

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

MONITOREO DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES Y SU IMPACTO EN EL LAGO DE PÁTZCUARO, MÉXICO (2006-2011)

*Ana Cecilia Tomasini Ortiz¹
Luis Alberto Bravo-Inclán¹
Javier Sánchez Chávez¹
Gabriela E. Moeller Chávez²

MONITORING WASTEWATER DISCHARGES AND IT'S
IMPACT ON LAKE PÁTZCUARO, MEXICO (2006-2011)

Recibido el 2 de junio de 2015; Aceptado el 21 de marzo de 2016

Abstract

Many water bodies in Mexico and in the world continue to increase their water quality deterioration; this is mainly due to the excessive population growth, the discharge of municipal sewage and land use change (e.g., the decrease of the forest coverage). For this reason Lake Pátzcuaro, an emblematic water body in the country was selected. This lake receives multiple discharges of municipal wastewater. During 2006 to 2011, the water quality of these effluents was sampled in order to review the degree of compliance with the Mexican Waste Water Criteria (NOM-001-SEMARNAT-1996). The selected sampling sites were: Tzintzuntzan raw discharge DM-2; effluents of six wetland discharges: Janítzio; DM-1, Pátzcuaro DM-3, Erongarícuaro DM-4, DM-6, Cuchuchucho DM-7, Santa Fe de la Laguna DM-8 and San Jerónimo DM-9; one perennial river, Río Guani DM-5; and one canal, Dren Tzurumútaró. In one or more parameters, the water quality results obtained during this six year study complied with the NOM-001-SEMARNAT-1996; but results were out of the established nutrient limits, having high concentrations of total nitrogen and total phosphorus reaching the lake. This excess of nutrients is causing trophic problems in the waterbody, such as algal blooms. Cyanobacteria dominance showed a 99.3% presence in relation to other plankton groups present in the lake; this caused a decrease transparency, bad odor, low dissolved oxygen and a probable increase in fish mortality. Eutrophication of this water body is also causing the growth of certain hydrophytes in the southern part of the lake, such as water hyacinth and cattail. The high number of cells/mL of cyanobacteria and the concentration of Microcystin-LR, indicate that this symptoms could cause acute effects to health in the range of high to very high; being the stations of Quiroga, Espiritu and Pacanda (north and center zones) the most affected areas. In conclusion, the water quality of the lake is not suitable for recreation or human consumption.

Key Words: Criteria, Cyanobacteria, Eutrophication, Maximum allowable limit, Municipal wastewater, Nutrients.

¹ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

² Universidad Politécnica del Estado de Morelos, México.

*Autor correspondiente: Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua, Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac #8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, CP. 62550, México.
Email: atomasini@tlaloc.imta.mx

Resumen

En muchos cuerpos de agua en México y en el mundo continúan deteriorándose; esto se debe principalmente al excesivo aporte de contaminantes, entre otros, por el aporte de descargas de aguas residuales municipales. Se seleccionó el lago de Pátzcuaro, que es uno de los lagos más importantes y emblemáticos del país para efectuar un monitoreo de su calidad del agua. Este lago recibe múltiples descargas de aguas residuales, tratadas y no tratadas, por lo que se seleccionaron las más importantes para su monitoreo y conocer el nivel de cumplimiento de la normatividad mexicana para aguas residuales (NOM-001-SEMARNAT-1996). Las descargas seleccionadas fueron Janitzio DM-1, Tzintzuntzan DM-2, Pátzcuaro DM-3 y Erongarícuaro DM-4, Río Guani DM-5, Dren Tzurumútaró DM-6, Cuchuchucho DM-7, Santa Fe de la Laguna DM-8 y San Jerónimo DM-9. El período de estudio comprendió del 2006 al 2011. El incumplimiento de los parámetros de calidad del agua fijados en la norma respectiva impactan al lago causando problemas, tales como: florecimientos algales, particularmente de cianobacterias, con hasta un 99.30% de su presencia con relación a otros grupos del plancton presentes en el lago. Los florecimientos de cianobacterias causan problemas como: disminución de la transparencia del agua, mal olor, disminución del oxígeno disuelto e incrementan la probabilidad de mortandad de peces. Por otra parte una alta concentración de nutrientes también ocasionan el crecimiento de ciertas hidrófitas, como: lirio acuático y tule. Como está ampliamente documentado todos estos cambios se deben a la acelerada eutrofización del lago. Por el alto número de células por mililitro (cel/mL) de cianobacterias y las concentraciones de Microcistina-LR (MC-LR), el agua del lago siempre se mantuvo en una probabilidad de presentar efectos de daño agudo a la salud. En una clasificación de alto a muy alto daño, las estaciones de Quiroga, Espíritu y Pacanda fueron las zonas más afectadas. De estos trabajos se concluye que en general las aguas del lago no son aptas para la recreación o consumo humano.

Palabras Clave: Aguas residuales. Cianobacterias. Eutrofización, Límite máximo permisible. Nutrientes. Normatividad.

Introducción

De acuerdo con Cooke, *et al.* (2005), en muchas áreas del mundo la calidad del agua de lagos y embalses presentan un deterioro continuo. Esta misma situación aplica para los cuerpos de agua mexicanos (Lind *et al.*, 1992; Chacón-Torres y Rosas-Monge, 1998; Olvera *et al.*, 1998; Ramírez-García *et al.*, 2002; Martínez-Romero *et al.*, 2002; Bravo-Inclán *et al.*, 2006). Tal degradación de los cuerpos de agua se debe principalmente al excesivo aporte de desechos residuales, junto con la falta de una planificación y manejo integrado de los recursos. En general, se considera como “contaminante del agua” al exceso de materia o energía (calor) que provoque daño a los humanos, animales, plantas y bienes, que perturbe negativamente las actividades que normalmente se desarrollan cerca del agua. De esta forma, no existe una división precisa entre las aguas contaminadas y las no contaminadas; este calificativo se atribuye en función del uso, las exigencias higiénicas y del grado de avance de la ciencia y tecnología para determinar los efectos y medir los contaminantes (Jiménez, 2001).

