOVA). El grupo de estreptococos fecales presentó concentraciones elevadas todo el año, siendo significativamente mayores ($p = 0.03$ por ANOVA) en los meses de mayo a septiembre, enero y febrero (Fig. 1).

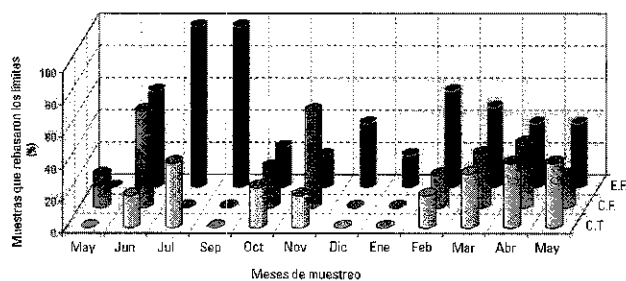


Figura 1. Variación mensual de la calidad del agua. Muestras por arriba de 500 coliformes totales/100 mL (C. T.), 200 coliformes fecales/100 mL (C. F.), 150 estreptococos fecales/100 mL (E. F.).

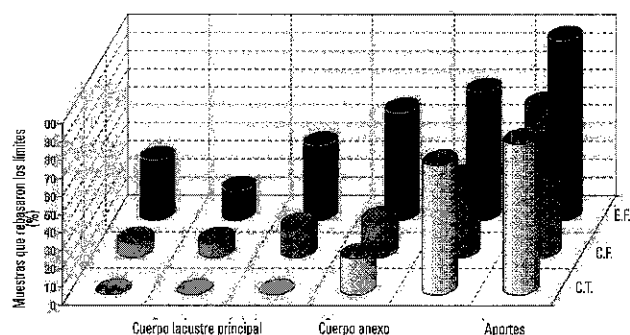


Figura 2. Distribución de bacterias en el Lago Huayamilpas C. T. > 500/100 mL; C. F. > 200/100 mL; E. F. > 150/100 mL.

Las estaciones de colecta registraron diferencias. Las ubicadas dentro del cuerpo lacustre principal (1,2 y 3) no rebasaron las normas; la estación 5 tuvo 20% de muestras por arriba de los límites mientras que las estaciones 4 y 6, localizadas en los aportes, estuvieron más contaminadas por coliformes totales en 71% y en 83% de las muestras, respectivamente. En el caso de las coliformes fecales, el 66% de las muestras estuvieron por encima de los límites máximos permitidos (LMP) en las estaciones de los aportes, 20% en la estación 5 y únicamente el 11% en el cuerpo lacustre principal. Todas las estaciones se consideraron contaminadas por estreptococos fecales, los cuales rebasaron los límites en un 55% de las muestras (Fig. 2). Todos los grupos presentaron las concentraciones más altas en las estaciones correspondientes a los aportes, estaciones 4 y 6, donde se observaron aportes de agua residual de la zona habitacional circundante.

En todas las colectas y en todos los puntos se detectaron los grupos coliformes totales y estreptococos fecales en agua; mientras que hubo un menor porcentaje de detección de coliformes fecales (77%) en las muestras, en los meses más fríos (de octubre a marzo), lo cual hizo patente la importancia de los aportes, ya que la cascada no vierte al lago en esta época. El análisis del sedimento, indicó que los grupos coliformes totales y estreptococos fecales tuvieron un patrón de detección similar al del agua, es decir, se encontraron en todas las muestras. Las bacterias fecales tuvieron menor frecuencia de aislamiento en el sedimento con respecto al agua, además de que se presentaron sólo en el 57% de las muestras en los meses de octubre a mayo (Fig. 3).

Los valores para coliformes totales en sedimento fluctuaron entre 0 y 2'400,000 células/100 g con un promedio de 169,000. Para coliformes fecales y estreptococos fecales variaron de 0 a 1'100,000 células/100 g, con un promedio de 98,000 y 100,000 respectivamente, mientras que en agua, se obtuvieron valores promedio de 7,000, 7,000 y 10,000, respectivamente.

