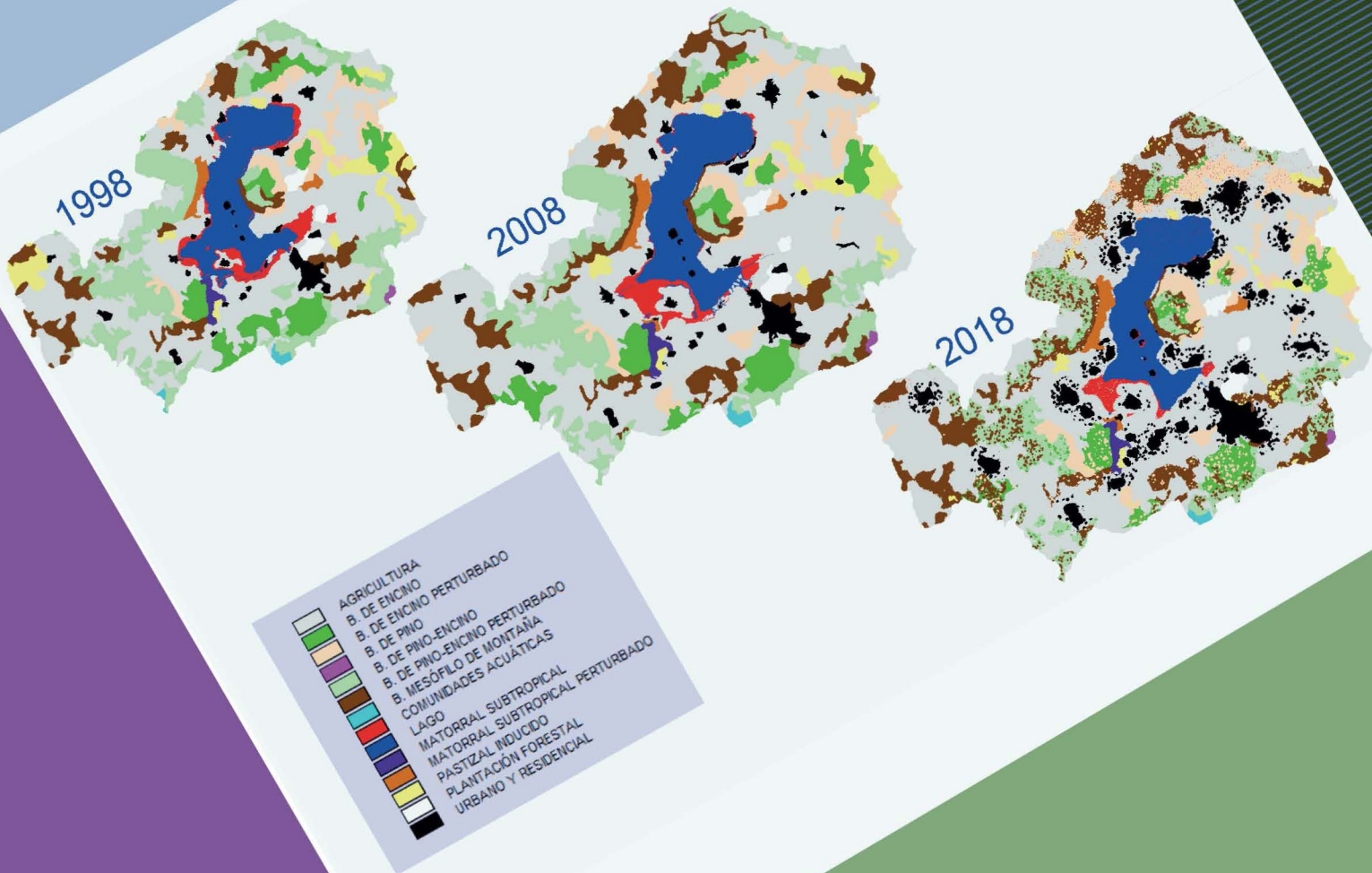


# ESTUDIO ECOSISTÉMICO DEL LAGO DE PÁTZCUARO

Aportes en gestión ambiental  
para el fomento del  
desarrollo sustentable

VOLUMEN 2



EDITORES:  
RUBÉN I. HUERTO DELGADILLO  
SERGIO VARGAS VELÁZQUEZ







FUNDACION  
GONZALO RIO ARRONTE, I.A.P.

# Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

**Aportes en gestión ambiental  
para el fomento del desarrollo  
sustentable  
Volumen II**

Rubén I. Huerto Delgadillo  
Sergio Vargas Velázquez

---

577.6307237 Huerto Delgadillo, Rubén (ed.)  
H87 *Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro: aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable: volumen II / Rubén Huerto Delgadillo y Sergio Vargas Velázquez, editores -- Jiutepec, Mor. : Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, ©2014.*

204 p.

ISBN: 978-607-7563-87-7

1. Lagos 2. Ecosistema 3. Administración ambiental 4. Desarrollo sostenible 5. México  
(Lago de Pátzcuaro, Michoacán)

---

El presente libro se realizó en el marco del “Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro”, y como parte de la colaboración y cooperación interinstitucional entre el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y la Fundación Gonzalo Río Arronte.

Coordinación editorial:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Coordinación de Comunicación,

Participación e Información.

Subcoordinación de Vinculación, Comercialización  
y Servicios Editoriales.

Primera edición: 2014.

D.R. © Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Paseo Cuauhnáhuac 8532

62550 Progreso, Jiutepec, Morelos

MÉXICO

[www.imta.gob.mx](http://www.imta.gob.mx)

ISBN: 978-607-7563-87-7

Impreso en México – *Printed in Mexico*

# CONTENIDO

<b>CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>15</b>
Agradecimientos	17
Referencias	17
<b>PROCESOS NATURALES</b>	
<b>CAPITULO 2. ESTIMACIÓN DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN LA SUBCUENCA TZURUMÚTARO DE LA CUENCA DEL LAGO DE PÁTZCUARO</b>	<b>21</b>
Resumen	21
Introducción	22
Objetivos	24
Antecedentes y marco teórico	24
Área de estudio	26
Descripción del proceso	26
Metodología	27
Obtención del gasto de la subcuenca	27
Medición del nivel del agua	29
Estimación del volumen medio anual de escurrimiento	29
Precipitación anual de la cuenca	29
Coeficiente de escurrimiento	29
Distribución de la precipitación e Hidrograma unitario triangular.	31
Relación lluvia -escurrimiento mediante el método SCS	31
Resultados	33
Régimen climático del área de estudio	33

Modelo de drenaje	34
Tiempo de concentración.	34
Registros de caudal en el Dren Tzurumútaró	34
Régimen de Lluvias en la subcuenca	42
Régimen de escurrimiento en la subcuenca	43
Cálculo del escurrimiento por el método SCS	44
Discusión	45
Conclusiones	46
Referencias	46
<b>CAPITULO 3. MEDICIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN POR EL DREN TZURUMÚTARO HACIA EL LAGO DE PÁTZCUARO</b>	<b>51</b>
Resumen	51
Introducción	52
Marco teórico y antecedentes	54
Objetivos	56
Materiales y métodos	56
Aspectos morfométricos de la subcuenca	56
Obtención de la sección transversal, velocidad del flujo y muestreo de sedimentos en suspensión	58
Filtrado, secado y pesado de las muestras	61
Modelo para relacionar caudal con carga de sedimentos y distribución espacial de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo e identificación de las principales zonas de erosión en la subcuenca	61
Resultados	62
Localización de la Subcuenca Tzurumútaró	62
Geología	62
Hidrología	63
Morfometría de la subcuenca	63
Uso de suelo y vegetación	64
Suelos	66
Registros de caudal y sedimentos en Dren Tzurumútaró	67

Distribución espacial de las variables de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	71
Conclusiones	75
Referencias	76
<b>CAPITULO 4. LA COMUNIDAD DE PECES DEL LAGO DE PÁTZCUARO</b>	<b>79</b>
Resumen	79
Abstract	79
Introducción	80
Especies exóticas	80
Calidad del agua	82
Pérdida de rutas tróficas	83
Método	84
Resultados	84
Densidad por Biomasa	84
Densidad por individuos	87
Talla y peso de la comunidad de peces	88
Discusión	88
Conclusiones y recomendaciones	91
Referencias	91
<b>CAPITULO 5. ANÁLISIS ECOLÓGICO Y POBLACIONAL DE LA ESPECIE <i>Cambarellus patzcuarensis</i> DEL LAGO DE PÁTZCUARO</b>	<b>95</b>
Resumen	95
Abstract	96
Introducción	96
Antecedentes	97
Ecología y aspectos taxonómicos	99
Reproducción	99
Morfología	100
Alimentación	101
Efecto de la temperatura	102

Trabajo de campo	103
Transporte de organismos y adaptación de instalaciones en laboratorio	104
Procedimientos a seguir en laboratorio	104
Factores sociales que afectan el crecimiento y la reproducción	105
Determinación de la biología reproductiva de <i>Cambarellus patzcuarensis</i> para la estructuración de su ciclo de vida.	106
Biología Reproductiva	106
Efecto de la temperatura en la reproducción	108
Poblacional	112
Fisicoquímicos	115
Determinación de la interrelación de la población cambarellus patzcuarensis con los factores fisicoquímicos del lago de Pátzcuaro.	118
Profundidad	118
Conductividad	119
Fosfatos	119
Nitrógeno	119
Oxígeno	120
Temperatura	120
pH	121
Suelos	121
Estructura poblacional de <i>Cambarellus patzcuarensis</i> .	122
Importancia del registro de las especie ( <i>Cambarellus patzcuarensis</i> ) en el lago	126
Conclusiones	127
Bibliografía	128

## PROCESOS SOCIALES

<b>CAPITULO 6. ESTRATEGIA PARA APOYAR LA RECUPERACIÓN DE PECES NATIVOS EN EL LAGO DE PÁTZCUARO A TRAVÉS DEL MANEJO DE ESPECIES EXÓTICAS: PROPUESTAS PARA EL MANEJO DE LA CARPA COMÚN <i>Cyprinus carpio</i>.</b>	<b>137</b>
Introducción	137
La introducción de especies exóticas en el Lago de Pátzcuaro	141



El Sector Pesquero del Lago de Pátzcuaro	143
Caracterización de las actividades pesqueras	143
Estrategia para apoyar la Recuperación de Peces Nativos del Lago de Pátzcuaro a través del manejo de la carpa <i>Cyprinus carpio</i> .	145
Metodología	145
Resultados	155
Análisis de resultados	163
Recomendaciones	166
Conclusiones	168
Bibliografía	169
<b>CAPITULO 7. GOBERNANZA AMBIENTAL DEL LAGO DE PÁTZCUARO Y LA PESCA</b>	<b>175</b>
Resumen	175
Abstract	175
Introducción	176
La gobernanza ambiental y de la pesca	178
La gestión de la pesca en el lago de Pátzcuaro	182
Conclusiones	191
Referencias	192
<b>CAPITULO 8. CONCLUSIONES PARA UNA POLÍTICA PÚBLICA PARA LA RESTAURACIÓN DEL ECOSISTEMA LACUSTRE DESDE LA PERSPECTIVA DE LA JUSTICIA AMBIENTAL</b>	<b>195</b>
Integración de saberes	196
Integración de acciones	197
El arreglo institucional en el lago de Pátzcuaro	200
Patrimonialización de la cuenca del lago de Pátzcuaro y su paisaje	203
Conclusiones y recomendaciones relevantes	204
Procesos Naturales	204
Procesos Sociales	206
Referencias	209

