



UNIVERSIDAD MICHOCANA DE
SAN NICOLAS DE HIDALGO

FACULTAD DE BIOLOGIA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la
sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de

**MAESTRO EN CONSERVACIÓN Y MANEJO DE LOS RECURSOS
NATURALES**

Presenta:

Juan Pablo Ramírez Herrejón

Directora de tesis:
M.C. Martina Medina Nava

Morelia, Mich., Diciembre de 2008



“Hoy es un nuevo día y tienes la oportunidad de hacer otro intento...”

Anónimo

***Con todo mi ser para Erika, Ariadna, Marissa, María
Martha y Juan José.
A su perfección, a su transformación, a su trascendencia,
a su felicidad...***

***Abuelito Pablo, sigues aquí en mi mente y en mi
corazón...***

Juan Pablo

Agradecimientos

A Dios por que existo y me permite experimentar esta vida con amor y entendimiento...

A mi ángel de la guarda, mi esposa Erika por compartir su vida conmigo y acompañarme en esta experiencia con la esperanza de que las cosas serán mejores... "acompañarme" es una buena palabra porque resume desveladas, limitaciones económicas, crisis emocionales, preocupaciones, alegrías, etc... Gracias Eri!!

A mis hijas Ariadna y Marissa por su ejemplo de vida, porque a cada instante se divierten, porque siempre sonríen y porque nunca se detienen hasta conseguir lo que desean... Gracias cachetonas!!

A mi mamá y mi papá, María Martha y Juan José por abandonarse a si mismos pensando siempre en el bienestar mío y de mi familia, por motivarme a conseguir mis sueños y por compartir mi felicidad... Gracias Jefes!!

A la más cruel de las asesoras: mi maestra Tina.

Porque nunca me enseñó nada, nunca me enseñó a leer, pero eso si, me dio un puño de artículos en ingles.

Nunca me enseñó a coleccionar, pero eso si, me empujo al agua con el chinchorro y la electropesca.

Tampoco me enseñó a asesorar a los estudiantes, pero si, me los mandaba para que yo los ayudara.

Mucho menos me enseñó a trabajar bajo presión, pero eso sí, me exigía los documentos, presentaciones y análisis ese mismo día.

Un día estuve a punto de reclamarle, pero elegí agradecerle y su respuesta desvergonzada fue: yo no hice nada, tú lo hiciste solo.

Entonces entendí que me enseñó a volar con alas propias en el campo de la investigación...Muchas gracias maestra Tina!!

A Norman, porque llegó en el momento justo invirtiendo su tiempo y su experiencia de manera desinteresada. Dicen que cuando el alumno esta listo, el maestro aparece.

A la Maestra Tohtli, a la Dra. Rebeca y al Dr. Raúl por su ayuda para terminar de la mejor manera mi tesis.

Al Doc. Ricardo y a Omar Domínguez por su guía y su amistad.

A Xavier Madrigal por su amistad y porque sin su ayuda no hubiera sido posible coleccionar.

A los amigos y colegas del laboratorio de biología acuática por las experiencias compartidas y porque en todo momento hicieron divertido el proceso: al Negrito (Edgar), Nachito, Rojito (Fernando), Lía, Rodo, Chaco (Luis), Zule, Ardilla (Adrián), Bere, Viri, Eloisa, Nayeli, Meco (Miguel), Uli (Ulises), Gerardo, Chechenco (Cesar), Chema, Odín, Pbell, Cesar, Mary... A mis compañeras de la maestría Yazmín, Brenda, Rebeca y Thelma.

Seguramente olvido muchas personas que estuvieron conmigo en el proceso, a todas ellas, les agradezco y les pido me disculpen este hecho, espero que comprendan la presión por terminar a tiempo.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

| INDICE | Página |
|--|--------|
| i. Resumen general | 7 |
| ii. Introducción general | 10 |
| iii. Planteamiento de hipótesis explícitas | 19 |
| iv. Objetivos generales y particulares | 20 |
| v. Resultados | 21 |
| Capítulo 1. Aplicación de dos índices de integridad biótica basados en peces de la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala | 21 |
| a. Resumen | 21 |
| b. Introducción | 22 |
| c. Materiales y métodos | 24 |
| d. Resultados | 29 |
| e. Discusión | 33 |
| f. Referencias | 42 |
| Capítulo 2. Análisis temporal de la integridad biótica en el río Angulo, Michoacán, México | 46 |
| g. Resumen | 46 |
| h. Introducción | 47 |
| i. Materiales y métodos | 50 |
| j. Resultados | 55 |
| k. Discusión | 59 |
| l. Referencias | 65 |
| vi. Discusión general | 68 |
| vii. Anexos | 74 |

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

RESUMEN GENERAL

Los ecosistemas acuáticos de la región central de México han sido y continúan siendo deteriorados por efecto del impacto provocado por las actividades humanas. Este impacto es un proceso gradual y continuo que se ha dado a lo largo de los años. Sin embargo, se desconoce la magnitud del daño que han sufrido estos ecosistemas en la mayor parte de esta región de México.

El éxito de las estrategias de conservación, reducción de los impactos y restauración de los ecosistemas acuáticos depende de la disponibilidad de métodos de evaluación ambiental adecuados y su aplicación. La mejor manera de estimar el total de los efectos del impacto antrópico sobre los ecosistemas acuáticos es evaluando la calidad ambiental. Esta evaluación debe incluir la estimación de la integridad biótica, la valoración de la calidad del hábitat y la determinación de la calidad del agua.

En el presente trabajo se estimó la calidad ambiental incluyendo de manera conjunta la valoración de la calidad del hábitat y la calidad del agua. Además, se aplicaron dos Índices de Integridad Biótica (IIB) basados en las comunidades de peces, desarrollados para ríos y lagos, con el propósito de probar si son adecuados para estimar la calidad ambiental en los sistemas acuáticos de la sub-cuenca del río Angulo (SCRA). Finalmente, se llevó a cabo un análisis temporal de 1986 a 2008 de la composición y estructura de las comunidades de peces y de la variación de la integridad biótica en la SCRA.

Los resultados mostraron que ambos IIBs no reflejan precisamente los cambios ocasionados por las actividades humanas. Para estimar la calidad ambiental de los ríos y arroyos en la SCRA se recomienda el IIB desarrollado para ríos con algunas modificaciones. En tanto que la sensibilidad a los cambios antrópicos del IIB propuesto para lagos se pone en duda, dado que las características abióticas de los sistemas acuáticos en la SCRA son el relicto de la ciénaga de Zacapu que fue desecada con fines agrícolas en 1896; además, no fue colectada la especie *Menidia humboldtianum* y la pesca de las especies nativas no es una actividad

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

comercial importante en la región. Por lo tanto no se recomienda continuar con su aplicación en este sitio.

En la parte alta y media de la SCRA la integridad biótica se ha mantenido a través del tiempo, mientras en la parte baja ha disminuido. Este fenómeno puede deberse a que en un periodo de tiempo aproximado de 20 años, el efecto de impacto antrópico se ha incrementado pero no de la misma manera en toda la SCRA.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

SUMMARY

The aquatic ecosystems of central Mexico have been and are being deteriorated by human effect. This impact is a long term way a continuous and gradual process. However, the damage magnitude suffered by the most of this region is unknown.

Conservation strategies success, impact reduction and aquatic ecosystems restoration depend of the readiness of adequate environmental assessment methods and its application. The best way to understand the total of human impacts on aquatic ecosystems is assessing the environmental quality. This assessment should include the biotic integrity, habitat quality and water quality valuation.

We applied two fish based biotic integrity indexes (IIB) which were developed for rivers and lakes. The aim of its application was to prove if both indexes are adequate to assess the environmental quality of Angulo river sub-basin (ARSB) aquatic systems. We valued the environmental quality including habitat quality and water quality. Finally, we analyzed the fish community composition and structure and the biotic integrity variation in ARSB in a long term way.

Both indexes did not show consistently the change caused by human activities. The IIB developed for rivers is recommended with some modifications to assess the ARSB rivers environmental quality. On the other hand, the sensibility of the IIB developed for lakes is questioned, because i) the ARSB environmental characteristics represents the relict of the lake that was dried up with agricultural ends in 1896. ii) The species *Menidia humboldtianum* was not captured and the native species fisheries are not a commercial activity important. Therefore, this IIB is not recommended for its application in ASRB.

The biotic integrity has stayed in the high and middle region of ARSB, while in the lowest region the biotic integrity has diminished. This phenomenon can be due to in a period of approximate time of 20 years, the effect of human impact has been increased but not in the same way in the whole ARSB.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los ecosistemas acuáticos de la región central de México han sido y continúan siendo deteriorados por efecto del impacto provocado por las actividades humanas. La introducción de especies exóticas, deforestación, asolvamiento, sobreexplotación de los mantos freáticos y descargas de aguas residuales de origen industrial y urbano son algunos ejemplos de las actividades antrópicas. Estas actividades han causado la disminución y pérdida de cuerpos de agua (Ganasan y Hughes 1998, Soto-Galera *et al.* 1999, Medina-Nava 2003).

Lo anterior tiene como consecuencia la fragmentación y destrucción del hábitat donde se encuentran las especies dulceacuícolas nativas, forzándolas a hacinarse en poblaciones aisladas y pequeñas. Este fenómeno altera procesos ecológicos como competencia y depredación y también incrementa la susceptibilidad a la extinción de estas especies por la pérdida de su variabilidad genética (Soto-Galera *et al.* 1998; Orbe *et al.* 2002; Domínguez-Domínguez *et al.* 2007).

El deterioro ambiental es un proceso que se ha dado a lo largo de los años. Sin embargo, existe incertidumbre sobre el nivel del daño que han sufrido algunos ecosistemas acuáticos en la cuenca Lerma-Chapala, específicamente en la sub-cuenca del río Angulo (SCRA). Para entender el proceso de pérdida de la calidad ambiental es necesario evaluar la magnitud a la cual los ecosistemas han sido y continúan siendo alterados. Este es un primer paso en el proceso de la restauración de la calidad ambiental (Mercado-Silva *et al.* 2002, Moyle *et al.* 1994, Medina-Nava 2003). La calidad ambiental se define en esta tesis como las condiciones físicas y químicas del hábitat que permiten el desarrollo, la distribución y sobrevivencia de los organismos acuáticos y la variación de estas condiciones resulta en buena, regular o mala calidad ambiental (De la Lanza *et al.* 2000).

El éxito de las estrategias de conservación, la reducción de los impactos y la restauración de los ecosistemas acuáticos depende primeramente de la

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

disponibilidad de métodos de evaluación ambiental adecuados, su correcta aplicación y la decisión de hacerlo. Las variables fisicoquímicas del agua han sido utilizadas para estimar la calidad de los ecosistemas acuáticos (Soto-Galera *et al.* 1999). No obstante, dichas variables no reflejan enteramente la calidad ambiental, porque únicamente contemplan el análisis del agua. La calidad del agua se define para esta tesis como las propiedades físicas y químicas del agua que permiten el desarrollo y sobrevivencia de los organismos acuáticos (Contreras 1984). Además, cuando se evalúa sólo la calidad del agua, no se consideran otros elementos importantes de los ecosistemas acuáticos como el hábitat y las interacciones bióticas. Es por eso que las variables fisicoquímicas del agua se consideran de utilidad restringida para estimar la calidad del hábitat. Una alternativa para el análisis de estos ecosistemas es el estudio de la calidad del hábitat. En esta tesis la calidad del hábitat se relaciona con el componente físico de los sistemas lénticos y lóticos en las zonas limnética y riparia, que ejercen influencia sobre la estructura y función de las comunidades acuáticas (Barbour *et al.* 1999). La presencia de alteraciones en la estructura del hábitat es considerada uno de los deterioros más importantes de los sistemas acuáticos (Barbour *et al.* 1999). La calidad del componente físico se estima conociendo por ejemplo, la condición de la vegetación acuática, riparia y la disponibilidad de refugio para los peces. Además, deben considerarse las modificaciones estructurales en la línea de costa de los lagos y el grado de canalización en los ríos (Karr 1981).

También se pueden estimar el estado de las poblaciones y las comunidades biológicas. Para estimar el cambio de las interacciones bióticas por efecto antropogénico se usan las técnicas de evaluación biológica. Estas técnicas detectan la acumulación y combinación de los efectos de las alteraciones humanas sobre los ecosistemas acuáticos (Mercado *et al.* 2002, Miller *et al.* 1988, Lyons 1992).

La mejor manera de estimar el efecto total del impacto antropogénico sobre los ecosistemas acuáticos es evaluando la calidad ambiental. Esta evaluación debe incluir la estimación de la integridad biótica, la valoración de la calidad del hábitat y la determinación de la calidad del agua. Así, es posible caracterizar

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

integralmente la severidad de daños en los recursos acuáticos tanto sus fuentes como sus causas. Además, permite detectar la acumulación y combinación de los efectos de las alteraciones humanas sobre los ecosistemas acuáticos. Asimismo es un método viable para evaluar la efectividad de las acciones de control de la contaminación y restauración en ambientes acuáticos y conocer los atributos bióticos de las condiciones de referencia, es decir, de hábitat en buen estado de conservación. (Karr 1981, Miller *et al.* 1988, Fausch *et al.* 1990, Simon 1999).

La integridad biótica se define como la capacidad de un sistema de soportar y mantener una comunidad de organismos balanceada y adaptada con una composición, diversidad y organización funcional comparable a la de un sistema natural de la región, con la capacidad de funcionar y mantenerse por si mismo en las diferentes fases de cambio de las condiciones ambientales (Karr 1981). La estimación de la integridad biótica se lleva a cabo mediante el diagnóstico de los atributos estructurales y funcionales de las comunidades biológicas. Estos atributos son definidos como métricas, que deben ser sensibles y capaces de distinguir entre variaciones ambientales antropogénicas y variaciones ambientales naturales. Además, las métricas deben ser fáciles de medir e interpretar (Karr 1981, Miller *et al.* 1988, Medina-Nava 2003).

El índice de integridad biótica (IIB) es un índice compuesto por distintas métricas que lo hacen un método adecuado para evaluar la calidad ambiental de los sistemas acuáticos ya que incluye a los elementos y procesos resultados de la dinámica evolutiva y biogeográfica (Karr 1981, Hocutt 1981). Un primer paso para la conservación y la restauración de los ecosistemas acuáticos debe ser la utilización del IIB dado que permite identificar aquellos ecosistemas que precisen protección o rehabilitación y aquellos que no lo necesiten (Karr 1981, Hocutt 1981, Miller *et al.* 1988, Fausch *et al.* 1990, Lyons *et al.* 1995, Mercado-Silva *et al.* 2002, Medina *et al.* 2005).

Las variaciones en la calidad del agua y del hábitat según Karr (1981) generalmente resultan en alteraciones de la disponibilidad de los recursos, que podrían ser evidenciadas por el incremento en la proporción de individuos

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

omnívoros. El forrajeo oportunista permite a los omnívoros representar especies más exitosas en relación con las especies especialistas. Por otro lado, este mismo autor argumenta que las poblaciones activas y sanas de especies nativas representadas por carnívoros tope, indican generalmente comunidades saludables y con diversidad trófica y si la calidad ambiental de los sistemas acuáticos disminuye entonces estas poblaciones tienden a desaparecer.

Los peces son eficientes indicadores de la integridad biótica del ecosistema donde habitan (Hocutt 1981, Fausch *et al.* 1990, Lyons *et al.* 1995, Simon 1999, Jennings *et al.* 1999). Primeramente, los peces responden previsiblemente a los cambios en la calidad del agua y del hábitat, porque integran las perturbaciones ambientales en la estabilidad de la comunidad (Scott y Lenwood 1997, Fausch *et al.* 1990). Además las comunidades generalmente cuentan con representantes de los distintos niveles en la red trófica, lo que permite evaluar el funcionamiento del ecosistema donde habitan (Karr 1981, Mercado *et al.* 2002, Fausch *et al.* 1990). Finalmente, los peces son organismos comparativamente longevos que pueden reflejar la calidad ambiental a largo plazo. Por lo tanto, relacionando atributos funcionales de la estructura de la comunidad íctica es posible estimar la integridad biótica de los ecosistemas acuáticos (Simon 1999, Karr 1981, Fausch *et al.* 1990).

Numerosos IIBs basados en la comunidad de peces se han elaborado para estimar la calidad ambiental de ríos y arroyos en los Estados Unidos y los países europeos. Estos han servido para establecer las estrategias de conservación y restauración en los ríos (Mercado-Silva *et al.* 2006). En la actualidad, para la región central de México, existe un IIB desarrollado para estimar la condición ambiental de los lagos (Lyons *et al.* 2000) y otro para ríos y arroyos de la porción oeste de la misma región (Lyons *et al.* 1995).

El alto nivel de endemismo de la ictiofauna de agua dulce de Michoacán la hace especialmente susceptible a los efectos antropogénicos. De manera específica, la SCRA situada en la región del medio Lerma (cuenca Lerma-Chapala) presenta regiones alteradas y especies con una distribución restringida (Domínguez-Domínguez *et al.* 2007). La SCRA contiene una riqueza específica muy

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

importante y presenta sitios que a pesar del impacto antrópico son prioritarios para la conservación porque mantienen alta su integridad biótica (Medina-Nava 2003). Estos son los manantiales que forman la laguna de Zacapu y la desembocadura de la laguna de Naranja.

La laguna de Zacapu ha sufrido el efecto de las actividades humanas con la introducción de especies invasoras¹ y el relleno de una porción del humedal para construir áreas de recreo para los pobladores de la ciudad. Además en el año 2003, una zona de la laguna fue dragada con el propósito de limpiar la maleza. Sin embargo, la laguna es importante para la conservación de especies ícticas porque presenta heterogeneidad y disponibilidad de sustratos que pueden ser usados por los peces como refugios. Asimismo alberga alta diversidad de peces e incluso una especie vivípara, *Allotoca zacapuensis*, que es micro endémica de este cuerpo de agua (Domínguez-Domínguez *et. al* 2005).

Por su parte, el canal de la laguna de Naranja sirve actualmente como refugio de la ictiofauna nativa que habitaba en la laguna de Naranja. La introducción de peces invasores como la lobina negra (*Microterus salmoides*), la carpa (*Cyprinus carpio*) y la mojarra (*Oreochromis sp.*) entre otras actividades antropogénicas causaron la pérdida de la riqueza de especies nativas en la laguna (Medina-Nava 1997). Sin embargo, especies que se consideran sensibles como *Menidia humboldtianum* y *Hubbsina turneri* e inclusive especies consideradas en peligro de extinción por la Norma Oficial Mexicana (NOM-ECOL-059 2001) como *Skiffia lermae* y *Zoogoneticus quitzeoensis* habitan en el canal (Benitez 1995; Medina *et al.* 2005).