La cuenca del lago de Pátzcuaro, se localiza en la parte central del estado de Michoacán, en la Región Hidrológica número 12; cuenta con un total de 1,096 km², el lago tiene un área de 90 km² y se localiza entre las coordenadas 19° 32' a 19° 42' de latitud N y 101° 32' a 101° 42' de

longitud W y a 2,035 msnm. La longitud máxima del lago es de 17.58 km con un ancho medio de 6 km la profundidad máxima es de 10.91 m y 4.70 m de profundidad media (Sánchez-Chávez, *et al.*, 2009).

De Buen (1940), divide al lago en tres zonas: norte, cuello y sur; y menciona que la densidad de población es mayor en la parte sur. Agrega que este lago presenta un relleno continuo del lago con materiales acarreados de la cuenca. En un estudio enfocado a evaluar los nutrientes responsables de la limitación del crecimiento en el lago, Bernal-Brooks *et al.* (2003). Hablan de que el lago se puede clasificar como somero y endorreico (de cuenca cerrada). Concluyen que tanto el fósforo como el nitrógeno actúan en una co-limitación que marca una competencia entre el fitoplancton y las macrofitas litorales. Además menciona que, durante la década de los 80's, la eutrofización del lago propició el establecimiento de seis plantas de tratamiento de aguas residuales alrededor del lago.

Entre los años 2005 al 2008 se construyeron cuatro humedales, para disminuir la contaminación de aguas residuales crudas que llegaban al lago; en Tzintzuntzan no fue posible construir un humedal. Con respecto a las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes, durante los años de 2005 al 2006, se desarrolló y se puso en marcha un programa de revisión y adecuación de los sistemas de tratamiento, operación y mantenimiento; complementando el programa con cursos de capacitación de operación y mantenimiento a los operadores de las plantas de tratamiento por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). En 2011, Sánchez-Chávez *et al* comentan lo siguiente: “Los resultados más importantes detectados a lo largo de los ciclos anuales 2006-2011 son: La mayor contaminación urbana se detecta en la parte sur del lago, seguida de la parte norte. La región menos afectada por la contaminación es el centro del lago, debido a que en esta zona la influencia antropocéntrica es menor, es decir, los centros poblacionales se ubican en el sur y norte del cuerpo de agua. Los parámetros de: transparencia del agua, fósforo total, nitrógeno total, clorofila *a* y dominancia de cianobacterias, clasifican al lago como eutrófico”; y más adelante concluyen que “la contaminación del lago es aportada principalmente por las descargas de agua residual que se calcula en 220 L/s; y se hace evidente en los parámetros siguientes: Sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, turbidez, nutrientes (P y N) y coliformes fecales; provienen de los poblados ribereños”.

Uno de los propósitos de este proyecto fue el de caracterizar la calidad del agua de las descargas de aguas residuales y tributarios que llegan al lago de Pátzcuaro. Se presentan los resultados de agosto del 2006, a diciembre de 2011, donde entre otras cosas, se efectuó un estudio de parámetros fisicoquímicos y biológicos de las principales descargas y tributarios que impactan al lago, revisándose el cumplimiento de los parámetros que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 para los efluentes de aguas residuales.

Objetivos

Evaluar la evolución de la calidad del agua en el lago dos plantas de tratamiento, de cuatro humedales, posterior a la construcción y operación y tributarios como el río Guani y el dren Tzurumútaró que vierten sus efluentes al lago. Evaluar la concentración de Microcistina-LR (MC-LR) soluble y cuantificación e identificación de cianobacterias en seis estaciones en el lago de Pátzcuaro. Determinar el riesgo a la salud de acuerdo a los lineamientos de la guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011).

Metodología

Se establecieron un total de siete estaciones de muestreo para la caracterización de las descargas municipales y dos tributarios, que se ubican alrededor del lago y seis estaciones de muestreo dentro del lago. Dichas estaciones se presentan en la Tabla 1 y su ubicación en la Figura 1.

Tabla 1. Localización de las estaciones de las descargas municipales y estaciones de muestreo en el lago

Clave de la estación	Nombre de la estación	Coordenadas		Clave de la estación	Nombre de la estación	Coordenadas	
		Latitud norte	Latitud oeste			Latitud norte	Latitud oeste
Estaciones de las descargas municipales, río y dren				Estaciones en el lago			
DM-1	PTAR Janitzio	19° 34' 20.8"	101° 38' 58.0"	E-1	Quiroga	19° 39' 13"	101° 34' 13"
DM-2	Tzintzuntzan	19° 38' 00.6"	101° 34' 51.0"	E-2	Espíritu	19° 38' 13"	101° 37' 47"
DM-3	PTARs Pátzcuaro	19° 32' 48.9"	101° 37' 29.4"	E-3	Napízaro	19° 35' 23"	101° 40' 07"
DM-4	Humedal Erongarícuaro	19° 35' 04.8"	101° 43' 01.1"	E-4	Janitzio Sur	19° 33' 29"	101° 38' 53"
DM-5	Río Guani (R-G)	19° 32' 51.8"	101° 37' 28.9"	E-5	Pacanda	19° 33' 29"	101° 38' 54"
DM-6	Dren Tzurumútaró (D-T)	19° 33' 22.0"	101° 34' 46.0"	E-6	Embarcadero	19° 32' 55"	101° 37' 13"
DM-7	Humedal Cucuchucho (CU)	19° 35' 11.3"	101° 37' 54.3"				
DM-8	Humedal Santa Fe de la Laguna (S-F)	19° 40' 02.4"	101° 33' 21.2"				
DM-9	Humedal San Jerónimo (JE)	19° 40' 38.6"	101° 36' 59.6"				