# Índice

## Tablas y figuras

### CAPITULO 1

### CAPITULO 2

Tabla 1 . Valores de k, en función del tipo y uso del suelo.Tomado de la NOM-011 CNA 2000	30
Tabla 1. (Continuación) Valores de k, en función del tipo y uso del suelo.Tomado de la NOM-011 CNA 2000	30
Tabla 2 . Fórmulas para determinar los valores de Ce, en función del valor de k. Tomado de la NOM-011 CNA 2000. P es la precipitación anual en mm.	31
Tabla 3. Números de curva de escurrimiento para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II) (Chow 1994).	32
Tabla 4. Grupo de suelos tabulados por el Soil Conservation Service (Chow 1994).	32
Tabla 5. Parámetros climáticos de las estaciones Pátzcuaro y Santa Fé.	33
Tabla 6. Registros de velocidades y cálculo de caudal.	35
Tabla 7. Superficie absoluta y relativa por tessela, además de la precipitación ponderada de cada pluviómetro en la subcuenca.	43
Tabla 8. Valores de k ponderados para los distintos usos de suelo y vegetación.	43
Tabla 9. Valores de CN ponderados para el Uso de Suelo y Vegetación.	44
Tabla 10. Determinación de distintos parámetros temporales a partir de las características morfométricas de la subcuenca.	44
Figura 1. Medición de velocidades con el dispositivo de muestreo FlowMate (flujómetro).	28
Figura 2. Dispositivo de registro de nivel (levellogger) <i>GlobalWater</i> instalado en Dren Tzurumútaró	29
Figura 3. Red de drenaje de la subcuenca de Tzurumútaró (con base en información del INEGI 2010).	34
Figura 4. Sección transversal del dren Tzurumútaró en el punto de inserción del sensor de nivel y secciones muestreadas con sus respectivos anchos y profundidades.	35
Figura 5. Modelos de ajuste de la relación altura del cauce (h en m) con caudal (Q en m <sup>3</sup> /s) en el dren Tzurumutaro.	40
Figura 6. Promedios diarios de caudal registrados durante septiembre2010-agosto2011 en el dren Tzurumútaró.	41
Figura 7. Área de influencia de los registros pluviométricos en la subcuenca de Tzurumútaró.	42

### CAPITULO 3

Tabla 1. Formato de captura de las lecturas de las velocidades del Dren Tzurumútaró.	60
Tabla 2. Resumen de algunos de los parámetros morfométricos de la subcuenca Tzurumútaró	63
Tabla 3. Uso de suelo y vegetación en la subcuenca de Tzurumútaró.	64
Tabla 4. Tipos de suelos presentes en la subcuenca Tzurumútaró.	66
Tabla 5. Registros 2011 de carga de sedimentos en suspensión en el dren Tzurumútaró	70
Figura 1. Curvas hipsométricas características del ciclo erosivo y del tipo de cuenca. Modificado de Campos (1992)	57
Figura 2. Sección transversal del dren Tzurumútaró en el punto de inserción del sensor de nivel y secciones muestreadas con sus respectivos anchos y profundidades.	58
Figura 3 (a) Flujómetro Flowmate 2000 con el cual se tomaron las velocidades del caudal, (b) toma de velocidades en el Dren Tzurumútaró.	59
Figura 4. (a) Dispositivo de muestreo de sedimentos en suspensión (Modificado de Hudson 1997)	60
Figura 5. Localización de la subcuenca de Tzurumútaró	62
Figura 6. Curva hipsométrica de la subcuenca Tzurumútaró.	64
Figura 7. Perfil del cauce principal. Distancia (eje x) y Altura (eje y) en m.	65
Figura 8. Uso de suelo y vegetación en la subcuenca de Tzurumútaró en 2008.	66
Figura 9. Tipos de suelos presentes en la subcuenca de Tzurumútaró.	67
Figura 10. Condiciones de profundidad y ancho del cauce en el Dren Tzurumútaró de Junio a Agosto de 2010.	68
Figura 11. Modelo de regresión con los datos Caudal-Sedimentos para el Dren Tzurumútaró actualizado hasta mayo de 20	69
Figura 12. Estiaje en el dren Tzurumútaró, hidrófilas acumuladas por actividades de dragado agua arriba.	69
Figura 13. Representación espacial de la erosividad de la lluvia en la subcuenca Tzurumútaró.	71
Figura 14. Representación de la erosionabilidad o erodabilidad del suelo en la subcuenca Tzurumútaró	72
Figura 15. Representación de la longitud de la pendiente en la subcuenca Tzurumútaró	73
Figura 16. Representación del grado de inclinación de la pendiente en la subcuenca Tzurumútaró.	73
Figura 17. Representación del uso y manejo del suelo o manejo de los cultivos en la subcuenca Tzurumútaró.	74
Figura 18. Presa de gavión y geocostales en la porción este de la subcuenca.	74
Figura 19. Representación del promedio anual de pérdida en la subcuenca Tzurumútaró	75

## CAPITULO 4

Tabla 1. Matriz de presencia (1)- ausencia (0) de especies en el lago de Pátzcuaro. a: Del Campo, 1940; b: Berlanga-Robles <i>et al.</i> , 2002; c: el presente estudio.	81
Tabla 2. Densidad y biomasa de las especies de peces por época y región en el lago de Pátzcuaro.	85
Figura 1. Producción pesquera multiespecífica (toneladas) desde 1981 hasta 2005. Modificado de Orbe-Mendoza y Acevedo-García (2002) y SAGARPA (2009).	80
Figura 2. Localización de los seis sitios de muestreo y su clasificación en tres zonas: norte, centro y sur. 1: San Jerónimo; 2: Tzintzuntzan; 3: Cuello; 4: Pacanda; 5: Napízaro; 6: Embarcadero	83
Figura 3. Densidad de biomasa (g/m <sup>2</sup> ) de la comunidad íctica en las diferentes temporadas y zonas del lago.	86
Figura 4. Densidad de individuos (ind/m <sup>2</sup> ) de la comunidad íctica en las diferentes temporadas y zonas del lago.	87
Figura 5. Relación entre el largo patrón (cm) y el peso (g) de las especies de peces. Factor de condición calculado para las temporadas de lluvias y secas frías. Los cuadros representan a los individuos durante la temporada de lluvias y los triángulos durante la temporada de secas frías.	88
Figura 6. Factor de condición calculado para la comunidad íctica en las temporadas de lluvias y secas frías a partir de la relación entre el largo patrón y el peso de los individuos, representada en la Figura 5.	89
Figura 7. Promedio y desviación estándar del largo patrón (cm) y del peso (g) de las especies de peces en cada una de las zonas del lago.	90

## CAPITULO 5

Tabla 1. Zonas de recolecta, ubicación geográfica 2011	103
Tabla 2. Maduración y cambio de coloración de los huevos de <i>Cambarellus patzcuarensis</i> .	106
Tabla 3. Fecundidad de <i>Cambarellus patzcuarensis</i> bajo condiciones de laboratorio.	107
Tabla 4. ANOVA de los tratamientos a 18°, 22° y 26° C para <i>Cambarellus patzcuarensis</i>	109
Tabla 5. Relación de sexo y longitud total de los organismos recolectados.	112
Tabla 6. Resumen del total de organismos recolectados en cada una de las zonas vía trampeo.	115
Tabla 7. Registro de parámetros ambientales en las diferentes zonas registradas para cada temporada	116

Tabla 8. Tipos de sustratos en las diferentes zonas de trabajo.	117
Tabla 9. Análisis de fosfatos y amonio en el agua.	117
Tabla 10. Promedios de los parámetros ambientales por temporada.	118
Tabla 11. Límites permisibles de algunas características físicas y químicas del agua dulce.	119
Tabla 12. Estructura poblacional de <i>Cambarellus patzcuarensis</i> , en el Lago de Pátzcuaro.	122
Tabla 13. Distribución de la población según el tipo de sustrato.	124
Tabla 14. Datos de reproducción para el periodo de recolectas del 2005 al 2011.	124
Tabla 15. Número de organismos recolectados por región-año.	125
Figura 1. Seguimiento de la temperatura promedio en los tratamientos utilizados en <i>Cambarellus patzcuarensis</i>	108
Figura 2. Oxígeno disuelto promedio de los tratamientos a 18°C, 22°C y 26°C en <i>Cambarellus patzcuarensis</i>	108
Figura 3. Crecimiento en peso (g) a de los diferentes tratamientos para hembras de <i>C. patzcuarensis</i> .	110
Figura 4. Crecimiento en peso (g) en los diferentes tratamiento en machos de <i>C. patzcuarensis</i>	110
Figura 5. Crecimiento en longitud (mm) en los diferentes tratamientos en hembras de <i>C. patzcuarensis</i>	111
Figura 6. Crecimiento en longitud (mm) en los diferentes tratamientos en machos de <i>C. patzcuarensis</i>	111
Figura 7. Parámetros fisicoquímicos durante el periodo de recolectas.	121
Figura 8. Densidad poblacional por zonas registradas de <i>Cambarellus patzcuarensis</i>	123
Figura 9. Distribución de tallas por sexo de <i>Cambarellus patzcuarensis</i> en las diferentes zonas de recolecta.	124
Figura 10. Número de organismos recolectados por zonas de recolecta durante el periodo del 2005 al 2011 en el Lago de Pátzcuaro.	125

## CAPITULO 6

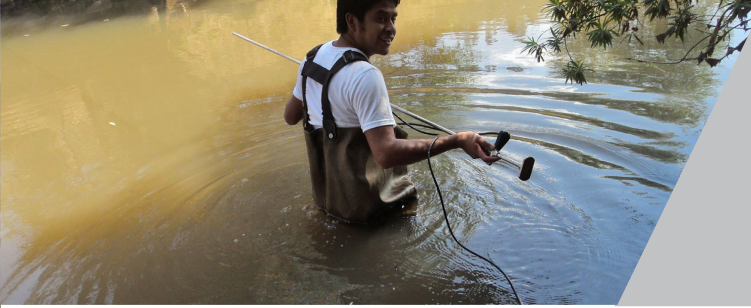
Tabla 1. Especies de fauna nativas presentes en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México	138
Tabla 2. Especies de fauna exótica presentes en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México	138
Tabla 3. Variación anual de pescadores registrados operando en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán	143
Tabla 4. Variación anual de embarcaciones y artes de pesca registradas.	145
Tabla 5. Criterios utilizados en el sistema de calificación	

comparativo del grado de sustentabilidad	148
Tabla 6. Importancia relativa de cada ámbito	155
Tabla 7. Opciones de intervención sugeridas para el manejo de la carpa <i>Cyprinus carpio</i>	155
Tabla 8. Ponderación comparada de las principales opciones sugeridas para control de las poblaciones de carpa en el lago de Pátzcuaro.	159
Tabla 9. Resultados del Sistema de calificación comparativa del grado de sustentabilidad para las distintas opciones de intervención	163
Figura 1. Variación anual de embarcaciones y artes de pesca registradas con densidades de pesca total en el Lago de Pátzcuaro 1981-2005 (Orbe-Mendoza <i>et al.</i> 2002; Rodríguez 2003; Ortiz 2004; Rojas 2006; Chauvet <i>et al.</i> 2009; DOF 2009; García 2009).	145
<b>CAPITULO 7</b>	
Figura 1. Programas más importantes para el sector pesquero del Lago de Pátzcuaro.	184
<b>CAPITULO 8</b>	
Tabla 1. Proceso de construcción de problemas socioambientales	199









# 1

## Introducción

Rubén I. Huerto Delgadillo

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

rhuerto@tlaloc.imta.mx

Siguiendo con la intención de reabrir, estimular y mantener el debate respecto a las condiciones ambientales en la que se encuentra el lago de Pátzcuaro, y bajo el mismo planteamiento de un estudio basado en los fundamentos ecosistémicos y de sustentabilidad, se presenta en esta ocasión este segundo volumen derivado del proyecto de “Manejo integral para el control de malezas acuáticas, especies invasoras y remoción de sedimentos en apoyo a la recuperación de especies emblemáticas y mejora de la calidad del agua del lago” en la fase 2010-2012 (la anterior fase de la que se derivó el primer libro fue 2008-2009), enmarcado dentro del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, desarrollado por el IMTA gracias al apoyo de la Fundación Gonzalo Río Arronte.

La planificación para una gestión adecuada de los ambientes lacustres requiere la integración de los conocimientos científicos a las políticas y programas desarrollados en todos los niveles del proceso de toma de decisiones. La información científica debe ser recopilada, cotejada, evaluada y usada para lograr estrategias prácticas a través de programas de estudio *in situ*.

Los lagos son sistemas abiertos, es decir, intercambian masa y energía con su entorno. El estado

de un lago depende mucho, obviamente, entonces de estos procesos de intercambio, los que a su vez son descritos por lo que se denominan variables externas o funciones de fuerza (las que describen, a su vez, a las fuerzas actuantes en el lago como funciones del tiempo). Estas últimas pueden ser controlables, como en el caso de los flujos de agua de entrada y salida, los nutrientes y las sustancias tóxicas, o no controlables, como ocurre con las precipitaciones, el viento, la radiación solar, etc.

