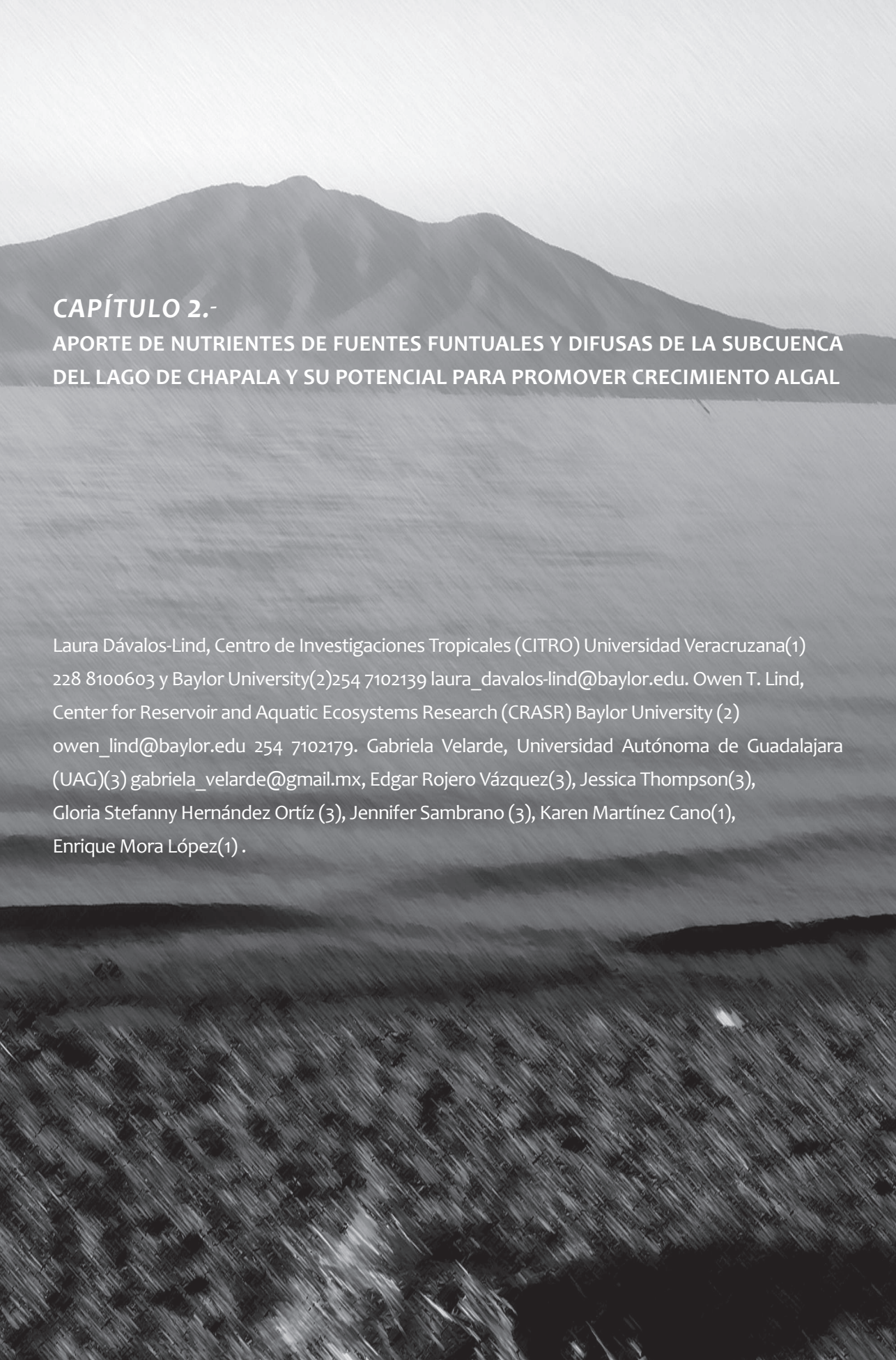




CAPÍTULO 2.-

APORTE DE NUTRIENTES DE FUENTES PUNTUALES Y DIFUSAS DE LA SUBCUENCA DEL LAGO DE CHAPALA Y SU POTENCIAL PARA PROMOVER CRECIMIENTO ALGAL

Laura Dávalos-Lind, Centro de Investigaciones Tropicales (CITRO) Universidad Veracruzana(1) 228 8100603 y Baylor University(2)254 7102139 laura_davalos-lind@baylor.edu. Owen T. Lind, Center for Reservoir and Aquatic Ecosystems Research (CRASR) Baylor University (2) owen_lind@baylor.edu 254 7102179. Gabriela Velarde, Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG)(3) gabriela_velarde@gmail.mx, Edgar Rojero Vázquez(3), Jessica Thompson(3), Gloria Stefanny Hernández Ortiz (3), Jennifer Sambrano (3), Karen Martínez Cano(1), Enrique Mora López(1) .

Introducción

Desde los puntos de vista social, económico y ecológico, la subcuenca del Lago de Chapala (que abarca territorio en los estados de Jalisco y Michoacán) forma parte de uno de los sistemas hídricos más importantes en México (Mestre, 1997). Los servicios ambientales que el sistema proporciona a los habitantes de la región, lo convierten en importante generador económico del país. El mantenimiento o incremento del desarrollo económico depende de que se preserven, para el futuro inmediato y lejano, las condiciones ambientales que aseguren esos servicios ambientales. Mucho se ha escrito sobre desarrollo sustentable y el mantenimiento del capital natural, en forma de teorías y de métodos; lo innegable es que los recursos naturales son finitos y consecuentemente, también el beneficio que obtenemos de ellos. El continuado desarrollo de la región y su gente depende del estado de salud de la subcuenca. A través del tiempo, los cambios del entorno ecológico han sido efectuados para obtener beneficios urbanos, industriales y agropecuarios, por lo que la demanda de estos servicios ambientales se ha incrementado paulatinamente. Las actividades urbanas, industriales y agropecuarias de la región han transformado los afluentes del lago en colectores de nutrientes y otros materiales. Estos afluentes se convierten en mezclas complejas que provocan cambios en las condiciones biológicas y físico-químicas tanto del agua corriente como del principal receptor de estas, el Lago de Chapala. Estos cambios generan no sólo trastornos ambientales y económicos sino riesgos a la salud humana, tanto de los habitantes ribereños como del resto de pobladores de la subcuenca. Desgraciadamente, no se acostumbra cuantificar los daños a la salud humana y menos correlacionar este dato con los cambios en la salud del ecosistema de la subcuenca. Las fuentes puntuales de estresores ambientales en la subcuenca de estudio se encuentran bien definidas; constituyen los vertederos industriales y de las plantas de tratamiento urbanas. Sin embargo, las fuentes difusas provienen de la mezcla de proporciones variables de desechos urbanos, procesos industriales o agrícolas y pecuarios.