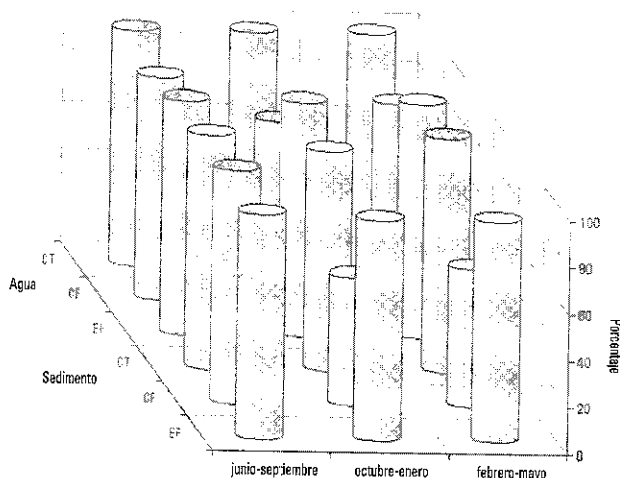


Figura 3. Porcentaje de detección de los grupos bacterianos.

En términos generales, los valores en los sedimentos sobrepasaron hasta en 100 veces las concentraciones registradas en agua dentro del lago, y hasta 300 veces en los aportes (Figura 4). La máxima diferencia se registró en la estación 6 con una concentración en sedimento 7000 veces mayor que en agua.

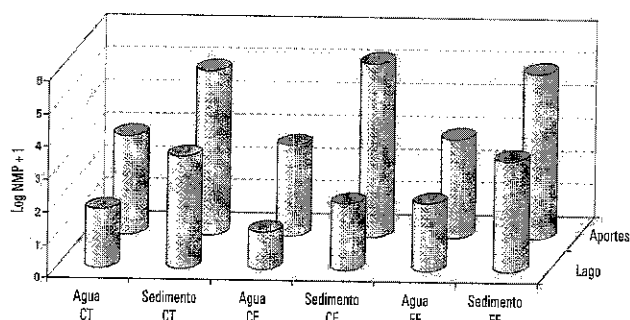


Figura 4. Concentraciones bacterianas en agua y sedimento.

Tabla 2. Promedio de parámetros fisicoquímicos.

Sección	pH	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Transparencia (cm)
Cuerpo principal	9.35	20.0	10.09	24.0
Cuerpo anexo	8.70	20.5	9.05	25.0
Aportes	7.81	18.8	9.52	70.0
Promedio	8.62	19.7	9.89	30.7

Los contenidos de coliformes totales y coliformes fecales en agua tuvieron una correlación directa ($R_s = 0.67$; $p = 0.01$). El resto de las correlaciones entre grupos bacterianos no se consideraron estadísticamente significativas.

Respecto a la relación de los microorganismos con los parámetros fisicoquímicos, los tres grupos de bacterias presentaron números más probables bajos en las estaciones 1, 2 y 3, que constituyen el cuerpo lagunar ($R_s = -0.59$; $p < 0.01$). En éstas, el pH fue alcalino (entre 8.9 y 10.4). Las coliformes fecales tuvieron una correlación inversa con la transparencia ($R_s = -0.99$; $p < 0.01$), ya que los números más altos se presentaron en el agua más turbia. Los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos, se presentan en la Tabla 2.

Los resultados de NMP para coliformes totales (Tabla 3) indicaron que el agua era inadecuada para la protección de la vida acuática en el 20 % de las muestras. El grupo de coliformes fecales (Tabla 4) rebasó el criterio en 24 % de las muestras (incluso el 13% tuvo más de 400 bacterias/100 mL); mientras que para estreptococos fecales (Tabla 5) se sobrepasaron los límites en el 48% de las muestras (la media geométrica fue de 530 bacterias/100 mL).

Tabla 3. Coliformes totales en agua (NMP/100 mL) en el Lago Huayamilpas.

Estación	May	Jun	Jul	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
1	23	28	43	9	15	210*	43	43	150	9	23	43
2	23	93	460	43	4	460*	4	93	21	15	23	150
3	240	240	240	240	43	150	9	240	45	43	93	43
4	15	2400*	1100*	15						2400*	2400*	2400*
5	21	210	2400*	93	2400*	23	23	15	37	93		
6					4600*	150			731*	2100*	2100*	6789*

* Muestras que rebasaron los límites máximos permitidos: 1. este del lago; 2. centro del lago; 3. oeste del lago; 4. cascada; 5. cuerpo anexo al lago; 6. manantial externo al lago.