Desafortunadamente, el efecto de las actividades humanas en esta sub-cuenca no se ha detenido. Por eso, es necesario estimar la condición ambiental de los

¹ Definición de especie invasora: Se trata de una especie exótica o traslocada (cualquier especie, subespecie, o categoría infra-específica introducida fuera de su distribución natural actual o en el pasado; incluye cualquier parte, gametos, semillas, huevos o propágulos de esa especie con capacidad de colonizar, invadir y persistir, y cuya introducción y dispersión amenace a la diversidad biológica causando daños al ambiente, a la economía y a la salud humana) (Convención para la Diversidad Biológica –CDB-, el Programa Global sobre Especies Invasoras –GISP- y la Non-indigenous Aquatic Nuisance Prevention and Control Act 1990 EUA. 2006. www.cabi.org)

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

ecosistemas acuáticos y generar información que permita desarrollar y aplicar adecuadamente estrategias de conservación y manejo.

El capítulo uno del presente documento, refiere la aplicación de dos IIB existentes basados en las comunidades de peces, desarrollados uno para ríos y arroyos (Lyons *et al.* 1995) y otro para lagos (Lyons *et al.* 2000), con el propósito de probar si son aplicables para estimar la calidad ambiental en los sistemas acuáticos de la SCRA. En el capítulo dos se aborda la utilización de datos históricos para comparar en un período de tiempo comprendido entre 1986 y 2007 la composición de especies de las comunidades de peces y la integridad biótica de sistemas lóticos en la parte alta, media y baja de la SCRA.

REFERENCIAS

- Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Zinder y J. B. Stribling. 1999. **Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish**. 2a. ed. EPA 841-B41-99-002. U. S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington, D.C. <http://www.epa.gov/owow/monitoring/rbp/download.html>
- Benitez A.1995. **Ictiofauna de la laguna de Naranja de Tapia, Municipio de Zacapu, Michoacán, durante el período Otoño-Invierno**. Memoria de actualización profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 54 pp.
- Contreras F. 1984. **Manual de técnicas hidrobiológicas**. Universidad Autónoma Metropolitana. México D.F. 145 pp.
- De la Lanza E. G., S. Hernández, J. L. Carvajal. 2000. **Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores)**. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Comisión Nacional del Agua, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Plaza y Valdés, S. A. de C. V. 633 pp.
- Domínguez-Domínguez, O., N. Mercado-Silva, J. Lyons y H. J. Grier. 2005. **The Viviparous Goodeid Fishes**. 525-569 pp. En: Uribe M. C. y Grier H. J. (Eds.) **Viviparous Fishes**. New Life Publications. 603 pp.
- Domínguez-Domínguez O., L. Boto, F. Alda, G. P. Pérez y I. Doadrio. 2007. **Human impacts on drainages of the Mesa Central, Mexico, and its genetic effects on an endangered fish, *Zoogoneticus quitzeoensis***. *Conservation Biology*. 21 (1): 168-180.
- Fausch, D. K., J. Lyons, R. J. Karr y L. P. Angermeier. 1990. **Fish as indicators of environmental degradation**. *American Fisheries Society Symposium* 8: 123-144.
- Ganasan V. y R. M. Hughes.1998. **Aplication of an index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kasipra (Madhya Pradesh), India**. *Freshwater Biology* 40: 367-383.
- Hocutt, C. H. 1981. **Fish as indicators of biological integrity**. *Fisheries* 6 (6): 28-31.
- Jennings, J. M., J. Lyons, E. E. Emmons, R. G. Hatzenbeler, A. M. Bozek, D. T. Simonson, B. T. Douglas y D. Fago. 1999. **Toward the development of an index of biotic integrity for inland lakes in Wisconsin**. En: **Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities**. CRC. Press, Boca Raton. Florida.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

- Karr, J. R. 1981. **Assessment of biotic integrity using fish communities.** *Fisheries* 6 (6): 21-27.
- Lyons, J. 1992. **Using the index of biotic integrity (IBI) to measure environmental quality in warmwater streams of Wisconsin.** *General Technical Report 149.* U.S. Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, Minnesota.
- Lyons, J., S. Navarro-Pérez, A. P. Cochran, C. E. Santana y M. Guzmán-Arroyo. 1995. **Index of biotic integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in west-central México.** *Conservation Biology* 3 (9): 569-584.
- Lyons, J., H. A. Gutiérrez, E. Díaz-Pardo, E. Soto-Galera, M. Medina-Nava y L. R. Pineda. 2000. **Development of preliminary index of biotic integrity (IBI) based on fish assemblages to assess ecosystem condition in the lakes of central México.** *Hydrobiología* 418:57-72.
- Medina-Nava, M. 1997. **Ictiofauna de la subcuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala. Michoacán.** *Zoología Informa.* ENCB-IPN 35: 25-52.
- Medina-Nava, M. 2003. **Utilización del Índice de Integridad Biótica (IIB) para determinar áreas de conservación de peces en la cuenca Lerma-Chapala en Michoacán.** Tesis de Maestría. Fac. de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 103 pp.
- Medina-Nava, M., J. Lyons, T. Zubieta, E. Solorio, J. P. Ramírez y R. Galván. 2005. **Conservation of two sites in central Mexico with a high diversity of livebearing fishes.** 499-504 pp. En: Uribe M. C. y Grier H. J. (Eds.) **Viviparous Fishes.** New Life Publications. 603 pp.
- Mercado-Silva, N., D. J. Lyons, M. G. Salgado y M. Medina-Nava. 2002. **Validation of a fish-based index of biotic integrity for streams and rivers of central Mexico.** *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 179-191.
- Mercado-Silva, N., J. Lyons and S. Contreras-Balderas. 2006. **Mexican fish-based indices of biotic integrity, their use in the conservation of freshwater resources.** 138-150 pp. En: Lozano-Vilano M.L. y A.J. Contreras Balderas (Eds.) **Studies of North American Desert Fishes in Honor of E.P. (Phil) Pister, Conservationist.** Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Mexico.
- Miller, L. D., M. P. Leonard, M. R. Hughes, R. J. Karr, B. P. Moyle, H. L. Schrader, A. B. Thompson, A. R. Daniels, D. K. Fausch, A. G. Fitzhugh, R. J. Gammon, B. D. Halliwell, L. P. Angermeier y J. D. Orth. 1988. **Regional applications of an index of biotic integrity for use in water resource management.** *Fisheries* 13 (5): 12-20.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

- Moncayo-Estrada R. 1996. **Estructura y función de la comunidad de peces de la Laguna de Zacapu, Michoacán, México.** Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur, México. 159 pp.
- Moyle, B. M. y M. R. Yoshiyama. 1994. **Protection of aquatic biodiversity in California: A Five-tiered approach.** *Fisheries* 19 (2): 6-18.
- NOM-059-ECOL-2001. **Norma Oficial Mexicana que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección.** Diario Oficial de la Federación.
- Oberdorff T., D. Pont, B. Hugueny y J. P. Porcher. 2002. **Development and validation of a fish-based index for the assessment of 'river health' in France.** *Freshwater Biology* 47: 1720–1734.
- Orbe, M. A. A., J. Acevedo G. y J. Lyons. 2002. **Lake Patzcuaro fishery management plan.** *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 207-217.
- Pavluck T. I., A. bij de Vate y H. A. Leslie. 2000. **Development of an index of trophic completeness for benthic macroinvertebrate communities in flowing waters.** *Hidrobiología* 427: 135-141.
- Scott, M. C. y W. H. Lenwood. 1997. **Fish Assemblages as indicators of environmental degradation in Maryland Coastal plain streams.** *Transactions of the American fisheries society* 126 (3): 349-360.
- Simon, T.P. y J. Lyons. 1995. **Application of the index of biotic integrity to evaluate water resource integrity in freshwater ecosystems.** pp. 245-262. En: W.S. Davis y T.P. Simon (Eds.) **Biological Assessment and Criteria: Tools for Water Resource Planning and Decision Making**, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Simon, P. T. 1999. **Introduction: Biological integrity and use of ecological health concepts for application to water resource characterization.** En: **Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities.** CRC Press. Boca Raton. Florida.
- Soto-Galera, E., E. Díaz-Pardo, E. López-López, y Lyons, J. 1998. **Fish as indicators of environmental quality in the Río Lerma Basin, México.** *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1: 267-276.
- Soto-Galera E., M. J. Paulo, L. E. López, H. J. A. Serna y J. Lyons. 1999. **Change in fish fauna as indication of aquatic ecosystem condition in río grande de Morelia-Lago de Cuitzeo basin, Mexico.** *Environmental Management* 24 (1): 133-140.

PLANTEAMIENTO DE HIPOTESIS EXPLÍCITAS

Los índices de integridad biótica desarrollados para ríos y arroyos (Lyons *et al.* 1995) y para lagos (Lyons *et al.* 2000) pueden ser utilizados sin modificación alguna, para estimar la calidad ambiental de los ecosistema acuáticos de la sub-cuenca del río Angulo.

La composición específica de peces ha cambiado y la integridad biótica de los ecosistemas acuáticos ha disminuido a través del tiempo como consecuencia de la acumulación y combinación de los efectos negativos causados por las actividades humanas en la sub-cuenca del río Angulo.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

OBJETIVO GENERAL

Estimar la variación temporal de la calidad ambiental de los sistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Aplicar en la sub-cuenca del río Angulo, dos IIB basados en las comunidades de peces, desarrollados para ríos y arroyos (Lyons *et al.* 1995) y para lagos (Lyons *et al.* 2000).
2. Estimar la calidad ambiental de los sistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo.
3. Validar los IIB aplicados.
4. Analizar temporalmente la composición específica de las comunidades de peces en los sistemas acuáticos de la sub-cuenca del río Angulo.
5. Analizar a través del tiempo la integridad biótica de los sistemas lóticos de la sub-cuenca del río Angulo.

RESULTADOS

CAPÍTULO 1

APLICACIÓN DE DOS ÍNDICES DE INTEGRIDAD BIÓTICA BASADOS EN PECES DE LA SUB-CUENCA DEL RÍO ANGULO, CUENCA LERMA-CHAPALA

Resumen

Las condiciones ambientales de los ríos y lagos del centro de México continúan siendo degradadas como resultado de las actividades humanas. El éxito de las acciones de conservación, la minimización de los daños y la rehabilitación de los ecosistemas acuáticos depende en una primera etapa, de la disponibilidad de métodos de evaluación ambiental. Una alternativa para estimar la magnitud del impacto antrópico sobre los ecosistemas acuáticos es estimando la calidad ambiental. Esta estimación debe incluir la medición de la integridad biótica, la valoración de la calidad del hábitat y la determinación de la calidad del agua. En el presente estudio se aplicaron los índices de integridad biótica basados en las comunidades de peces para ríos y lagos. El objetivo fue probar la viabilidad de utilizarlos para estimar la calidad ambiental de los ríos y lagos de la sub-cuenca del río Angulo. En ambos índices, algunas métricas no muestran necesariamente cambios ocasionados por el impacto antropogénico. Por lo anterior, el IIB desarrollado para ríos es recomendado para estimar de la calidad ambiental de estos sistemas en la SCRA, pero incluyendo la modificación de una de las métricas. El IIB propuesto para lagos contempla métricas cuya sensibilidad a los cambios antrópicos no fue consistente por lo que no se recomienda su aplicación.

Abstract

The environmental conditions of the rivers and lakes of central Mexico continue being degraded as a result of the human activities. The success of the conservation actions, the minimization of the damages and the rehabilitation of the aquatic ecosystems depends in a first stage, of the readiness of methods of environmental evaluation. An alternative to estimate the magnitude of the human impact on the aquatic ecosystems is assessing the environmental quality. This assessment should include the biotic integrity, habitat quality and water quality valuation. We applied two fish based indexes of biotic integrity developed for rivers and lakes. The objective was to prove the viability of using them to estimate the environmental quality of the rivers and lakes of the Angulo river sub-basin. In both indexes, some metrics did not show changes caused by the human impact. For this reason, the IIB developed for rivers including the modification of one of the metrics was recommended to assess the environmental quality of these systems in this sub-basin. The IIB proposed for lakes includes metrics whose sensibility to the human changes was not consistent for what its application is not recommended.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos de la región central de México continúan siendo deteriorados por las actividades humanas (Ganasan y Hughes 1998, Soto-Galera *et al.* 1999, Medina-Nava 2003). El efecto de estas actividades tiene como consecuencia la fragmentación y destrucción del hábitat, reduciendo las áreas de distribución de muchas especies dulceacuícolas. En consecuencia, las especies se ven forzadas a hacinarse en poblaciones aisladas y pequeñas en sitios donde se conserven condiciones favorables para su sobrevivencia. Ello las hace más susceptibles a desaparecer debido a fenómenos como la pérdida de variabilidad genética y eventos ambientales desfavorables, entre otras (Soto *et al.* 1998, Orbe *et al.* 2002, Domínguez-Domínguez *et al.* 2007).

El éxito de las estrategias de conservación, la reducción de los impactos y la restauración de los ecosistemas depende en una primera etapa, de la disponibilidad de métodos de evaluación ambiental adecuados y de su correcta utilización. Las características físico-químicas del agua, la evaluación cualitativa y cuantitativa del hábitat disponible y el seguimiento de los componentes biológicos han sido utilizados para la evaluación ambiental de los ecosistemas dulceacuícolas (Karr 1981, Miller *et al.* 1988, Fausch *et al.* 1990, Lyons 1992, Barbour *et al.* 1999, Simon 1999, Mercado-Silva *et al.* 2002). Asimismo se ha sugerido que una de las mejores maneras de estimar el total de efectos del impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas acuáticos es evaluando su integridad biótica (Karr 1981, Fausch *et al.* 1990).

La estimación de la integridad biótica se lleva a cabo mediante el diagnóstico conjunto de métricas que deben ser sensibles a los cambios antropogénicos en la calidad ambiental. Dichas métricas de manera agrupada constituyen el Índice de Integridad Biótica (IIB) (Miller *et al.* 1988, Karr 1981, Medina-Nava 2003).

Diversos IIBs basados en las comunidades de peces han sido desarrollados para evaluar la calidad ambiental de ecosistemas dulceacuícolas en los Estados Unidos y Europa. Para la región central de México, existen IIBs desarrollados para

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

estimar la condición ambiental tanto de lagos (Lyons *et al.* 2000) como de ríos y arroyos de la porción oeste de la misma región (Lyons *et al.* 1995). El IIB para ríos está validado y puede ser utilizado para evaluar la calidad ambiental de ríos y arroyos en varias cuencas del occidente de México. Sin embargo, se ha sugerido que éste índice debe ser modificado para poder utilizarlo en la región del medio Lerma (Mercado-Silva *et al.* 2002). El IIB para lagos aún no ha sido validado y fue elaborado a partir de datos históricos para documentar el patrón de cambio de la comunidad de peces en respuesta a la degradación ambiental en los lagos del centro de México. Sin embargo, éste estudio no fue probado de manera definitiva porque se usaron los mismos datos para desarrollar y aplicar el índice. Por lo tanto, es necesario estimar la utilidad del IIB con datos independientes provenientes de sitios no incluidos en el estudio (Lyons *et al.* 2000).

El objetivo del presente estudio fue aplicar los dos IIB existentes basados en las comunidades de peces, desarrollados uno para ríos y arroyos (Lyons *et al.* 1995) y otro para lagos (Lyons *et al.* 2000) en la sub-cuenca del río Angulo, con el propósito de validarlos y determinar la viabilidad de utilizarlos para estimar la calidad ambiental en los sistemas acuáticos de dicha región.

MATERIALES Y MÉTODOS

La SCRA es una cuenca exorréica que se ubica en la cuenca Lerma-Chapala y pertenece a la región del medio Lerma, sus coordenadas extremas son 20°13'12'' N, 102°36'00'' W y 19°36'36'' N, 101°18'36'' W y tiene una extensión de 2,079 km². Colinda hacia el sur con la sub-cuenca del lago de Pátzcuaro, al oriente con la sub-cuenca del lago de Cuitzeo y al poniente con la subcuenca del río Duero. El río Angulo sigue una dirección de sur a norte; su recorrido total es de 64 Km, que inicia en la laguna de Zacapu y desemboca en el río Lerma, atravesando los municipios de Zacapu, Jiménez, Panindícuaro, Angamacutiro, Huaniqueo y Coeneo (Medina-Nava 2003).

El cauce del río Angulo presenta modificaciones que son el resultado de canalizaciones que se realizaron con fines agrícolas desde la cabecera hasta la boca (Moncayo 1996). En la porción media del río existen puntos de retención como la presa Copándaro, la presa Aristeo Mercado y en la parte baja se localiza la presa Melchor Ocampo. Estas obras hidráulicas fueron construidas antes del año 1973 con propósitos de riego y generación de energía eléctrica (CNA 2000).

Para la realización del presente estudio se incluyeron 16 sitios representativos de las áreas altas y bajas de la SCRA (Fig.1).

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

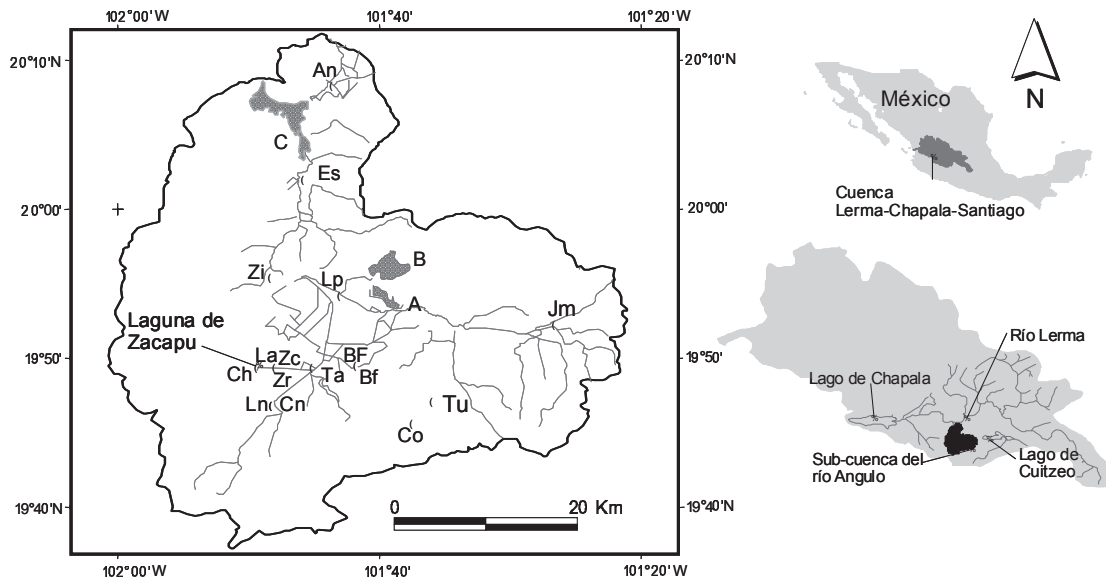


Figura 1. Ubicación geográfica de la sub-cuenca del río Angulo que muestra la hidrología y los sitios de estudio. Las marcas en el mapa pueden indicar más de un sitio de estudio. Laguna de Naranja (Ln); Canal de Naranja (Cn); Canales de Bellas Fuentes (Bf); Laguna de Bellas Fuentes (BF); Tarejero (Ta); La angostura (La); Chinampas en la laguna de Zacapu (Ch); Desembocadura de la laguna de Zacapu (Zc); Río Angulo delante de la desembocadura de la laguna de Zacapu (Zr); Jesús María (Jm); Tunguitiro (Tu); Cótiro (Co); Zipimeo (Zi); La patera (Lp); El sabino (Es); Angamacutiro (An); Presa Copándaro (A); Presa Aristeo Mercado (B); Presa Melchor Ocampo (C).