En el presente trabajo se busca dar respuesta a preguntas de investigación relacionadas con la evaluación de la calidad del agua de fuentes puntuales y difusas de la subcuenca del lago de Chapala, haciendo referencia al aporte de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno. Al tratarse de una cuenca de usos múltiples, con alta densidad de actividades productivas y urbanas, y al resultar difícil definir el tipo de actividades responsables de la carga de nutrientes de fuentes difusas, se utilizaron métodos para determinar químicamente la calidad del agua, combinados con la determinación del potencial de crecimiento algal o eutroficación derivado de los nutrientes aportados por los afluentes del lago.

Las preguntas a resolver en esta investigación fueron las siguientes:

- ¿Cuál el aporte de nutrientes provenientes de fuentes puntuales y difusas?
- ¿Cuál es la variación estacional que presentan estos aportes?
- ¿Cuál es el potencial del agua (para promover el crecimiento algal) de las fuentes puntuales y difusas?
- ¿Cómo varía este potencial estacionalmente?
- ¿Cuál es el nutriente limitante en estas fuentes y como varía estacionalmente?

La relevancia del estudio del aporte de nutrientes está dada por las consecuencias del aporte desmedido de estos elementos al ecosistema acuático, el cual provoca la elevada producción de algas así como cambios en la comunidad biológica. Estos desbalances caracterizados por alta productividad primaria acompañada por cambios biológicos es lo que se denomina como eutroficación y constituye uno de los problemas más comunes y graves de los lagos en el mundo. Tan sólo en los Estados Unidos de Norteamérica las pérdidas económicas por la eutroficación se calculan en 2.2 billones de dólares anuales (Dodds et al., 2009).

Antecedentes

Las cuencas son espacios geográficos que canalizan escurrimientos de agua provenientes de la lluvia, hacia las zonas más bajas del terreno, donde fluye en arroyos y ríos hasta depositarse en lagos, presas y el océano. Estos escurrimientos recorren el paisaje y a su paso recogen multitud de elementos que terminan en los cuerpos de agua y lo modifican. El paisaje de la cuenca puede incluir ecosistemas naturales, zonas urbanizadas, zonas con desarrollos agropecuarios y zonas industriales. En el paisaje ocurren interacciones físicas, químicas y biológicas que son altamente dinámicas y se les conoce como procesos funcionales de la cuenca. Estos procesos incluyen la mineralización de materia orgánica, formación de suelo, reciclado de nutrientes y metales, hidrología, química y física del suelo. Todos estos procesos son responsables de los servicios ambientales que demanda el desarrollo humano y debido a que su evaluación es compleja, cara y lenta, su monitoreo no se realiza con frecuencia. Así, estos procesos impactan el ecosistema acuático el cual también proporciona servicios ambientales vitales para el desarrollo humano.

La Cuenca Lerma-Chapala, como la gran mayoría de las cuencas en el país, se encuentra bajo gran presión antropogénica. La variedad de estresores que existen ha hecho de estos espacios geográficos verdaderos retos para su manejo y regulación. Se trata de un espacio de poco más de 52,000 km² que se ha caracterizado por la dificultad para ser manejada en forma adecuada, debido a la amplitud territorial y a la diversidad de actores, expresiones culturales, niveles de gobierno, etcétera. Como consecuencia, la cuenca ha experimentado una intensa degradación ambiental así como diversos conflictos entre sectores y usuarios (sobre todo entre el espacio rural-urbano y entre el uso agrícola contra el turístico-pesquero).

Materiales y métodos

Sitio de estudio:

Un detallado análisis geográfico, ecológico y demográfico de la subcuenca del lago de Chapala se presenta en este volumen en el Capítulo 1.

Para la realización de este estudio se establecieron 19 puntos de muestreo dentro de la cuenca y uno en la orilla sur del lago; los sitios fueron elegidos por el equipo de trabajo y se incluyeron fuentes difusas que incluyeron aportes de desechos mixtos: el Río Zula 1 y 2, el Río Santiago, Foco Tonal, La Barca; cinco plantas de tratamiento (fuentes puntuales) localizadas en Chapala, Jocotepec, Poncitlán (Mezcala), Tizapán y Tuxcueca; además de nueve fuentes difusas por escurrimientos agrícolas: Ballesteros, Cumuato, Maltaraña, Pajuacarán, La Guaracha, Ibarra, Río de la Pasión Bajo, Medio y Alto (Tabla 1).

Fuente difusa mixta: urbana - industrial		
SITIO DE COLECTA	COORDENADA N	COORDENADA W
Zula 1	20.34616	102.76456
Zula 2	20.34452	102.77457
Santiago	20.34687	102.77932
Foco Tonal	20.32126	102.78804
La Barca	20.27504	102.55961
Fuente puntual: plantas de tratamiento		
SITIO DE COLECTA	COORDENADA N	COORDENADA W
Mezcala	20.31487	102.94888
Chapala	20.2896	103.18346
Jocotepec	20.28266	103.41589
Tuxcueca	20.15922	103.18633
Tizapán	20.16384	103.03706
Fuente difusa: agrícola - pecuaria		
SITIO DE COLECTA	COORDENADA N	COORDENADA W
Ballesteros	20.22101	102.49206
Cumuato	20.26161	102.59772
Ibarra	20.23286	102.62461
Maltaraña	20.22904	102.68715
Pajuacarán	20.16723	102.68581
La Guaracha	20.16288	102.70015
Río La Pasión	20.1453	103.04626
Río la Pasión 2 El Zapote	20.09578	103.03948
Río la Pasión 3 Agua Caliente	20.02921	103.03297
Lago de Chapala:		
SITIO DE COLECTA	COORDENADA N	COORDENADA W
La Palma	20.15061	102.76276

Tabla 1. Lista de sitios muestreados

Se realizaron tres campañas de muestreo:

- Dos en 2011: mayo 11, 12 y 13 (representativa de época de estiaje) y septiembre 22, 23 y 24 (representativa de época lluviosa).
- Una en 2012: (enero 19, 20 y 21, época de estabilización).

Debido a la extensión del terreno a cubrir, cada campaña se realizó en tres días.

Determinación de la calidad del agua de los afluentes:

Para la determinación química de nutrientes presentes en el agua se utilizaron técnicas especificadas en APHA 1995. Las muestras se obtuvieron con muestreador no metálico, se colocaron en botellas de propileno y se mantuvieron en hielo, después fueron trasladadas al laboratorio de análisis para su preparación según APHA (1995) y EPA (1978), excepto la determinación de amonio que se realizó en campo para evitar fugas. Para amonio-nitrógeno se usó el método de fenol-hipoclorito (4500-NH₃-F). Para nitrato-nitrógeno se usó reducción de cadmio (4500 NO₃-E). Para nitrógeno total se empleó digestión alcalina con persulfato (4500-N-C). El fósforo reactivo soluble se determinó mediante el método de ácido ascórbico (45-P-E, F). El fósforo total mediante oxidación ácida con persulfato. Los sólidos disueltos totales de acuerdo a Lind (1985). El carbono orgánico total con un analizador Shimadzu TOC-Vosh.