Figura 1. Ubicación de las descargas y las estaciones dentro del lago monitoreadas

Se realizaron un total de 33 campañas de monitoreo; en cada una de las estaciones se tomaron los parámetros de campo (temperatura, pH y conductividad eléctrica) y se recolectó agua para su análisis en el laboratorio. Los parámetros físico-químicos y microbiológicos fueron de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996, entre los que destacan: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables (Ssed), grasas y aceites (GyA), nitrógeno total (Nt), fósforo total (Pt), coliformes fecales (CF) y huevos de Helminto (HH). El periodo de muestreo del proyecto fue de agosto del 2006 a diciembre del 2011.

Las muestras fueron tomadas de acuerdo con las especificaciones de volumen, material del recipiente de muestreo, así como preservación de acuerdo al Métodos Estándar (1999) las normas NMX-AA-003-1980 y la NOM-001-SEMARNAT-1996, en esta última se mencionan los límites máximos permisibles (LMP) dependiendo del tipo de cuerpo receptor que, en este caso, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), clasifica al lago, como un cuerpo receptor Tipo C (que corresponde a un cuerpo de agua con mayor protección y presenta los LMP más estrictos), embalse natural y artificial para uso público y urbano.

En cada punto seleccionado en el lago, se hizo un arrastre de uno a tres minutos, con una red de plancton, dependiendo de la concentración del mismo, y se fijó con formol al 4%, para la identificación y conteo del plancton como se establece en el Métodos Estándar (1999). Simultáneamente se empezó con arrastres, con un frasco de 1 L para el análisis de MC-LR, por el método de ELISA Kit Abraxis[®]. Las muestras se trasladaron a 4 °C y lejos de la luz.

Resultados

En cuanto a los parámetros de temperatura y pH, las descargas cumplen con los LMP que establece la normatividad mexicana. Para los parámetros fisicoquímicos y biológicos, se obtuvieron los siguientes resultados: Con respecto a la DBO₅ (Figura 2), las descargas y el tributario río Guani (R-G) no cumplen con el LMP 30 mg/L, durante los seis años. Por año, en la gráfica de cajas (Figura 2), es evidente que los peores años fueron 2006 y 2007, con una mejora durante el 2008 y nuevamente se incrementa la DBO₅ del 2009 al 2011. También se puede observar, que durante el periodo de 2006 al 2011, el 75% de las muestras estuvieron por arriba de la mediana: 131, 131, 40, 49, 43 y 57 mg/L, respectivamente. La línea roja representa el LMP, resaltando una vez más el incumplimiento frecuente de la normatividad.

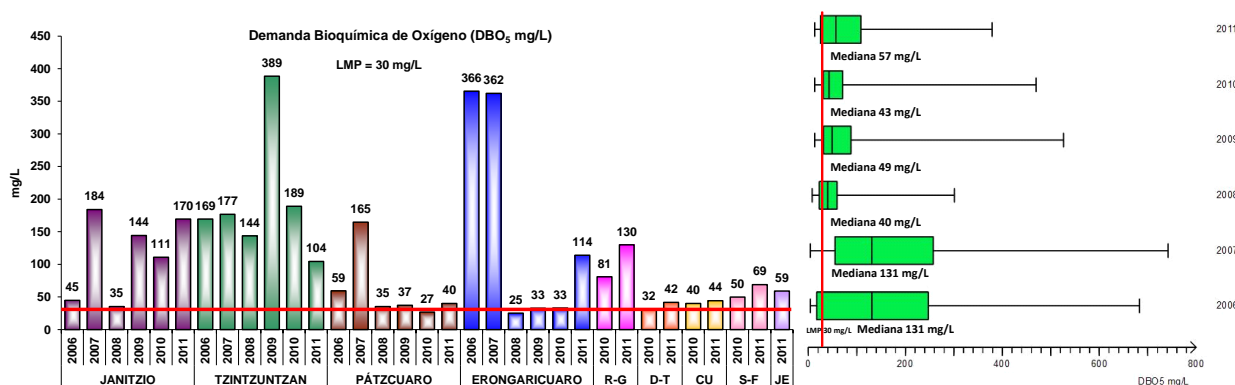


Figura 2. Promedio anual en las descargas municipales y tributarios de DBO₅

Los promedios anuales para cada una de las descargas del parámetro de G y A, en donde, la descarga de Tzintzuntzan y el tributario río Guani, no cumplen con el LMP 15 mg/L: en Erongarícuaro los valores de los primeros dos años sobrepasan el LMP, que corresponde al periodo en que no se había construido el humedal para el tratamiento de ésta descarga. A partir de 2008, construido el humedal, se observa el decremento de éste parámetro. En general las G y A no impactan de modo importante al lago del 2008 al 2011.