El estado de un lago está dado por el uso de variables de estado o variables internas, como fitoplancton, los nutrientes y las concentraciones de peces.

El punto medular de la gestión de lagos consiste en encontrar las relaciones existentes entre la función de fuerza y la variable de estado, utilizando dicho conocimiento para modificar la función de fuerza controlable de manera tal de lograr un estado del lago deseable.

Sin embargo, los lagos son parte integrante de toda la cuenca. Como se trata de sistemas abiertos, esta última influenciará a aquellos y vice-versa. Por lo tanto, resultará bastante difícil manejar al lago como un sistema, independientemente de la cuenca y su entorno.

Esto subraya la necesidad de poder contar con modelos y aproximaciones sistémicas ya que debe analizarse un ecosistema complejo y, más aún, una cuenca, en su totalidad. Por ello una buena estrategia de gestión no implica que un problema sea analizado como una cuestión aislada sino que siempre se requiere que los problemas ambientales sean relacionados con todo el lago y su ambiente.

El tema de la gestión de lagos y reservorios debe ser evaluado desde dos puntos de vista en lo que hace a los objetivos teóricos y aplicados:

1. Con respecto a la importancia del área de la cuenca como sitio de localización de las principales fuentes que abastecen al lago, no sólo en términos hidrológicos o energéticos, sino también en términos químicos, es decir, de sustancias tóxicas y nutrientes.
2. Con respecto a las metas de gestión teniendo en cuenta la relación existente entre las propiedades del área de la cuenca y el nivel trófico-productivo del sistema lacustre situada en una cuenca dada.

El concepto subyacente que satisface estas premisas es el de “carga”, que ha dado origen a su vez al de “tolerancia de carga” de un sistema lacustre en términos de sus condiciones morfológicas, hidrológicas y limnológicas globales (Jørgensen y Vollenweider, 1989).

Con esto en mente, justificando la forma de cómo se han abordado los problemas en el lago, a manera de prólogo y para informar a los nuevos lectores, los temas tratados en el primer volumen (Huerto *et al*, 2011), como también lo serán en esta ocasión, fueron divididos en Procesos Sociales y Procesos Naturales, comprendiendo los siguientes capítulos:

Capítulo 1. Introducción

### Procesos Naturales

Capítulo 2. Calidad del agua del lago de Pátzcuaro

Capítulo 3. Evaluación y análisis de la vegetación acuática en el lago de Pátzcuaro y bases para su control

Capítulo 4. Análisis multicriterio de naturalidad de embalse y proyecciones markovianas del cambio del uso del suelo: elementos para la planeación de obras y acciones de restauración en la cuenca de Pátzcuaro

Capítulo 5. Las especies exóticas en el lago de Pátzcuaro, Michoacán, México

Capítulo 6. La fauna de macroinvertebrados bentónicos del lago de Pátzcuaro y su uso como indicadores del estado de salud e integridad del hidrosistema

### Procesos Sociales

Capítulo 7. Los pescadores del lago; entre el manejo comunitario y el deterioro ambiental

Capítulo 8. La carpa en el comercio de pescado, la cultura alimentaria y las estrategias de vida en la región del lago de Pátzcuaro, Michoacán

Capítulo 9. Alternativas económicas de valor agregado para el aprovechamiento de la extracción de carpa en el lago de Pátzcuaro

Capítulo 10. Conclusiones para una política pública hacia la restauración del ecosistema lacustre.

Sirva este listado para despertar el interés de los nuevos lectores en buscar el primer volumen de esta serie de información, integrada multidisciplinariamente en torno a la problemática del lago y poder obtener más información ya elaborada y presentada de manera introductoria como los principios y pasos que implican un ámbito de acciones para la implementación del Enfoque Ecosistémico, las líneas conducentes

## Introducción

para la implementación de una política de Desarrollo Sustentable y la descripción general de la zona de estudio.

Los principios básicos descritos en los capítulos precedentes publicados en el primer libro (Huerto *et al*, 2011), junto con los publicados en este segundo Volumen, tendrán que ser integrados debidamente al diseño de un programa de estudio académico, técnico y sobre todo ejecutivo. Como se describe en las conclusiones del primer libro, a partir de la información existente, la desarrollada y validada sistemáticamente, deberá implementarse un plan a mediano y largo plazo, en el más alto nivel posible de la administración federal, estatal y municipal, en términos de política pública, administración y operación, de manera tal que puedan movilizarse los recursos necesarios para priorizar actividades que contribuyan colectivamente y de forma ecosistémica a la apropiada gestión del ambiente lacustre del Lago de Pátzcuaro.

Para lograr lo anterior se plantearon como resultados esperados entre otros, la estimación del caudal durante los años 2010 y 2011 en la subcuenca de Tzurumútaró, como función del coeficiente de escurrimiento y cobertura vegetal para obtener un modelo de lluvia escurrimiento mediante tres métodos, así como también el aporte de carga de sedimentos en suspensión que llegan al lago en función de los cambios de uso del suelo; el estado actual de las comunidades de especies nativas y exóticas de peces, su densidad, biomasa y distribución; el estudio de la ecología y estructura poblacional de un importante bioindicador de la salud del sistema lacustre, el cambárido nativo *Cambarellus patzcuarensis*, para establecer zonas de conservación asociadas con otras poblaciones; definir una estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos del lago a través del manejo de especies exóticas empleando un sistema de calificación comparativa del grado de sustentabilidad de usos de las especies; el estado actual

de regulación de la pesca, la participación social en la gestión del lago y su cuenca y el estatus de la gobernanza ambiental; finalmente la integración de todo este esfuerzo y la cantidad de información sistemática generada para establecer unas conclusiones que demuestren las líneas claras y posibles a definir para lograr los objetivos de saneamiento del lago de Pátzcuaro y su cuenca.

### Agradecimientos:

Los editores reconocemos y agradecemos nuevamente las aportaciones técnicas y económicas de la Fundación Gonzalo Río Arronte para el desarrollo del proyecto, así como por su confianza e interés, especialmente al M. en C. Ramón Pérez Gil Salcido, Director General del Programa Agua, por su apoyo. También en esta ocasión cada uno de los capítulos fue revisado y enriquecido con sugerencias y aportaciones por parte de especialistas de cada materia en el siguiente orden: Dr. Manuel E. Mendoza Cantú del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la UNAM (Cap. 2); Dr. Luis Mario Tapia Vargas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Campo Experimental Uruapan (Cap. 3); Dr. Norman Mercado Silva de la School of Natural Resources and the Environment, University of Arizona (Cap. 4); Dr. Pedro Joaquín Gutiérrez-Yurrita del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del IPN (Cap. 5); Dr. Carlos F. Ortiz Paniagua del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (Cap. 6) y de la Dra. Ángela Ixkic Bastian Duarte de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (Cap. 7). A todos ellos nuestro más sincero reconocimiento.

### Referencias:

JØrgensen, S.E y R.A. Vollenweider (1989). Introducción General 1. En: Directrices para la

## **Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro**

Gestión de Lagos. Volumen 1. Principios Generales Sobre Gestión de Lagos. Jørgensen, S.E y R.A. Vollenweider Eds. Comité Internacional de Ambientes Lacustres. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 5-8 pp.

# **PROCESOS NATURALES**





## Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaró de la Cuenca del lago de Pátzcuaro

Rubén I. Huerto Delgadillo<sup>1</sup>, Alfredo Amador García<sup>2</sup> y Juan Carlos Álvarez Sántiz<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
rhuerto@tlaloc.imta.mx

<sup>2</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,  
Facultad de Biología

### Resumen

En la subcuenca Tzurumútaró perteneciente a la cuenca endorreica de Pátzcuaro, Mich. Destacan problemas como la intensificación de las actividades agropecuarias y el uso de agroquímicos, la deforestación por tala clandestina, los incendios forestales, el cambio de uso del suelo y la vegetación. Y todo ello se intensifica con las tormentas y el escurrimiento superficial periódico.

Se estimó el caudal de los años 2010 y 2011 para dicha subcuenca como función de su coeficiente de escurrimiento y cobertura vegetal para obtener un modelo de lluvia escurrimiento. Se utilizaron tres métodos: el de área-velocidad, el sugerido por la norma oficial NOM-011 CNA 2000 (precipitación-escurrimiento) y el hidrograma triangular.

Se estimó por el método de área-velocidad un escurrimiento de 17.01 hm<sup>3</sup>, por el modelo de la norma oficial NOM-011 CNA 2000 se obtuvo un total de 0.14 hm<sup>3</sup> anuales y por el método

del hidrograma triangular un total anual de 0.17 hm<sup>3</sup>. La diferencia observada entre la norma oficial y el hidrograma triangular es muy baja y es debido a los valores de clasificación de uso de suelo y vegetación; pero ambos tienen una marcada diferencia si se les compara con el método área-velocidad. Esto es debido al flujo base proveniente de los manantiales que hay en los alrededores de la localidad Chapultepec.

Los métodos utilizados son una herramienta útil ya que evalúan el efecto en las modificaciones del cambio del uso del suelo y la cobertura ofreciendo una estimación de la condición hidrológica de la cuenca. Ello permite tener un mejor panorama de su condición para poder implementar estrategias adecuadas para su manejo.



## Introducción

Los ríos y sus cuencas de drenaje constituyen el motor biológico del planeta. Son la base de la vida en la Tierra y el medio de subsistencia de miles de comunidades humanas en diferentes regiones, especialmente en las zonas áridas, semiáridas y tropicales del planeta (Toledo 2006). En México la mayor parte de los recursos hídricos epicontinentales se localizan en ríos (68.2%), seguida en importancia por presas (17.8%), acuíferos (11.7%), lagos y lagunas (2.3%) (Arriaga *et al.*, 2000 citado en Carabias *et al.* 2005). Muchos de estos ecosistemas están física y biológicamente conectados o articulados por el flujo del agua y por el movimiento de las especies, y constituyen una pieza clave para el mantenimiento del ambiente acuático y el bienestar de las comunidades humanas (Carabias *et al. Op cit.*). Los recursos hídricos que se ubican en cuencas y acuíferos de los ecosistemas son la base de la sociedad, tanto para satisfacer la necesidad básica de consumo y limpieza, como para las actividades económicas. El potencial de agua naturalmente disponible en el país es de 476 km<sup>3</sup>. En el año 2000, con una población de 97.5 millones de habitantes, la disponibilidad natural media por habitante se calculaba en

4,771m<sup>3</sup> anuales (CONAGUA 2008) y para el año 2010 se estimó en 4,422m<sup>3</sup> anuales (CONAGUA 2011a). Esta cifra coloca a México como un país de baja disponibilidad natural de agua, lo cual resulta preocupante. En 1950, la disponibilidad natural era de 18,035m<sup>3</sup>, considerada alta; sin embargo, se estima que para el año 2025, con el aumento de la población y el deterioro de los cuerpos de agua, seguirá descendiendo hasta 3,869 m<sup>3</sup>/hab/año (CONAGUA 2011a).