En las tres campañas, las muestras se tomaron en duplicado y cada uno se dividió en dos. Un juego de cada duplicado se analizó en el laboratorio de Limnología de la Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG) mediante las técnicas arriba señaladas; otro, en el laboratorio de Limnología del Center for Reservoir and Aquatic Ecology Research (CRASR) de Baylor University (Texas, Estados Unidos de América) mediante un LCHAT ASX-520 y Autosampler Quickquem 8500. Los análisis en ambos laboratorios se realizaron por duplicado, en seguimiento a los protocolos de control de calidad.

En adición a estos análisis de laboratorio, se midió in situ oxígeno disuelto, pH y temperatura mediante sondas multiparamétricas (Hydrolab y YSI 6600 v2). La hora de las determinaciones in situ se indica en la Tabla 2.

Determinación de fertilidad del agua de afluentes:

La fertilidad del agua (PCA = potencial de crecimiento algal o AGP = algal growth potential), se determinó mediante bioensayos algales utilizando la técnica estandarizada de la EPA (EPA-600/9-78-018, modificada por Dávalos et al., 1989). Igualmente, siguiendo esta técnica se determinó el nutriente limitante del crecimiento algal (NLCA). Las muestras fueron previamente filtradas (fitros con abertura de poro de 0.45 µm), y se mantu-

vieron en congelación hasta su análisis en el Laboratorio de Limnología del Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana. En todos los bioensayos se utilizó el bioindicador señalado por la técnica *Sele-nastrum capricorunutum* (en la actualidad *Pseudokirkknerela subcubitata*). El nutriente limitante se determinó en las muestras previamente filtradas y con adiciones de nutrientes: fósforo, nitrógeno, fósforo + nitrógeno. Los bioensayos para PCA Y NLCA se realizaron utilizando cuatro réplicas con sus respectivos controles. Las incubaciones se llevaron a cabo en incubadora Caron 6031 equipada especialmente para este tipo de bioensayo, a una temperatura de 24 ± 2 °C e iluminación blanca fría continua. El crecimiento algal se midió diariamente como fluorescencia de la clorofila in vivo hasta llegar al máximo crecimiento (Fluorometer Turner Designs 700). El análisis de datos se realizó determinando diferencias significativas entre los sitios muestreados, períodos muestreados y adiciones de nutrientes mediante ANOVA ($p < 0.05$).

Resultados

Considerando todas las estaciones muestreadas, se registró un rango de temperatura de entre 18° C (Río de la Pasión 2, zona media, El Zapote) y 28° C (planta de tratamiento de Chapala) similar tanto en tiempo de estiaje como de lluvias. En enero, la temperatura registrada fue menor con un rango de entre 13° C (Río de la Pasión 2, zona media, El Zapote) y 25° C (planta de tratamiento de Chapala) (Tabla 2). En las tres épocas muestreadas se registró siempre la menor temperatura en Río de la Pasión 2 Medio (El Zapote), y la mayor en la planta de tratamiento de Chapala.

El oxígeno disuelto (OD mg l⁻¹) se presentó en concentraciones bajas en todas las fuentes de origen mixto urbano-industrial durante las tres temporadas, con excepción de Foco Tonal (7.6 mg l⁻¹) y el Río Santiago (4.8 mg l⁻¹) en enero. Las plantas de tratamiento presentaron rangos de concentraciones de entre 2.7 y 5.0 mg l⁻¹ en mayo, 2.5 y 5.9 mg l⁻¹ en septiembre y 1.1 y 7.5 mg l⁻¹ en enero. Consistentemente, la planta de tratamiento de Jocotepec presentó los valores más bajos registrados (por debajo de 3.0 mg l⁻¹). Las fuentes agropecuarias presentaron las concentraciones más bajas en mayo (0 y 4.7 mg l⁻¹), el rango más amplio en septiembre (0 y 10.9 mg l⁻¹) y de nuevo bajas en enero (0.7 y 6.6 mg l⁻¹) (Tabla 2).

El pH en las todas las fuentes y épocas fluctuó entre neutral a alcalino o muy alcalino, con la excepción del Río Zula 1 donde se registró en mayo con 1.2 (Tabla 2).

En el caso de la estación en la orilla del Lago de Chapala (La Palma), se registraron temperaturas entre 22.0° C y 26.6° C. El oxígeno disuelto fue similar en mayo y septiembre (5.0 y 5.5 mg l⁻¹ respectivamente) y más elevado en enero: 11.1 mg l⁻¹. El pH fue muy elevado en todas las épocas y se registró entre 9.0 y 9.3 (Tabla 2).

Los valores medidos de nutrientes (Tabla 3), indicaron altas concentraciones de nitrógeno total (1.16 – 10.90 mg N l⁻¹) en todas las fuentes difusas mixtas urbano-industriales, siendo el sitio de La Barca el que en todas las estaciones del año presentó las mayores concentraciones (8.49 - 10.90 mg N l⁻¹). Las concentraciones medidas en las plantas de tratamiento presentaron un rango mayor, entre 0.95 y 29.20 mg N l⁻¹. Las plantas de Mezcala y Tuxcueca presentaron las menores concentraciones de nitrógeno total (0.95 - 2.50 mg N l⁻¹). El rango medido en las fuentes difusas agropecuarias fue de 0.96 y 13.05 mg N l⁻¹. El sitio del Río de la Pasión 3 (alto) en Agua Caliente, presentó las mayores concentraciones en mayo y enero (12.0 y 12.2 mg N l⁻¹ respectivamente) con dilución en temporada de lluvias (2.76 mg N l⁻¹). En el caso del amonio-nitrógeno, la planta de tratamiento de Jocotepec presentó las concentraciones más altas en las tres épocas del año, 18.5 mg N l⁻¹ en estiaje, 7.56 mg N l⁻¹ en lluvias y 7.91 mg N l⁻¹ en enero. Las fuentes difusas agropecuarias presentaron las concentraciones menores, a excepción del Río de la Pasión 3 (alto) en Agua Caliente (13.10, 0.11 y 5.53 mg N l⁻¹ en estiaje, lluvias y enero respectivamente). El nitrógeno como nitrato presenta la concentración más baja en todas las fuentes, con excepción de las plantas de tratamiento de Chapala y Tizapán en temporada de estiaje con concentraciones de 5.21 y 6.45 mg N l⁻¹ respectivamente (Tabla 3). El sitio en la orilla sur del Lago de Chapala presentó su mayor concentración de nitrógeno total en enero (3.29 mg N l⁻¹) y bajas concentraciones de amonio y nitrato consistentemente (Tabla 3).