Cada sitio fue muestreado durante el día en el período de estiaje. Las colectas se realizaron en mayo 2006 y mayo 2007. En cada sitio se muestrearon todos los tipos de hábitat durante 30 minutos. En el transcurso de este lapso de tiempo se usaron redes de mano, una red tipo chinchorro de 10 m de largo y 1.8 m de alto y electropesca. En la base de datos se incluyeron ejemplares que durante los 30 minutos del muestreo fueron capturados u observados. Todos los peces capturados fueron identificados a nivel de especie siguiendo las claves de Miller *et al.* (2005). Además, todos los ejemplares fueron contados y revisados para buscar signos de enfermedad, deformidad, desgaste en aletas, lesiones o tumores. Los peces colectados en sistemas lénticos fueron pesados para determinar la biomasa por especie. Los ejemplares fueron depositados en la Colección de Peces de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (CPUM). Los números de catálogo se muestran en el Anexo 1.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Para calcular los índices de integridad biótica los peces fueron clasificados de acuerdo a su origen, posición en la columna de agua, tolerancia a la degradación ambiental, hábitos de alimentación y forma de reproducción, siguiendo los criterios de Medina-Nava (2003), Lyons *et al.* (2000) y Mercado-Silva (2002) (Cuadro 4). Posteriormente, las métricas y los valores para ambos IIB fueron calculados siguiendo los lineamientos de Lyons *et al.* (1995) para ríos y Lyons *et al.* (2000) para lagos (Cuadro 1 y 2). El área de cuenca usada para calcular el IIB propuesto por Lyons *et al.* (1995) fue >400 Km² en todos los sitios. Los valores esperados (VE) usados para calcular el IIB para lagos se describen en el cuadro 3. Los VE en Tarejero (Ta) y en La Angostura (La) se determinaron con base en los estudios hechos por Medina -Nava (1993), en la Laguna de Bellas Fuentes (BF) por Ceballos *et al.* (1994) y en la Laguna de Naranja (Ln) por Benítez (1995). La métrica No. 10 “Porcentaje de especies exóticas de invertebrados parásitos en o sobre especies nativas de peces” incluida originalmente en el IIB para lagos fue modificada y aplicada como “Porcentaje de individuos de especies nativas con ectoparásitos”. Lo anterior debido a que la medición de la métrica original requiere contar con la experiencia de especialistas parasitólogos para capturar e identificar las especies de invertebrados parásitos (Mercado-Silva *et al.* 2002).

Adicionalmente, en cada sitio se midieron parámetros fisicoquímicos del agua como transparencia (disco de Sechii en metros); pH (papel indicador); oxígeno disuelto (método de Winkler modificado a la ácida de sodio, mg/L); sólidos totales (mediante un conductivímetro marca ATI Analytical Technology INC ORION, modelo 130, mg/L) y se realizaron observaciones del tipo de fondo, fuentes de impacto antropogénico y uso de suelo circundante (Anexos 3, 4 y 5). La calidad ambiental se determinó siguiendo la metodología propuesta por Lyons *et al.* (1995).

En cada sitio de muestreo se estimó la calidad del agua y del hábitat siguiendo los criterios propuestos por Lyons *et al.* (1995) para ríos y Medina-Nava (2003) para lagos, ambos con una escala de 0-100 (Anexo 1 y 2). La calidad ambiental (CA) se evaluó siguiendo la metodología propuesta por Lyons *et al.* (1995). Los valores de CA fueron comparados con los valores del IIB para cada sitio, usando el

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

coeficiente de correlación de Pearson de acuerdo con lo propuesto por Mercado-Silva *et al.* (2002).

Cuadro 1. Criterios para evaluar los valores de los atributos usados para calcular el IBI en arroyos y pequeños ríos (Lyons *et al.* 1995).

| Métrica | Criterios para cada categoría | | | |
|---|-----------------------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| | Área de Cuenca (Km ²) | Pobre (0 puntos) | Regular (5 puntos) | Bueno (10 puntos) |
| 1. Número de especies nativas | >400 | <4 | 4-6 | >6 |
| 2. Porcentaje de individuos de especies bénticas | Todas | <5 | 5-25 | >25 |
| 3. Número de especies de la columna de agua ó zona pelágica | >400 | <2 | 2-4 | >4 |
| 4. Número de especies sensibles | Todas | 0 | 1-2 | >2 |
| 5. Porcentaje de individuos de especies tolerantes | Todas | >90 | 90-10 | <10 |
| 6. Porcentaje de individuos de especies exóticas | Todas | >25 | 25-5 | <5 |
| 7. Porcentaje de individuos omnívoros | Todas | >95 | 95-85 | >85 |
| 8. Porcentaje de individuos de especies vivíparas | Todas | <25 | 25-75 | >75 |
| 9. Número de peces por 30 minutos de muestreo | >400 | <60 | | >60 |
| 10. Porcentaje de Individuos enfermos, deformados, aletas desgastadas, lesiones o tumores | Todas | >5 | 5-1 | <1 |

Cuadro 2. Criterios para evaluar los valores de los atributos del IBI en sistemas lénticos. "VE" es el valor esperado para cada atributo en ausencia de degradación humana (Lyons *et al.* 2000).

| Métrica | Criterios para cada categoría | | |
|--|-------------------------------|--------------------|-------------------|
| | Pobre (0 puntos) | Regular (5 puntos) | Bueno (10 puntos) |
| 1. Número total de especies nativas | <50% de VE | 50-74% de VE | >74% de VE |
| 2. Número de especies nativas comunes | <66% de VE | 66-79% de VE | >79% de VE |
| 3. Numero de especies nativas de Goodeidos | <60% de VE | 60-84% de VE | >84% de VE |
| 4. Número de especies nativas del género <i>Chirostoma</i> | <60% de VE | 60-84% de VE | >84% de VE |
| 5. Número de especies nativas sensitivas | <40% de VE | 40-84% de VE | >84% de VE |
| 6. Porcentaje de biomasa de especies tolerantes | >90% | 90-50% | <50% |
| 7. Porcentaje de biomasa de especies exóticas | >85% | 85-50% | <50% |
| 8. Porcentaje de biomasa de carnívoros nativos | <5% | 5-20% | >20% |
| 9. Máxima longitud patrón de especies nativas | <50% de VE | 50-74% de VE | >74% de VE |
| 10. Porcentaje de individuos de especies nativas con ectoparásitos | >60% | 60-25% | <25% |

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Cuadro 3. Valores esperados (VE) para cada uno de los lagos incluidos en el presente estudio.

| Métrica | BF* | Ta** | Ln*** | Ch** | La** |
|--|----------------|--------------------|-------------------|------------------------|------------------------|
| 1. Número total de especies nativas | 1 ^a | 5 ^{abcdg} | 4 ^{abfi} | 9 ^{abcdefghi} | 9 ^{abcdefghi} |
| 2. Número de especies nativas comunes | 1 ^a | 2 ^{ab} | 2 ^{ab} | 2 ^{ab} | 2 ^{ab} |
| 3. Numero de especies nativas de Goodeidos | 1 ^a | 4 ^{abcd} | 3 ^{abf} | 6 ^{abcdef} | 6 ^{abcdef} |
| 4. Número de especies nativas del género <i>Chirostoma</i> | | | 1 ⁱ | 1 ⁱ | 1 ⁱ |
| 5. Número de especies nativas intolerantes | | 3 ^{cdg} | 2 ^{hi} | 7 ^{cdefghi} | 7 ^{cdefghi} |
| 9. Máxima longitud patrón de especies nativas | ND | 9.13cm | ND | 10cm | 10cm |

a= *Goodea atripinnis*; b= *Xenotoca variata*; c= *Zoogoneticus quitzeoensis*; d=*Allophorus robustus*; e=*Skiffia lermae*; f= *Hubbsina turneri*; g= *Poeciliopsis infans*; h= *Hibopsis calientis*; i= *Menidia humboldtianum*. *Ceballos *et al.* 1994; **Medina-Nava 1993; ***Benitez 1995.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

RESULTADOS

Se colectaron un total de 2475 individuos, que fueron clasificados en 6 familias, 19 géneros y 21 especies. Ocho especies fueron determinadas como invasoras y 13 como nativas. Con respecto a la posición en la columna de agua, se encontraron dos especies bentónicas invasoras, *Cyprinus carpio* y *Ctenopharingodon idella* y 20 que habitan en la columna de agua. En lo que se refiere a la sensibilidad al impacto humano, nueve especies fueron definidas como tolerantes y 12 como intolerantes. En cuanto a los gremios tróficos, once especies se clasificaron como omnívoras, 9 carnívoras y una especie herbívora. Asimismo se colectaron 10 especies con reproducción del tipo ovípara y 11 del tipo vivípara. Dos especies de goodeidos fueron colectadas en sitios donde según el VE no se esperaba capturar. *Zoogoneticus quitzeoensis* en Ln y *Allotoca zacapuensis* en Ch y La (Cuadro 4).

Los valores de CA se encontraron entre 10-60 y los valores de integridad biótica entre 0-90. La CA se estimó como pobre ($CA \leq 40$), para ocho de los 16 sitios y como regular ($CA 45-65$) para el resto de los sitios. No se registraron sitios con calidad ambiental buena ($CA \geq 70$) (Cuadro 5).

Cuadro 4. Atributos comunitarios obtenidos en el presente estudio. Origen (or); posición en la columna de agua (po); tolerancia (to); tipo de alimentación (ali); tipo de reproducción (rep); nativa (n); invasora (i); pelágico (p); bentónico (b); intolerante (s); tolerante (t); medianamente tolerante (m); carnívoro (c); herbívoro (h); omnívoro (O); vivíparo (V); ovíparo (ov); individuos observados (*). Los números entre paréntesis indican los individuos con anomalías.

| Familia | Especie | Ríos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|----------------------------------|------|----|----|-----|-----|-------|-----|----|----|----|-----|-----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| | | or | po | to | ali | rep | Lagos | BF | Ta | Ln | Ch | La | An | Lp | Zc | Zr | Es | Bf | Cn | Jm | Tu | Co | Zi | |
| Atherinopsidae | <i>Menidia jordani</i> | i | p | s | c | ov | | | | | | 2 | 1 | | | | | | | | | | | |
| | <i>Menidia humboldtianum</i> | n | p | s | c | ov | | | | | | | | 3 | | | | | | | | | | |
| Cichlidae | <i>Oreochromis niloticus</i> | i | p | t | o | ov | * | | | | 34 | 6 | | | | | 10 | | | | | | | |
| | <i>Tilapia mossambica</i> | i | p | t | o | ov | | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | |
| Centrarchidae | <i>Micropterus salmoides</i> | i | p | t | c | ov | 1 | * | | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| Cyprinidae | <i>Algansea tincella</i> | n | p | m | o | ov | | | | | | 6 | (2) | | | | | | | 1 | | | | |
| | <i>Cyprinus carpio</i> | i | b | t | o | ov | * | | | | 3 | 26 | | | | | * | | | | | | 11 | |
| | <i>Hybopsis calientis</i> | n | p | s | o | ov | | | | 27 | 8 | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Ctenopharingodon idella</i> | i | b | t | h | ov | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | |
| Goodeidae | <i>Yuriria alta</i> | n | p | s | c | ov | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Allotoca catarinae</i> | n | p | s | c | vi | | | | | | | | | | | | | | | | | 8 | |
| | <i>Allophorus robustus</i> | n | p | s | c | vi | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Allotoca zacapuensis</i> | n | p | s | c | vi | | | | 1 | 5 | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Goodea atripinnis</i> | n | p | t | o | vi | | 49 | | | 60 | 10 | 3 | (2) | 49 | (3) | 44 | 2 | 51 | 1 | 6 | 5 | | |
| | <i>Hubsina turneri</i> | n | p | s | c | vi | | | | 1 | 10 | | | | 6 | 2 | 2 | 1 | 3 | | | | | |
| | <i>Skiffia lermæ</i> | n | p | s | o | vi | | | | 5 | 24 | | | | 10 | 1 | | | | | | | | |
| Poeciliidae | <i>Xenotoca variata</i> | n | p | t | o | vi | | 557 | | 1 | 2 | 4 | 2 | 24 | 6 | 6 | | 24 | | | | | | |
| | <i>Zoogoneticus quitzeoensis</i> | n | p | m | c | vi | | 2 | 1 | 2 | 67 | | | 15 | 12 | 12 | | 79 | | | | | | |
| | <i>Heterandria bimaculata</i> | i | p | t | o | vi | | | | | 85 | | | | | | 45 | | | | | | 7 | |
| | <i>Poeciliopsis infans</i> | n | p | t | o | vi | | 650 | | | 7 | 6 | | | 6 | 1 | 6 | | 6 | | | | | |
| | <i>Xiphophorus helleri</i> | i | p | t | o | vi | | 183 | | | 23 | 108 | | | 2 | 22 | 11 | 5 | 58 | | | | | |

Cuadro 5. Valores del IIB y valores de la CA para los sitios estudiados dentro de los ríos y lagos en la sub-cuenca del río Angulo. Los parámetros fisicoquímicos medidos se enlistan en el Anexo 3. Las características físicas utilizadas para estimar la calidad del hábitat en sistemas lénticos se describen en el Anexo 4 y para sistemas lóticos en el Anexo 5.

| Sitio | IIB | Calidad del agua | Calidad del hábitat | CA |
|-----------------|------------|-------------------------|----------------------------|-----------|
| Lénticos | | | | |
| La | 90 | 90 | 60 | 60 |
| BF | 0 | 80 | 10 | 10 |
| Ch | 60 | 100 | 50 | 50 |
| Ta | 75 | 100 | 60 | 60 |
| Ln | 15 | 90 | 30 | 30 |
| Lóticos | | | | |
| An | 50 | 20 | 20 | 20 |
| Bf | 25 | 80 | 10 | 10 |
| Cn | 80 | 60 | 60 | 60 |
| Es | 40 | 50 | 50 | 50 |
| Jm | 65 | 90 | 60 | 60 |
| Lp | 50 | 50 | 40 | 40 |
| Zr | 80 | 50 | 50 | 50 |
| Zc | 80 | 60 | 60 | 60 |
| Tu | 25 | 90 | 10 | 10 |
| Co | 15 | 90 | 10 | 10 |
| Zi | 25 | 90 | 10 | 10 |

Por otro lado, los valores obtenidos en relación al IIB para ríos, de los once sitios estudiados, cinco presentaron integridad biótica pobre (IIB \leq 40), tres regular (IIB 45-65) y tres buena (IIB \geq 70). Con respecto al IIB para lagos, de los cinco sitios incluidos en el estudio, dos presentaron integridad biótica pobre (IIB \leq 40), uno regular (IIB 45-65) y dos buena (IIB \geq 70). La determinación de la correlación entre los valores de CA y del IIB para ríos y lagos tuvo un coeficiente de correlación de Pearson positivo y alto ($r = 0.883$, $P > 0.0003$ y $r = 0.971$, $P > 0.0058$ respectivamente) (Fig. 2).

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

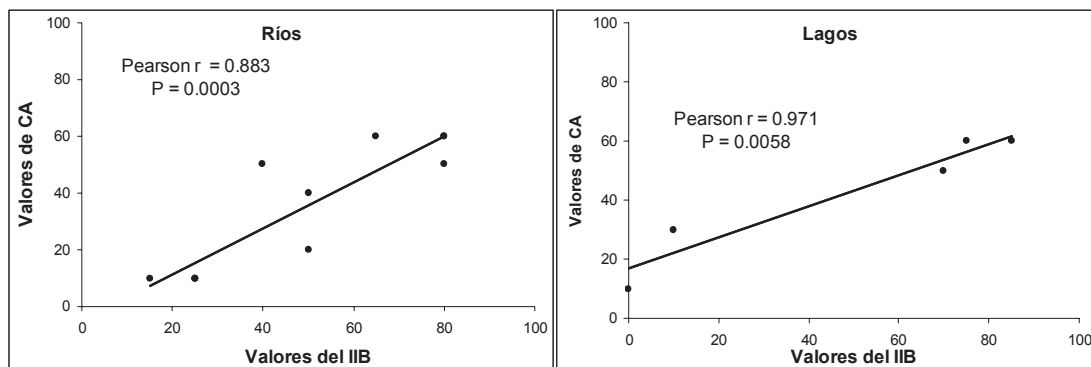


Figura 2. Correlaciones entre los valores del índice de integridad biótica y los valores de calidad ambiental para ríos y lagos en la sub-cuenca del río Angulo. En cada caso se indica el valor del coeficiente de correlación de Pearson "r". Índice de integridad biótica (IIB); Calidad ambiental (CA). Los puntos en las gráficas pueden representar más de un sitio porque coinciden tanto en el valor de CA como en el valor del IIB.

DISCUSIÓN

La sub-cuenca del río Angulo posee características particulares que deben tomarse en cuenta para desarrollar y aplicar IIBs. Un IIB desarrollado para una área geográfica más amplia como el propuesto por Lyons *et al.* (1995) y Lyons *et al.* (2000) puede ofrecer poca certeza al estimar la calidad ambiental en una región específica como la sub-cuenca del río Angulo.