La disponibilidad natural promedio de agua en el país es un indicador útil pero esto no refleja la realidad si se toman en cuenta la distribución de la población, la actividad económica y las tasas de crecimiento por regiones, resulta que el agua es un factor limitante en ellas donde se concentra la actividad económica y la mayoría de la población. En el centro, norte y noroeste del país (más del 80% del territorio), donde se presenta tan solo el 28% del escurrimiento nacional, se concentra la mayor parte de la población (77%) y la actividad económica representa 84% del producto interno bruto (PIB), la disponibilidad de agua alcanza los 1,897 m<sup>3</sup>/hab/año (Jacobo *et al.* 2004). En contraste, en el sureste (menos de 20% del territorio nacional) se cuenta con el escurrimiento porcentual más alto: 69%; sin embargo, aquí se asienta únicamente 23% de la



## Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaru de la Cuenca del lago de Pátzcuaro

población y la actividad económica representa solo el 15% del PIB (CONAGUA 2008). La paradoja es que, a pesar de que el agua, motor del desarrollo, no es un factor limitante en el sur, es en esta región donde se encuentra la mayoría de las localidades con un grado de marginación alto o muy alto. Del total de agua naturalmente disponible, se estima que en el año 2009 se extrajeron de los ríos, lagos y acuíferos del país alrededor de 80.6 km<sup>3</sup> para los principales usos. De ellos, 62% procede de los escurrimientos superficiales y 38% de los acuíferos. De ese mismo volumen, el uso agropecuario representa 76.7% de la extracción, seguido por el abastecimiento público con 14.1% y la industria autoabastecida con 9.2% (CONAGUA 2011b). Sin embargo, la eliminación de la vegetación disminuye la cantidad de agua de lluvia que se filtra para recargar los acuíferos, lo que ocasiona un mayor escurrimiento superficial que, a su vez, arrastra el suelo fértil y lo deposita en lagos, ríos, lagunas y humedales, provocando su azolvamiento y alterando la calidad del agua, la morfología del cauce y los hábitats acuáticos. Cuando debido a lluvias torrenciales estos escurrimientos son excesivos, se producen inundaciones que seguramente podrían haberse amortiguado si existiese la vegetación original. De ahí la importancia del papel fundamental que desempeñan principalmente los bosques, ya que de ellos depende la forma en que las aguas acceden a los cauces, disminuyendo las aportaciones superficiales y aumentando las subterráneas (López 1994).

El enfoque de cuencas, permite cuantificar y evaluar los efectos de las diferentes actividades del hombre sobre los recursos hídricos (Cuevas *et al.* 2007). Esta evaluación requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, la comprensión del ciclo en sus diferentes fases, la forma en la que el agua se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escurrimiento e infiltración; así como la interrelación entre estos procesos con los componentes que afectan el

sistema de la cuenca (Pladeyra 2003 citado de Córdoba 2010).

Los factores de la cuenca que influyen en la distribución temporal del escurrimiento se dividen en físicos y humanos, entre los primeros están todas las características de la cuenca asociadas a su topografía, como son: tamaño, forma, pendiente, altitud y orientación. También factores asociados a la geología y los suelos, así como la cubierta vegetal, debido al impacto que tienen sobre la infiltración y la evapotranspiración, y finalmente la red de drenaje. Respecto a las obras y acciones del hombre, estas se pueden englobar a las tres siguientes: (1) estructuras hidráulicas, principalmente embalses de todo tipo, tamaño y propósito, diques para protección contra inundaciones y otras obras de drenaje y/o conservación de suelos; (2) deforestaciones y reforestaciones, así como prácticas agrícolas de todo tipo, y (3) urbanización, la cual reduce notoriamente la infiltración generando más precipitación en exceso y acelerando el escurrimiento a través de los sistemas de drenaje urbano (Campos-Aranda 2007).

En particular en el Lago de Pátzcuaro, la subcuenca Tzurumútaru cuenta con problemas ambientales diversos entre los que destacan la intensificación de las actividades agropecuarias y el uso de agroquímicos, la deforestación por tala clandestina, los incendios forestales, el cambio de uso del suelo y la cobertura, el sobrepastoreo, la pérdida de biodiversidad, el incremento a las tasas de erosión y la carga de sedimentos y fuentes de contaminación difusa. Problemas todos estos que crecen ante la intensificación de las tormentas y del escurrimiento superficial que es drenado en el área mencionada (IMTA 2002).

Considerando esta problemática el presente estudio tiene como objetivo valorar el caudal del dren como función de la cobertura vegetal y obtener un modelo de lluvia-escurrimiento para la

subcuenca de Tzurumútaro Michoacán, México, con lo cual se pueda tener el valor real del volumen que este importante dren aporta al Lago de Pátzcuaro y su comportamiento. Para lo cual se generaron los siguientes objetivos:

### Objetivos

Estimar el caudal de los años 2010 y 2011 para la subcuenca de Tzurumútaro Michoacán, Méx., como función de su coeficiente de escurrimiento y cobertura vegetal y obtener un modelo de lluvia-escurrimiento, empleando tres métodos diferentes.

Aforar con relación a las épocas de lluvia y estiaje el caudal del dren Tzurumútaro.

Relacionar la descarga observada periódicamente, con los niveles registrados de manera continua.

Distribuir la precipitación registrada en la red de pluviómetros de IMTA en la subcuenca y desarrollar para el periodo de observaciones un modelo de lluvia-escurrimiento.

### Antecedentes y marco teórico

Durante los últimos 15-25 años se han desarrollado avances en el modelamiento de procesos hidrológicos en un amplio rango de escalas espaciales y temporales. De este modo, los modelos hidrológicos espacialmente distribuidos y basados físicamente, representan una alternativa predictiva del comportamiento del agua en cuencas y de sus respuestas a diferentes usos y manejos. Una característica de estos modelos es su capacidad para distribuir parámetros y relaciones entre parámetros dentro de las cuencas. Con objeto de evaluar, proyectar y modelar las diferentes condiciones bióticas y abióticas de espacios geográficos como las cuencas, la re-

lativamente reciente inclusión de los sistemas de información geográfica (SIG), la percepción remota (PR) y los modelos hidrológicos en las ciencias ambientales, han venido a contribuir con nuevas posibilidades de análisis, constituyéndose como un conjunto de herramientas que han mostrado éxito en la comprensión de diversos procesos a diversas escalas espacio-temporales (Maidment 1993).

De acuerdo con Mendoza et al. (2002) la estimación del escurrimiento superficial por métodos indirectos implica el uso de modelos basados en las características físicas de la cuenca (roca, suelos, relieve, cobertura vegetal). Las características físicas determinan la tasa y tipo de ocurrencia de los procesos hidrológicos. En su trabajo evaluó y comparó los resultados de la estimación de escurrimientos en tres subcuencas (Arroyo Guadalupe, Coinztio y Queréndaro) utilizando dos métodos desarrollados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA, 1964) y Número de Curva (USDA, 1986, citado por Mendoza et al (2011) con un enfoque espacialmente distribuido. Los resultados indicaron que ambos métodos sobrestimaron el escurrimiento a nivel de pequeñas subcuencas. Sin embargo, las sobrestimaciones se encuentran dentro de los rangos de error registrados en trabajos que calculan el escurrimiento espacialmente distribuido para grandes áreas geográficas.

Tanto en lotes de escurrimiento como en cuencas de diversas dimensiones, el empleo de vertedores es uno de los mejores procedimientos para efectuar aforos de caudales. Por ejemplo, la investigación forestal conducida por Zirlewagen & Wilpert (2001) emplearon vertedores de forma triangular (60° Thomson Weir) mientras que en investigaciones agrícolas son más comúnmente empleados los vertedores de sección rectangular.

Así, Zirlewagen y Wilpert (2001) con el propósi-

## Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaró de la Cuenca del lago de Pátzcuaro

to de evaluar cuantitativamente el impacto del uso de la tierra basado en el cambio del régimen hidrológico en regiones semiáridas; estudiaron mediante lotes de escurrimiento de 1 a 2 m<sup>2</sup> y el aforo a una cuenca experimental de 9.3 ha, los flujos de agua, sedimentos y nutrientes, recomendando (1) dividir las cuencas experimentales en unidades estructurales representativas, (2) modelando la información proveniente de dichas unidades de una manera separada y (3) ponderando los resultados de conjunto en ejercicios de simulación.

Hartano *et al.* (2003) evaluaron los factores que afectan el escurrimiento y las tasas de erosión monitoreando a nivel de lotes (2 x 15 m) distintas condiciones de cobertura en bosques de Indonesia, recomendando el uso de lotes de escurrimiento para establecer los vínculos causa-efecto entre intervenciones e impactos derivados de prácticas y estrategias de manejo en bosques.

Mediante el aforo de un rodal de 2.5 ha de abeto Douglas, Van Wijket *et al.* (2001 citado por Amador 2009) evaluaron y modelaron el gasto y consumo de agua y carbono del ecosistema forestal usando datos meteorológicos puntuales de solo 10 años de continuidad y un modelo espacialmente distribuido.

Lørup *et al.* (1998) identificaron y evaluaron impactos del cambio del uso del suelo de Zimbawe sobre el escurrimiento basándose en series hidrometeorológicas de 25 a 50 años en 6 cuencas experimentales de 200 a 1,000 km<sup>2</sup> calibrando y ejecutando un modelo espacialmente distribuido. Dichos autores recomiendan probar estadísticamente la ejecución del siguiente modelo a partir de los siguientes criterios: (1) balance hídrico de conjunto y (2) desempeño del coeficiente de eficiencia basada en datos mensuales. Concluyen que el modelamiento hidrológico y las pruebas estadísticas tradicionales mejoran enormemente la

capacidad de evaluar impactos en las tasas de escurrimiento derivados del cambio de uso del suelo, en contraste con utilizar solo uno de las 2 estrategias.

Con el objetivo de desarrollar un sistema de modelización hidrológica para la predicción de la influencia del uso del suelo en los procesos de precipitación-escurrimiento en una cuenca hidrográfica, Karnoven *et al.* (1999) subdividió en Finlandia una cuenca de 1,290 km<sup>2</sup> para simular tasas de escurrimiento mediante el análisis de la respuesta de hidrogramas que permiten simplificar la caracterización-descripción de interacciones con respuestas no-lineales de diferentes componentes de las subcuencas asociadas con diferentes usos del suelo.

Pizarro *et al.* (2003) aplica tres ecuaciones para estimar la relación precipitación-escurrimiento en función de la evapotranspiración potencial: Budiko, Turc-Pike y Pizarro. Según los estimadores analizados, las tres fórmulas presentaron resultados similares, lográndose coeficientes de determinación entre caudales observados y simulados cercanos a 0.70.

El modelo determinístico de la Universidad de Kentucky o modelo DUK, fue desarrollado por Haan (1972) tiene cuatro parámetros de ajuste, permite estimar el escurrimiento mensual en cuencas rurales pequeñas y por su estructura se puede considerar que es representativo de este tipo de modelos. Llanas (2006) aplica este modelo en nueve cuencas rurales pequeñas, ubicadas en cuatro regiones hidrológicas de México con regímenes hidrológicos muy diferentes. Puede ser una herramienta hidrológica muy valiosa para ampliar el conocimiento del régimen de escurrimientos mensuales de cuencas pequeñas cuando se dispone de más información climática que hidrométrica; ya que es muy simple y requiere información climática fácilmente disponible con excelentes resultados.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Cisneros-Iturbide *et al.* (2007) compararon la eficacia de tres metodologías: modelo conceptual de escurrimiento, modelo con base física y un modelo con redes neuronales artificiales (RNA). Escogieron los modelos *Soil Contribution* (SOCONT) y *Topographic Kinematic Aproximaciony Integration* (TOPKAPI) para efectuar las simulaciones conceptual y con base física, respectivamente. Encontraron que la simulación llevada a cabo con el modelo de inteligencia artificial RNA proporciona los mejores resultados, seguidos por los resultados obtenidos con TOPKAPI. Para SOCONT tienen resultados insatisfactorios debido a la baja calidad de los datos de evapotranspiración y el corto periodo de información disponible de los mismos. Estas simulaciones lluvia-escurrimiento fueron realizadas en la cuenca rural del Río Magdalena, en el Distrito Federal México.

Amador (2000) evaluó el impacto de la agricultura en términos de escurrimiento y producción de sedimentos para la cuenca de Pátzcuaro. Utilizando información procedente de dos parcelas experimentales tipo EUPS y 6 pruebas de simulación de lluvia verificadas en porciones representativas de las unidades agrícolas del área, con el cual se calibró un modelo hidrológico EPIC, conforme a dos tratamientos: I labranza convencional y II labranza cero. La ejecución del modelo y la interpolación de los resultados mediante el SIG, mostraron que las prácticas agrícolas de labranza convencional contribuyen de manera importante con sedimentos hacia el lago.

### Área de estudio

El lago de Pátzcuaro recibe las descargas de diferentes arroyos de los cuales el único que tiene un régimen perenne es el escurrimiento de los manantiales Chapultepec y la Alberca, el área de afloramiento de cada uno es de 980 y 700 m<sup>2</sup> respectivamente. El caudal que aportan estos manantiales varía en relación con las épocas de lluvia y estiaje, pero oscila entre medio a un me-

tro cúbico por segundo aproximadamente. Dicho caudal es distribuido a través de los canales Alto Derecho y Bajo Derecho los cuales derivan aproximadamente el 64% (0.32 a 0.64 m<sup>3</sup>/s), y los canales Alto Izquierdo y Bajo Izquierdo los cuales derivan el 36% (0.18 a 0.36 m<sup>3</sup>/s) del caudal del manantial. Las aguas de retorno son colectadas por el cauce rectificado denominado Dren Central (conocido como Dren Tzurumútar o Río Chapultepec) (IMTA 2002).