En el caso del fósforo total, las concentraciones mayores medidas se registraron en las plantas de tratamiento con un rango de entre 0.74 y 6.78 mg P l⁻¹, siendo la planta de Jocotepec la que consistentemente presenta altas concentraciones. Las menores concentraciones medidas fueron en las fuentes difusas agrícolas (0.34 y 5.52 mg P l⁻¹) donde en el Río de la Pasión 3 (alto) en Agua Caliente se presentaron altas concentraciones en mayo y enero (5.52 y 4.52 mg P l⁻¹ respectivamente). El fósforo reactivo soluble (SRP), siguió el mismo patrón con mayores concentraciones en afluentes de las plantas de tratamiento; la planta de Jocotepec es la que aporta mayores concentraciones en las tres épocas medidas (5.25, 2.57 y 1.49 mg P l⁻¹ respectivamente). El sitio en la orilla sur del Lago de Chapala presenta una concentración en la época de lluvias de casi el doble a la medida en estiaje y enero (1.82, 0.67 y 0.84 mg P l⁻¹ respectivamente) y el fósforo reactivo soluble está entre los menores medidos entre los sitios de colecta (0.35, 0.24 y 0.14 mg P l⁻¹ en mayo, septiembre y enero respectivamente) (Tabla 4).

Fuente difusa mixta: urbana - industrial												
SITIO DE COLECTA	HORA DE COLECTA Mayo	HORA DE COLECTA Septiembre	HORA DE COLECTA Enero	TEMP Mayo	TEMP Septiembre	TEMP Enero	OD Mayo mg l ¹	OD Septiembre mg l ¹	OD Enero mg l ¹	pH Mayo	pH Septiembre	pH Enero
Zula 1	08:10	08:09	08:30	21.8	22.8	18.9	0.0	0.0	0.7	1.2	7.4	7.4
Zula 2	08:20	08:54	09:05	21.4	22.6	18.3	0.0	0.0	1.9	7.2	7.4	7.0
Santiago	09:04	09:32	09:32	21.8	23.4	18.6	3.2	0.0	4.8	7.3	7.3	7.4
Foco Tonal	10:00	10:50	11:00	23.7	24.7	18.1	2.9	2.3	7.6	8.7	8.8	8.5
La Barca	07:13	09:07	09:00	23.8	23.2	14.8	4.0	1.1	1.3	8.6	7.3	7.7
Fuente puntual: plantas de tratamiento												
SITIO DE COLECTA	HORA DE COLECTA Mayo	HORA DE COLECTA Septiembre	HORA DE COLECTA Enero	TEMP Mayo	TEMP Septiembre	TEMP Enero	OD Mayo mg l ¹	OD Septiembre mg l ¹	OD Enero mg l ¹	pH Mayo	pH Septiembre	pH Enero
Mezcala	11:30	02:20	12:29	23.5	24.2	19.3	4.6	5.9	7.5	9.1	9.4	9.0
Chapala	13:00	03:25	03:00	28.4	28.3	24.5	4.7	3.1	5.1	7.6	7.8	7.7
Jocotepec	07:52	08:38	08:40	27.0	26.8	25.1	2.7	2.5	1.1	7.3	7.6	7.5
Tuxteuca	09:10	09:00	09:15	25.0	25.6	23.1	2.7	4.4	5.7	8.4	7.8	7.9
Tizapán	09:58	10:01	10:25	26.3	24.9	22.8	5.0	4.1	6.0	7.6	8.0	7.8
Fuente difusa: agrícola - pecuaria												
SITIO DE COLECTA	HORA DE COLECTA Mayo	HORA DE COLECTA Septiembre	HORA DE COLECTA Enero	TEMP Mayo	TEMP Septiembre	TEMP Enero	OD Mayo mg l ¹	OD Septiembre mg l ¹	OD Enero mg l ¹	pH Mayo	pH Septiembre	pH Enero
Ballesteros	08:45	08:45	08:45	20.8	22.7	16.7	3.9	4.1	3.0	7.0	7.4	7.4
Cumuat	09:42	11:42	11:52	23.8	24.9	16.4	0.2	9.7	2.9	8.4	8.7	8.1
Ibarra	10:22	12:29	12:35	24.6	23.2	17.8	0.1	2.2	3.0	8.6	7.7	7.9
Maltraña	11:10	01:12	02:10	24.5	23.7	18.8	2.2	1.9	1.8	8.7	8.4	8.5
Pajacuarán	11:49	02:00	03:00	21.8	22.8	17.4	3.4	0.0	0.7	7.5	7.6	7.4
La Guarracha	12:21	02:27	03:27	22.8	26.4	17.4	3.0	10.9	2.7	7.6	8.7	8.0
Río La Pasión	11:10	10:49	10:59	19.5	18.7	14.9	nd	5.7	7.5	8.2	8.3	8.3
Río La Pasión 4 El Zapote	11:45	11:35	11:45	18.5	19.2	13.8	4.7	5.2	6.6	8.4	8.1	8.2
Río La Pasión 3 Agua Caliente	12:20	12:08	12:28	19.5	19.4	14.3	1.2	1.2	1.9	7.7	7.8	7.9
Lago de Chapala												
SITIO DE COLECTA	HORA DE COLECTA Mayo	HORA DE COLECTA Septiembre	HORA DE COLECTA Enero	TEMP Mayo	TEMP Septiembre	TEMP Enero	OD Mayo mg l ¹	OD Septiembre mg l ¹	OD Enero mg l ¹	pH Mayo	pH Septiembre	pH Enero
La Palma	13:33	03:02	03:52	26.6	25.8	22.0	5.0	5.5	11.1	9.0	9.3	9.1

Tabla 2. Mediciones in situ realizadas en campo en afluentes del Lago de Chapala (divididos según el tipo de fuente) en mayo (estiaje) y septiembre (lluvias) 2011 y enero (intermedio) 2012. La hora de colecta se incluye para permitir comparación de datos. nd = no dato