La realización del presente estudio era imperante por que para implementar de manera exitosa cualquier IIB en la SCRA primero es necesario probar su funcionamiento con datos independientes (Mercado-Silva *et al.* 2002, Oberdorff *et al.* 2002). Una vez determinado de manera consistente el funcionamiento del IIB, éste puede usarse para identificar de manera específica en la SCRA aquellos sitios que necesiten acciones de conservación. Así, el IIB representará una herramienta muy útil en los protocolos de monitoreo biológico que se propongan en estudios posteriores, mismos que pueden aplicarse en programas de conservación y restauración de los sistemas acuáticos. Este tipo de monitoreo puede proveer información práctica a los tomadores de decisiones para hacer mas eficientes las acciones de manejo no solo en los ecosistemas acuáticos de la SCRA sino también a nivel de cuenca. Además la aplicación del IIB permitirá conocer si las acciones de manejo implementadas en la SCRA causan efectos positivos o negativos sobre la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos. (Mercado-Silva *et al.* 2006).

IIB desarrollado para ríos y arroyos

El IIB propuesto por Lyons *et al.* (1995) fue validado para su uso en la estimación de la calidad ambiental los sistemas lóticos de la SCRA, porque los resultados del presente trabajo demuestran la correlación estadística entre la CA y la integridad biótica de estos ecosistemas (Figura 2). Lo cual coincide con la validación de este índice para tres cuencas, Armería, Purificación y Marabasco (Mercado-Silva *et al.* 2002). Mercado-Silva *et al.* (2002) estiman que el mismo IIB queda validado para la región del Medio Lerma, argumentando que las cuencas antes mencionadas

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

son adyacentes a dicha región. Sin embargo, recomendaron incluir más datos para concluir de manera consistente. La información generada en el presente estudio apoya la hipótesis de Mercado-Silva *et al.* (2002).

En el 2003 se determinaron áreas prioritarias para la conservación de peces en la porción michoacana de la cuenca Lerma-Chapala, donde se aplicaron ambos IIB en la SCRA (Medina-Nava 2003). Los resultados del presente estudio coinciden con los resultados del estudio antes mencionado en el canal de Naranja (Cn) ubicado en la parte alta de la cuenca y en Angamacutiro (An), localizado en la parte baja. En ambos sitios, los valores de CA y del IIB se correlacionaron de manera positiva.

A pesar de que los valores del IIB se correlacionan con los valores de CA, se sugiere modificar la métrica “Porcentaje de individuos de especies bentónicas” que debería ofrecer información sobre la condición del benthos en los ríos. Si habitan en un sitio peces bentónicos, entonces se asume que el sistema mantiene las condiciones adecuadas para que esas especies lleven a cabo su ciclo de vida (Mandaville 2002). La presencia de estas especies de manera indirecta indica que el ecosistema mantiene las condiciones adecuadas para continuar con su función y mantener sus relaciones tróficas (Lyons *et al.* 1995, Buffagni y Comin 2000, Pavluck *et al.* 2000). No obstante, aplicar esta métrica en la sub-cuenca del río Angulo podría ser un error, ya que únicamente se tiene registro de dos especies invasoras bentónicas de origen asiático: *Cyprinus carpio* y *Ctenopharyngodon idella*. Además, sus hábitos alimenticios omnívoros, se relacionan con un efecto negativo sobre la calidad ambiental (Zambrano *et al.* 1999, Zambrano *et al.* 2006). Por lo tanto, se sugiere modificar el nombre de la métrica de “Porcentaje de individuos de especies bentónicas” a “Porcentaje de individuos de especies bentónicas invasoras”. Asimismo, se propone invertir el valor de la métrica de manera que mientras el porcentaje de individuos de especies bentónicas sea mayor, la calificación sea menor, al igual que el valor total del IIB. Esta modificación sugiere entonces que el valor de la métrica No. 2 se incrementa por efecto de las actividades humanas. No obstante, a pesar de que no existe registro científico de la presencia del bagre del Lerma (*Ictalurus dugesii*) en la sub-cuenca

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

del río Angulo, esta podría representar una zona de distribución potencial para esta especie. El bagre del Lerma es un pez bentónico nativo que se distribuye en la cuenca del río Lerma y del río Ameca en los estados de Guanajuato, Jalisco y Michoacán (Miller *et al.* 2005). Por lo tanto, si en estudios posteriores se registra por primera vez a *Ictalurus dugesii* en la SCRA, entonces la modificación de la métrica No. 2 deberá ser replanteada.

IIB desarrollado para lagos

Para los resultados del presente estudio, el IIB para lagos (Lyons *et al.* 2000) mostró una correlación positiva entre los valores de CA y los valores del IIB, lo cual coincide con lo reportado por Medina (2003) quien también observó una correlación positiva entre los valores de la CA y los del IIB en los mismos sitios. Sin embargo, en el presente estudio la métrica No. 4 “Número de especies nativas del género *Menidia*” y la métrica No. 9 “Máxima longitud patrón de especies nativas” no reflejan precisamente los cambios ocasionados por las actividades humanas.

Lyons *et al.* (2000) establecieron que la variación en las cinco primeras métricas del IIB se debe al efecto de las actividades humanas. Asimismo, utilizaron información histórica para establecer un valor esperado (VE) como referencia de la condición ambiental con el menor impacto antrópico. Sin embargo, el presente estudio pone en duda la utilidad del VE porque en algunos sitios como en los manantiales de la Laguna de Zacapu (La) y Tarejero (Ta), el número de especies nativas encontradas, superó al VE. Este fenómeno surge probablemente debido al uso de electropesca como técnica de colecta a diferencia de los trabajos usados para construir el índice original.

Los mismos autores mencionan también que en los lagos incluidos en su investigación, el género *Chirostoma* = *Menidia* se encontraba bien representado por numerosas especies. En tanto que para el presente estudio, se esperaba encontrar solo una especie del género *Menidia* (*Menidia humboldtianum*) en tres sitios: La, Ch y Ln. Por que era de esperarse que la métrica No. 4 “Número de

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

especies nativas del género *Menidia*” fuera sensible en estos tres sitios. Pero, *M. humboldtianum* no fue colectada. Sin embargo, en otras dos localidades BF y Ta se cuenta con información no publicada de que en estos lugares habitaba *M. humboldtianum* (M.C. Gerardo Ceballos Corona com. pers.) aunque no existen registros científicos de especies que pertenezcan a este género en BF y Ta. Debido a lo anterior la métrica resultó con valor cero para todos los sitios, independientemente de su calidad ambiental. Uno de los supuestos que deben cumplir cada una de las variables usadas en un IIB es permitir diferenciar entre la variación natural y la variación producto de efectos antrópicos, en los sistemas acuáticos (Karr 1981, Miller *et al.* 1988). Esta situación cuestiona la sensibilidad de la métrica No. 4 a los cambios originados por actividades humanas y provoca la necesidad de buscar nuevos sitios de estudio e implementar un mayor esfuerzo de muestreo en los sitios ya definidos, utilizando otras técnicas de pesca como atarraya y redes agalleras para buscar poblaciones de *M. humboldtianum*. Si esta especie habita todavía en algún sitio de la sub-cuenca, se sugiere modificar la métrica No. 4 “Número de especies nativas del género *Menidia*” por “Proporción de individuos de *M. humboldtianum*”, de lo contrario la métrica tendría que ser eliminada.

La métrica No. 9 “Máxima longitud patrón de especies nativas”, se refiere a que, una vez capturados todos los ejemplares correspondientes a especies nativas, se mida la longitud patrón (LP) del individuo más largo. Si el valor de LP es menor que el valor esperado (VE), entonces se relaciona con efectos negativos causados por la presión de pesca (Lyons *et al.* 2000). En la sub-cuenca del río Angulo sólo en la laguna de Zacapu se desarrolla la pesca como una actividad comercial. Esta laguna se caracteriza por poseer heterogeneidad de hábitat y presenta sitios que sirven como refugio a los peces juveniles. Estos sitios que se ubican en los manantiales y en la zona litoral de la laguna son considerados como guarderías y los adultos pueden encontrarse en otro tipo de hábitat como por ejemplo en la zona pelágica (Moncayo 1996, Medina-Nava 2003). Dado que las tallas de los peces juveniles son menores que la de los peces adultos, en las guarderías el valor de la máxima LP es mucho menor que el VE. En la elaboración del IIB original el VE fue tomado a partir de individuos adultos con

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

importancia pesquera. Por lo tanto, esta diferencia en el valor de la LP máxima, no implica que la calidad ambiental de las guarderías sea necesariamente baja.

En la laguna de Zacapu solo se ha registrado una especie nativa con importancia pesquera, *M. humboldtianum* (Moncayo 1996). Se recomienda en estudios posteriores coleccionar en la zona pelágica y de mayor profundidad de la laguna, usando redes agalleras y atarraya además del chinchorro. Ya que el tipo de hábitat antes mencionado es donde se esperaría encontrar individuos adultos de *M. humboldtianum* (Moncayo 1996). Si todavía habita esta especie en la laguna se sugiere modificar la métrica No. 9 “Máxima longitud patrón de especies nativas” por “Máxima longitud patrón de *M. humboldtianum*”.

Las métricas “Número de especies nativas sensitivas” y “Porcentaje de biomasa de especies tolerantes” hacen referencia a la sensibilidad de las especies con respecto al deterioro ambiental. Las especies sensibles se definen como aquellas que habitan en sitios donde la degradación ambiental se encuentra en etapas tempranas y las especies tolerantes se relacionan con sitios que lucen altos niveles de degradación (Lyons *et al.* 2000). Cabe recordar que los sistemas acuáticos están conformados por tres componentes, el químico, el físico y el biológico, y el efecto de las actividades antropogénicas no tiene incidencia de igual forma en los tres (Kobza *et al.* 2004, Sullivan *et al.* 2006). Entonces, cuando se hace referencia a especies tolerantes, no está definido a cual de los efectos son tolerantes, si al químico, al físico o al biológico. Inclusive trabajos previos sugieren que la tolerancia de las especies es muy subjetiva (Goldstein *et al.* 1994 citado en Simon y Lyons 1995). Esta información es conveniente que sea clara, porque en algunos sistemas la calidad del agua es excelente pero actividades humanas como dragado o pastoreo, eliminan substratos como rocas, raíces o plantas acuáticas disponibles para que la comunidad de peces pueda completar su función trófica o reproductiva. Siguiendo el ejemplo anterior, las especies de peces residentes serán tolerantes a la degradación del componente físico y las especies que solían habitar y no estén presentes, serán entonces sensibles a la alteración del mismo componente.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

En el río Angulo cerca de la desembocadura de la laguna de Zacapu (Zr) es un sitio donde tanto la calidad del agua como la calidad del hábitat son regulares. El componente físico del sitio también se encontró muy alterado dado que no presenta vegetación riparia y los refugios para la fauna se reducen a los pastos sumergidos. El sustrato rocoso no está disponible porque se encuentra embebido en el sedimento. Además, en el sitio de colecta se pueden observar impactos puntuales como la fabricación de ladrillos y la descarga de aguas residuales de origen doméstico e industrial alterando el componente químico (Anexo 4). Siguiendo los criterios de Lyons *et al.* (2000) Zr debería considerarse como un sitio que luce altos niveles de degradación, donde se esperaría encontrar solo especies tolerantes. Pero, en el presente estudio en este sitio fueron colectadas dos especies que hasta ahora se han considerado intolerantes *H. turneri* y *S. lermae* (Lyons *et al.* 2000, Mercado-Silva *et al.* 2002, Medina-Nava 2003).

La localidad de Jesús María (Jm) es un sitio utilizado como balneario y abrevadero para el ganado. Se trata de un pequeño arroyo al que eventualmente se le extrae toda la vegetación acuática porque el agua es utilizada para irrigar terrenos de cultivo. En Jm la calidad del agua es buena pero el hábitat ha sido y es periódicamente destruido en su totalidad en ciertos segmentos del arroyo. A pesar de lo anterior, en este sitio habitan dos especies consideradas intolerantes *A. catarinae* (Mercado-Silva *et al.* 2002) y *H. turneri* (Lyons *et al.* 2000, Mercado-Silva *et al.* 2003 y Medina-Nava 2003).

Este fenómeno observado en Zr y Jm pone en duda el criterio de tolerancia en el que se encuentran las especies *S. lermae*, *A. catarinae* y *H. turneri*, dado que una especie no puede considerarse intolerante cuando habita en sitios con altos niveles de degradación del hábitat. Por ende, si las especies antes mencionadas se encuentran ubicadas en un criterio de tolerancia incorrecto, entonces todas las demás especies podrían estarlo también. Por lo anterior, usar a la tolerancia como atributo de la comunidad de peces para indicar calidad ambiental al menos en la sub-cuenca del río Angulo, implica ineludiblemente contemplar los componentes físico, químico y biológico de los ecosistemas acuáticos. Una alternativa que puede funcionar para medir la tolerancia al impacto antrópico es modificando la

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

metodología del muestreo de la comunidad de peces de la siguiente manera: i) Medir los parámetros fisicoquímicos y estimar la calidad ambiental en cada sitio de colecta (de esa forma se incluye los componentes químico y físico), ii) coleccionar con diferentes técnicas de pesca en todos los hábitat disponibles para los peces usando una curva de acumulación de especies para estandarizar el muestreo, iii) determinar atributos funcionales de la comunidad como: gremios tróficos, gremios reproductivos, clases de edad, entre otros y estructurales como: riqueza, composición, abundancia, diversidad, dominancia, entre otros (de esta forma se podría incluir al componente biológico). iv) Una vez estimados los tres componentes, los ictiólogos experimentados podrían definir variables para cada uno de ellos y establecer la tolerancia a manera de un índice para cada especie, con el número uno como tolerante y un cero como intolerante (Cuadro 5). La forma de seleccionar la opción "0" o la opción "1" se resume en el siguiente ejemplo:

Suponiendo que todas las especies del cuadro 6 se distribuyen en la misma cuenca y que se seleccionan algunos sitios de estudio que tienen su propia variación ambiental. Con respecto al pH estos sitios presentan una variación de pH = 3 hasta pH = 7. Para definir si las especies son tolerantes (1) o intolerantes (0) a esta variable en particular, será necesario determinar el rango de pH en el que habitan cada una de ellas. En este caso las sp 1, 2, 3 y 4 fueron colectadas en todos los sitios por lo que se asume que puede tolerar pH desde 3 hasta 7. En cambio la sp 5 únicamente fue colectada en un sitio con valor de pH 7. Entonces a las sp 1, 2, 3 y 4 se les asigna el valor "1" mientras que a la sp 5 se le asigna un "0". De la misma manera tendría que continuarse el análisis hasta completar todas las variables definidas y obtener el índice de tolerancia.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Cuadro 6. Propuesta índice de tolerancia para peces contemplando los tres componentes y algunas de sus variables. Oxígeno disuelto (OD); Salinidad (Sal); Disponibilidad del sustrato (DS); Embebimiento (Em); Sedimentos (Sed); Competencia (Com); Especificidad de hábitat trófico (ET); Especificidad de hábitat reproductivo (ER); Especie (Sp).

| Especie | Componente químico | | | Componente físico | | | | Componente biológico | | | Índice de Tolerancia |
|---------|--------------------|----|-----|-------------------|----|----|-----|----------------------|----|----|----------------------|
| | pH | OD | Tem | Sal | DS | Em | Sed | Com | ET | ER | |
| Sp 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| Sp 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 7 |
| Sp 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5 |
| Sp 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Sp 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Esta propuesta pretende ejemplificar una alternativa de medir la tolerancia de los peces incluyendo los tres componentes de los ecosistemas acuáticos. Cabe aclarar que las variables que se presentan no son todas las involucradas para cada componente. Puede observarse que en la columna del índice de tolerancia la sp1 es tolerante y la sp 5 es intolerante. El valor del índice puede entonces ser dividido en categorías y mostrar niveles de tolerancia para cada especie. Por ejemplo si el índice fuera dividido en tres categorías entonces dichas categorías serían: i) Tolerante, ii) Medianamente tolerante e iii) Intolerante (Mandaville 2002, Alonso y Camargo 2005).

Esta alternativa presenta una limitante, dado que es necesario conocer la biología de las especies para poder aplicarla, sobre todo para contemplar el componente biológico. Por lo tanto, no es viable aplicar el término tolerancia si antes no se conoce la biología de las especies en estudio y usar a la tolerancia como atributo de la comunidad de peces para indicar calidad ambiental, implica necesariamente contemplar los componentes físico, químico y biológico de los ecosistemas acuáticos definiendo categorías para cada uno de ellos.

Tomando como base los resultados obtenidos en el presente estudio, no se recomienda el IIB propuesto por Lyons *et al.* (2000) para estimar de manera consistente la calidad ambiental de los sistemas lénticos en la SCRA. Es necesario redefinir el VE utilizando datos históricos y recientes. Además es

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

necesario reajustar el criterio de tolerancia en el que se encuentran ubicadas las especies de peces de esta sub-cuenca.

En resumen, es imprescindible seguir generando información sobre aspectos básicos de la biología de las especies. Continuar con jornadas de campo exploratorias año con año en busca de nuevos sitios de estudio y monitorear los sitios ya definidos. Incrementar el esfuerzo de muestreo para obtener datos independientes que permitan mejorar los IIB propuestos. Esto permitirá construir un sistema de monitoreo ambiental de los sistemas acuáticos en la SCRA.

REFERENCIAS

- Alonso A. y J. A. Camargo. 2005. **Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles.** *Ecosistemas*. 8:3. Asociación Española de Ecología Terrestre. Alicante, España.
- Barbour, M. T., J. Gerritsen, B. D. Zinder y J. B. Stribling. 1999. **Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish.** 2a. ed. EPA 841-B41-99-002. U. S. Environmental Protection Agency. Office of Water. Washington, D.C. <http://www.epa.gov/owow/monitoring/rbp/download.html>
- Benitez A. 1995. **Ictiofauna de la laguna de Naranja de Tapia, Municipio de Zacapu, Michoacán, durante el período Otoño-Invierno.** Memoria de actualización profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 54 pp.
- Buffagni A. y E. Comin. 2000. **Secondary production of benthic communities at the habitat scale as a tool to assess ecological integrity in mountain streams.** *Hidrobiología* 422 (423): 183-195.
- Ceballos C. J. A. G., D. A. Ayala, R. I. Fuentes, N. K. Guerrero, R. Maldonado, J. G. A. Ibarra, G. Andrade y A. Salgado. 1994. **Análisis limnológico y calidad del agua de la Laguna de Bellas Fuentes, Municipio de Coeneo, Michoacán.** *Paralelo Financiero* 55 *Ecotonia*: 22-28.
- CNA. 2000. Gerencia Estatal Michoacán. Subgerencia de Ingeniería. Departamento de Aguas Superficiales. *Infraestructura hidroagrícola*. Expediente No. 300.915.E.55.4.(1).- 071/2000.
- Fausch, D. K., J. Lyons, R. J. Karr y L. P. Angermeier. 1990. **Fish as indicators of environmental degradation.** *American Fisheries Society Symposium* 8: 123-144.
- Domínguez-Domínguez O., L. Boto, F. Alda, G. P. Pérez y I. Doadrio. 2007. **Human impacts on drainages of the Mesa Central, Mexico, and its genetic effects on an endangered fish, *Zoogoneticus quitzeoensis*.** *Conservation Biology*. 21 (1): 168-180.
- Ganasan V. y R. M. Hughes. 1998. **Application of an index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kasipra (Madhya Pradesh), India.** *Freshwater Biology* 40: 367-383.
- Karr, J. R. 1981. **Assessment of biotic integrity using fish communities.** *Fisheries* 6 (6): 21-27.
- Kobza R. A. M., J. C. Trexler, W. F. Loftus y S. A. Perry. 2004. **Community structure of fishes inhabiting aquatic refuges in a threatened Karst**

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

wetland and its implications for ecosystem management. *Biological Conservation* 116: 153-165.