Antiguamente la zona conocida como Valle de la Hacienda de Chapultepec, formaba parte del Lago de Pátzcuaro, y al bajar el nivel de agua, esta área se fue drenando. A mediados de siglo pasado con la construcción del Dren Central se buscó facilitar la conducción de las aguas provenientes de los manantiales y los escurrimientos originados por las lluvias.

Al área de estudio se le conoce como Valle de Tzurumútar y en este confluyen varias corrientes con caudal intermitente que se originan en las elevaciones adyacentes (IMTA *op cit.*). El Dren Tzurumútar constituye el cuello de botella del ciclo hidrológico de la subcuenca ya que conduce todos los escurrimientos superficiales de esta gran superficie con problemática variada, justo a una de las áreas del lago con mayores concentraciones de hidrófitas: el seno de Ihuatzio. Lo anterior justifica el presente estudio en dicha cuenca.

La subcuenca del dren Tzurumútar se localiza en la porción oeste de la cuenca cerrada del Lago de Pátzcuaro. Su altitud oscila entre 2,040 y 2,860 metros y tiene un área total de captación de 129.24 km<sup>2</sup>.

### Descripción del proceso

El escurrimiento puede medirse como lámina (mm), volumen (m<sup>3</sup>) o como gasto, caudal o descarga de agua, comúnmente expresado en

## Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaru de la Cuenca del lago de Pátzcuaro

volumen por unidad de tiempo (por ejemplo metros cúbicos por segundo:  $m^3/s$ ), que fluye a través de un canal natural o cauce definido. Es el componente del ciclo hidrológico que transfiere el agua desde la superficie del terreno hasta los océanos. En general el escurrimiento en una sección transversal de un cauce está formado por el flujo sobre el terreno de la cuenca o área de drenaje hasta tal punto y la descarga del agua subterránea de sus acuíferos. Más específicamente, el escurrimiento es generado por una combinación del (1) gasto base o descarga del agua subterránea, (2) el interflujo o flujo subterráneo rápido que ocurre a través de conductos, macroporos o zonas de filtración de los suelos, y (3) el flujo sobre el terreno procedente de superficies impermeables o parcialmente permeables pero saturadas temporal o permanentemente. El interflujo y el flujo sobre el terreno originan el escurrimiento rápido o gasto directo (Campos-Aranda 2007).

Los factores que afectan el volumen total del escurrimiento se dividen en climáticos y de la cuenca. El clima donde se ubica la cuenca establece de manera general el rendimiento como escurrimiento de tal cuenca, a través del balance hidrológico de largo plazo entre la cantidad de agua ganada por la cuenca como precipitación y la magnitud de agua perdida en la forma de evapotranspiración. Los factores que determinan la distribución en el tiempo del escurrimiento son mucho más variados y susceptibles de un análisis detallado, se dividen en meteorológicos y de la cuenca. Los primeros están asociados a como llueve: (1) clase de precipitación, ya que no es lo mismo que ocurra lluvia, nieve o granizo; (2) intensidad de la precipitación, pues esta puede o no originar lluvia en exceso; (3) duración de la precipitación, en general a mayor duración más escurrimiento aun en tormentas de baja intensidad; (4) distribución y trayectoria de la tormenta, pues para una cantidad fija de precipitación el volumen de escurrimiento que se origina es diferente si la lluvia fue uniforme sobre la cuen-

ca (precipitación ciclónica o de frente cálido), o si ocurrió sobre un área pequeña (tormenta conectiva o de frente frío). Los factores de la cuenca que influyen en la distribución temporal del escurrimiento se dividen en físicos y humanos, entre los primeros están todas las características de la cuenca y respecto a los humanos sus acciones y obras (Campos-Aranda *Op. Cit.*).

## Metodología

### Obtención del gasto de la subcuenca

En el presente trabajo se utilizó el método de área y velocidad, que consiste en medir el área de la sección transversal de la corriente y la velocidad media del flujo para obtener el gasto como el producto del área y la velocidad del dren Tzurumútaru (IMTA 1999).

Debido a que la distribución de velocidades en un cauce no es uniforme, se dividió la sección transversal en franjas, con la finalidad de obtener en cada una de éstas el área y velocidad media del agua. El gasto por franja se obtuvo multiplicando el área y la velocidad; el gasto total se calcula sumando los gastos de todas las franjas en que se dividió la sección transversal.

Se seleccionó un tramo lo más recto y en lo posible libre de maleza.

- Se midió el ancho de la corriente de orilla a orilla, para esto se fijaron dos puntos: del lado izquierdo y derecho ambos al mismo nivel, tomando en cuenta las avenidas máximas.
- Para la obtención de la morfología se midieron las profundidades de izquierda a derecha a cada 5 centímetros.
- Se dividió el ancho de la corriente en cinco franjas, dividiendo cada franja en dos partes iguales, marcando el punto medio del ancho de la franja.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

- Se midieron las profundidades (tirantes) sobre los puntos marcados. A cada franja le correspondieron tres tirantes (A, B y C). El tirante central (B) es único para cada franja, pero los tirantes extremos (A y C), de franjas vecinas, son comunes y corresponden a ambas franjas.

Se calculó el tirante promedio ( $\bar{d}$ ) con la siguiente expresión:

$$\bar{d} = \frac{A + 2B + C}{4}$$

Donde:  $\bar{d}$  = tirante promedio.

A = tirante inicial (extremo).

B = tirante central.

C = tirante final (extremo)

Se calculó el área de cada franja (A) como el producto del tirante medio ( $\bar{d}$ ) y el ancho de la franja (a):

$$A = a * \bar{d}$$

Y se calculó el área de la sección transversal ( $A_T$ ) sumando el área de las franjas ( $A_n$ ):

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$$

Ya que la velocidad varía a lo ancho de la sección transversal y sobre cada vertical, no se midió en un solo punto; por el contrario, como ya se mencionó, se dividieron las secciones en franjas verticales (IMTA 1999).

Para obtener la velocidad media en una vertical, se promediaron las velocidades obtenidas a 20 % (es donde se encuentra la velocidad mínima del cauce), 60% (se encuentra la velocidad promedio) y 80 % (a esta profundidad se encuentra la velocidad máxima en el cauce) de profundidad con el dispositivo FlowMate (figura 1).

El gasto por franja ( $q_i$ ) se calcula multiplicando el área y velocidad de cada franja:

$$q_i = A_i * V_i$$

El gasto total ( $Q_T$ ) es simplemente la suma de los gastos parciales (q):

$$Q_T = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n$$

Figura 1. Medición de velocidades con el dispositivo de muestreo FlowMate (flujómetro).



## Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaro de la Cuenca del lago de Pátzcuaro

En donde

$q_i$  = Gasto de la franja.

$A_i$  = Área de la franja.

$V_i$  = Velocidad de la franja

$Q_T$  = Es el gasto total.

### Medición del nivel del agua.

El nivel del agua en un cauce es la elevación del flujo o el escurrimiento en una estación de aforo, en un punto determinado de la corriente, medida por encima de un cero arbitrario de referencia, el cual comúnmente se toma por debajo del nivel para el cual el flujo es cero. La medición del nivel del agua en un cauce es bastante fácil de llevar a cabo y es sumamente importante, debido a la estrecha relación que guarda con el gasto que conduce al río. Los instrumentos que se emplean para medir el nivel del agua, son los limímetros y los limnógrafos. Para el presente trabajo se utilizó un sensor Level Logger de la marca *GlobalWater* (figura 2), que se instaló en el fondo del cauce con cadenas para el sostenimiento y hundimiento del dispositivo calibrado previamente en una probeta de 40 cm de altura con agua de similar turbidez al del sitio y sincronización de hora con equipo de cómputo portátil. Las conexiones en la porción terrestre así como el dispositivo de almacenamiento de datos fueron enterrados y ocultados previendo el vandalismo local pero permitiendo la verificación y adquisición de datos periódicamente.

Figura 2. Dispositivo de registro de nivel (levellogger) *GlobalWater* instalado en Dren Tzurumútaro



### Estimación del volumen medio anual de escurrimiento.

La norma oficial NOM-011 CNA 2000. Propone para determinar el volumen medio anual de escurrimiento natural el método de precipitación – escurrimiento, el cual se determina indirectamente mediante la siguiente expresión:

$C_p$  = Volumen anual de escurrimiento natural de la cuenca

$P$  = Precipitación anual de la cuenca

$A$  = Área de la cuenca

$C_e$  = Coeficiente de escurrimiento

### Precipitación anual de la cuenca.

Como la subcuenca en estudio cuenta con una extensa red de estaciones meteorológicas administrada por el IMTA, la precipitación anual se determinó y distribuyó espacialmente a partir del análisis de los registros de las estaciones vecinas y las ubicadas dentro del área mediante el método de polígonos de Thiessen.

### Coeficiente de escurrimiento.

El coeficiente de escurrimiento se determinó en función del tipo y uso de suelo y del volumen de precipitación anual, de la cuenca en estudio. A falta de información específica, con apoyo en los servicios del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI) y de visitas de campo, se clasificaron los suelos del área de estudio en tres diferentes tipos: A (suelos permeables); B (suelos medianamente permeables), y C (suelos casi impermeables) y se consideró el uso actual del suelo para obtener el valor del parámetro  $K$  de la tabla 1.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 1. Valores de  $k$ , en función del tipo y uso del suelo.  
Tomado de la NOM-011 CNA 2000

TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos
B	Suelos medianamente permeables, tales como arena de mediana profundidad: loess algo más compactos que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos.
C	Suelos casi impermeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas

Tabla 1. (Continuación) Valores de  $k$ , en función del tipo y uso del suelo. Tomado de la NOM-011 CNA 2000

Uso de suelo	Tipo de suelo		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0,26	0,28	0,30
Cultivos:	0,24	0,27	0,30
En hilera	0,24	0,27	0,30
Legumbres o rotación de pradera	0,24	0,24	0,30
Granos pequeños			
Pastizal:			
% del suelo cubierto o pastoreo	0,14	0,20	0,28
Más del 75% - poco	0,20	0,24	0,30
Del 50 al 75% - regular	0,24	0,28	0,30
Menos del 50% - excesivo			
Bosque:	0,07	0,16	0,24
Cubierto más del 75%	0,12	0,22	0,26
Cubierto del 50 al 75%	0,17	0,26	0,28
Cubierto del 25 al 50%	0,22	0,28	0,30
Cubierto menos del 25%	0,26	0,29	0,32
Zonas urbanas	0,27	0,30	0,33
Caminos	0,18	0,24	0,30
Pradera permanente			

Como en el área existen diferentes tipos y usos de suelo, el valor de  $k$  se calculó como la resultante de subdividir la cuenca en zonas homogéneas y obtener el promedio ponderado de todas ellas.

Una vez obtenido el valor de  $k$ , el coeficiente de escurrimiento anual ( $C_e$ ), se calculó mediante las fórmulas señaladas en la tabla 2.



## Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaro de la Cuenca del lago de Pátzcuaro

Tabla 2. Fórmulas para determinar los valores de  $C_e$ , en función del valor de  $k$ . Tomado de la NOM-011 CNA 2000.  $P$  es la precipitación anual en mm.

Valor de $k$ . Parámetro que depende del tipo y uso del suelo	Fórmula para cálculo del Coeficiente de escurrimiento anual ( $C_e$ )
Si $k$ resulta menor o igual que 0,15	$C_e = k (p - 250) / 2000$
Si $k$ es mayor que 0,15	$C_e = k (p - 250) / 2000 + (k - 0,15) / 1,5$

Las formulas se consideraron válidas para valores de precipitación anual entre 350 y 2,150 mm. La evapotranspiración está incluida en el coeficiente de escurrimiento.