Tabla 4. Coliformes fecales en agua (NMP/100 mL) en el Lago Huayamilpas.

Estación	May	Jun	Jul	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
1	9	28	43	0	15	210*	15	0	4	3	0	9
2	4	93	4	7	4	460*	4	0	4	0	0	150
3	240*	240*	15	43	23	150	0	4	9	43	43	39
4	15	2400*	4	15						210*	240000*	93
5	15	210*	4	9	1100*	0	23	7	9	7		
6					4600*	150			655*	210*	21000*	1652*

* Muestras que rebasaron los límites máximos permitidos: 1. Este del lago; 2. Centro del lago; 3. Oeste del lago; 4. Cascada; 5. Cuerpo anexo al lago; 6. Manantial externo al lago.

Tabla 5. Estreptococos fecales en agua (NMP/100 mL) en el Lago Huayamilpas.

Estación	May	Jun	Jul	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May
1	23	28	210*	240*	150	43	43	150	460	23	93	240*
2	23	93	240*	210*	23	43	93	93	150	23	43	150
3	23	240*	2400*	240*	9	28	150	1100*	2400*	23	43	39
4	5	2400*	240*	240*	1100*	110000*	93					
5	23	210*	460*	2400*	460*	43	2400*	93	15	460*		
6	1100*	460*	1100*	460*	46000*	2569*						

* Muestras que rebasaron los límites máximos permitidos: 1. Este del lago; 2. Centro del lago; 3. Oeste del lago; 4. Cascada; 5. Cuerpo anexo al lago; 6. Manantial externo al lago

DISCUSIÓN

La presencia de estreptococos fecales durante todos los muestreos, coincide con lo indicado por Godfree *et al.*, (1997), en el sentido de que, este grupo posee una mayor resistencia ante factores de estrés ambiental tales como la temperatura (encontrándose entre 10 y 60°C) y el pH (hasta 9.6), con respecto a las bacterias coliformes fecales. Su presencia se ha asociado con contaminación de origen animal (Fujioka *et al.*, 1981). En este cuerpo de agua, podría relacionarse con la población de aves, la cual está constituida principalmente por patos (*Anas sp.*) que se asienta en la ribera del lago. Anteriormente se ha demostrado que la presencia de aves puede afectar la calidad bacteriológica de aguas recreativas (Lévesque *et al.*, 1993), embalses (Alderisio y De Luca, 1999) y de estanques de cultivo de peces (Austin y Austin-Allen, 1985b). Por otro lado, la contaminación por coliformes totales y coliformes fecales se vinculó al vertimiento intermitente de agua residual doméstica al manantial, del cual se bombea al lago principalmente en los meses de estiaje (de octubre a mayo). Durante los meses de lluvias (junio a septiembre), el cuerpo lacustre capta agua también del lava-

do del terreno circundante, que puede acarrear estos microorganismos hacia el lago, lo que explicaría las altas concentraciones de estreptococos en esos meses.

La mayor concentración de bacterias en el sedimento con respecto a la del agua ha sido tratada con anterioridad por Brettar y Höfle (1992), Davies *et al.*, (1995) y Fish y Pettibone (1995), que coinciden, en que, las células bacterianas se adhieren al material particulado, del cual obtienen resguardo contra la depredación y las condiciones ambientales adversas, a la vez que proporciona una fuente alimenticia que les permite sobrevivir por largos periodos, e incluso, en algunos casos favorece su multiplicación (Marino y Gannon, 1991). Lo cual explica las elevadas concentraciones en sedimento, respecto al agua.

Se obtuvo una relación negativa entre la transparencia y el pH, respecto a las C.F., las concentraciones bajas se determinaron en pH relativamente alcalino y agua con abundante material en suspensión en el cuerpo principal del lago, mientras que en los aportes el agua tuvo mayor transparencia, un pH casi neutro y se asoció a altas concentraciones de

bacterias. En el ambiente acuático existe una relación sinérgica negativa entre las bacterias fecales y algunos factores como el pH ácido y la turbidez (Curtis *et al.*, 1992), pero en el lago Huayamilpas las condiciones locales no permitieron encontrar una asociación semejante.