Fuente difusa mixta: urbana - industrial				Fuente difusa mixta: urbano - industrial				Fuente difusa mixta: urbano - industrial			
CONCENTRACION DE NT mg l ⁻¹				CONCENTRACION DE N mg l ⁻¹				CONCENTRACION DE NÓmg l ⁻¹			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Zula 1	8.40	5.37	3.97	Zula 1	5.81	1.52	0.87	Zula 1	0.07	0.57	0.05
Zula 2	4.69	4.22	1.65	Zula 2	3.37	1.24	0.44	Zula 2	0.02	0.02	0.12
Santiago	4.90	3.83	1.44	Santiago	3.52	1.1	0.01	Santiago	0.06	0.27	0.06
Foco Tonal	1.16	1.17	1.22	Foco Tonal	0.01	0.11	0.03	Foco Tonal	0.05	0.01	0.05
La Barca	8.49	10.13	10.90	La Barca	2.98	3.22	2.91	La Barca	0.12	0.39	0.05
Fuente puntual: plantas de tratamiento				Fuente puntual: plantas de tratamiento				Fuente puntual: plantas de tratamiento			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Mezcala	2.50	0.95	1.65	Mezcala	0.83	0.01	0.19	Mezcala	0.07	0.04	0.06
Chapala	8.43	10.33	15.50	Chapala	3.26	2.46	3.71	Chapala	5.21	0.01	1.04
Jocotepec	29.20	5.22	27.05	Jocotepec	18.5	7.56	7.91	Jocotepec	0.07	0.02	0.06
Tuxteuca	nn	1.28	2.21	Tuxteuca	1.95	0.61	0.61	Tuxteuca	0.06	0.02	0.10
Tizapán	13.98	2.88	8.58	Tizapán	6.99	0.48	0.45	Tizapán	6.45	1.01	2.75
Fuente difusa: agrícola - pecuaria				Fuente difusa: agrícola - pecuaria				Fuente difusa: agrícola - pecuaria			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Ballesteros	1.09	13.05	3.09	Ballesteros	0.29	0.12	0.28	Ballesteros	0.03	0.33	0.62
Cumuat	2.41	12.35	1.62	Cumuat	0.27	3.48	0.22	Cumuat	0.12	0.76	0.14
Ibarra	0.96	4.31	1.25	Ibarra	0.00	1.21	0.06	Ibarra	0.03	0.36	0.1
Maltaraña	1.27	2.25	1.75	Maltaraña	0.00	0.04	0.06	Maltaraña	0.13	0.57	0.07
Pajacuarán	1.03	3.09	1.2	Pajacuarán	0.02	1.20	0.10	Pajacuarán	0.03	0.02	0.08
La Guaracha	1.07	3.76	1.21	La Guaracha	0.00	0.67	0.05	La Guaracha	0.01	0.27	0.26
Río La Pasión	1.31	1.6	4.74	Río La Pasión	0.01	0.02	0.15	Río La Pasión	0.27	0.77	1.89
Río La Pasión	2.92	1.17	1.73	Río La Pasión	0.00	0.07	0.03	Río La Pasión	1.21	0.46	0.53
2 El Zapote				2 El Zapote				2 El Zapote			
Río La Pasión				Río La Pasión				Río La Pasión			
3 Agua Caliente	12	2.76	12.2	3 Agua Caliente	13.10	0.11	5.53	3 Agua Caliente	0.09	0.02	0.05
Lago de Chapala				Lago de Chapala				Lago de Chapala			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
La Palma	1.39	1.03	3.29	La Palma	0	0.01	0.03	La Palma	0.01	0.01	0.06

Tabla 3. Valores de nitrógeno total (NT), amonio (NH3) y nitrato (NO3) medidos en afluentes del Lago de Chapala (divididos según el tipo de fuente) en mayo y septiembre 2011 y enero 2012. n=4 nm = no muestra

Fuente difusa mixta: urbano - industrial				Fuente difusa mixta: urbano - industrial			
CONCENTRACION DE PT mg/l				CONCENTRACION DE SRP mg/l			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Zula 1	2.64	1.81	1.29	Zula 1	1.98	0.84	0.49
Zula 2	1.37	1.91	0.78	Zula 2	0.99	0.46	0.48
Santiago	1.68	1.07	0.70	Santiago	1.07	0.68	0.35
Foco Tonal	0.61	0.68	0.70	Foco Tonal	0.31	0.31	0.32
La Barca	3.79	1.89	2.73	La Barca	1.91	1.06	1.14
Fuente puntual: plantas de tratamiento				Fuente puntual: plantas de tratamiento			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Mezcala	0.85	1.08	0.74	Mezcala	0.37	0.24	0.31
Chapala	4.26	5.35	1.61	Chapala	2.93	0.28	0.68
Jocotepec	6.78	4.59	4.79	Jocotepec	5.25	2.57	1.49
Tuxcueca	1.42	4.87	5.79	Tuxcueca	3.24	2.01	2.40
Tizapán	2.98	4.84	3.75	Tizapán	2.25	2.63	1.55
Fuente difusa: agrícola - pecuaria				Fuente difusa: agrícola - pecuaria			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Ballesteros	0.60	0.52	0.83	Ballesteros	0.46	0.28	0.25
Cumuato	1.75	2.07	1.02	Cumuato	1.22	1.29	0.54
Ibarra	0.76	1.98	0.71	Ibarra	0.40	0.84	0.40
Maltaraña	0.74	1.06	1.00	Maltaraña	0.50	5.15	0.43
Pajacuarán	0.50	2.03	0.87	Pajacuarán	0.26	1.29	0.44
La Guaracha	0.38	1.14	0.73	La Guaracha	0.23	1.29	0.44
Río La Pasión	0.34	0.38	0.19	Río La Pasión	0.17	0.20	0.06
Río La Pasión 2 El Zapote	0.39	0.39	0.42	Río La Pasión 2 El Zapote	0.19	0.22	0.24
Río La Pasión 3 Agua Caliente	5.52	1.66	4.52	Río La Pasión 3 Agua Caliente	3.09	0.21	1.42
Lago de Chapala				Lago de Chapala			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012	SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
La Palma	0.67	1.82	0.84	La Palma	0.35	0.24	0.14

Tabla 4. Valores de los fósforo total (PT) y fósforo reactivo soluble (SRP) medidos en afluentes del Lago de Chapala en mayo y septiembre 2011 y enero 2012, divididos según el tipo de fuente. n=4

Las mediciones de carbono orgánico total (Tabla 5), son muy elevadas en todos los sitios de colecta y en todas las épocas muestreadas; las más bajas se dieron en mayo en la planta de tratamiento de Chapala y el sitio de Ballesteros (7.20 y 7.1 mg C l⁻¹ respectivamente). Las concentraciones más elevadas se registraron en La Barca, la planta de tratamiento de Jocotepec y Cumuato (38.5, 52.10 y 35.8 mg C l⁻¹ respectivamente) durante el mes de enero. El sitio en la orilla sur del Lago de Chapala presentó concentraciones altas en las tres épocas, 17.8, 41.3 y 24.3 mg C l⁻¹ respectivamente.