- Lyons, J. 1992. **Using the index of biotic integrity (IBI) to measure environmental quality in warmwater streams of Wisconsin.** *General Technical Report 149*. U.S. Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, Minnesota.
- Lyons, J., S. Navarro-Pérez, A. P. Cochran, C. E. Santana y M. Guzmán-Arroyo. 1995. **Index of biotic integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in west-central México.** *Conservation Biology* 3 (9): 569-584.
- Lyons, J., H. A. Gutiérrez, E. Díaz-Pardo, E. Soto-Galera, M. Medina-Nava y L. R. Pineda. 2000. **Development of preliminary index of biotic integrity (IBI) based on fish assemblages to assess ecosystem condition in the lakes of central México.** *Hydrobiología* 418:57-72.
- Mandaville S. M. 2002. **Benthic macroinvertebrates in freshwaters-taxa tolerante values, metrics and protocols.** *Soil & water Conservation Society of Metro Halifax*. (<http://chebucto.ca/Science/SWCS/SWCS.html>).
- Medina-Nava, M. 1993. **Ictiofauna de la sub-cuenca del río Angulo, Cuenca Lerma-Chapala, en Michoacán.** Tesis de licenciatura. Fac. de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 140 pp.
- Medina-Nava, M. 1997. **Ictiofauna de la subcuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala. Michoacán.** *Zoología Informa*. ENCB-IPN 35: 25-52.
- Medina-Nava, M. 2003. **Utilización del Índice de Integridad Biótica (IIB) para determinar áreas de conservación de peces en la cuenca Lerma-Chapala en Michoacán.** Tesis de Maestría. Fac. de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 103 pp.
- Mercado-Silva, N., D. J. Lyons, M. G. Salgado y M. Medina-Nava. 2002. **Validation of a fish-based index of biotic integrity for streams and rivers of central Mexico.** *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 179-191.
- Mercado-Silva, N., J. Lyons and S. Contreras-Balderas. 2006. **Mexican fish-based indices of biotic integrity, their use in the conservation of freshwater resources.** 138-150 pp. En: Lozano-Vilano M.L. y A.J. Contreras Balderas (Eds.) **Studies of North American Desert Fishes in Honor of E.P. (Phil) Pister, Conservationist.** Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Mexico.
- Miller, L. D., M. P. Leonard, M. R. Hughes, R. J. Karr, B. P. Moyle, H. L. Schrader, A. B. Thompson, A. R. Daniels, D. K. Fausch, A. G. Fitzhugh, R. J.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

- Gammon, B. D. Halliwell, L. P. Angermeier y J. D. Orth. 1988. **Regional applications of an index of biotic integrity for use in water resource management.** *Fisheries* 13 (5): 12-20.
- Moncayo-Estrada R. 1996. **Estructura y función de la comunidad de peces de la Laguna de Zacapu, Michoacán, México.** Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur, México. 159 pp.
- NOM-059-ECOL-2001. **Norma Oficial Mexicana que determina las especies y subespecies de flora y fauna silvestres terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección.** Diario Oficial de la Federación.
- Oberdorff T., D. Pont, B. Hugueny y J. P. Porcher. 2002. **Development and validation of a fish-based index for the assessment of 'river health' in France.** *Freshwater Biology* 47: 1720–1734.
- Orbe, M. A. A., J. Acevedo G. y J. Lyons. 2002. **Lake Patzcuaro fishery management plan.** *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 207-217.
- Pavluck T. I., A. bij de Vate y H. A. Leslie. 2000. **Development of an index of trophic completeness for benthic macroinvertebrate communities in flowing waters.** *Hidrobiología* 427: 135-141.
- Simon, T.P. y J. Lyons. 1995. **Application of the index of biotic integrity to evaluate water resource integrity in freshwater ecosystems.** pp. 245-262. En: W.S. Davis y T.P. Simon (Eds.) **Biological Assessment and Criteria: Tools for Water Resource Planning and Decision Making**, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Simon, P. T. 1999. **Introduction: Biological integrity and use of ecological health concepts for application to water resource characterization.** En: **Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities.** CRC Press. Boca Raton. Florida.
- Soto-Galera, E., E. Díaz-Pardo, E. López-López, y Lyons, J. 1998. **Fish as indicators of environmental quality in the Río Lerma Basin, México.** *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1: 267-276.
- Soto-Galera E., M. J. Paulo, L. E. López, H. J. A. Serna y J. Lyons. 1999. **Change in fish fauna as indication of aquatic ecosystem condition in río grande de Morelia-Lago de Cuitzeo basin, Mexico.** *Environmental Management* 24 (1): 133-140.
- Sullivan, S. M. P., M. C. Watzin y W. C. Hession. 2006. **Influence of stream geomorphic condition on fish communities in Vermont, U.S.A.** *Freshwater Biology* 10:1-16.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Zambrano L., M. R. Perrow, C. Macías-García y V. Aguirre-Hidalgo. 1999. **Impact of introduced carp (*Cyprinus carpio*) in subtropical shallow ponds in Central Mexico.** *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery* 6: 281-288.

Zambrano L., E. Martínez-Meyer, N. Menezes y A. Townsend-Peterson. 2006. **Invasive potencial of common carp (*Cyprinus Carpio*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in American fresh water systems.** *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63: 1903-1910.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS TEMPORAL DE LA INTEGRIDAD BIÓTICA EN EL RÍO ANGULO, MICHOACÁN, MÉXICO

Resumen

Los ríos y lagos de la región central de México están incluidos en una de las zonas más vulnerables y de mayor importancia para la conservación del planeta. El deterioro ambiental en la sub-cuenca del río Angulo ha sido un proceso gradual y continuo que se ha dado a lo largo de los años. Sin embargo, se desconoce la magnitud del impacto que han sufrido los ecosistemas acuáticos en esta sub-cuenca. A través de la estimación de la integridad biótica es posible caracterizar la existencia y severidad de los daños en los recursos acuáticos. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue analizar en un período de 20 años la composición de especies de las comunidades de peces y estimar la variación de la integridad biótica en la sub-cuenca del río Angulo. En la parte alta de la sub-cuenca la integridad biótica a través del tiempo se ha mantenido buena y en la parte media regular, mientras que en la parte baja ha disminuido de buena a regular. Con base en los valores del índice de integridad biótica (IIB) obtenidos en el presente estudio es posible que la comunidad de peces con el tiempo, esté siendo resiliente. Por otro lado, es probable que en un periodo de tiempo de 20 años, la acumulación y combinación de los efectos del impacto antropogénico no hayan sido suficientes para causar cambios en la comunidad de peces.

Abstract

The rivers and lakes of central Mexico are included in one of the most vulnerable areas and of more importance for the conservation of the planet. The environmental deterioration in the sub-basin of the river Angle is a gradual and continuous process that has been given along the years. However, the damage magnitude suffered by the aquatic ecosystems of this sub-basin is unknown. Through the estimate of the biotic integrity it is possible to characterize the existence and severity of the damages in the aquatic resources. The objective of the study was to analyze in a 20 years period the fish community species composition and the variation of the biotic integrity in the Angulo river sub-basin. The biotic integrity has stayed like good in the high region and like regular in the middle region of ARSB, while in the lowest region the biotic integrity has diminished from good to regular. The IIB values showed that probably the fish community is being resilient. On the other hand, is probable that the accumulation and combination of human impact effects have not been enough to chance the fish community in a 20 years time period.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos de la Mesa Central se encuentran inmersos en una de las zonas más vulnerables y de mayor importancia para la conservación del planeta, esto es debido a la alta presión antrópica ejercida sobre ellos, así como al alto índice de endemismos y a la gran cantidad de grupos susceptibles de extinción que los habitan (Lyons *et al.* 1998, Soto-Galera *et al.* 1998, Domínguez-Domínguez *et al.* 2005). El éxito de las estrategias de conservación, la reducción de los impactos y la restauración de los ríos y lagos dependen básicamente de la disponibilidad de métodos de evaluación ambiental adecuados y de su aplicación (Karr 1981, Lyons *et al.* 1998, Soto-Galera *et al.* 1998, Domínguez-Domínguez *et al.* 2005).

Para entender las causas que originan el detrimento de la condición ambiental, es conveniente estimar la intensidad del deterioro sobre estos sistemas. Mediante la evaluación de la integridad biótica es posible caracterizar la existencia y severidad de daños en los recursos acuáticos, los cuales principalmente son el reflejo de la acumulación y combinación de los efectos de las alteraciones humanas (Karr 1981, Miller *et al.* 1988, Fausch *et al.* 1990, Lyons 1992, Simon 1999, Mercado *et al.* 2002). A través de estas evaluaciones será posible comenzar a restaurar la calidad ambiental y salvaguardar la integridad de estos ecosistemas (Moyle y Yoshiyama 1994, Mercado *et al.* 2002, Medina-Nava 2003).

La integridad biótica se define como la capacidad de un sistema de soportar y mantener una comunidad de organismos balanceada, integrada y adaptada que tiene una composición, diversidad y organización funcional comparable a la de un hábitat natural de la región, así como la capacidad de funcionar y mantenerse por si mismo en las diferentes fases de cambio de las condiciones ambientales (Karr 1981).

La estimación de la integridad biótica se lleva a cabo mediante el diagnóstico de variables estructurales y funcionales de las comunidades biológicas, que se reflejan en un índice a través del uso de los parámetros que deben ser sensibles y

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

capaces de distinguir entre las variaciones ambientales inducidas por la actividad humana y las variaciones ambientales naturales, además de ser fáciles de medir e interpretar (Karr 1981, Hocutt 1981, Miller *et al.* 1988, Fausch *et al.* 1990, Lyons *et al.* 1995, Mercado-Silva *et al.* 2002, Medina-Nava 2003).

La comunidad de peces permite identificar el cambio en los procesos ecológicos a través del tiempo en los ecosistemas acuáticos porque responde a los cambios en la condición ambiental (Karr 1981, Soto-Galera *et al.* 1999). Los atributos comunitarios de los peces son útiles para la elaboración del Índice de Integridad Biótica (IIB) (Karr 1981, Fausch *et al.* 1990, Scott y Lenwood 1997, Simon 1999). La composición específica, el gremio trófico, los requerimientos de hábitat, la tolerancia a la degradación ambiental y el origen de las especies (nativa o invasora) son factores importantes para considerar cuando se analiza el cambio en las comunidades de peces. Especialmente cuando es necesario entender los impactos biológicos sobre las comunidades, como los derivados de la introducción de especies invasoras, una de las principales amenazas en contra de la biodiversidad (Mercado-Silva *et al.* 2006).

El alto nivel de endemismo de la ictiofauna de agua dulce de Michoacán la hace especialmente susceptible a los efectos antrópicos. La sub-cuenca del río Angulo (SCRA) ha sido estudiada desde 1986, principalmente para conocer la riqueza, composición y abundancia de la fauna íctica (Moncayo 1996, Medina-Nava 1997). La integridad biótica se estimó en el año 2001 para algunos sitios (Medina-Nava 2003). Era imperante llevar a cabo un análisis temporal de la calidad ambiental en la SCRA por las siguientes razones: i) esta sub-cuenca alberga especies endémicas (*Allotoca zacapuensis*) intolerantes (*Menidia humboldtianum* y *Hubbsina turneri*) y en peligro de extinción (*Skiffia lermæ* y *Zoogoneticus quitzeoensis*) (Benitez 1995, Medina-Nava 1995, Domínguez-Domínguez *et. al* 2005, Medina *et al.* 2005). ii) Esta sub-cuenca contiene una riqueza específica muy importante y iii) presenta sitios que a pesar del impacto antropogénico, son prioritarios para la conservación porque mantienen alta su integridad biótica (desembocadura de la Laguna de Zacapu y la desembocadura de la laguna de Naranja) (Medina-Nava 2003). Con lo anterior, surge la necesidad de entender

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

cuales son las características ambientales que han permitido que estos sitios mantengan su integridad biótica y si este fenómeno es constante en toda la sub-cuenca.

La conservación y el manejo de los ecosistemas acuáticos deben basarse en el conocimiento de su dinámica ecológica en distintas escalas de tiempo y espacio (López-López y Paulo-Maya 2001, Mercado-Silva et al. 2006). Por lo tanto, si la integridad biótica en estos ecosistemas permite conocer los procesos ecológicos resultado del impacto antrópico (Karr 1993), entonces al realizar un análisis histórico de la composición específica y de la integridad biótica en los sistemas acuáticos de la SCRA, será posible explicar la dinámica ecológica mediante la comparación de las condiciones anteriores y las condiciones actuales.

El objetivo del presente capítulo fue analizar temporalmente la composición específica de las comunidades de peces y la variación de la integridad biótica, con el fin de conocer si el impacto antrópico ha causado cambios en la calidad ambiental de los ríos de la sub-cuenca del río Angulo.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

MATERIALES Y MÉTODOS

Información histórica

En el presente estudio se incluyeron cuatro sitios de estudio que representan distintos segmentos de la sub-cuenca del río Angulo. La parte alta esta representada por el Canal de Naranja (Cn) y la desembocadura de la Laguna de Zacapu (Zc), en la parte media se localiza el río La patera (Lp) y en la parte baja, el sitio (An) que corresponde al río Angulo en la población de Angamacutiro (Figura 1).

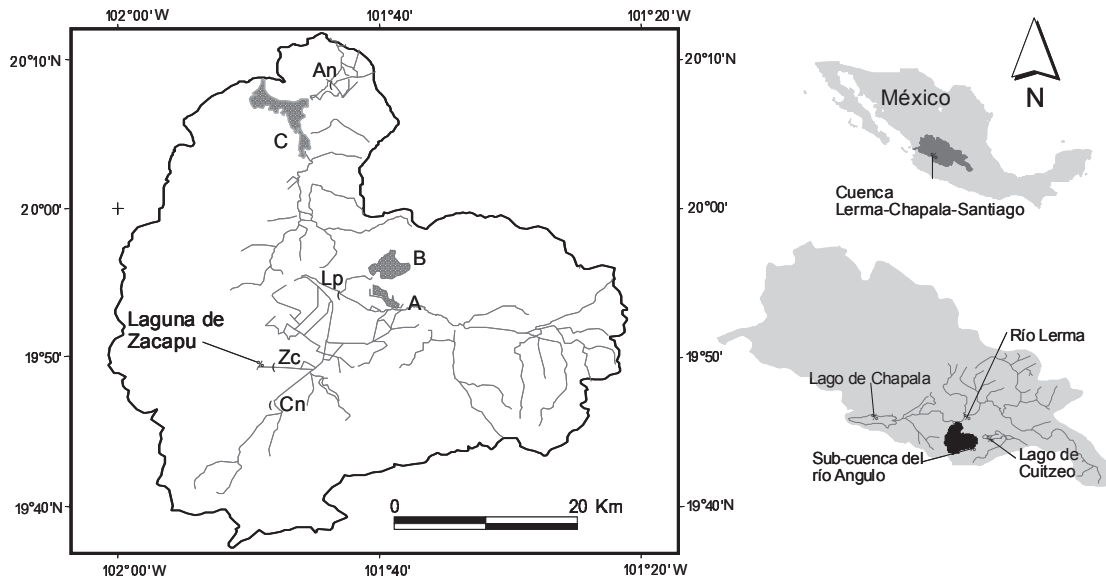


Figura 1. Mapa de la sub-cuenca del río Angulo que muestra la hidrología, la ubicación de las presas y los sitios de estudio. Se muestran las coordenadas extremas de la sub-cuenca. Canal de Naranja (Cn); Inicio del río Angulo (Zc); Río La Patera (Lp); Río Angulo en Angamacutiro; Presa Copándaro (A); Presa Aristeo Mercado (B); Presa Melchor Ocampo (C).

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

De acuerdo a los datos históricos, el canal de Naranja (Cn) fue muestreado en el 2001 con una red tipo chinchorro de 10 m de largo y 1.80 m de alto, con abertura de malla de 1/8 de pulgada (Medina, 2003). En la desembocadura de la laguna de Zacapu (Zc) el muestreo se realizó en 1995 con una red tipo chinchorro de 50 m de largo y 1.8 m de alto, con abertura de malla de 1/8 de pulgada) (Moncayo, 1996). El río La patera (Lp) fue muestreado en 1986 con una red tipo chinchorro de 12 m de largo y 1.20 m de alto, con abertura de malla de 1/8 de pulgada (Medina 1997). Finalmente, en el río Angulo en Angamacutiro (An) se tuvieron las colectas de 1986 y 2001, la primera con la red tipo chinchorro de 12 m y la segunda con la red tipo chinchorro de 10 m (Medina 1997; 2003). Las fuentes consultadas se resumen en el cuadro 1 y las especificaciones metodológicas se resumen en el cuadro 2.