### Distribución de la precipitación e Hidrograma unitario triangular.

Para la distribución de la precipitación se utilizó el método de los polígonos de Thiessen. Por otra parte, la geometría básica del hidrograma unitario, se describe de la ecuación:

$$qp \frac{0.555 A}{tb}$$

Donde  $A$  = área de la cuenca en  $\text{km}^2$ ,  $t_p$  = tiempo de pico en h y  $q_p$  = gasto de pico en  $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{mm}^{-1}$  (Campos-Aranda 2000).

### Relación lluvia – escurrimiento mediante el método SCS

De acuerdo con Chow *et al.* (1994) en 1972 el Soil Conservation Service (SCS) desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad de la precipitación en exceso ( $P_e$ ) (la que genera escurrimiento directo) es siempre igual o menor a la precipitación ( $P$ ); de manera similar, una vez que se inicia el escurrimiento, la profundidad adicional de agua retenida en la cuenca es menor o igual a una retención potencial máxima ( $S$ ). Al repre-

sentar muchas gráficas de  $P$  vs.  $P_e$  (en lámina del sistema inglés, es decir en pulgadas), para muchas cuencas, el SCS encontró distintas curvas que para estandarizar definió un número adimensional (CN). Para superficies impermeables y cuerpos de agua  $\text{CN}=100$  mientras que para superficies naturales  $\text{CN}<100$ . Existe una adaptación del uso de este método sugerido para México usando sistema métrico decimal (Cuevas *et al.* 2007). Los números de curva (CN) se obtienen de las tablas 3 y 4.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 3. Números de curva de escurrimiento para usos selectos de tierra agrícola, sub-urbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II) (Chow 1994).

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales	condiciones pobre	68	79	86	89
	condiciones óptimas	61	74	80	
Vegas de ríos: condiciones optimas		30	58	71	78
Bosques:	Troncos delgados, cubierta pobre, sin	45	66	77	83
	hierbas, cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.					
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75 % o mas		39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial:					
Tamaño de promedio del lote    porcentaje promedio impermeable					
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, acceso, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras					
pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Tabla 4. Grupo de suelos tabulados por el Soil Conservation Service (Chow 1994).

Grupo A	Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
Grupo B	Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
Grupo C	Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
Grupo D	Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

## Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaru de la Cuenca del lago de Pátzcuaro

En principio los valores CN se aplican a determinadas condiciones antecedentes de humedad (AMC por sus siglas en inglés). Para condiciones normales se considera AMC II y son tales valores los que se consideran en el presente trabajo.

Una vez obtenidos todos los parámetros de tiempo del hidrograma triangular se calcula el escurrimiento máximo (**Qp**) en m<sup>3</sup>/s. La modificación de la fórmula original del SCS que presenta Cuevas *et al.* 2007 es:

$$Qp = \frac{0.0021 QA}{\frac{1}{2}D + 0.6 Tc}$$

Donde:

Qp = escurrimiento máximo (m<sup>3</sup> / seg).

Q = escurrimiento medio (mm).

A = área de drenaje (ha).

D = tiempo de duración del exceso de lluvia (hr).

Tc = tiempo de concentración (hr).

## Resultados

### Régimen climático del área de estudio.

La estación climatológica más cercana al área de estudio se ubica en Pátzcuaro (Estación No.16087). Una segunda estación se ubica en Santa Fé de la Laguna (No.16118). De acuerdo

al sistema de Köppen modificado por García (2004), las condiciones de Clima Templado (Cb) muestran una ligera variación en el periodo más reciente (1981-2010) como muestran las fórmulas climáticas que corresponden al periodo de las Normales Climatológicas presentada por el organismo gubernamental (SMN) Esto es, un ligero incremento en la precipitación (P), el cociente Precipitación/Temperatura (P/T), el Porcentaje de lluvia invernal (%P. Inv) y la oscilación térmica anual (Osc) en la estación Pátzcuaro así como un ligero decremento en los mismos parámetros en la estación Santa Fé (Tabla 5).

Las temperaturas más cálidas en ambas estaciones se presentan antes del mes de junio, lo que los caracteriza como un clima templado. Las temperaturas más altas se presentan en la estación de Pátzcuaro con temperaturas máximas entre los 20°C y los 30 °C. La menor temperatura mínima anual fue registrada para la estación de Santa Fe con 6.8°C, así como la temperatura media anual más baja con 16.1 °C.

En ambas estaciones los meses con mayor precipitación se presentan a partir de junio y terminan en septiembre, asimismo se observa una magnitud de entre 220 y 100 mm de precipitación solo en cuatro meses (de junio a septiembre). En términos de escurrimiento, es en estos cuatro meses en donde se produce exceso de humedad y podrá ocurrir escurrimiento.

También, en la estación de Santa Fe en los últi-

Tabla 5. Parámetros climáticos de las estaciones Pátzcuaro y Santa Fé.

Estación	Clave	Periodo	P anual	P/T	% P. Inv	Osc	Clima
Pátzcuaro	16087	51-2010	1,004.1	59.7	3.9	6.6	Cb (w2) (w) (i')
Pátzcuaro	16087	71-2000	987.4	59.5	3.6	6.5	Cb (w2) (w) (i')
Pátzcuaro	16087	81-2010	1,048.5	61.7	4.2	6.8	Cb (w2) (w) (i') gw''
Santa Fe	16118	51-2010	820.2	49.4	4.2	5.5	Cb (w1) (w) (i') g
Santa Fe	16118	71-2000	758.4	46.5	4.1	5.6	Cb (w1) (w) (i') g
Santa Fe	16118	81-2010	656.2	40.7	4.3	5.1	Cb (w0) (w) (i') g

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

mos 30 años hay una baja disminución en la precipitación, mientras que en la estación de Pátzcuaro, se presenta la mayor precipitación anual en los tres periodos de registro con referencia a la estación de Santa Fe con diferencias de 200 mm de precipitación.

Contrastando las estaciones de Santa Fe y Pátzcuaro, con los tres periodos de registros, se observa que en la estación Pátzcuaro llueve más y la temperatura oscila más; mientras que en Santa Fe llueve menos, pero también la temperatura oscila menos.

### Modelo de drenaje.

La combinación de los efectos del clima y la geología de la cuenca, originan un modelo caracterizado por la red de cauces, el patrón o modelo que forman los cauces, es determinado localmente por las desigualdades en la pendiente del terreno y en la resistencia de las rocas. La subcuenca presenta un modelo subdendrítico (y rectilíneo), con un orden de corriente 5, por lo que se considera una cuenca con drenaje super-

ficial eficiente (Figura 3).

### Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración obtenido de acuerdo a Kirpich fue de: 1.78 h, esto con una pendiente de 0.05% y una longitud del cauce de 16, 112 m. Tomando en cuenta la fórmula de Rowe se obtuvo un tiempo de concentración de: 1.76 h, considerando la misma longitud de cauce y una diferencia de elevación de 820 m.

El tiempo de concentración obtenido con la fórmula general fue de: 1.79 h, considerando la misma longitud de cauce, con una velocidad de 2.5 m/s (velocidad obtenida en los meses de mayor precipitación).

### Registros de caudal en el Dren Tzurumútaró

La sección transversal del cauce tiene un ancho total de 12 m, en esta sección se colocó el sensor

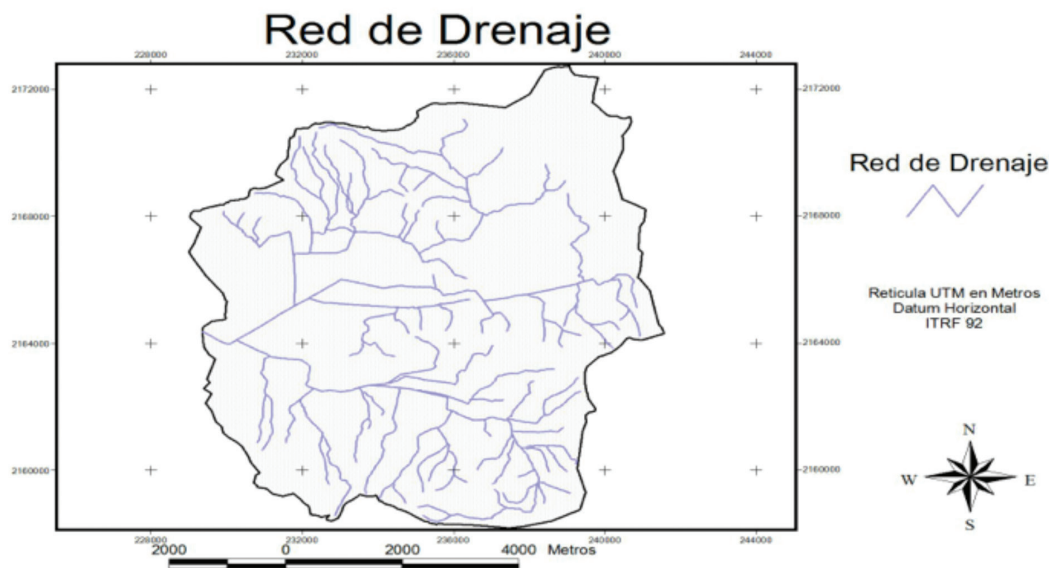


Figura 3. Red de drenaje de la subcuenca de Tzurumútaró (con base en información del INEGI 2010).

## Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaru de la Cuenca del lago de Pátzcuaro

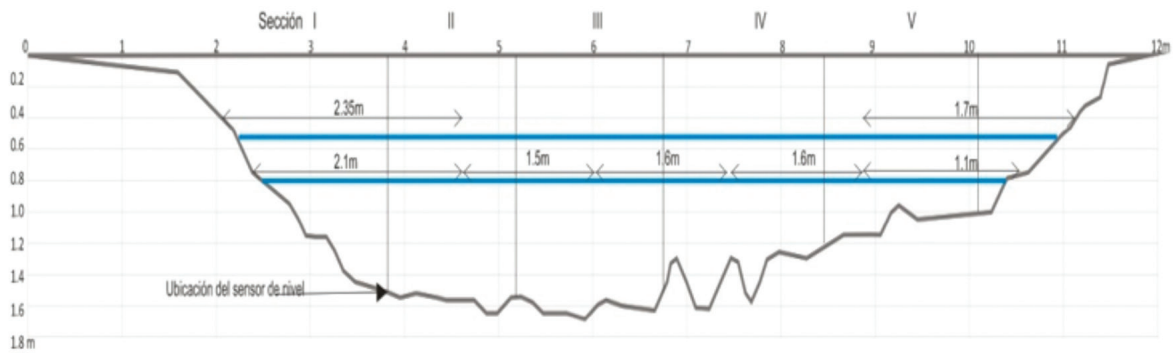


Figura 4. Sección transversal del dren Tzurumútaru en el punto de inserción del sensor de nivel y secciones muestradas con sus respectivos anchos y profundidades.

de nivel. En este punto se observó una profundidad de 1.6 m. Las secciones que se definieron consideraron la posibilidad de muestrear en condiciones de máxima elevación del cauce, Las 5 secciones muestradas y sus dimensiones se esquematizan en la Figura 4.

Las lecturas del nivel comprendidas del 2 de septiembre de 2010 a agosto de 2011 se relacionan con el caudal medido semanalmente por velocidad de flujo y ancho de las subsecciones y se transforman a un modelo empírico de altura registrada en el sensor con caudal en  $m^3/s$ .

Los registros de velocidades de flujo ( $m/s$ ) al 20, 60 y 80% de profundidad, por área de sección y transformados a caudal ( $m^3/s$ ) en las diferentes fechas del presente estudio se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Registros de velocidades y cálculo de caudal.