Los sólidos suspendidos totales en las fuentes difusas mixtas (urbano-industrial) presentaron un rango de entre 14.4 y 122.1 mg SST l⁻¹.

n=2

Fuente difusa mixta: urbana - industrial

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA A Enero 2012
Zula 1	25.50	29.90	26.70
Zula 2	15.40	27.70	26.50
Santiago	14.50	27.30	12.80
Foco Tonal	24.50	25.00	21.10
La Barca	32.10	27.80	38.50

Fuente puntual: plantas de tratamiento

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA A Enero 2012
Mezcala	18.90	15.10	22.90
Chapala	7.20	24.40	25.60
Jocotepec	35.30	35.20	52.10
Tuxcueca	11.50	31.40	12.70
Tizapán	11.50	11.10	9.10

Fuente difusa: agrícola - pecuaria

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA A Enero 2012
Ballesteros	7.1	13.2	13.4
Cumuat	28.6	11.9	35.8
Ibarra	20.6	16.4	26.9
Maltaraña	15.8	13.7	24.6
Pajacuarán	16.6	11.9	22.8
La Guaracha	32.5	23.2	23.4
Río La Pasión	14.8	9.4	7.4
Río La Pasión 2 El Zapote	12.5	7.5	9.1
Río La Pasión 3 Agua Caliente	20	23.6	67.5

Lago de Chapala

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA A Enero 2012
La Palma	17.8	41.3	24.3

Tabla 5. Carbono orgánico total medido en afluentes del Lago de Chapala en mg l-1, durante mayo y septiembre 2011 y enero 2012 dividido por tipo de fuente.

Las concentraciones medidas para afluentes de plantas de tratamiento y agropecuarios, presentaron un rango amplio entre 7.8 y 1364.6 mg SST I-1, donde la planta de tratamiento de Jocotepec contribuye con la mayor concentración. Con respecto al sitio en la orilla sur del Lago de Chapala, las concentraciones de sólidos suspendidos totales presentaron una concentración alta en enero, mientras que en estiaje y lluvias esta fue menor (101.0, 32.8 y 37.5 6 mg SST I-1 respectivamente) (Tabla 6).

En relación con la fertilidad del agua, el afluente que provocó la mayor estimulación fue La Barca en época de estiaje, así como en enero (130 y 141 fluorescencia máxima) (Tabla 7). Las fuentes que provocaron la menor estimulación fueron las agrícola-pecuarias. El sitio a la orilla del sur del Lago de Chapala provocó una estimulación del crecimiento algal mínima, comparada con el resto de las fuentes de nutrientes estudiadas (4, 2 y 9) fluorescencia máxima en mayo, septiembre y enero respectivamente) (Tabla 7).

La limitación por nutrientes señaló al nitrógeno como el elemento más importante en 74% de los casos distribuidos en todas las temporadas. La colimitación por nitrógeno y fósforo (NP) ocurrió en el 19% de los casos en la temporada de lluvias. El nutriente limitante registrado en las fuentes difusas mixtas urbano-industriales, tanto en la época de estiaje como en enero, fue el nitrógeno; en temporada de lluvias se registró colimitación por ambos: nitrógeno (N) y fósforo (P). En las plantas de tratamiento se registró limitación por nitrógeno como colimitación por ambos nutrientes en las tres épocas, predominando limitación por N en estiaje y colimitación en lluvias. Es importante hacer notar que la limitación en el afluente de la planta de tratamiento de Chapala en enero fue P. Para las fuentes difusas agrícola-pecuarias, el N fue limitante en estiaje, el N y colimitación se presentaron en lluvias y en enero, y se registró en el Río de la Pasión 3 (alto) Agua Caliente limitación por P en enero. Es importante señalar que en la estación localizada en Ibarra, en época de estiaje ninguno de los dos elementos estudiados (N y P), fueron limitantes. En el caso del sitio en la orilla sur del Lago de Chapala, el N fue el limitante de la productividad algal en las tres épocas muestreadas (Tabla 8).

n = 2 nm = no muestra

Fuente difusa mixta: urbano - industrial

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Zula 1	14.4	22.5	26.8
Zula 2	18.2	22.5	20.2
Santiago	79.4	14.5	25.4
Foco Tonal	53.0	22.8	36.4
La Barca	52.0	39.3	122.1

Fuente puntual: plantas de tratamiento

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Mezcala	26.0	24.5	32.2
Chapala	11.0	16.8	11.4
Jocotepec	1364.6	37.8	80.5
Tuxcueca	1167.8	nm	42.0
Tizapán	1260.2	4.2	66.0

Fuente difusa: agrícola - pecuaria

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
Ballesteros	7.8	86.3	56.4
Cumuato	20.7	142.9	55.5
Ibarra	32.3	39.3	153.0
Maltraña	20.0	42.5	147.5
Pajacuarán	10.8	10.8	40.5
La Guaracha	10.8	44.5	73.5
Río La Pasión	1186.0	20.8	114.0
Río la Pasión 2 El Zapote	1119.4	5.7	9.0
Río la Pasión 3 Agua Caliente	1253.2	40.5	105.0

Lago de Chapala

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDIA Enero 2012
La Palma	32.8	37.5	101.8

Tabla 6. Sólidos disueltos totales (mg l-l) medidos en afluentes del Lago de Chapala en mayo y septiembre 2011 y enero 2012, divididos por tipo de fuente.

Fuente difusa mixta: urbano - industrial

ESTACION	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Zula 1	121	100	24
Zula 2	96	nm	16
Santiago	133	85	42
Foco Tonal	12	nm	5
La Barca	130	32	141

Fuente puntual: plantas de tratamiento

ESTACION	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Mezcala	54	3	17
Chapala	96	79	139
Jocotepec	30	99	101
Tuxcueca	48	72	34
Tizapán	100	2	60

Fuente difusa: agrícola - pecuaria

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Ballesteros	34	nm	nm
Cumuato	23	64	71
Ibarra	9	96	16
Maltraña	7	74	18
Pajacuarán	8	91	6
La Guaracha	17	2	59
Río de la Pasión	12	49	43
Río la Pasión 2 El Zapote	85	47	59
Río la Pasión 3 Agua Caliente	97	22	100

Lago de Chapala

SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
La Palma	4	2	9

Tabla 7. Máxima fertilidad del agua (potencial del agua para estimular crecimiento algal) presentada por afluentes del Lago de Chapala medida en tres épocas del año (en unidades de fluorescencia). nm = no muestra n=4

Fuente difusa mixta: urbano - industrial			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Zula 1	N	NP	N
Zula 2	N	NP	N
Santiago	N	NP	N
Foco Tonal	N	nm	N
La Barca	N	NP	N

Fuente puntual: plantas de tratamiento			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Mezcala	N	N	N
Chapala	NP	N	P
Jocotepec	NP	NP	N
Tuxcueca	N	NP	N
Tizapán	N	NP	N

Fuente difusa: agrícola - pecuaria			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
Ballesteros	N	nm	N
Cumuato	N	N	N
Ibarra	ninguno	NP	N
Maltraña	N	NP	N
Pajacuarán	N	NP	N
La Guaracha	N	N	N
Río de la Pasión	N	NP	NP
Río la Pasión 2 El Zapote	N	NP	NP
Río la Pasión 3 Agua Caliente	N	N	P