Cuadro 1. Fuentes consultadas para realizar el análisis temporal de la integridad biótica. ^aMedina 1997; ^bMoncayo 1996; ^cMedina 2003; ^dEstudio actual.

| Sitio | Rango de tiempo |
|---------------------------------|---|
| (Cn) Canal de Naranja | 2001 ^c , 2007 ^d |
| (Zc) Inicio del río Angulo | 1995 ^b , 2007 ^d |
| (Lp) Río La patera | 1986 ^a , 2007 ^d |
| (An) Río Angulo en Angamacutiro | 1986 ^a , 2001 ^c , 2007 ^d |

Cuadro 2. Especificaciones metodológicas de cada una de las fuentes consultadas.

| Autor | Sitio de colecta | Fecha de colecta | Técnica de colecta |
|---------------------|---|--|--|
| Moncayo (1996) | Desembocadura de la laguna de Zacapu (Zc) | Enero, Mayo, Julio y Octubre (1995) | Red tipo chinchorro de 50m de largo y 1.8m de alto, con abertura de malla de 5mm (1/8 de pulgada). 1 lance. |
| Medina (1997) | Río La patera (Lp) Río Angulo en la población de Angamacutiro (An) | Julio, Noviembre (1986) Febrero, Mayo (1987) | Red tipo chinchorro de 12m de largo y 1.20m de alto, con abertura de malla de 5mm (1/8 de pulgada). 1 lance por sitio. |
| Medina (2003) | Desembocadura de la laguna de Naranja (Cn) Río Angulo en la población de Angamacutiro (An) | Julio (2001) | Red tipo chinchorro de 10m de largo y 1.80m de alto, con abertura de malla de 5mm (1/8 de pulgada). 1 lance por sitio. |
| Colecta actual 2007 | Todos los sitios | Mayo (2006 y 2007) | Red tipo chinchorro de 10m de largo y 1.80m de alto, con abertura de malla de 5mm (1/8 de pulgada). 3 lances en Cn, Zc y Lp. 1 lance en An. El tiempo restante con electropesca. |

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Estudio actual

Cada uno de los cuatro sitios fue muestreado durante el día, en los meses de mayo 2006 y mayo 2007 (temporada de estiaje). En cada sitio, la colecta se realizó durante un tiempo aproximado de 30 minutos. Durante este periodo de tiempo se muestrearon todos los tipos de hábitat usando electropesca y una red tipo chinchorro de 10 m de largo, 1.8 m de alto y 1/8 de pulgada de abertura de malla. Las especificaciones metodológicas se resumen en el cuadro 2. Solo para el sitio (An) se incluyeron ejemplares que durante los mismos 30 minutos fueron capturados por los pescadores locales por medio de redes tipo atarraya. Todos los peces capturados se mantuvieron vivos y fueron identificados en campo a nivel de especie, contados y revisados para buscar signos de enfermedad, deformidad o lesiones y posteriormente liberarlos. En cada sitio de muestreo, se sacrificaron de 1 a 5 individuos correspondientes a las distintas especies para depositarlos en la colección de peces de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (CPUM). Los números de catálogo se muestran en el Anexo 1.

Para calcular los índices de integridad biótica, los peces fueron clasificados de acuerdo a su origen, posición en la columna de agua, tolerancia a la degradación ambiental, hábitos de alimentación y forma de reproducción, siguiendo los criterios de Medina-Nava (2003) y Lyons *et al.* (2000) (Cuadro 3). Para calcular el IIB tanto con los datos previos como con los datos actuales, se siguieron los criterios de Lyons *et al.* (1995) que incluyen: (1) Número de especies nativas, (2) porcentaje de individuos de especies bénticas, (3) número de especies de la columna de agua ó zona pelágica, (4) número de especies sensibles (5) porcentaje de individuos de especies tolerantes, (6) porcentaje de individuos de especies exóticas (7) porcentaje de Individuos omnívoros, (8) porcentaje de individuos de especies vivíparas, (9) número de peces por 30 minutos de muestreo y (10) porcentaje de individuos enfermos, deformados, aletas desgastadas y lesiones.

La métrica número 2 “Porcentaje de individuos de especies bénticas” debería ofrecer información sobre la condición del béntos en los ríos. Si habitan en un sitio

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

peces bentónicos, entonces se asume que el sistema mantiene las condiciones adecuadas para que esas especies lleven a cabo su ciclo de vida. De esta manera, las especies bentónicas cumplen con su función en el ecosistema (Lyons et al. 1995). Sin embargo, aplicar esta métrica en la sub-cuenca del río Angulo podría ser un error, ya que únicamente se tiene registro de dos especies invasoras bentónicas de origen asiático: *Cyprinus carpio* y *Ctenopharingodon idella*. Además, sus hábitos alimenticios omnívoros, indican un efecto negativo sobre la calidad ambiental (Zambrano et al. 1999). Por esta razón, el valor de esta métrica fue invertido, de manera que mientras el porcentaje de individuos de especies bénticas aumenta, la calificación disminuye. Usando esta modificación a la métrica número 2, se aplicó el IIB en todos los sistemas lóticos de la SCRA (los sitios seleccionados en el capítulo 1) para después correlacionar los valores del IIB con los valores de CA de los mismos sitios. De esta forma la modificación de la métrica número 2 fue validada antes de utilizar el IIB para llevar a cabo el análisis temporal de la integridad biótica, que es el objetivo del presente capítulo (Spearman $r = 0.871$; $P > 0.0005$). El valor final del IIB puede variar de 0-100 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Criterios para evaluar los valores de los atributos usados para calcular el IBI en arroyos y pequeños ríos (Lyons et al. 1995).

| Métrica | Criterios para cada categoría | | | |
|---|-----------------------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| | Área de Cuenca (Km ²) | Pobre (0 puntos) | Regular (5 puntos) | Bueno (10 puntos) |
| 1. Número de especies nativas | >400 | <4 | 4-6 | >6 |
| 2. Porcentaje de individuos de especies bénticas | Todas | >25 | 5-25 | <5 |
| 3. Número de especies de la columna de agua ó zona pelágica | >400 | <2 | 2-4 | >4 |
| 4. Número de especies sensibles | Todas | 0 | 1-2 | >2 |
| 5. Porcentaje de individuos de especies tolerantes | Todas | >90 | 90-10 | <10 |
| 6. Porcentaje de individuos de especies exóticas | Todas | >25 | 25-5 | <5 |
| 7. Porcentaje de individuos omnívoros | Todas | >95 | 95-85 | >85 |
| 8. Porcentaje de individuos de especies vivíparas | Todas | <25 | 25-75 | >75 |
| 9. Número de peces por 30 minutos de muestreo | >400 | <60 | | >60 |
| 10. Porcentaje de Individuos enfermos, deformados, aletas desgastadas, lesiones o tumores | Todas | >5 | 5-1 | <1 |

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Análisis temporal

El análisis temporal se llevó a cabo con el propósito de estimar la variación de los procesos ecológicos en los ecosistemas lóticos resultado del efecto antropogénico. Para lo cual se compararon la composición específica y los valores del IIB entre los estudios previos y el estudio actual. Primero, se compararon los datos históricos con los datos actuales obtenidos exclusivamente con chinchorro (muestreo por redes (MR)). Posteriormente, los mismos datos históricos fueron comparados con los datos obtenidos usando chinchorro y electropesca (muestreo combinado (MC)).

RESULTADOS

Composición y estructura

En el presente estudio se consideran 20 especies que pertenecen a 17 géneros y 5 familias. En 2006 y 2007 se colectaron 15 especies de 14 géneros y 5 familias. Diez especies son nativas y cinco invasoras (Cuadro 4).

La composición específica ha cambiado a través de los años en la sub-cuenca del río Angulo. En el canal de Naranja (Cn) para el 2001 se reportaron cinco especies y para el presente estudio se reportan seis mediante MC y cinco mediante MR. *Hubbsina turneri* fue colectada solo con MC. A diferencia del 2001, en el 2007 se registra una especie invasora, *Xiphophorus helleri*. Tanto *X. helleri* como *H. turneri* son nuevos registros para este sitio.

En 1995 en la desembocadura de la Laguna de Zacapu (Zc) se reportaron ocho especies. En el 2007 se registraron las mismas 8 especies usando MC y con MR solo se colectaron dos especies *Menidia humboldtianum* y *X. variata*. Las especies nativas *Hybopsis calientis* y *Allotoca zacapuensis* reportadas en 1995 no fueron colectadas en el 2007, mientras que dos especies nativas *Allophorus robustus* y *Poeciliopsis infans* y una especie invasora *C. carpio*, solo se capturaron en el 2007.

En lo que respecta al muestreo realizado en La patera (Lp) en 1986 se registraron ocho especies, en tanto que en el 2007 se capturó por primera vez una especie invasora, *C. idella*, sumando nueve especies. Las especies invasoras como *Oreochromis niloticus* y *C. carpio* se han mantenido en el tiempo.

Finalmente, en Angamacutiro (An) se tienen registradas diez especies en 1986, cuatro especies en el 2001 y ocho especies en el 2007 (usando MC). Las especies nativas *Menidia labarcae*, *Algansea tincella*, *Yuriria alta* y *A. robustus* solo se capturaron en 1986 y dos especies invasoras, *C. carpio* y *Heterandria*

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

bimaculata, se registraron por primera vez para este sitio en el 2007 con el muestreo combinado (MC).

Cuadro 4. Atributos comunitarios utilizados en el presente estudio. or = origen, po = posición en la columna de agua, to = tolerancia, ali = tipo de alimentación, rep = tipo de reproducción, n = nativa, i = invasora, p = pelágico, b = bentónico, s = intolerante, t = tolerante, c = carnívoro, o = omnívoro, vi = vivíparo, ov = ovíparo, * = individuos observados. Los números entre paréntesis indican los individuos con anomalías. Canal de Naranja (Cn); desembocadura de la Laguna de Zacapu (Zc); río La patera (Lp); río Angulo en la población de Angamacutiro (An); muestreo por redes (MR); muestreo combinado (MC).

| Familia | Especie | Cn | | | Zc | | | Lp | | | An | | | | | | | | | |
|----------------|----------------------------------|----|----|----|-----|-----|------|------|----|----|------|------|-------|----|------|------|------|-----|----|----|
| | | or | po | to | ali | rep | 2001 | 2007 | MR | MC | 1986 | 2007 | MR | MC | 1986 | 2001 | 2007 | MR | MC | |
| Atherinopsidae | <i>Menidia arge</i> | n | p | s | c | ov | | | | | | | | | 107 | | | | | |
| | <i>Menidia labarcae</i> | n | p | s | c | ov | | | | | | | | | 95 | | | | | |
| | <i>Menidia jordani</i> | i | p | t | c | ov | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Menidia humboldtianum</i> | n | p | s | c | ov | 2 | | | | | | | | | | | | | |
| Cichlidae | <i>Oreochromis niloticus</i> | i | p | t | o | ov | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Algansea tincella</i> | n | p | s | o | ov | | | | | | | | | | | | | | |
| Cyprinidae | <i>Cyprinus carpio</i> | i | b | t | o | ov | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Hybopsis callentis</i> | n | p | s | o | ov | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Ctenopharingodon idella</i> | i | b | t | h | ov | | | | | | | | | | | | | | |
| Goodeidae | <i>Yuriria alta</i> | n | p | s | c | ov | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Allophorus robustus</i> | n | p | s | c | vi | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Allotoca zacapuensis</i> | n | p | s | c | vi | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Goodea atripinnis</i> | n | p | t | o | vi | 180 | 63 | 12 | 51 | 116 | 49 | 49(3) | 15 | 4 | 1 | 3(2) | 267 | 10 | 10 |
| | <i>Hubbsina turneri</i> | n | p | s | c | vi | | 1 | | 1 | 26 | 6 | 6 | | | | | | | |
| | <i>Skiffia lermiae</i> | n | p | s | o | vi | | | | | 781 | 10 | 10 | | | | | | | |
| | <i>Xenotoca variata</i> | n | p | t | o | vi | 23 | 51 | 27 | 24 | 207 | 27 | 3 | 24 | 3 | 2 | 2 | 111 | 6 | 4 |
| Poeciliidae | <i>Zoogoneticus quitzeoensis</i> | n | p | s | c | vi | 22 | 128 | 49 | 79 | 5 | 15 | 15 | | | | | | | |
| | <i>Heterandria bimaculata</i> | i | p | t | o | vi | | | | | | | | | | | | | | |
| | <i>Poeciloopsis infans</i> | n | p | t | o | vi | 170 | 86 | 80 | 6 | 6 | 6 | 6 | 13 | 6 | 6 | 262 | 7 | 7 | |
| | <i>Xiphophorus helleri</i> | i | p | t | o | vi | | 47 | 42 | 5 | | | | 17 | 120 | 12 | 108 | 76 | 19 | 23 |

Integridad biótica

La integridad biótica en Cn tanto en el 2001 como en 2007 fue determinada como buena (IIB ≥ 70). En el sitio Zc la integridad biótica en 1995 fue buena, pero en el 2007, con base en MR fue regular (IIB 45-65) y siguiendo el criterio del MC se mantuvo como buena. El sitio Lp presentó también una variación de la integridad biótica de regular (IIB 45-65) a pobre (IIB ≤ 40) entre 1986 y 2007 usando MR. Mientras que con base en MC, la integridad biótica se mantuvo regular. En lo que respecta al sitio An la integridad biótica también cambió en el tiempo, dado que en 1986 se estimó como buena, cambiando a pobre en 2001 y tomando como referencia el MR en 2007 se mantuvo pobre. Pero, usando el MC, el valor del IIB se incremento en el 2007, modificándose de pobre a regular, entre el 2001 y el 2007 (Figura 2).

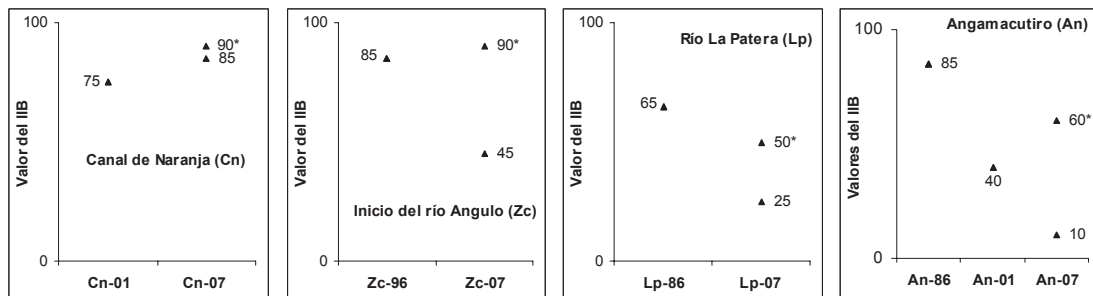


Figura 2. Variación temporal de los valores del IIB calculados para cada sitio. * = Valor del IIB calculado a partir de datos obtenidos usando muestreo combinado (MC). IIB = Índice de Integridad Biótica. Cn = Canal de Naranja; Zc = Canal de Zacapu; Lp = Río La Patera; An = Río Angulo en Angamacutiro.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

DISCUSIÓN

El dragado y la introducción de especies invasoras como la lobina negra (*Micropterus salmoides*) la carpa (*Cyprinus carpio*) y la mojarra (*Oreochromis* sp.) son actividades humanas que han impactado a la laguna de Naranja por más de 20 años (Medina-Nava 1997). Estas actividades coinciden en tiempo con el desplazamiento de las especies nativas de peces hacia la zona del canal (Cn), lo cual coincide con lo reportado por López-López y Paulo-Maya (2001) en la parte alta del río Ameca. Estos autores mencionan que en el estado de Morelos el impacto antrópico ha acelerado la degradación de los ecosistemas acuáticos causando cambios en la composición de las comunidades de peces. Asimismo consideran que en la actualidad especies como *Hybopsis boucardi*, *Ictalurus balsanus* y *Cichlasoma istlanum* son imposibles de encontrar en su hábitat original.

Benitez (1995) en los años 1994-1995 capturó en la laguna de Naranja seis especies nativas *M. humboltianum*, *Xenotoca variata*, *Goodea atripinnis*, *H. turneri*, *Z. quitzeoensis* y *S. lermae*. Sin embargo, durante los años 2006-2007 se llevaron a cabo esfuerzos de muestreo en la laguna donde no fue posible coleccionar especies nativas.

Desde 1995 Cn ha representado un refugio de la ictiofauna, ya que a pesar de haber sido canalizado, posee áreas de protección y micro hábitat para los peces con vegetación riparia bien desarrollada. Aquí habitan especies que se consideran sensibles como *Menidia humboldtianum* y *Hubbsina turneri* e inclusive aquellas consideradas en peligro de extinción por la Norma Oficial Mexicana (NOM-ECOL-059 2001) como *Skiffia lermae* y *Zoogoneticus quitzeoensis* (Benitez 1995; Medina *et al.* 2005). Aunado a lo anterior, la proporción de individuos de especies invasoras disminuyó porque sólo se capturó una especie invasora poco abundante, *X. hellerii* y aumentó el número de especies sensibles con la inclusión de *H. turneri*, sumándose a *Z. quitzeoensis* y *P. infans*. Este fenómeno, pudo haber sido determinante para que en Cn la integridad biótica se haya mantenido como buena desde el 2001. Cabe resaltar que sin el uso de un MC, no hubiera

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

sido posible colectar a *H. turneri*. Este registro es importante porque la especie es considerada como carnívora y de distribución y requerimientos de hábitat restringidos (Moncayo 1996, Medina-Nava 2003, Mercado-Silva *et al.* 2003).

El canal de la salida de la laguna de Zacapu (Zc) es el origen del río Angulo. Este sitio, se encuentra inmerso en la mancha urbana y ha sido impactado puntualmente por aguas residuales desde antes de 1996. La acumulación y combinación de estos impactos antrópicos, han causado cambios en la composición de especies de la comunidad de peces. En Zc a diferencia de 1995 en el 2007 no se colectaron dos especies nativas intolerantes, *N. calientis* y *A. zacapuensis*. Pero, fue colectada una especie intolerante que no se reporta en 1995, *A. robustus*. Esta última fue capturada con electropesca, por lo que se cree que ha habitado en Zc desde 1995, pero debido a la heterogeneidad de hábitat y refugio disponible para los peces solo puede ser capturada con electropesca.

Si se toma en cuenta únicamente el MR, es posible deducir que en Zc la integridad biótica cambió con el tiempo de buena a regular. Además, que se han perdido casi la totalidad de especies nativas y que solo habitan dos especies pelágicas (*M. humboldtianum* y *X. variata*). También se podría afirmar que se ha reducido el número de especies sensibles y que las especies tolerantes se mantienen. Pero, tomando en cuenta un MC, los resultados son distintos, ya que el número de especies pelágicas y sensibles se han mantenido. La proporción de individuos omnívoros en la comunidad no se ha incrementado y la proporción de individuos vivíparos aumentó con el tiempo. Del mismo modo, los peces siguen siendo en el 2007 tan abundantes como en 1995. Por lo tanto, en Zc es imprescindible la electropesca como técnica de colecta, en combinación con chinchorro y redes de mano. De lo contrario, la integridad biótica será subestimada.

Bajo las condiciones en las cuales se llevó a cabo este estudio es probable que en Zc los impactos antrópicos (mancha urbana y aguas residuales) y los cambios en la composición específica no han sido suficientes para modificar la integridad biótica, durante el período de tiempo entre 1996 y 2007 (Figura 2).