Para SST (Figura 3), las descargas de Janitzio, Tzintzuntzan, los tributarios río Guani y el dren Tzurumútaró (D-T), no cumplen con la norma, donde el LMP es de 40 mg/L. En la gráfica de cajas, se aprecia que durante los periodos del 2006 y 2007, los SST estuvieron por arriba del LMP, decreciendo en los siguientes años. También se observa, que en la mayoría de los años (2006-2011), el 75% de las muestras estuvieron por arriba de la mediana: 98, 120, 20, 22, 25 y 23 mg/L, respectivamente. Para los Ssed, se pide un LMP de 1 mg/L, prácticamente las siete descargas y los dos tributarios, lo cumplen.

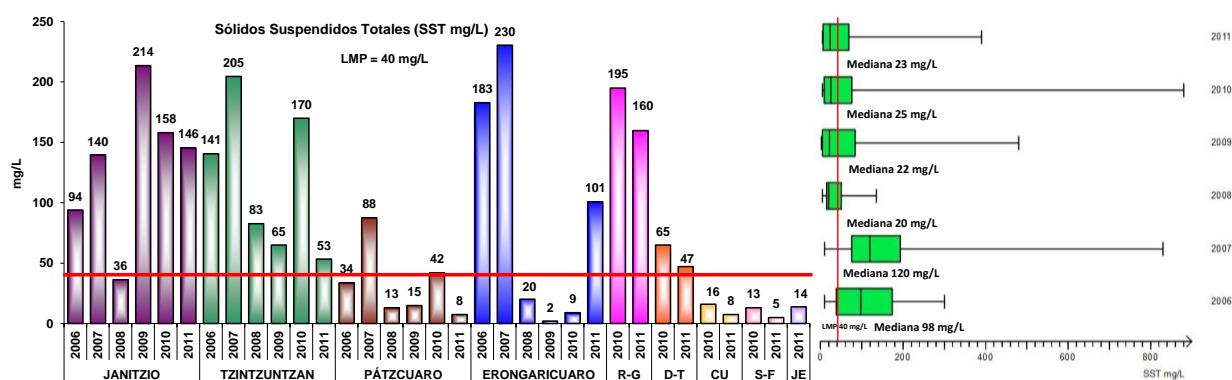


Figura 3. Promedio anual en las descargas municipales y tributarios de SST

Los promedios anuales para Pt, se presentan en la figura 4. En donde se observa que la única descarga que cumplen con el LMP de 5 mg/L es Pátzcuaro y el tributario dren Tzurumútaró. En la gráfica de cajas, todos los años ha estado por arriba del LMP. También se observa, que durante el periodo de 2006 al 2011, el 75% de las muestras estuvieron por arriba de la mediana: 7, 9, 11, 11, 8 y 7 mg/L, respectivamente.

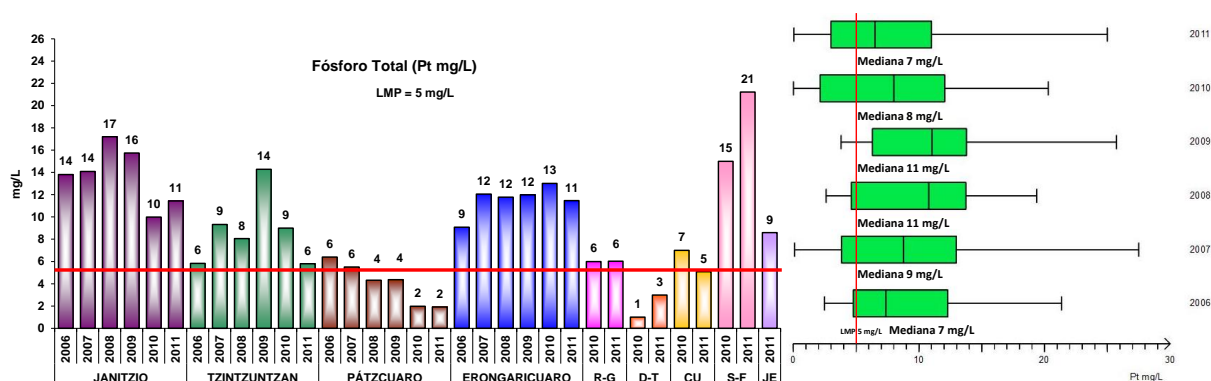


Figura 4. Promedio anual en las descargas municipales y tributarios de Pt

Los valores promedio de Nt se presentan en la figura 5. En donde se observa que únicamente cumple con éste parámetro el tributario del dren Tzurumútar, las demás sobrepasan el LMP de 15 mg/L. También se observa en la gráfica de cajas, que durante el periodo de 2006 al 2011, el 75% de las muestras estuvieron por arriba de la mediana: 31, 52, 19, 36, 11 y 24 mg/L, respectivamente. Al igual que el Pt, en la gráfica de cajas todos los años se ha rebasado el LMP.