Lago de Chapala			
SITIO DE COLECTA	EPOCA DE ESTIAJE Mayo 2011	EPOCA DE LLUVIA Septiembre 2011	EPOCA INTERMEDI A Enero 2012
La Palma	N	N	N

Tabla 8. Nutriente limitante del crecimiento algal identificado mediante bioensayos en 19 afluentes del lago de Chapala medido en mayo y septiembre 2011 y enero 2012.
nm = no muestra n=4

Discusión

La determinación del aporte de nutrientes de fuentes puntuales y difusas a un cuerpo de agua es importante, ya que los nutrientes cuando se presentan en exceso son responsables de la eutroficación. La eutroficación es el excesivo crecimiento algal causado por el enriquecimiento con nutrientes y es considerado uno de los problemas de calidad de agua más comunes en México y el mundo. El costo económico de este problema es muy elevado. Entre sus consecuencias están la necesidad del tratamiento adicional al agua para remover compuestos tóxicos o que dan olor y sabor al agua; la pesquería se ve disminuida tanto en calidad de peces como en cantidad y el valor estético disminuye afectando negativamente las actividades turísticas y recreativas. Como se mencionó con anterioridad, los costos económicos de la eutroficación o su tratamiento y prevención son muy altos.

Los nutrientes evaluados fueron los que han sido identificados como promotores de la eutroficación: nitrógeno y fósforo provenientes de cinco fuentes puntuales representadas por las plantas de tratamiento de Chapala, Jocotepec, Mezcala, Tizapán y Tuxcueca. Para el resto de las fuentes (15 estaciones), es difícil identificar una sola fuente de perturbación, sin embargo, como fuentes difusas de escurrimiento agrícola consideramos los sitios de Ballesteros, Cumuato, Ibarra, Maltaraña, Pajacuarán y La Guaracha, ubicados en la Ciénega de Chapala y el Río de la Pasión medio (El Zapote) y Río de la Pasión bajo. La estación en Río de la Pasión alto (Agua Caliente), representa una fuente principalmente pecuaria donde hay una importante industria de productos lácteos. Como fuentes difusas de mezclas varias se consideraron los sitios de La Barca, Río Zula 1 y 2, Río Santiago y Foco Tonal.

Los valores de nitrógeno total (NT), amonio (NH_3) y nitrato (NO_3) presentan rangos muy amplios entre los sitios y temporadas muestreados. Cabe hacer notar que las plantas de tratamiento (fuentes puntuales) contribuyen de manera importante en las temporadas de secas y en enero; en temporada de lluvias se registra dilución del afluente, excepto en la planta de Chapala donde no se observa dilución por lluvias (Tabla 3). De acuerdo a los criterios estipulados en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) de la SEMARNAT (2012), los valores medidos de nitratos en las 20 fuentes se encuentran dentro de la norma para protección de vida acuática, sin embargo, se menciona que para consumo humano a largo plazo y para evitar metahemoglobinemia en infantes, la máxima concentración es de 0.2 mg l⁻¹; tomando en cuenta este valor se encuentran fuera de la norma en la época de estiaje el 80% de los sitios: 55% en época de lluvias y 30% en enero. La mayoría de los sitios

evaluados se colocan con el 65% medido a nivel nacional (0.2 a 3 mg l⁻¹) y las plantas de tratamiento de Tizapán y Chapala (concentraciones de 5.2 a 6.4 mg l⁻¹ respectivamente), se colocan con el 2% nacional que corresponde al nivel más alto medido en aguas nacionales. En el caso de nitrógeno amoniacal en época de estiaje, 40% de las zonas muestreadas están dentro de la norma: 25% en época de lluvias, lo cual puede atribuirse a la dilución causada por el aporte de la precipitación, y en enero, 35%.

En el caso de la muestra de la orilla sur del Lago de Chapala, la comparación de los datos de este estudio con los del SNIARN (2012). Con referencia al nitrato colocan al lago con el 31% de las aguas superficiales, el conjunto con mejor calidad (0 y 0.2 mg l⁻¹).

Igualmente, los valores de fósforo total (PT) presentan un rango amplio de concentraciones, donde algunas plantas de tratamiento contribuyen con las concentraciones más elevadas de PT medidas en este estudio. Los valores de fósforo reactivo soluble (ortofosfatos), presentan también un rango amplio y las mayores contribuciones al Lago de Chapala provienen de plantas de tratamiento (Tabla 4). La comparación de los valores obtenidos en este trabajo con las estadísticas disponibles en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN, 2012) de la SEMARNAT, coloca a todas las estaciones con el 71% de los sitios monitoreados nacionalmente (PT > 0.1 mg l⁻¹), donde se menciona que este nutriente proviene de fertilizantes y detergentes aplicados en zonas agrícolas; en este estudio los valores señalan a las plantas de tratamiento, en la mayoría de los casos, como las fuentes más importantes.

De acuerdo a los criterios en SNIARN (2012), todos los valores obtenidos de fósforo soluble se encuentran dentro de la normatividad para protección de vida acuática y otros usos, excepto la estación de Maltaraña en época de lluvias. Pero, de acuerdo con los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001/89) (SNIARN, 2012), se especifica que los fosfatos no deben exceder 0.05 mg l⁻¹ en afluentes y 0.025 mg l⁻¹ en lagos y embalses. Bajo este criterio, nuestros datos indican que en todas las regiones muestreadas en todas las estaciones del año se rebasan ambos criterios, excepto en el Río de la Pasión en el mes de enero. Cabe señalar que en las estadísticas del SNIARN no se especifica si se trata de NO₃ ó NO₃-N, PO₄ ó PO₄-P.

Las fuentes puntuales (plantas de tratamiento), liberan cantidades importantes tanto de N como P y vierten directamente en el Lago de Chapala. De acuerdo a los datos de la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEAJ, 2012), todas las plantas se encuentran en operación y en 2005 daban servicio entre el 10 y 46% de sus poblaciones respectivas, siendo la de Tizapán la de mayor cobertura (72%). Sin embargo, las plantas se constru-

yeron en 1989 (excepto Mezcala en 2001) y no cuentan con tratamiento terciario para remover nutrientes ni fueron proyectadas para los esperados aumentos poblacionales.

La contaminación orgánica se registró, en todas las fuentes, en cantidades elevadas. La segunda más elevada se midió en el Lago de Chapala en temporada de lluvias (41.3 mg C l⁻¹) y la más elevada en el Río de la Pasión Agua Caliente en enero (67.5 mg C l⁻¹), posiblemente por las actividades de la industria lechera de la región.