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

En lo que respecta a Lp, tomando en cuenta el MR, ya no fueron colectadas en el estudio actual dos especies nativas *P. infans* y *X. variata* y una especie invasora *M. jordani*, cambiando el número de especies de ocho a cinco entre 1986 y 2007 (Cuadro 3). Al igual que en Zc, los resultados son distintos dependiendo del tipo de muestreo utilizado, ya que, usando MC el número de especies cambio de ocho en 1986 a nueve en el 2007, este aumento esta dado por la adición de una especie invasora, *C. idella*, que se registra por primera vez para este sitio en el presente estudio.

El análisis temporal de la integridad biótica en Lp también puede ofrecer información errada si se toma en cuenta el muestreo sin usar electropesca. Analizando los datos provenientes de un MR es posible deducir que el número de especies nativas y pelágicas ha disminuido, que la proporción de individuos bentónicos, tolerantes, invasores y omnívoros ha aumentado y que el número de peces no supera 60 individuos en 30 minutos de muestreo. Pero, llevando a cabo el análisis procedente de un MC, la información muestra que tanto el número de especies nativas y pelágicas, como la proporción de individuos de especies bentónicas e invasoras se han mantenido en el tiempo. Lo que ha cambiado de 1986 al 2007 es la proporción de individuos tolerantes y omnívoros. La integridad biótica se ha mantenido como regular en el tiempo.

Con lo anterior, aunado a que el sitio Lp se encuentra ubicado en la parte media de la sub-cuenca del río Angulo, la composición específica y la integridad biótica reflejan en este sitio una acumulación y combinación de impactos antrópicos. Aunque, el efecto de estos impactos se ha dado desde antes de 1986, porque tanto la presa Copándaro como la presa Aristeo Mercado se terminaron de construir antes de 1980. Lo anterior puede deberse a que los efectos de los cambios producidos por las actividades humanas no han incrementado su magnitud desde 1986, situación que aunada a la resiliencia de la comunidad de peces probablemente ha permitido que la integridad biótica se mantenga. Este fenómeno no apoya lo reportado por Lyons *et al.* (1998) quienes mencionan que la ictiofauna de la cuenca del Lerma se encuentra severamente estresada y que

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

una porción importante del hábitat que queda disponible no podrá soportar por mucho tiempo a la comunidad de peces.

En el caso de Angamacutiro (An), en mayo de 2006, la profundidad del agua, que no rebasaba 0.5 m, la velocidad de la corriente y el fondo pedregoso-lodoso impidieron el uso del chinchorro y redes de mano. En mayo 2007, la compuerta de la presa Melchor Ocampo fue abierta el mismo día de colecta, por lo que el sitio presentó una profundidad mayor a 3 m. y una velocidad de corriente donde a pesar de usar redes de mano y chinchorro no fue posible capturar peces. Por lo anterior, los peces fueron colectados con electropesca y se incluyó en el análisis los ejemplares capturados por los pescadores locales mediante el uso de atarraya. Analizar la composición de especies de la comunidad de peces en An utilizando únicamente el MR es un error, porque se testificaría que en este sitio no se colectaron especies nativas en el 2007. En cambio, incluyendo en el análisis datos obtenidos por medio de un MC, es claro que no se han perdido por completo las especies nativas. En 1986 se reportaron diez especies, ocho nativas y dos invasoras. Para el 2001, el número de especies cambió de diez a cuatro, dos nativas y dos invasoras. En el periodo de tiempo entre 1986 y 2001, ya no se colectaron seis de las ocho especies nativas y las especies invasoras se mantuvieron. Sin embargo, para el 2007 cambió el número de especies porque fueron colectadas ocho, 4 nativas y cuatro invasoras. El cambio en la composición de especies entre 1986 y 2001 puede ser atribuido al efecto acumulativo del impacto causado por las actividades humanas. Por otro lado, el fenómeno observado entre 2001 y 2007 en relación al incremento en el número de especies puede deberse a que a partir del 2001 la magnitud del impacto humano se ha mantenido constante, permitiendo la resiliencia de la comunidad. Aunque también, el cambio en la composición el mismo fenómeno puede atribuirse a la implementación en el 2007, de la electropesca como técnica de colecta.

En el periodo de tiempo entre 1986 y 2001, la integridad biótica en An cambió de buena a regular, disminuyendo el número de especies nativas, pelágicas, sensibles y la proporción de individuos vivíparos e incrementando el porcentaje de individuos invasores, tolerantes y omnívoros. Este cambio en la integridad biótica puede deberse a que An se ubica en la parte más baja de la sub-cuenca del río

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Angulo y por lo tanto el efecto del impacto antrópico se magnifica debido a la acumulación y combinación de los impactos procedentes de la parte alta de la sub-cuenca. Esta magnificación del impacto antrópico es evidenciado por la alteración del flujo por el manejo de la presa Melchor Ocampo, la presencia de aguas residuales de origen doméstico, el sedimento depositado en el fondo y la pérdida de calidad del agua y del hábitat. Esto coincide con lo observado en la sub-cuenca del río Grande de Morelia-Lago de Cuitzeo donde la parte alta se caracteriza por poseer buena calidad del agua y alta riqueza de especies, mientras que la peor calidad del agua se presenta en la parte baja junto con el decline de la riqueza específica (Soto-Galera *et al.* 1999).

Con base en el MR se muestra la pérdida de integridad biótica de regular a pobre entre 2001 y 2007. No obstante, la integridad biótica es subestimada, porque usando un MC, el análisis exhibe un fenómeno distinto, en el cual la integridad biótica se ha mantenido regular desde el 2001, a pesar de que ya no se colectaron especies nativas sensibles y ha aumentado la proporción de individuos invasores, tolerantes y omnívoros (Figura 2). Por lo tanto, en An el IIB debe aplicarse con cautela ya que la integridad biótica podría estar determinada por la técnica de colecta utilizada.

Dada la pérdida de integridad biótica en Angamacutiro (An) de 1986 al 2001 y suponiendo que el efecto del impacto antrópico ha incrementado al 2007, se esperaba que la integridad biótica fuera nula para el presente estudio. Sin embargo, el resultado muestra que la condición ambiental del sistema del 2001 al 2007 no ha cambiado, porque la integridad biótica sigue siendo regular. Este fenómeno podría indicar que la comunidad de peces está recuperando su estructura y función o que un periodo de tiempo de seis años no ha sido suficiente para que la comunidad de peces muestre un cambio por efecto del impacto antrópico que se ha dado de manera particular en An. Por lo tanto, es necesario continuar con el monitoreo de estos sitios para concluir de manera consistente si los sistemas acuáticos están perdiendo o no su integridad biótica como consecuencia del efecto producido por las actividades humanas.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Al comparar de manera temporal la integridad biótica usando información obtenida con MR, la probabilidad de subestimar la integridad biótica es alta. La técnica de colecta más apropiada para los ríos en la sub-cuenca del río Angulo es el MC. Es necesario evaluar a largo plazo la integridad biótica del río para delimitar la magnitud del impacto por efecto de las actividades humanas y generar información que permita desarrollar estrategias adecuadas de conservación. Así mismo, es preciso seguir monitoreando a las poblaciones de las especies invasoras para conocer cual es el efecto que están ocasionando sobre la estabilidad de la comunidad de peces.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

REFERENCIAS

- Benitez O. A. 1995. **Ictiofauna de la Laguna de Naranja de Tapia, Municipio de Zacapu, Michoacán, durante el período Otoño-Invierno.** Memoria de actualización profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 54 pp.
- CNA. 2000. Gerencia Estatal Michoacán. Subgerencia de Ingeniería. Departamento de Aguas Superficiales. *Infraestructura hidroagrícola.* Expediente No. 300.915.E.55.4.(1).- 071/2000.
- Contreras-Balderas S., M. L. Lozano-Vilano y M. E. García-Ramírez. 2005. **Historical changes in the Index of biological integrity for the lower Río Nazas, Durango, México.** *American Fisheries Society Symposium* 45:225-237.
- Domínguez-Domínguez, O., N. Mercado-Silva y J. Lyons. 2005. **Conservation Status of Mexican Goodeids: problems, perspectives, and solutions.** En: Uribe M. C. y Grier H. J. (Eds.) **Viviparous Fishes.** New Life Publications. Pp 495-504.
- Domínguez-Domínguez O., L. Boto, F. Alda, G. P. Pérez y I. Doadrio. 2007. **Human impacts on drainages of the Mesa Central, Mexico, and its genetic effects on an endangered fish, *Zoogoneticus quitzeoensis*.** *Conservation Biology.* 21 (1): 168-180.
- Fausch, D. K., J. Lyons, R. J. Karr y L. P. Angermeier. 1990. **Fish as indicators of environmental degradation.** *American Fisheries Society Symposium* 8: 123-144.
- Hocutt, C. H. 1981. **Fish as indicators of biological integrity.** *Fisheries* 6 (6): 28-31.
- Karr, J. R. 1981. **Assessment of biotic integrity using fish communities.** *Fisheries* 6 (6): 21-27.
- Karr, J. 1993. **Measuring biological integrity: lessons from streams.** 83-104 pp. En: Woodley S., Kay J. y Francis G. (Eds.) **Ecological integrity and the management of ecosystems.** St. Lucie Press. Delray Beach, Florida.
- Lyons, J. 1992. **Using the index of biotic integrity (IBI) to measure environmental quality in warmwater streams of Wisconsin.** *General Technical Report 149.* U.S. Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, Minnesota.
- Lyons, J., S. Navarro-Pérez, P. A. Cochran, E. Santana y M. Guzmán-Arroyo. 1995. **Index of biotic integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in west-central México.** *Conservation Biology* 9: 569-584.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

- Lyons, J., González-Hernández G., Soto-Galera, E., y Guzmán-Arroyo M. 1998. **Decline of Freshwater Fishes and Fisheries in Selected Drainages of West-Central México.** *Fisheries Management, American Fisheries Society.* 23 (4): 10-18.
- López-López E. y J. Paulo-Maya. 2001. **Changes in the Fish Assemblages in the Upper Río Ameca, Mexico.** *J. Fresh. Ecol.* 16: 179-187.
- Medina-Nava, M. 1997. **Ictiofauna de la subcuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala. Michoacán.** *Zoología Informa.* ENCB-IPN 35: 25-52.
- Medina-Nava, M. 2003. **Utilización del Índice de Integridad Biótica (IIB) para determinar áreas de conservación de peces en la cuenca Lerma-Chapala en Michoacán.** Tesis de Maestría. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 103 pp.
- Medina-Nava, M., J. Lyons, T. Zubieta, E. Solorio, J. P. Ramírez y R. Galván. 2005. **Conservation of two sites in central Mexico with a high diversity of livebearing fishes.** 499-504 pp. En: Uribe M. C. y Grier H. J. (Eds.) **Viviparous Fishes.** New Life Publications. 603 pp.
- Mercado-Silva N., D. J. Lyons, M. G. Salgado y N. M. Medina. 2002. **Validation of a fish-based index of biotic integrity for streams and rivers of central Mexico.** *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 12: 179-191.
- Mercado-Silva N., D. J. Lyons, E. Diaz-Pardo, A. Gutiérrez-Hernandez, C. P. Ornelas-García, C. Pedraza-Lara, M. J. Vander Zanden. 2006. **Long-term changes in the fish assemblage of the Laja River, Guanajuato, central Mexico.** *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 16: 533–546.
- Miller, L. D., M. P. Leonard, M. R. Hughes, R. J. Karr, B. P. Moyle, H. L. Schrader, A. B. Thompson, A. R. Daniels, D. K. Fausch, A. G. Fitzhugh, R. J. Gammon, B. D. Halliwell, L. P. Angermeier y J. D. Orth. 1988. **Regional Applications of an index of biotic integrity for use in water resource management.** *Fisheries* 13 (5): 12-20.
- Moncayo, E. R. 1996. **Estructura y función de la comunidad de peces de la Laguna de Zacapu, Michoacán, México.** Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur, México. 159 pp.
- Moreno, C. E. 2001. **Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA.** Zaragoza, 84 pp.
- Moyle, B. M. y M. R. Yoshiyama. 1994. **Protection of aquatic biodiversity in California: A Five-tiered approach.** *Fisheries* 19 (2): 6-18.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

- Scott, M. C. y W. H. Lenwood. 1997. **Fish Assemblages as indicators of environmental degradation in Maryland Coastal plain streams.** *Transactions of the American fisheries society* 126 (3): 349-360.
- Simon, P. T. 1999. **Introduction: Biological integrity and use of ecological health concepts for application to water resource characterization.** En: **Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities.** CRC Press. Boca Raton. Florida.
- Soto-Galera, E., E. Díaz-Pardo, E. López-López y Lyons, J. 1998. **Fish as indicators of environmental quality in the Río Lerma Basin, México.** *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1: 267-276.
- Soto-Galera, E., J. Paulo-Maya, E. López-López y J. A. Serna-Hernández. 1999. **ENVIRONMENTAL AUDITING. Change in Fish Fauna as Indication of Aquatic Ecosystem Condition in Río Grande de Morelia-Lago de Cuitzeo Basin, Mexico.** *Environmental Management* 24 (1): 133-140.
- Zambrano L., M. R. Perrow, C. Macías-García y V. Aguirre-Hidalgo. 1999. **Impact of introduced carp (*Cyprinus carpio*) in subtropical shallow ponds in Central Mexico.** *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery* 6: 281-288.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

DISCUSIÓN GENERAL

En esta sección se integran en una sola discusión la información presentada en los capítulos 1 y 2 con el propósito de considerar las hipótesis planteadas.

El objetivo general del presente estudio fue analizar de manera temporal la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo (SCRA), cuenca Lerma-Chapala. Desafortunadamente, no existen datos disponibles con los cuales se pueda estimar la calidad ambiental de estos sistemas en el pasado. Es por ello que dicha estimación se realizó a partir de la evaluación de la integridad biótica. La integridad biótica fue estimada aplicando el índice de integridad biótica (IIB) tanto para sistemas lóticos como lénticos. Aunque antes de aplicar este índice era necesario comprobar su funcionamiento con datos independientes (Mercado-Silva *et al.* 2002, Oberdorff *et al.* 2002). Sin embargo, en este trabajo únicamente se validó el IIB desarrollado para ríos por lo que el análisis temporal de la integridad biótica se llevó a cabo usando los sistemas acuáticos lóticos como modelo de estudio.

Un IIB desarrollado para un área geográfica extensa (región central de México) como lo es el propuesto por Lyons *et al.* 1995 y Lyons *et al.* 2000 puede ofrecer poca certeza al estimar la calidad ambiental en una escala menor, como el caso de SCRA. Misma que dispone de condiciones ambientales propias que deben tomarse en cuenta para desarrollar y aplicar IIBs específicos.

Las cuencas donde fue desarrollado y validado el IIB para ríos albergan especies bentónicas nativas como *Lampetra geminis*, *L. spadicea*, *Scartomyzon austrinus*, *Ictalurus dugesii*, *Allodonthichthys zonistius* y *Sicydium multipunctatum*, que no se han reportado en SCRA. Esta sub-cuenca representa una zona de distribución potencial del bagre del Lerma (*Ictalurus dugesi*) (Miller *et al.* 2005), pero únicamente se tienen registros de dos especies bentónicas invasoras *C. carpio* y *Ct. idella* que se relacionan con un efecto negativo sobre la calidad ambiental (Zambrano *et al.* 1999, Zambrano *et al.* 2006). En SCRA existe una porción del río Angulo ubicada entre la localidad de Villa Jiménez (parte media) y el poblado de Agua Caliente (justo en el inicio de la presa Melchor Ocampo en la parte baja de

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

la sub-cuenca) donde probablemente habita el bagre del Lerma (Pedro Camargo Urrutia, integrante de la organización de pescadores de Angamacutiro. *com. pers.*). Esta porción del río esta representada por el sitio El sabino (Es) (incluido en el Capítulo 1). En este sitio donde probablemente habita *I. dugesii* la integridad biótica podría ser sobreestimada porque los individuos de *C. carpio* tendrían que ser incluidos en igualdad con *I. dugesii* porque ambas son especies bentónicas, incrementando la proporción de individuos bentónicos y aumentando la calificación de la métrica.

Por otro lado, no existe información acerca de que el bagre del Lerma pudiera habitar en otro sitio aparte de El sabino (Es) dentro de la SCRA. Por tanto, en el resto de los sitios incluidos en el presente estudio no se espera capturar a *I. dugesii*. Así, en los sitios donde se registró la presencia de carpa la integridad biótica podría ser sobreestimada (porque incrementaría la proporción de individuos bentónicos) y en los sitios donde no se capturaron individuos bentónicos invasores la integridad biótica podría ser subestimada (porque la métrica en cuestión tendría valor de cero por no capturar individuos bentónicos). Por lo anterior, se sugirió modificar la métrica “Porcentaje de individuos de especies bentónicas” como se menciona en el Capítulo 1.

Si la métrica No 2 “Porcentaje de individuos de especies bentónicas” requiere ser modificada, entonces la hipótesis planteada acerca de que el IIB desarrollado para ríos y arroyos (Lyons et al. 1995) puede seguir siendo utilizado sin modificación alguna para estimar la calidad ambiental de los sistemas lóticos de la SCRA, se rechaza.

Por otro lado en el caso de los sistemas lénticos, el IIB propuesto por Lyons et al. (2000) fue desarrollado en lagos con características ambientales distintas a los sistemas lénticos incluidos en el presente estudio. Los lagos de Pátzcuaro, Chapala, Xochimilco y Cuitzeo fueron los incluidos en el IIB original, los cuales en comparación con los sistemas lénticos de la SCRA presentan una superficie más extensa. Asimismo, este IIB para lagos no fue validado, es decir, los valores del IIB no se correlacionaron con los valores de calidad ambiental, ya que esta no fue

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

estimada. Además, dicho IIB fue desarrollado y aplicado con los mismos datos, por lo que demanda la necesidad de validarlo con datos independientes (Lyons et al. 2000).