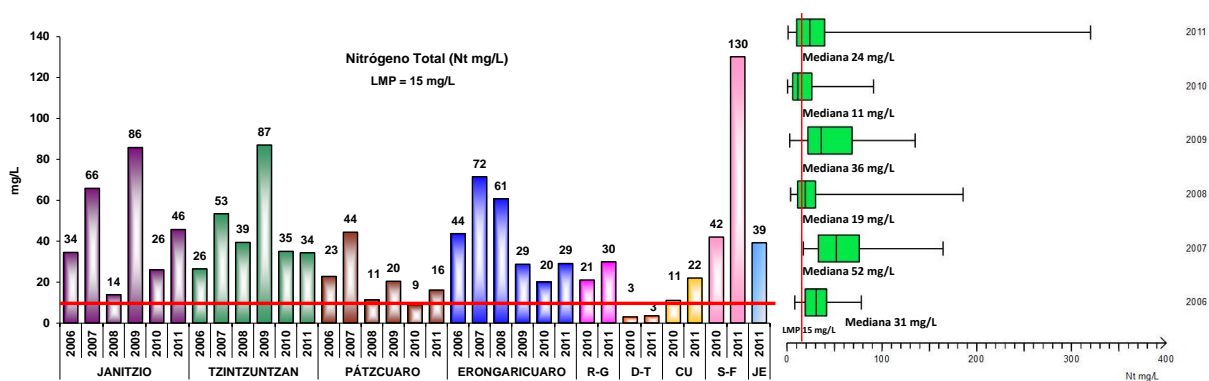


Figura 5. Promedio anual en las descargas municipales y tributarios de Nt

Del 2009 al 2011 se agregó el monitoreo de la DQO en cada una de las descargas y tributarios (Figura 6), obteniendo que las descargas de Janítzio, Tzintzuntzan, Erongarícuaro y el tributario río Guani incumple con el LMP de 100 mg/L, que marca la Ley Federal de Derechos (LFD). En la gráfica de cajas se observa que el 75% de las muestras se encuentran por arriba de la mediana y los valores más altos se observan durante el 2009. También se observa, que durante el periodo de 2006 al 2011, el 75% de las muestras estuvieron por arriba de la mediana: 66, 88 y 75 mg/L, respectivamente.

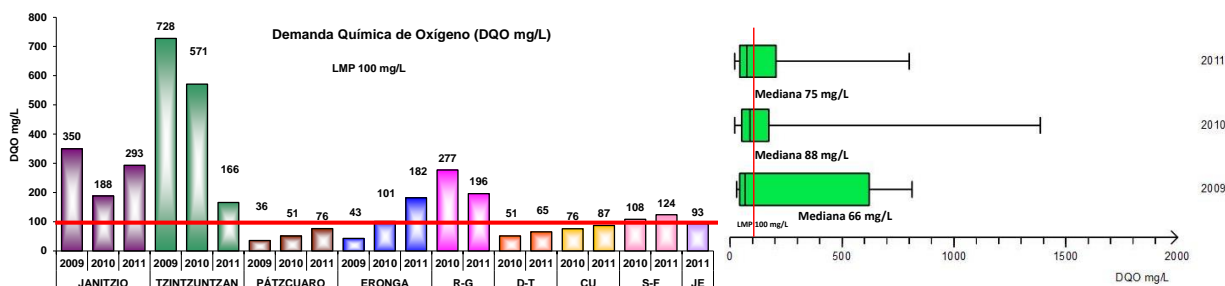


Figura 6. Promedio anual en las descargas municipales y tributarios de DQO

Para los resultados de CF, se puede apreciar que todas las descargas y el tributario río Guani están fuera de norma. En la gráfica de cajas, se aprecia que los peores años fueron 2006 y 2007, con una mejora durante el 2008 y se incrementan los CF durante el 2009 (Figura 7). También se aprecia, en la gráfica de cajas, que durante el periodo de 2006 al 2011, el 75% de las muestras estuvieron por arriba de la mediana: 1.17E+07, 1.75E+07, 1.50E+04, 2.37E+06, 7.05E+03 y 1.5E+04 NMP/100 mL respectivamente.

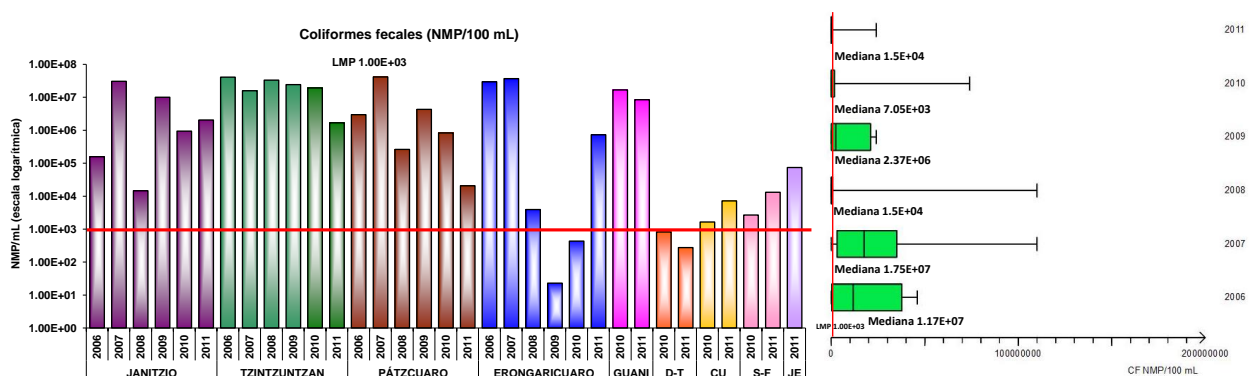


Figura 7. Promedios anuales en las descargas y tributarios de CF

Por último, los promedios anuales de HH en cada una de las descargas municipales y tributarios, la descarga de Erongarícuaro incumple el LMP de 1 HH/L, para 2006 y 2007, presentando 10 HH/L. A partir del 2008 se reporta con cero. Además la descarga de agua cruda de Tzintzuntzan se mantuvo fuera del LMP en el periodo de 2006 al 2009. Pero esto no repercute sustancialmente en el lago.