Aunque los resultados indicaron que el Lago Huayamilpas no puede considerarse apto para la protección de la vida acuática, esta condición no fue constante, habiéndose observado variaciones asociadas a los parámetros fisicoquímicos y una influencia importante de los aportes de agua residual al manantial, y de éste, al lago.

Con base en lo anterior y tomando en cuenta los NMP registrados, el cuerpo lagunar puede dividirse en tres secciones: la primera, más contaminada, constituida por los aportes (estaciones 4 y 6), en los que el porcentaje de muestras contaminadas por grupo analizado fue C.T. 77%, C.F. 61% y E.F. hasta 85%. La segunda, con niveles intermedios de contaminación por coliformes 20%, aunque todavía altos por E.F. 60% (estación 5), que se encontró en el cuerpo anexo al lago, el cual se deseca temporalmente cuando las lluvias son escasas, y la tercera (estaciones 1,2 y 3), en el cuerpo principal del lago, con menores niveles de contaminación asociados a bacterias: C.T. 5%, C.F. 11% y E.F. 28% (Fig. 5).

Existen algunos puntos de importancia que deben considerarse al evaluar un cuerpo acuático desde el punto de vista

sanitario: La determinación de la calidad sanitaria usualmente es subjetiva, particularmente cuando el uso destinado al recurso no involucra su consumo y/o el contacto directo con el hombre. Cuando se califica la calidad del agua para la protección y conservación de los cuerpos acuáticos, se suelen emplear estos bioindicadores (C.T., C.F. y E.F.), los cuales, son visualizados desde el punto de vista de la salud humana. Los posibles efectos de estas bacterias en el ambiente se desconocen, aunque se sabe que se altera la composición de la microbiota natural al adicionarlas (Campbell, 1987), y al aumentar la concentración de materiales putrecibles (McCoy, 1971). Existen evidencias de que estas bacterias pueden transferir su información genética hacia la microbiota nativa (Arana *et al.*, 1997) y hacia patógenos obligados de peces como *Aeromonas salmonicida* (Marcinek *et al.*, 1998).

Además, su presencia interfiere con algunos mecanismos de defensa de peces (Austin y Austin-Allen, 1985a, Sugita *et al.*, 1996), pudiendo representar un riesgo sanitario potencial a la fauna íctica, puesto que existen algunas enterobacterias que si bien no suelen afectar directamente, su alta concentración en la piel, los tejidos y algunos órganos, pueden provocar un aumento en la susceptibilidad a infecciones provocadas por patógenos obligados (Fattal *et al.*, 1992; Trust, 1986); tal es el caso de algunas coliformes totales (*Edwardsiella tarda*, *Yersinia enterocolitica* y *Proteus spp.*), y estreptococos fecales (*Streptococcus spp.*) (Austin y Austin-Allen, 1985a).