Los sitios conformados por fuentes difusas mixtas urbano-industriales en época de estiaje, presentaron el mayor potencial para promover crecimiento algal. El efecto de dilución por lluvias fue poco notable en septiembre y más notorio en enero, quizás debido a que la temporada de lluvias en 2011 no fue cuantiosa, registrándose mayores aportes de agua hasta enero. Las fuentes agrícola-pecuarias presentaron mayores fertilidades en época de lluvias debido a un mayor escurrimiento de agua, casi nulo durante el estiaje. Y las fuentes puntuales representadas por las plantas de tratamiento presentaron fertilidad variante: por ejemplo, Mezcala, Chapala y Tizapán presentan menor fertilidad en tiempo de lluvias mientras que en Jocotepec y Tuxcueca aumenta en esa temporada. Los aportes de estimulantes de la productividad de las fuentes estudiadas son considerables y consistentes con otros estudios (López-López y Dávalos-Lind, 1998), donde la biota del cuerpo de agua receptor, en este caso el lago de Chapala, parece servir como un procesador de nutrientes. La fertilidad del agua de la estación en la orilla sur del lago es muy baja en las tres épocas muestreadas, comparada con las otras 19 estaciones muestreadas.

Consistente con estudios de patrones de fertilidad del agua de cuerpos en la Mesa Central de México (Hernández et al., 2001), los sitios que presentaron la mayor fertilidad del agua fueron en su mayoría limitados por nitrógeno; igualmente los que presentaron la menor fertilidad del agua estuvieron limitados por ambos, N y P (colimitación). En ambos casos, sólo en época de estiaje.

El nutriente limitante en época de estiaje, tanto en fuentes difusas urbano-industriales como en agrícola-pecuarias, fue el nitrógeno. En la mayoría de los casos cambió a colimitación (N y P) en temporada de lluvias; esto ha sido observado en otros cuerpos de agua mexicanos (Hernández et al., 2001, Bernal-Brooks et al., 2003). La colimitación presentada en temporada de lluvias puede deberse al aporte conjunto de ambos nutrientes por los escurrimientos y a que son biodisponibles sólo en bajas concentraciones. El registro de cambios, de nutriente limitante a colimitación, es importante ya que puede indicar cambios en actividades antropogénicas (eficiencia de plantas de tratamiento, rotación o época agrícola, merca-

dos, etcétera).

En la estación localizada en la orilla sur del Lago de Chapala, el nutriente limitante en las tres épocas muestreadas fue el nitrógeno. Desde 1989, Davalos et al determinó que el fitoplancton del Lago de Chapala está limitado por nitrógeno; esto ha sido confirmado en variadas ocasiones (Hernández et al., 2001). La producción en el Lago de Chapala es baja, se le ha clasificado como oligo-mesotrófico y es resultado de dos factores: la baja concentración de nitrógeno en relación con el fósforo y la alta turbidez inorgánica del agua (Davalos et al., 1989; Lind et al., 1992).

El manejo apropiado, la preservación e incremento de los servicios ambientales que proporciona la subcuenca y el Lago de Chapala, depende del entendimiento que logremos del funcionamiento del sistema y de su interacción con los factores socioeconómicos constantemente cambiantes. La variedad de estresores que causan efectos acumulativos y sinérgicos son de difícil evaluación y requieren de un monitoreo exhaustivo que finalmente conlleve al buen manejo de la cuenca.

Los efectos acumulativos del uso de la cuenca requieren de información a largo plazo que para la mayoría de los afluentes no existe: no se cuenta con una línea base para determinar cambios en la cuenca o niveles de cambios aceptables en las condiciones de calidad de agua de los afluentes. Igualmente, se hace necesaria la información actualizada de la eficiencia de las plantas de tratamiento existentes, la proyección del crecimiento poblacional y las necesidades de tratamiento futuras.

Este trabajo aborda el panorama ambiental actual de los afluentes mediante las mediciones químicas de la calidad del agua, determina los efectos de estas mezclas mediante las respuestas del bioindicador a la calidad del agua en su totalidad y señala las fuentes importantes de estresores.

En la comparación de datos de este estudio y las normas establecidas se hace evidente que la legislación actual o su cumplimiento no ha sido suficiente para la protección de la sustentabilidad de la región.

Literatura Citada



APHA, AWWA, WEF. 1995. Standard methods for the examination of water and waste water. Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. (Eds). 19th Edition. American public health association. Washington, D.C.



Bernal-Brooks, F., L. Dávalos-Lind and O. T. Lind. 2003. Seasonal and spatial variation in algal growth potential and growth limiting nutrients in a shallow eutrophic lake: Lake Pátzcuaro (Mexico). *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 8: 83-93.



Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, CE-CCA-001/89. 1989. Semarnat, CNA. DOF 1989.



Comisión Estatal del Agua de Jalisco, CEASJ. 2012. www.ceajalisco.gob.mx

Dávalos, L., O. Lind, and R.D. Doyle, 1989. Evaluation of Phytoplankton-Limiting Factors in Lake Chapala, Mexico: Turbidity and Spatial and Temporal Variations in Algal Assay Response. *Lake and Reservoir Management* 5(2): 99-104.



Dodds, W. K., W. W. Bouska, J. L. Eitzmann, T. J. Pilger, K. L. Pitts, A. J. Riley, J. T. Schloesser and D. J. Thornbrugh. Eutrophication of U. S. freshwaters: Analysis of Potential Economic damages. *Environmental Science & Technology*. 43(1) 12-19.



Environmental Protection Agency. 1978. The *Selenastrum capricornutum* Printz algal assay bottle test. Experimental design, application, and data interpretation protocol. EPA-600/9-78-018.



Hernández-Avilés, S., F. Bernal-Brooks, G. Velarde, D. Ortiz, O. T. Lind y L. Dávalos-Lind. 2001. The Algal Growth Potential and Algae Growth-Limiting Nutrient for 30 México's Lakes and Reservoirs. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 27 Part 6:3583-3588.



Lind, O. T. 1985. Handbook of common methods in Limnology. Kendall/Hunt Publishing Company.



Lind, O., Doyle R., Vodopich D., Trotter B., Limón J. and Dávalos-Lind L. 1992. Clay turbidity: governing of Phytoplankton production in a large, nutrient-rich tropical lake (Lago de Chapala, México). *Limnol. Oceanogr.* 37:549-565.

López López y L. Dávalos-Lind. 1998. Algal growth potential and nutrient limitation in a tropical river-reservoir system of the Central Plateau, Mexico. *Aquatic Ecosystem Health and Management*. 1(3-4): 354-351.

Mestre, J. E., 1997. Case Study VIII –Lerma-Chapala Basin, Mexico. In: *Water Pollution Control-A guide to the use of water quality management principles*. Eds. R. Helmer and I. Hespanhol. E&F Spon WHO/UNEP.

Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. 2012. www.semarnat.gob.mx