De acuerdo a la evaluación realizada desde el 2006 al 2011, la descarga de Janitzio, incumple con todos los LMP de los criterios de la NOM-001; excepto G y A. La descarga de Pátzcuaro incumple los parámetros de DBO₅, Nt, DQO y CF. El Humedal de Erongarícuaro incumple todos los parámetros de la norma, más DQO, menos Ssed y HH. El Humedal de Cuchuchuco incumple DBO₅, SST, G y A, Nt, DQO y CF. El Humedal Santa Fe de la Laguna incumple DBO₅, Pt, Nt, DQO y CF. El Humedal de San Jerónimo incumple DBO₅, Pt, Nt, DQO y CF. Tzintzuntzan incumple todos los parámetros de la norma, más DQO, excepto Ssed. Río Guani incumple DBO₅, SST, G y A, Nt, DQO y CF. Por último, el Dren Tzurumútaru incumple DBO₅ y SST. La mayor contaminación se detecta en la parte sur del lago (Erongarícuaro, Janitzio, dren Tzurumútaru, Cucuchuco, Pátzcuaro y río Guani), seguida de la parte norte (Tzintzuntzan, Santa Fe de la Laguna, San Jerónimo) confirmando lo mencionado por Sánchez-Chávez, *et al.* 2011.

Durante el estudio, se observó que la comunidad fitoplanctónica en cinco estaciones en el lago de Pátzcuaro estuvo cada vez más dominada por las cianobacterias, con una representación

notoria de los siguientes géneros y especies: *Aphanizomenon gracile* seguida, en menor medida, por *Microcystis aeuroginosa*, *Microcystis pulvera* y *Anabaena affinis*.

En 2011, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció valores guía para cianobacterias y concentraciones de MC-LR y Clorofila-*a* (Cl-*a*) en aguas destinadas al abastecimiento para consumo humano y de recreación (Tabla 2).

Tabla 2. Valores guía de la OMS para la probabilidad relativa de efectos agudos para la salud, durante la exposición a cianobacterias y MC-LR, en aguas destinadas para el consumo humano y recreación (Chorus y Bartram, 1999)

Probabilidad relativa de efectos agudos a la salud	Cianobacterias (células/mL)	Microcistina-LR (µg/L)	Clorofila- <i>a</i> (µg/L)
Baja	< 20,000	<10	< 10
Moderada	20,000 – 100,000	10 - 20	10 - 50
Alta	100,000 – 10,000,000	20 – 2,000	50 – 5,000
Muy alta	> 10,000,000	> 2,000	> 5,000

En la figura 8, se graficaron los valores de conteo celular (en cel/mL). Se puede observar que de 2006 a 2008, se tuvieron valores relativamente bajos, sin embargo se presenta un riesgo a la salud alta de acuerdo a los valores guía de la OMS 100,000 – 10, 000,000 cel/mL. A partir del 2009 las estaciones de Embarcadero, Espíritu, Quiroga y un poco Pacanda, presentaron una probabilidad de riesgo a la salud muy alta, >10, 000,000 cel/mL. Para el 2010, en el norte y centro del lago, las estaciones Quiroga, Espíritu y Pacanda, fueron las que presentaron un riesgo a la salud muy alta. Para el 2011, todas las estaciones presentaron un incremento del riesgo a la salud, a partir de septiembre, excepto en la estación Napízaro. También se puede observar, en la gráfica de cajas, que el conteo celular se dispara a partir del 2009 en adelante; y que en la mayoría de los años, el 75% de las muestras estuvieron por arriba de la mediana (4, 668,114 cel/mL) del 2006 al 2011: 274,390; 290,268; 443,898; 7,374,310; 4, 094,187 y 15,531,636 cel/mL respectivamente.

Los valores obtenidos de MC-LR desde septiembre 2009 hasta noviembre del 2011, en cada una de las estaciones se muestran en la Tabla 3, en donde los valores detectados de octubre de 2010 a noviembre de 2011 fueron trabajados con muestras diluidas y dieron valores más exactos de dichas concentraciones. En esta tabla se puede observar que la concentración más baja detectada es de 2 µg/L, lo que indica que el agua no es apta para consumo humano, ya que la OMS (2011) determina un límite máximo de detección de 1 µg/L. En general, las estaciones Napízaro (E-3) y Janítzio Sur (E-4) y Embarcadero (E-6) se detectó bajas concentraciones de MV-LR. En cambio el agua de las estaciones de Quiroga (E-1), Espíritu (E-2) y Pacanda (E-5) presentó de moderada a muy alta concentración de MC-LR, por lo que se deberían de considerar zonas de alto riesgo a la salud.

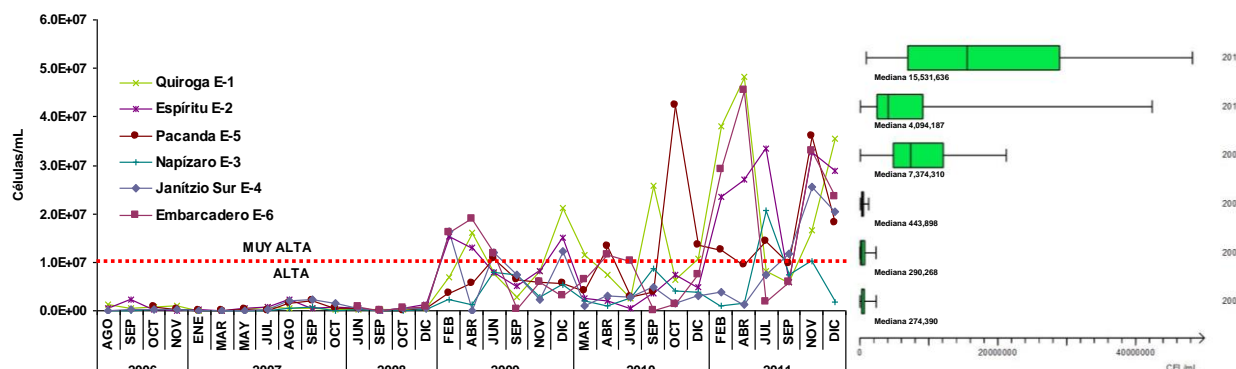


Figura 8. Concentración de células/mL de cianobacterias en las estaciones del lago de Pátzcuaro