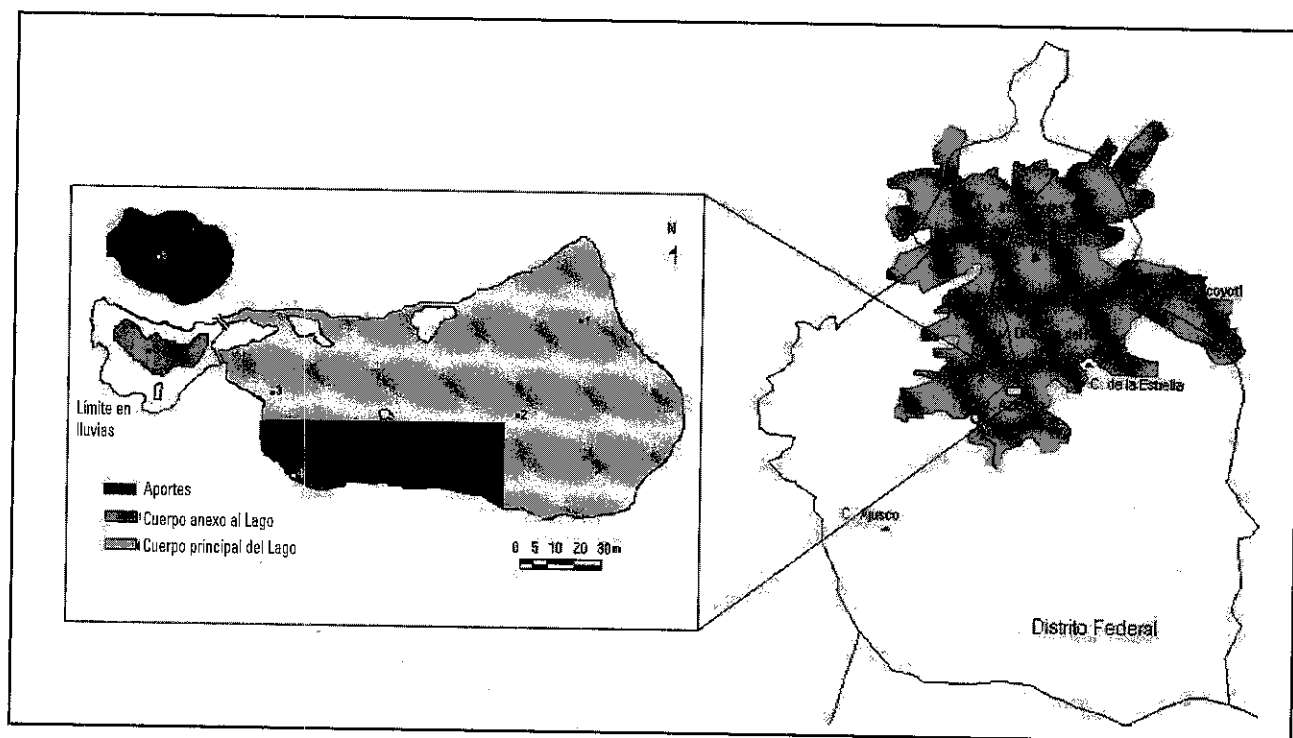


Figura 5. Caracterización del Lago Huayamilpas.

Las variaciones en la calidad sanitaria del Lago Huayamilpas y las secciones caracterizadas en este cuerpo lacustre indican que es posible mejorar las condiciones para hacerlo apropiado para la conservación de la vida acuática y el cultivo de pescado blanco. Para su rehabilitación, es necesario que el agua del manantial que se esperaría fuera la más limpia de donde se bombea al lago, no reciba aportes de agua residual doméstica, porque requeriría tratamiento antes de vertirse al lago y que se reduzca la población de patos con el fin de disminuir las concentraciones de bacterias, particularmente de estreptococos fecales.