Los resultados del presente estudio no apoyaron la hipótesis de que el índice de integridad biótica desarrollado para lagos (Lyons et al. 2000) puede seguir siendo utilizado sin modificación alguna, para estimar la calidad ambiental de los sistemas lénticos de la sub-cuenca del río Angulo. Con base en las siguientes premisas:

- i) Los sistemas acuáticos lénticos de la SCRA ofrecen características ambientales distintas a los lagos donde fue elaborado el IIB original. Porque son el relicto de la ciénaga de Zacapu que fue desecada con fines agrícolas en 1896 (Moncayo 1996).
- ii) En la SCRA solo se esperaba coleccionar una especie del género *Chirostoma*, ahora *Menidia*, *M. humboldtianum* pero no fue coleccionada. A pesar de que la ausencia de la especie podría relacionarse con el impacto antropogénico, la métrica No. 4 “Número de especies nativas del género *Chirostoma*”, resultó con valor cero para todos los sitios, independientemente de la calidad ambiental. Lo anterior, pone en duda la sensibilidad de la métrica, por lo que surge la necesidad de modificar la metodología del muestreo tal como se discute en el Capítulo 1.
- iii) La métrica 9 explica que si el valor de longitud patrón (LP) máxima es menor que el valor esperado (VE), entonces se relaciona con efectos negativos de la presión de pesca (Lyons et al. 2000). Sin embargo, en el presente estudio solo en la laguna de Zacapu se desarrolla la pesca como una actividad comercial. Esta laguna en los manantiales y en la zona litoral, posee hábitat que son considerados como guarderías (sitios de refugio para juveniles) y los peces adultos pueden encontrarse en otro tipo de hábitat como por ejemplo en la zona pelágica (Moncayo 1996, Medina-Nava 2003). Por lo tanto la LP máxima registrada es menor que el VE y esta diferencia no implica que la calidad ambiental de las guarderías sea necesariamente baja. Por lo anterior, esta métrica

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

no refleja precisamente los cambios ocasionados por las actividades humanas.

- iv) Uno de los supuestos de cada métrica en un IIB es diferenciar entre la variación natural y la variación producto de efectos antrópicos en los sistemas acuáticos (Karr 1981, Miller *et al.* 1988). Las métricas “Número de especies nativas del género *Menidia*” y “Máxima longitud patrón de especies nativas” bajo las condiciones en las cuales se llevo a cabo este estudio, no cumplen con el supuesto anterior.
- v) El presente estudio pone en duda los valores del VE que fueron utilizados para desarrollar el IIB original, porque en algunos sitios (La y Ta) el número de especies encontradas, superó al VE. Esto se debe probablemente a la implementación de la electropesca como técnica de colecta.

En lo que se refiere al análisis histórico, se esperaba que la composición específica de peces hubiera cambiado a través del tiempo como consecuencia de la acumulación y combinación de los efectos negativos causados por las actividades humanas en la SCRA. Esta hipótesis fue aceptada en todos los sitios.

En la parte alta aún con la incursión de especies invasoras y el efecto antrópico, se han mantenido la mayoría de las especies carnívoras nativas a través del tiempo. Situación contraria sucede en la parte media y baja donde el efecto antrópico se relaciona con la persistencia de las especies omnívoras tanto nativas como invasoras, situación que podría evidenciar el acortamiento de la red trófica (Soto-Galera *et al.* 1998, Mercado-Silva *et al.* 2006).

En el presente estudio se esperaba que la integridad biótica de los ecosistemas acuáticos hubiera disminuido a través del tiempo por el efecto antrópico en la SCRA. Sin embargo, los resultados permitieron rechazar esta hipótesis de manera particular para la parte alta y media porque en esta zona la integridad biótica se ha mantenido a través del tiempo. Mientras que para la parte baja la hipótesis fue aceptada.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

La continuidad de la integridad biótica en el canal de Zacapu (Zc) y en el canal de Naranja (Cn) ubicados en la parte alta puede estar relacionada con el mantenimiento de la calidad del hábitat. Asimismo, se mantienen la disponibilidad de refugios y sustrato disponible. Estos sitios están asociados a manantiales por lo que la calidad del agua es buena. El confinamiento de las especies nativas en Cn y Zc podría deberse a un mecanismo de respuesta al efecto antrópico (descrito en el Capítulo 1) en la laguna de Zacapu y en la laguna de Naranja. En Cn dicho confinamiento ha favorecido la disminución en la proporción de individuos de especies invasoras y fue posible coleccionar especies sensibles que no habían sido capturadas anteriormente. Este fenómeno, pudo haber sido determinante para que tanto en Cn como Zc la integridad biótica se haya mantenido buena a través del tiempo.

El río La patera (Lp) (ubicado en la parte media) no ofrece refugios para los peces, el fondo es lodoso y el sustrato no está disponible por encontrarse embebido en el sedimento. La construcción de la presa Copándaro y la presa Aristeo Mercado puede estar relacionada con estas características ambientales y con la reducción de integridad biótica en Lp. Sin embargo, este fenómeno no es posible relacionarlo con el periodo de tiempo utilizado en el presente estudio (1986-2007), sino que se ha dado desde antes de 1986 y no es posible estimar con certeza la causa por la que los ecosistemas acuáticos estén perdiendo la capacidad de mantener a las comunidades biológicas.

La localidad de Angamacutiro (An) se encuentra ubicada en la parte más baja de la sub-cuenca, por lo que era de esperarse que la calidad ambiental tuviera una historia parecida al río La patera (Lp). Es decir, que la reducción de la integridad biótica tuviera su origen desde antes de 1986, resultado de la acumulación de los mismos impactos que causaron el cambio en la parte media (Lp). Sin embargo, el impacto antropogénico desconocido que probablemente causó la disminución de la integridad biótica en la parte media de la SCRA no afectó de la misma manera en la parte baja. Porque en An en 1986 la integridad biótica era alta y la disminución de la integridad biótica se reporta de 1986 a 2007. Por lo tanto, es posible relacionar al efecto de la acumulación y combinación de los impactos

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

antropogénicos descritos en el Capítulo 2 con la disminución de la integridad biótica en An durante un periodo de tiempo aproximado de 20 años.

Es importante resaltar que la estimación de la integridad biótica en la sub-cuenca del río Angulo es sensible a la técnica de colecta. La técnica de colecta más apropiada para llevar a cabo esta estimación es el muestreo combinado, donde se incluyan artes de pesca como chinchorro, redes de mano, redes atarraya y electropesca.

De los 16 sitios incluidos en el presente estudio se propone utilizar seis para fines de monitoreo. i) Zc, que corresponde a la desembocadura de la laguna de Zacapu, ii) el sitio Zr ubicado adelante de la desembocadura de la laguna de Zacapu, iii) el canal de Naranja (Cn) y iv) la Angostura (La). Estos cuatro sitios se ubican en la parte alta de la sub-cuenca. De la misma manera se sugiere que v) el río La patera (Lp) podría representar la parte media y vi) Angamacutiro (An) en la parte baja. Sin embargo, el conocimiento de la calidad de los sistemas acuáticos en la SCRA no es suficiente todavía para permitir construir un sistema de monitoreo eficiente.

En el caso del IIB para ríos es necesario atender a la modificación propuesta en el presente estudio y probar su funcionamiento en los sistemas lóticos de la SCRA, aplicando la metodología sugerida en el presente documento. En el caso del IIB para lagos es necesario repetir la validación con los métodos propuestos en el presente estudio y probar nuevas métricas. Así como llevar a cabo tres jornadas de campo durante la estación seca de Diciembre a Mayo de forma continua, para generar variación en los datos e implementar análisis estadísticamente más robustos.

Con lo anterior será posible construir un protocolo de monitoreo que permita estimar el patrón de cambio en la calidad ambiental en estos ecosistemas para entender en mediano plazo el proceso de la degradación ambiental en la sub-cuenca. Lo que permitirá formular un plan de acción para frenar el deterioro y proponer alternativas viables de conservación, manejo o rehabilitación de los sistemas acuáticos.

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Anexo 1. Valores cualitativos de calidad del agua según Medina (2003) para sistemas lénticos y Lyons *et al.* (1995) para sistemas lóticos.

| Rango | Atributos de calidad del agua | |
|------------------|---|---|
| | Sistemas lénticos (Medina 2003) | Sistemas lóticos (Lyons <i>et al.</i> 1995) |
| Bueno 70-100 | Aguas claras, poca cantidad de sólidos suspendidos, pH por lo general ácido. Oxígeno disuelto arriba de 5 mg/l, sin evidencias de sustancias o residuos tóxicos. | Agua clara, con pocos sólidos suspendidos en el flujo base. Oxígeno disuelto en el día consistentemente arriba de 5 mg/l pero no sobresaturado y sin evidencias de sustancias tóxicas como aceites, metales pesados o pesticidas. Contaminación no puntual limitada a partes altas en la cuenca. |
| Regular 50-70 | Con menor valor de transparencia. Oxígeno disuelto algunas veces debajo de 5 mg/l, algunas evidencias de aporte de contaminantes y/o arrastre de sólidos. | Agua moderadamente turbia en el flujo base. Oxígeno disuelto en el día algunas veces debajo de 5 mg/l o sobresaturado, algunas evidencias de sustancias tóxicas en el agua. Fuentes comunes no puntuales de contaminación en la parte alta de la cuenca. |
| Pobre 0-40 | Agua con menor transparencia (turbias), evidencia de la gran cantidad de sólidos y crecimientos algales, clara evidencia de aguas de desecho (doméstico, agrícola y pecuario). Oxígeno disuelto generalmente debajo de 2 mg/l. Olor desagradable en las zonas pantanosas. | Agua usualmente turbia. Flujo frecuentemente dominado por irrigación de aguas de retorno o por aguas con descarga municipal y/o industrial. Oxígeno disuelto frecuentemente debajo de 2.5 mg/l o sustancias tóxicas evidentes en concentraciones substanciales. La mayoría de las aguas altas de la cuenca con severos problemas de contaminación de fuentes no puntuales. Agua frecuentemente con un fuerte olor desagradable. |

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Anexo 2. Valores Cualitativos de calidad del hábitat según Medina (2003) para sistemas lénticos y Lyons *et al.* (1995) para sistemas lóticos.

| Rango | Atributos de calidad del hábitat | |
|------------------|--|--|
| Bueno 70-100 | <p>Sistemas lénticos (Medina 2003)</p> <p>Natural sin modificaciones en su contorno (Línea de costa). Mantiene su profundidad media. Poco lodosos. Con vegetación riparia y acuática nativa, sin grandes masas de vegetación flotante y arraigada. Vegetación riparia presente. Heterogeneidad de hábitats</p> | <p>Sistemas lóticos (Lyons <i>et al.</i> 1995)</p> <p>Natural sin modificaciones en su geomorfología. Diversidad en el rango de micro y macro hábitats. Cobertura y refugios para peces. Poco lodoso. Vegetación riparia bien desarrollada.</p> |
| Regular 50-60 | <p>Zonas más extensas en la periferia, con algunas modificaciones debido a obras hidráulicas. Vegetación riparia solo en manchones. Sedimentos con evidencias de aporte de materia orgánica, (fuentes no puntuales de contaminación) lodos, cienos, desarrollo de plantas acuáticas, sumergidas, emergentes y arraigadas. Utilizadas para usos domésticos y agrícola-pecuario.</p> | <p>Algunas modificaciones de canalización evidentes. Limitada heterogeneidad del hábitat. Poca cobertura y refugios o aguas profundas. Sedimentación (lodo) común. Vegetación riparia pobremente desarrollada en algunas áreas.</p> |
| Pobre 0-40 | <p>Pérdida evidente de profundidad, sin vegetación riparia y acuática nativa. Extensas áreas de vegetación arraigada y flotante especialmente lirio acuático (<i>Eichornia crassipens</i>, grandes masas de algas. Excesiva sedimentación producto de fuentes no puntuales de contaminación (erosión), con áreas someras cenagosas, empantanadas, con olor fétido. Modificaciones evidentes por obras hidráulicas para fines de uso doméstico, industrial, agrícola y/o ganadero, que generan cambios en los patrones de corrientes y circulación. Pérdida evidente de estructura del hábitat.</p> | <p>Fuertemente modificado por canalización u otras modificaciones hidráulicas. Ausencia de refugios y cobertura para peces. Poca variación de la profundidad del agua a lo largo del cause. Vegetación riparia pobremente desarrollada y extensas áreas desnudas, tierra expuesta. Agua en sitios con gran estancamiento o con flujo de excesiva velocidad. Gran cantidad de sedimentos. Excesivo crecimiento de algas o macrófitas.</p> |

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Anexo 3. Parámetros fisicoquímicos del agua utilizados para estimar la calidad del agua en cada sitio.

| Sitios | pH | Oxígeno Disuelto (mg/L) | Sólidos Totales Disueltos (mg/L) | Transparencia (cm) |
|-----------------|----|-------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Lénticos | | | | |
| La | 7 | 5.99 | 88.2 | total |
| BF | 9 | 8.42 | 99.9 | total |
| Ch | 7 | 5.83 | 83 | total |
| Ta | 7 | 3.72 | 91.9 | total |
| Ln | 7 | 5.67 | 79.7 | total |
| Lóticos | | | | |
| An | 8 | 3.89 | 187.2 | 50 |
| Bf | 9 | 8.42 | 99.9 | total |
| Cn | 8 | 8.42 | 77.2 | 25 |
| Es | 7 | 5.18 | 120.9 | 17 |
| Jm | 7 | 5.7 | ND | 20 |
| Lp | 7 | 1.62 | 121.6 | 21 |
| Zr | 8 | 6.48 | 136 | 10 |
| Zc | 8 | 4.21 | 82.4 | total |
| Tu | 7 | 2.9 | ND | 20 |
| Co | 8 | 7.9 | ND | 25 |
| Zi | 7 | 8.6 | ND | 65 |

Anexo 4. Características físicas utilizadas para estimar la calidad del hábitat en sistemas lénticos.

| Sitios | Línea de costa | Vegetación acuática | Vegetación riparia | Tipo fondo | Hábitat | Uso de suelo |
|--------|--|----------------------------------|---|---------------------|--|---------------------|
| La | Manantiales modificados con piedras y cemento a manera de albercas | Sumergida, emergente, arraigada | Escasa vegetación riparia por estar inmerso en la mancha urbana | Pedregoso, cenagoso | Heterogéneo, presencia de raíces, plantas acuáticas, cuevas y rocas | Urbano |
| BF | Manantial represado con mampostería | Sin vegetación acuática | Sin vegetación riparia | Lodoso | Sin heterogeneidad, solo raíces de árboles | Agricultura, urbano |
| Ch | Manantial modificado a manera de chinampas | Sumergida, emergente y arraigada | Solo manchones. Modificada para agricultura | Cenagoso | Heterogéneo, presencia de raíces, plantas acuáticas, cuevas | Agricultura |
| Ta | Modificado como lavaderos en la zona de manantiales | Sumergida, emergente y arraigada | Solo manchones. Modificada para agricultura e inmersa en la mancha urbana | Pedregoso | Heterogéneo, presencia de raíces, plantas acuáticas, cuevas y rocas | Agricultura, urbano |
| Ln | Manantial represado con mampostería | Emergente y arraigada | Manchones. Modificada por urbanización | Lodoso, pedregoso | Sin heterogeneidad, solo vegetación arraigada y rocas en la zona litoral | Urbano |

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Anexo 5. Características físicas utilizadas para estimar la calidad del hábitat en sistemas lóticos.

| Sitios | Profundidad | Geomorfología | Vegetación acuática | Vegetación riparia | Tipo fondo | Hábitat | Uso de suelo |
|--------|----------------|---------------|--|--|-------------------|--|----------------------------|
| An | Sin variación | Canalizado | Pasto sumergido | Sin vegetación riparia. Solo terrenos agrícolas | Lodoso | Sin heterogeneidad de hábitat. Solo pastos sumergidos | Agrícola |
| Bf | Sin variación | Canalizado | Emergente | Sin vegetación riparia. Inmerso en mancha urbana | Lodoso, pedregoso | Sin heterogeneidad de hábitat. Solo plantas acuáticas emergentes | Agrícola, urbano |
| Cn | Poca variación | Canalizado | Sumergida, arraigada, emergente y flotante | Manchones. Modificada por urbanización | Lodoso, pedregoso | Con heterogeneidad de hábitat. Pasto sumergido, raíces de árboles, piedras, cuevas, troncos. | Urbano |
| Es | Alta variación | No canalizado | Sin vegetación acuática | Matorral | Pedregoso | Con heterogeneidad de hábitat. Piedras, raíces, troncos, ramas, cuevas | Agrícola |
| Jm | Sin variación | Canalizado | Emergente | Sin vegetación riparia. Modificada por urbanización y terrenos agrícolas y pecuarios | Cenagoso | Con heterogeneidad de hábitat. Plantas acuáticas emergentes, pasto sumergido, raíces de pasto y de árboles, cuevas, piedras | Urbano, agrícola, pecuario |
| Lp | Sin variación | Canalizado | Flotante | Sin vegetación riparia. Solo terrenos agrícolas | Lodoso | Sin heterogeneidad de hábitat. Solo raíces de plantas acuáticas flotantes | Agrícola |
| Zr | Sin variación | Canalizado | Sumergida, emergente y arraigada | Sin vegetación riparia. Inmerso en mancha urbana | Lodoso | Sin heterogeneidad de hábitat. Solo pasto sumergido | Urbano |
| Zc | Poca variación | Canalizado | Sumergida, emergente y arraigada | Sin vegetación riparia. Inmerso en mancha urbana | Cenagoso | Con heterogeneidad de hábitat. Plantas acuáticas emergentes, pasto sumergido, raíces de pasto y de árboles, cuevas, piedras, troncos | Urbano |
| Tu | Sin variación | Canalizado | Sin vegetación acuática | Sin vegetación riparia. Inmerso en mancha urbana | Pedregoso | Sin heterogeneidad de hábitat. Modificado por mampostería. | Urbano |
| Co | Sin variación | Canalizado | Sin vegetación acuática | Sin vegetación riparia. Inmerso en mancha urbana | Pedregoso | Sin heterogeneidad de hábitat. Modificado por mampostería. | Urbano |
| Zi | Sin variación | Canalizado | Sin vegetación acuática | Sin vegetación riparia. Inmerso en mancha urbana | Pedregoso | Sin heterogeneidad de hábitat. Modificado por mampostería. | Urbano |

Análisis temporal de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos en la sub-cuenca del río Angulo, cuenca Lerma-Chapala

Anexo 6. Números de catálogo asignados a cada una de las especies depositadas en la Colección de Peces de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (CPUM).

| Especie | Número de catálogo |
|----------------------------------|---------------------------|
| <i>Zoogoneticus quitzeoensis</i> | 2101, 2116 |
| <i>Xenotoca variata</i> | 2102, 2108, 2118 |
| <i>Goodea atripinnis</i> | 2103, 2109 |
| <i>Heterandria bimaculata</i> | 2104, 2112 |
| <i>Xiphophorus helleri</i> | 2105, 2107, 2119, 2124 |
| <i>Poeciliopsis infans</i> | 2106, 2113 |
| <i>Allophorus robustus</i> | 2110 |
| <i>Algansea tincella</i> | 2111, 2122 |
| <i>Hubbsinna turneri</i> | 2115 |
| <i>Skiffia lermae</i> | 2117 |
| <i>Oreochromis niloticus</i> | 2121 |
| <i>Cyprinus carpio</i> | 2123 |