Tabla 3. Concentración mensual de MC-LR ($\mu\text{g/L}$) en cada una de las estaciones

Muestréos	E-1	E-2	E-5	E-3	E-4	E-6
Sep-09	>100	>100	>100	>100	>100	>100
Nov-09	>100	>100	>100	40	4	34
Dic-09	>100	19	10	7	4	9
Mar-10	>100	18	9	11	8	9
Abr-10	>100	100	30	7	7	43
Jun-10	40	15	16	41	7	5
Sep-10	>100	>100	>100	69	>100	28
Oct-10	>100	16	>100	2	3	35
Dic-10	7	6	11	5	3	4
Feb-11	1,851	1,839	7	3	5	2,792
Abr-11	2,453	283	377	94	0	4,038
Jul-11	539	82	16	0	0	5
Sep-11	3,320	3,500	980	3,080	230	1,580
Nov-11	869	6,520	652	690	330	320

	Baja	< 10 $\mu\text{g/L}$
	Moderada	10 – 20 $\mu\text{g/L}$
	Alta	20 – 2,000 $\mu\text{g/L}$
	Muy alta	>2,000 $\mu\text{g/L}$

En el lago se detectan tres problemas de salud asociados al incremento de cianobacterias: A) Por la actividad turística, en el que se realizan visitas en lancha, sobre todo a la Isla de Janitzio y que se ha visto que la gente introduce las manos, y es posible que se las introduzcan a la boca o pueden llegar a comer durante el trayecto, contaminando los alimentos. B) Durante los recorridos de los muestreos, se observaban bombas para extraer agua del lago, o sea que están utilizando el agua, entre otras cosas para riego. Al igual se ha detectado niños locales

chapoteando en el agua a las orillas del lago. Por lo tanto, los pobladores y los visitantes, están en contacto con esta agua. C) Barry, *et al.* 20011, detectaron MC-LR tanto en charales (Zooplanctívoros) y especies de *Goodea sp.* (Fitoplanctívoros), que es particularmente relevante, ya que ambas especies son consumidas en su totalidad por lugareños y visitantes.

Conclusiones y recomendaciones

Las descargas de Janítzio y Pátzcuaro incumplen con los LMP establecidos por la NOM-001 y la LFD. Estas plantas han sido evaluadas y mejoradas en años anteriores, al igual que la capacitación en operación y mantenimiento de los operadores de estas. Sin embargo, continúa mal la operación y mantenimiento de las mismas, debido principalmente por la falta de los recursos financieros permanentes para el adecuado cumplimiento de sus funciones. Ya que el limitado recurso financiero con el que cuentan los municipios, es utilizado para otros servicios o actividades que son “más visibles” o demandados por la ciudadanía.

Una situación semejante ha ocurrido con los humedales, ya que en un principio funcionaban cumpliendo con la normatividad, pero con el paso del tiempo, han ido decayendo su eficiencia de tratamiento. Un buen ejemplo es el humedal de Erongarícuaro, que es el que más tiempo se ha evaluado; este sitio se empezó a monitorear desde que era agua cruda y posteriormente se construyó el humedal, mejorando sustancialmente la calidad del agua del efluente, sin embargo, en la actualidad no cumple con los criterios de la NOM-001 y la LFD, por lo antes mencionado.

El río Guani atraviesa la ciudad de Pátzcuaro, por ello, sigue afectado por las descargas clandestinas que se vierten en su cauce. Por momentos este afluente presenta una calidad semejante a la de una descarga residual cruda. Por último, el dren Tzurumútaró presentó sólo dos parámetros fuera de norma (DBO₅ y SST), sin embargo, es necesario hacer una revisión de las fuentes puntuales y difusas que llegan a dicho caudal, en donde se ha observado un importante crecimiento de macrofitas en dicho cauce.

Las descargas de aguas residuales impactan al lago causando problemas, tales como: que por la continua entrada de nitrógeno y fósforo (N y P), pueda pasar de un estado eutrófico a hipereutrófico; favorece la presencia de florecimientos, especialmente de cianobacterias, con una presencia de hasta 99.30% con relación a otros grupos del plancton presente en el lago, que a su vez mueren provocando el incremento de la DBO₅, SST y turbiedad en el cuerpo de agua. Algunos de los muchos efectos creados por estos florecimientos, además del olor, color y un aspecto estético desagradable, disminuye la transparencia del agua y del oxígeno disuelto, provocando mortandad de peces. Pudiendo acelerar el proceso de eutrofización del lago.

Por el número de cel/mL de cianobacterias y concentración de equivalentes de MC-LR, el agua del lago siempre estuvo con una probabilidad relativa de efectos dañinos a la salud de alta a muy alta, siendo las estaciones de Quiroga, Espíritu y Pacanda las zonas más afectadas. En general el agua del lago no es apta para la recreación o consumo humano.

Debido a la mala operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento y el poco interés de las autoridades correspondientes por mantener las plantas de tratamiento en buen funcionamiento, la contaminación puntual y difusa que llega al río Guani. Y por realmente cuidar el lago, que es su principal atracción turística y fuente de ingresos, se requiere de acciones integrales fundamentales como: investigación, soluciones técnicas, legislación y gestión adecuada para la conservación y mejoramiento de los recursos hídricos.