LITERATURA CITADA

- ALDERISIO, K. A. y N. DE LUCA, 1999. Seasonal enumeration of fecal Coliform bacteria from the feces of Ring-Billed Gulls (*Larus delawarensis*) and Canada Geese (*Branta canadensis*). *Applied and Environmental Microbiology* 65 (12): 5628-5630.
- ARANA, I., J. L. JUSTO, A. MUELA, M. POCINO, J. IRIBERRI e I. BARCINA, 1997. Influence of a survival process in a freshwater system upon plasmid transfer between *Escherichia coli* strains. *Microbial Ecology* 31: 41-49.
- AUSTIN, B. y D. AUSTIN-ALLEN, 1985a. Bacterial pathogens in fish. *Journal of Applied Bacteriology* 58: 483-506.
- AUSTIN, B. y D. AUSTIN-ALLEN, 1985b. Microbial quality of water in intensive fish rearing. *Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement*: 207S-226S.
- BRETTAR, I. y M. G. HÖFFLE, 1992. Influence of ecosystemic factors on survival of *Escherichia coli* after large-scale release into lake water mesocosms. *Applied and Environmental Microbiology* 58 (7): 2201-2210.
- CAMPBELL, R., 1987. *Ecología Microbiana*. Limusa, México, 268 pp.
- CURTIS, T. P., D. DUNCAN M. y S. A. SILVA, 1992. Influence of pH, oxygen, and humic substances on ability of sunlight to damage fecal coliforms in waste stabilization pond water. *Applied and Environmental Microbiology* 58 (4): 1335-1343.
- DAVIES, C. M., J. A. H. LONG, M. DONALD y N. J. ASHBOLT, 1995. Survival of fecal microorganisms in marine and freshwater sediments. *Applied and Environmental Microbiology* 61 (5): 1888-1896.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (DOF), 1987. NOM NMX-AA-042. Norma Oficial Mexicana para la Determinación del Número Más Probable de Coliformos Totales y Fecales. Método de Tubos Múltiples de Fermentación. 22 de junio. 17pp.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (DOF), 1989. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. CEE-CCA-001/89, 2 de diciembre: 26-36.
- EDBERG, S. C., E. W. RICE, R. J. KARLIN y M. J. ALLEN, 2000. *Escherichia coli*: The best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology, Symposium Supplement* 88: 109S-116S.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 1996. Code of Federal Register 40. Part 131. *Water Quality Standards*: 601-640.
- FATTAL, B., A. DOTAN y Y. TCHORSH, 1992. Rates of experimental microbiological contamination of fish exposed to polluted waters. *Water Research* 26 (2): 1621-1627.
- FISH J. T. y G. W. PETTIBONE, 1995. Influence of freshwater sediments on the survival of *Escherichia coli* and *Salmonella* sp. as measured by three methods of enumeration. *Letters of Applied Microbiology* 20: 277-281.
- FUJIOKA, R. S., H. H. HASHIMOTO, E. B. SIWAK y R. H. YOUNG, 1981. Effects of sunlight on survival of *Escherichia coli* in marine waters. *Applied and Environmental Microbiology* 41 (3): 680-686.
- GARCÍA, E., 1981. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Laros S.A., México, 253 p.
- GODFREE, A. F., D. KAY y M. D. WYER, 1997. Faecal streptococci as indicators of fecal contamination in Water. *Journal of Applied Microbiology, Symposium Supplement* 83: 110S-119S.
- LÉVESQUE, B., P. BROUSSEAU, P. SIMARD, E. DEWAILLY, M. MEISELS, D. RAMSAY y J. JOLY, 1993. Impact of the Ring-Billed Gull (*Larus delawarensis*) on the microbial quality of recreational water. *Applied and Environmental Microbiology* 59 (4): 1228-1230.
- MARCINEK, H., R. WIRTH, A. MUSCHOLL-SILBERHORN y M. GAUER, 1998. *Enterococcus faecalis* gene transfer under natural conditions in municipal sewage water treatment plants. *Applied and Environmental Microbiology* 64 (2): 626-632.
- MARINO, R. P. y J. J. GANNON, 1991. Survival of fecal coliforms and fecal streptococci in storm drain sediment. *Water Research* 25 (9): 1089-1098.
- MÁRQUEZ-GARCÍA, A. Z. y A. PÉREZ-ROJAS, 1994. Proyecto de investigación sobre la geología e hidrología del Lago Huayamilpas, Delegación Coyoacán, D. F. y su relación con el deterioro ambiental. Universidad Autónoma Metropolitana. Departamento de Hidrología. México, D.F., 48 p.
- MC COY, J. H., 1971. Sewage pollution of natural waters. pp. 33-55. In: SYKES, G. y F. A. SKINNER (Eds.). *Microbial Aspects of Pollution*. Academic Press, Great Britain.
- MERCK, 1982. *Análisis microbiológico del agua. Medios de cultivo*. Darmstad, R.F.A., 35 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1992. *Restoration of aquatic ecosystems. Science, technology and public policy*. National Academic Press, Washington, D.C., 552 pp.
- PILLAY, T. V. R., 1992. *Aquaculture and the environment*. Fishing News Books, Cambridge, USA, 189 p.

- REINHEIMER, G., 1994. *Aquatic microbiology*. John Wiley & sons, Great Britain, 363 pp.
- SUGITA, H., K. SHIBUYA, H. SHIMOOKA y Y. DEGUCHI, 1996. Antibacterial abilities of intestinal bacteria in freshwater cultured fish. *Aquaculture* 145: 195-203.
- THURMAN, R., B. FAULNER, D. VEAL, G. KRAMER y M. MEIKLEJOHN, 1998. Water quality in rural Australia. *Journal of Applied Microbiology* 84: 627-632.
- TRUST, T.J., 1986. Pathogenesis of infectious diseases of fish. *Annual Review Microbiology* 40: 479-502.
- WRIGHT, A., R. T. HILL, J. A. JOHNSON, M. C. ROGHMAN, R. R. COLWELL y J. G. MORRIS, 1996. Distribution of *Vibrio vulnificus* in the Chesapeake Bay. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 717-724.

Recibido: 22 de enero de 2002.

Aceptado: 23 de octubre de 2002.