Por la presencia de florecimientos de cianobacterias y cianotoxinas, que se consideran como fuente de riesgo a la salud, habría que considerar seriamente, como lo hacen en otros países del mundo, el hacer un monitoreo constante y de acuerdo a los niveles de riesgo, tomar medidas de acción como prohibir el acceso a los lagos y evitar que se use como fuente de abastecimiento para consumo humano. En México, a este tema aún no se le ha dado la importancia que se requiere, y así como se están presentando estos florecimientos en el lago de Pátzcuaro ya suceden en otros cuerpos de agua, tanto naturales como artificiales, de estos últimos, se reportan problemas en presas de México, como en el caso de Valle de Bravo (Martínez-Romero, *et al.* 2002), donde sus aguas son utilizadas para consumo humano, recreación con contacto primario, como el esquí y la pesca deportiva.

Referencias bibliográficas

- Abraxis (2010) Microcystins-ADA ELISA (Microtiter Plate). Consultado 2 de febrero 2010, disponible en: <http://www.abraxis.com>
- Barry, J. P., Lee, E., Walton, K., Wilson, A., Bernal-Brook, F. (2011) Microcystins and Bioaccumulation by Fish in Lago Patzcuaro, *Environ.Toxicol.Chem.*, **9999**, 1-8.
- Bravo-Inclán, L., Sánchez, C.J., Saldaña, F. P. (2006) Evaluación del estado trófico y perspectivas de rehabilitación en cuatro embalses del centro de México. *XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (FEMISCA)*, Guadalajara, Jalisco.
- Bernal-Brooks, F. W., Dávalos-Lind, L., Lind. O.T. (2003) *Seasonal and spatial variation in algal growth potential and growth-limiting nutrients in a shallow endorhic lake: Lake Pátzcuaro (Mexico)*, *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **8**, 83-93.
- Chacón-Torres, A., Rosas-Monge, C. (1998) Water quality characteristics of a high altitude oligotrophic Mexican Lake, *Aquat. Ecosys. Health & Manage*, **1**(3-4), 237-244.
- Chorus, I., Bartram, J. (1999). *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management* Edited by Ingrid Chorus and Jamie Bartram. WHO. ISBN 0-419-23930-8
- Cooke, G.D., Welch, E.B., Peterson S.A., Nichols, S.A. (2005) *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*. CRC Lewis, 3th Ed. Boca Raton, 591 pp.
- De Buen, F. (1940) El lago de Pátzcuaro, *Revista de Geografía del Instituto Panamericano de Geografía e Historia*, **1**, 20-44.

- Jiménez, C.B. (2001) *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Limusa. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA, México, D.F., 315 pp.
- Ley Federal de Derechos (LFD) en Materia de Agua. (2011) Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), *Diario Oficial de la Federación*, México.
- Lind O.T., Doyle R., Vodopovich, D.S., Trotter B.T., Limón J.G., Dávalos-Lind, L. (1992) Clay turbidity: Regulation of phytoplankton production in a large, nutrient rich tropical lake, *Limnology and Oceanography*, **37**(3), 549-565.
- Martínez-Romero E., Martínez-Salgado, M.A., Ramírez-García, P. (2002) Determinación de toxinas biológicas en una fuente de abastecimiento de agua dulce, XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, México.
- Métodos estándar para la examinación de agua y aguas residuales (1999) 10200 Plancton, 10200 H. Clorofila. 21ª Ed. *American Public Health Association*, Washington, D.C.
- Norma Mexicana (1980) NMX-AA-003-1980. Aguas residuales – Muestreo. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. *Diario Oficial de la Federación*. México.
- Norma Oficial Mexicana (1996) NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminación en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. *Diario Oficial de la Federación*. México.
- Olvera-Viascán V., Bravo-Inclán L., Sánchez-Chávez J. (1998) Aquatic Ecology and Management Assessment in Valle de Bravo Reservoir and its Watershed, *Aquatic Ecosystem Health & Management*, **1**(3-4), 277-290.
- OMS, Organización Mundial de la Salud (1999) Cianobacterias tóxicas en el agua: una guía para sus consecuencias en la salud pública, monitoreo y gestión. *Editores Ingrid Chorus y Jamie Bartram*, ISBN 0-419-23930-8
- Ramírez-García P., Nandini S., Sarma S.S., Robles E., Cuesta I., Hurtado, M. (2002) Seasonal variations of zooplankton abundance in the freshwater reservoir Valle de Bravo (Mexico), *Hidrobiología*, **467**, 99-108.
- Sánchez-Chávez, J.J., Bravo-Inclán, L.A., Tomasini-Ortiz, A.C., González, V.R., Córdova, R.M., Saldaña, F.P., Sánchez, C.L., Salcedo, E.S. (2009) Monitoreo de la calidad del agua del lago de Pátzcuaro y de las descargas. Informe final. TC-0847.4. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. México. 250 pp.
- Sánchez-Chávez, J.J., González-Villela, R., Bravo-Inclán, L.A., Córdova, R.M., Tomasini-Ortiz, A.C., Villalobos-Hernández, R. (2011) Monitoreo de la calidad del agua del lago de Pátzcuaro y de las descargas. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. México. 205 pp.
- World Health Organization. (2011) Guidelines for drinking water quality. 4th Ed. Geneva: *World Health Organization*. Consultado 3 de enero de 2012, disponible en:
http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_chapters