28-ene	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	$m^2$	$m^3/s$
I	0.044	0.072	0.070	0.062	0.660	2.100	1.386	0.086
II	0.012	0.096	0.086	0.065	0.920	1.500	1.380	0.089
III	0.068	0.112	0.128	0.103	0.810	1.600	1.296	0.133
IV	0.074	0.090	0.092	0.085	0.570	1.600	0.912	0.078
V	-	-	-	0.008	0.320	1.100	0.352	0.003
								0.389
16-feb	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	$m^2$	$m^3/s$
I	0.022	0.074	0.080	0.059	0.660	2.100	1.386	0.081
II	0.014	0.118	0.124	0.085	0.950	1.500	1.425	0.122

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

III	0.076	0.096	0.100	0.091	0.870	1.600	1.392	0.126
IV	0.056	0.090	0.102	0.083	0.620	1.600	0.992	0.082
V	-	-	-	0.006	0.070	1.100	0.077	0.000
								0.412
Tabla 6 03-mar	CONTINUACIÓN velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.046	0.044	0.300	0.130	0.600	2.100	1.260	0.164
II	0.076	0.068	0.412	0.185	0.850	1.500	1.275	0.236
III	0.412	0.196	0.414	0.341	0.650	1.600	1.040	0.354
IV	0.414	0.500	0.360	0.425	0.580	1.600	0.928	0.394
V	-	-	-	0.012	0.100	1.100	0.110	0.001
								1.150
17-mar	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.010	0.044	0.036	0.030	0.730	2.100	1.533	0.046
II	0.012	0.064	0.054	0.043	0.910	1.500	1.365	0.059
III	0.012	0.052	0.044	0.036	0.770	1.600	1.232	0.044
IV	0.020	0.040	0.036	0.032	0.630	1.600	1.008	0.032
V	-	-	-	0.012	0.180	1.100	0.198	0.002
								0.184
24-mar	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.010	0.028	0.042	0.027	0.700	2.100	1.470	0.039
II	0.014	0.072	0.052	0.046	0.880	1.500	1.320	0.061
III	0.042	0.048	0.052	0.047	0.750	1.600	1.200	0.057
IV	0.010	0.028	0.024	0.021	0.620	1.600	0.992	0.021
V	-	-	-	0.012	0.170	1.100	0.187	0.002
								0.179
01-abr	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.010	0.028	0.038	0.025	0.670	2.100	1.407	0.036
II	0.018	0.076	0.066	0.053	0.900	1.500	1.350	0.072

**Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca  
Tzurumútaro de la Cuenca del lago de Pátzcuaro**

III	0.020	0.064	0.052	0.045	0.750	1.600	1.200	0.054
IV	0.008	0.018	0.024	0.017	0.530	1.600	0.848	0.014
V	-	-	-	0.010	0.110	1.100	0.121	0.001
								0.177
07-abr	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.010	0.028	0.038	0.025	0.750	2.100	1.575	0.040
II	0.018	0.076	0.066	0.053	0.900	1.500	1.350	0.072
III	0.020	0.064	0.052	0.045	0.700	1.600	1.120	0.051
IV	0.008	0.018	0.024	0.017	0.600	1.600	0.960	0.016
V	-	-	-	0.010	0.250	1.100	0.275	0.003
								0.181
Tabla 6 11-abr	CONTINUACIÓN velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.008	0.012	0.018	0.013	0.700	2.100	1.470	0.019
II	0.014	0.096	0.076	0.062	0.900	1.500	1.350	0.084
III	0.004	0.040	0.058	0.034	0.700	1.600	1.120	0.038
IV	0.010	0.014	0.014	0.013	0.600	1.600	0.960	0.012
V	-	-	-	0.002	0.250	1.100	0.275	0.001
								0.153
03-may	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.008	0.054	0.054	0.039	0.600	2.100	1.260	0.049
II	0.020	0.116	0.128	0.088	0.850	1.500	1.275	0.112
III	0.008	0.122	0.138	0.089	0.800	1.600	1.280	0.114
IV	0.010	0.040	0.124	0.058	0.700	1.600	1.120	0.065
V	-	-	-	0.008	0.300	1.100	0.330	0.003
								0.343
12-may	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.092	0.030	0.010	0.044	0.700	2.250	1.575	0.069
II	0.070	0.064	0.012	0.049	1.000	1.500	1.500	0.073

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

III	0.080	0.082	0.012	0.058	0.800	1.600	1.280	0.074
IV	0.090	0.084	0.006	0.060	0.700	1.600	1.120	0.067
V	-	-	-	0.018	0.250	1.250	0.313	0.006
								0.289
18-may	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.010	0.016	0.018	0.015	1.000	2.350	2.350	0.034
II	0.060	0.030	0.016	0.035	1.150	1.550	1.783	0.063
III	0.014	0.096	0.058	0.056	1.050	1.650	1.733	0.097
IV	0.102	0.064	0.034	0.067	0.900	1.650	1.485	0.099
V	0.012	0.014	-	0.018	0.400	1.700	0.680	0.012
								0.306
26-may	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.120	0.012	0.020	0.051	0.850	2.250	1.913	0.097
II	0.040	0.152	0.008	0.067	1.000	1.500	1.500	0.100
III	0.100	0.200	0.026	0.109	0.700	1.600	1.120	0.122
IV	0.160	0.030	0.074	0.088	0.800	1.600	1.280	0.113
V	-	-	-	0.010	0.400	1.250	0.500	0.005
								0.436
Tabla 6 02-jun	CONTINUACIÓN velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.010	0.011	0.011	0.011	0.750	2.100	1.575	0.017
II	0.010	0.112	0.128	0.083	0.900	1.500	1.350	0.113
III	0.028	0.100	0.134	0.087	0.850	1.600	1.360	0.119
IV	0.098	0.108	0.012	0.073	0.750	1.600	1.200	0.087
V	-	-	-	0.012	0.400	1.100	0.440	0.005
								0.341
09-jun	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.008	0.074	0.036	0.039	0.700	2.100	1.470	0.058
II	0.014	0.096	0.088	0.066	0.850	1.500	1.275	0.084



**Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca  
Tzurumútaro de la Cuenca del lago de Pátzcuaro**

III	0.012	0.116	0.116	0.081	0.750	1.600	1.200	0.098
IV	0.070	0.054	0.082	0.069	0.650	1.600	1.040	0.071
V	-	-	-	0.010	0.300	1.100	0.330	0.003
								0.314
16-jun	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.056	0.088	0.010	0.051	0.770	2.100	1.617	0.083
II	0.094	0.096	0.014	0.068	0.850	1.500	1.275	0.087
III	0.086	0.112	0.010	0.069	0.760	1.600	1.216	0.084
IV	0.106	0.110	0.096	0.104	0.650	1.600	1.040	0.108
V	-	-	-	0.014	0.300	1.100	0.330	0.005
								0.367
04-ago	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.108	0.138	0.060	0.102	0.900	2.350	2.115	0.216
II	0.212	0.224	0.136	0.191	1.000	1.550	1.550	0.296
III	0.280	0.242	0.228	0.250	0.900	1.650	1.485	0.371
IV	0.250	0.264	0.272	0.262	0.900	1.650	1.485	0.389
V	0.146	0.100	-	0.014	0.450	1.700	0.765	0.011
								1.282
11-ago	velocidades (m/s)						área	CAUDAL
sección	a 20%	a 60%	a 80%	promedio	prof. (m)	ancho (m)	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s
I	0.054	0.104	0.056	0.071	0.8	2.100	1.680	0.120
II	0.102	0.114	0.140	0.119	0.95	1.500	1.425	0.169
III	0.194	0.168	0.178	0.180	0.8	1.600	1.280	0.230
IV	0.136	0.184	0.160	0.160	0.7	1.600	1.120	0.179
V	-	-	-	0.018	0.25	1.100	0.275	0.005
								0.703

Las variaciones que se observaron en las profundidades de cada sección (cuando hubieron) fueron aproximadamente entre 0.05 y 0.10 m, esto es en relación con la cantidad de sedimentos que el dren acarrea y que se depositan en el fondo del cauce alterando así las profundidades de las secciones en el punto de aforo. Debido a esto, se encontraron variaciones en las áreas de cada sección influyendo en los valores del gasto en el dren. Los meses que mayor caudal registraron fueron los meses de julio y septiembre.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Las mayores velocidades en el dren se registraron en la sección III a 60% de profundidad en la mayoría de las muestras, esto debido a que el flujo es obstruido por las orillas, además de que en muchas campañas de muestreo las hidrófitas ocupaban gran parte de las secciones IV y V, lo cual afectaron directamente en la velocidad del flujo para esas secciones, de tal manera que en la sección III se obtuvo el mayor gasto en la ma-

yoría de las campañas. El modelo de regresión binomial desarrollado en el presente estudio se complementa con un total de 23 fechas aunque el ajuste no es bueno por las numerosas fluctuaciones del gasto en el Dren ocasionadas por la constante remoción de hidrófitas y el dragado del mismo durante la época de estiaje. Una vez removidos los "outliers" de este periodo el modelo generado ajusta con una  $R^2 > 0.7$  (Figura 5).

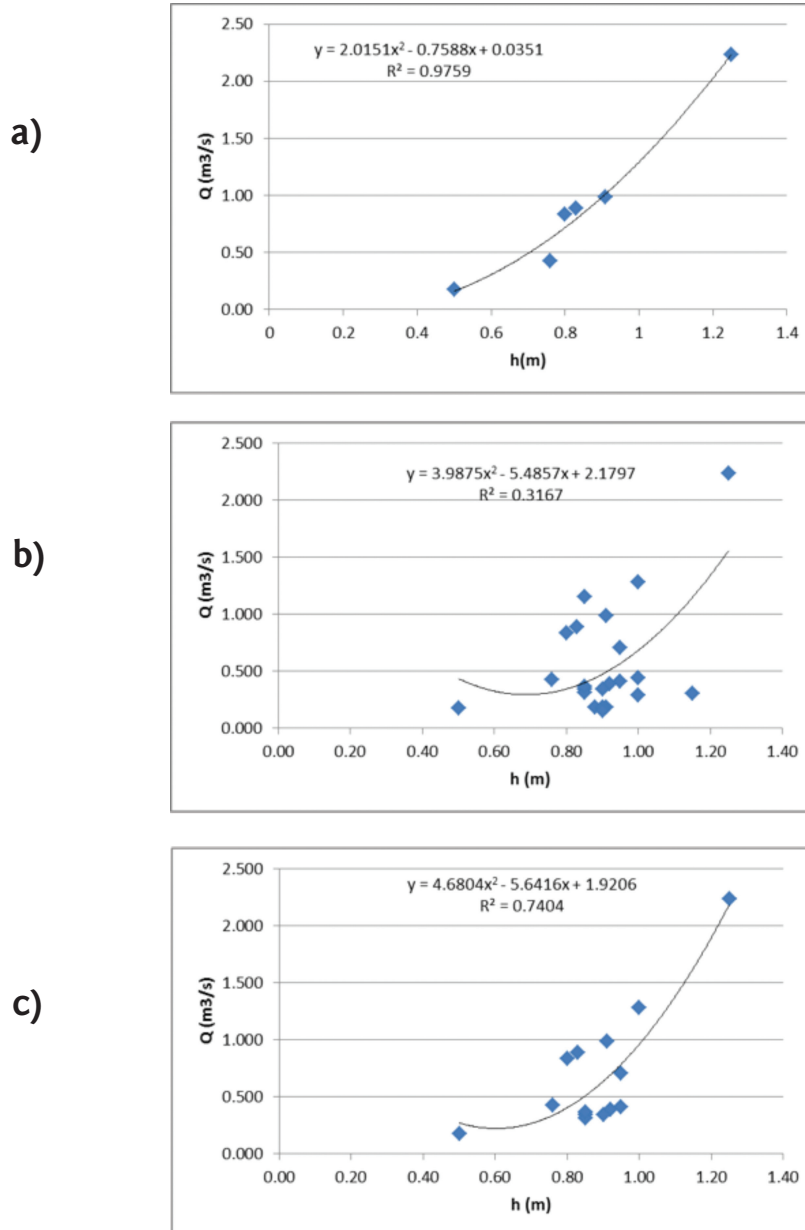


Figura 5. Modelos de ajuste de la relación altura del cauce ( $h$  en m) con caudal ( $Q$  en  $m^3/s$ ) en el dren Tzurumutaro. a) Con 6 datos de 2010. b) Con 23 datos de 2010-2011 incluyendo periodo de dragado y remoción de hidrófitas y c) Excluyendo 8 semanas del periodo de trabajos en el dren.

## Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaro de la Cuenca del lago de Pátzcuaro

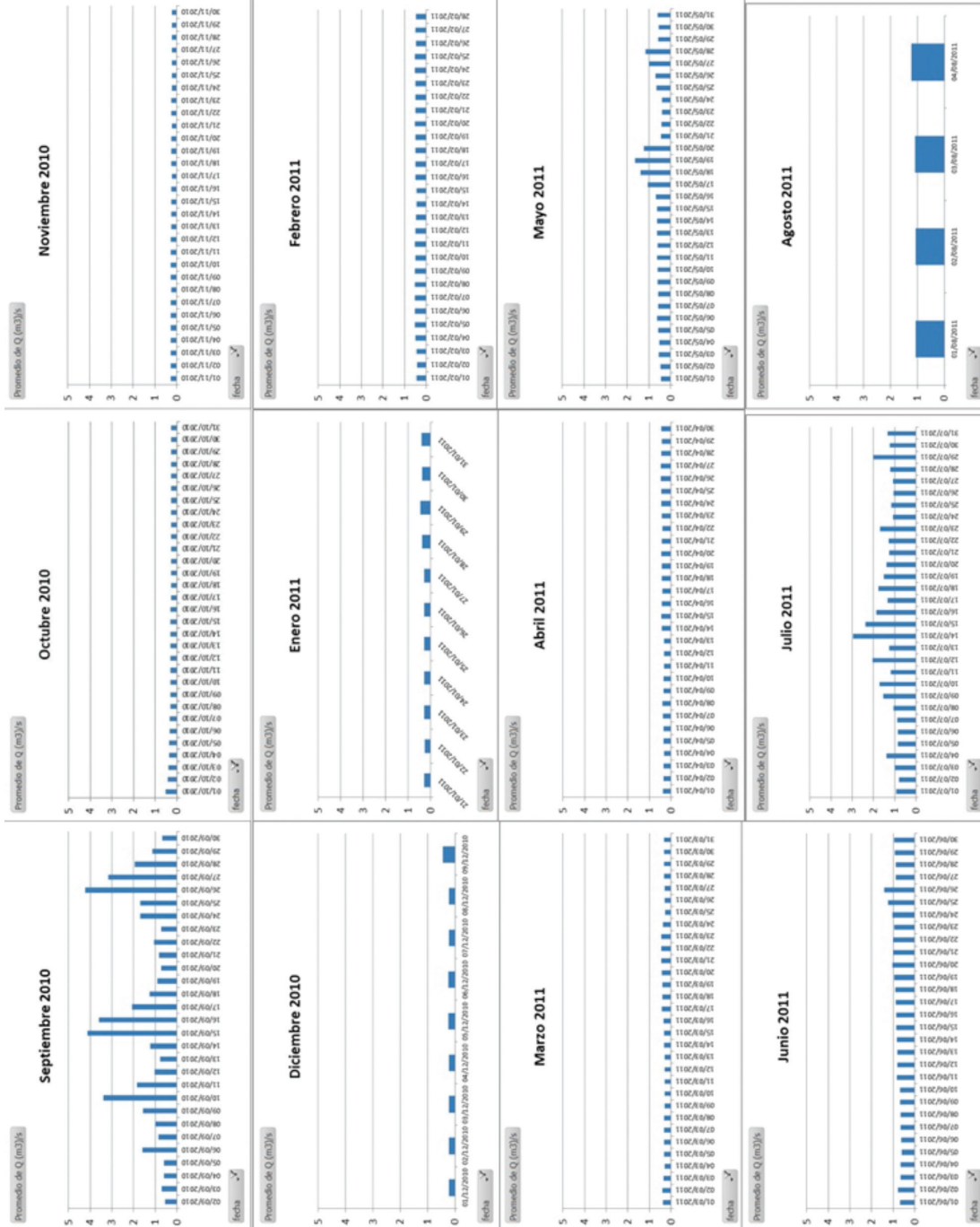


Figura 6. Promedios diarios de caudal registrados durante septiembre 2010-agosto 2011 en el dren Tzurumútaro.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Con este modelo se substituyen los valores de nivel registrados del 2 de septiembre de 2010 al 4 de agosto de 2011 con prácticamente 1 año continuo cuyas fluctuaciones mensuales se presentan en la Figura 6 y cuya suma acumulada en el periodo considerado de 295 días de registros asciende a 17.01 hm<sup>3</sup>.

### Régimen de Lluvias en la subcuenca.

Se realizó una distribución de la precipitación por polígonos de Thiessen con las estaciones: Buena Vista, Coenembo y Los Pozos que administra el IMTA en la cuenca de Pátzcuaro. Además se realizó la delimitación de la superficie proporcional cubierta por la influencia de las es-

taciones más cercanas. La Figura 7 muestra las respectivas áreas de influencia de cada estación en la subcuenca, mismas que no tienen un desnivel superior a 800m. Por otra parte, en la Tabla 7 se presentan los valores de superficie (ha) y de precipitación total ponderada (mm) para cada tessela en la subcuenca.

La estación Buena vista abarca la parte central de la subcuenca y tiene mayor influencia con el 63% de la superficie, en segundo lugar está la estación de Coenembo con el 28% del área influyendo en la parte norte y en tercer lugar la estación Los Pozos con tan solo el 9% de superficie del sur de la subcuenca.

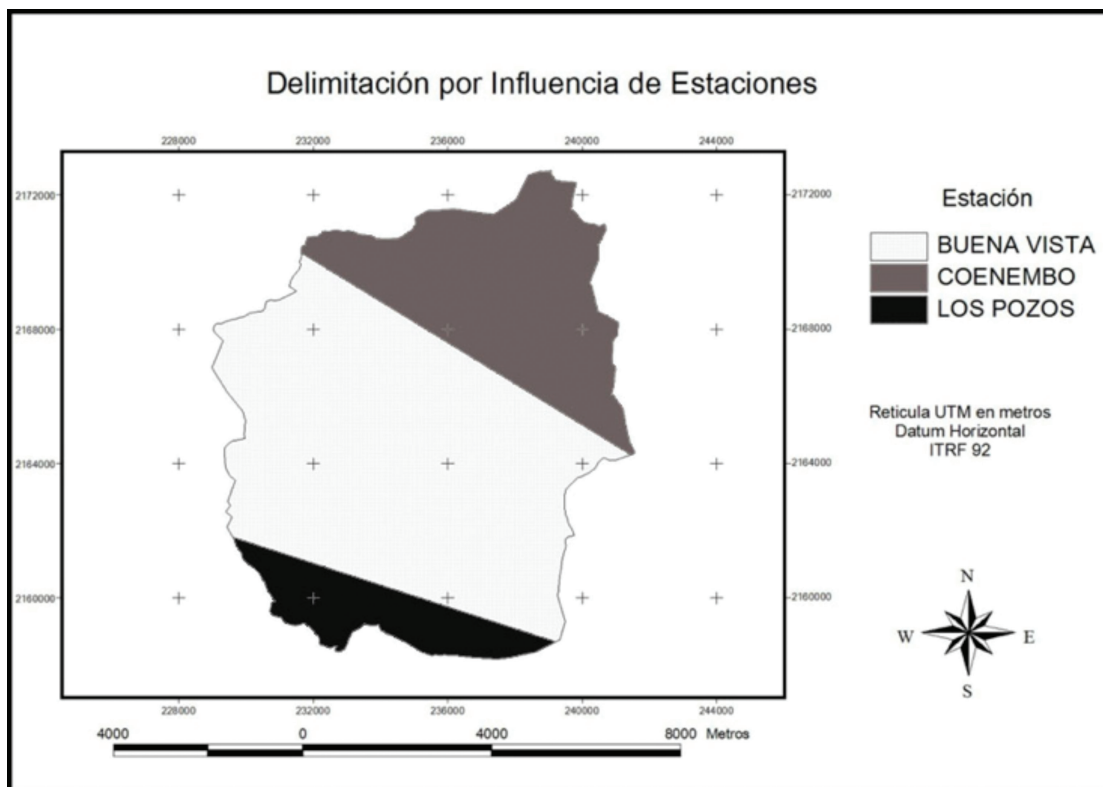


Figura 7. Área de influencia de los registros pluviométricos en la subcuenca de Tzurumútaró.

## Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaro de la Cuenca del lago de Pátzcuaro

Tabla 7. Superficie absoluta y relativa por tessela, además de la precipitación ponderada de cada pluviómetro en la subcuenca.

Pluviómetro	Sup. (ha)	PP (mm)
Buena vista	8,035.30	521.68
Coenembo	3,606.34	116.14
Los Pozos	1,282.75	60.63

De acuerdo con lo anterior, la precipitación total ponderada con registros de 3 pluviómetros para la subcuenca en el período del 1 de agosto de 2010 al 31 de julio del 2011 fue de 698.45 mm.

### Régimen de escurrimiento en la subcuenca.

Se obtuvo el valor del coeficiente de escurrimiento en función del tipo y uso de suelo conforme a la NOM-011 CNA 2000. Se consideró como tipo de suelo C que se caracteriza por ser casi impermeable, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas. Obteniendo los valores de  $k$  mencionados en la tabla 8.

Como en la subcuenca existen diferentes usos de suelo, el valor de  $k$  se obtuvo del promedio de cada uso y tipo de vegetación. En la tabla 8 se muestra que el uso agrícola ocupa mayor porcentaje de superficie además de tener el valor de  $k$  de 0.3; obteniendo así el valor ponderado de  $k$  más alto siendo de 0.1753. El valor mínimo de  $k$  ponderado es el representado por el forestal con apenas el 0.0018. En total se obtuvo un valor de  $k$  ponderado de 0.2898. De acuerdo a la NORMA oficial mexicana NOM-011-CNA-2000 se calculó el coeficiente de escurrimiento anual ( $C_e$ ). Sustituyendo los valores de  $k$  y precipitación resulta  $C_e = 0.15818$ .

Una vez obtenido el coeficiente de escurrimiento anual, se multiplica por la precipitación que se debe convertir en m, para este estudio se tienen una precipitación de 0.69 m, y por el área de la subcuenca convertidos en metros cuadrados. De acuerdo al método de la norma se obtuvo un total de 0.14 hm<sup>3</sup> anuales del periodo de muestreo comprendido del 1 de agosto de 2010 al 31 de julio del 2011.

Tabla 8. Valores de  $k$  ponderados para los distintos usos de suelo y vegetación.

USO DE SUELO Y VEGETACION	Fracción de superficie	K	K ponderada
AGRÍCOLA	0.58	0.30	0.1753
BOSQUE DE ENCINO	0.06	0.24	0.0149
BOSQUE DE ENCINO PERTURBADO	0.12	0.30	0.0373
BOSQUE DE PINO-ENCINO	0.06	0.24	0.0145
BOSQUE DE PINO-ENCINO PERTURBADO	0.01	0.30	0.0037
MATORRAL SUBTROPICAL PERTURBADO	0.01	0.28	0.0027
PASTIZAL INDUCIDO	0.13	0.28	0.0360
PLANTACION FORESTAL	0.01	0.26	0.0018
URBANO Y RESIDENCIAL	0.01	0.32	0.0036
Total:		2.52	0.2898

## Cálculo del escurrimiento por el método SCS

También se tuvieron en cuenta a las series de precipitación antes señaladas. Por otra parte,

la clasificación del mapa de uso de suelo y vegetación para la estimación del valor de Curva Numérica (CN) fue en base a lo señalado por Chow *et al.* (1994) referente a los valores de este parámetro para suelos del grupo hidrológico C. De acuerdo a la tabla 9 el valor de CN ponderada para los diferentes usos de suelo y vegetación en

Tabla 9. Valores de CN ponderados para el Uso de Suelo y Vegetación.

USO DE SUELO	CN	Ha	Fracción de superficie	CN ponderada
AGRICOLA	88	7549.47	0.58	51.40
BOSQUE DE ENCINO	70	802.36	0.06	4.34
BOSQUE DE ENCINO PERTURBADO	77	1608.05	0.12	9.58
BOSQUE DE PINO-ENCINO	70	779.94	0.06	4.22
BOSQUE DE PINO-ENCINO PERTURBADO	77	160.66	0.01	0.95
MATORRAL SUBTROPICAL PERTURBADO	77	126.24	0.01	0.75
PASTIZAL INDUCIDO	86	1660.06	0.13	11.04
PLANTACION FORESTAL	77	88.96	0.01	0.53
URBANO Y RESIDENCIAL	90	147.09	0.01	1.02

Tabla 10. Determinación de distintos parámetros temporales a partir de las características morfométricas de la subcuenca.

Parámetro	unidades	Valor	
A	(km <sup>2</sup> )	129.24	(*) Considerando una velocidad de 2.5m/s
L	(m)	16112	A.- Área en km <sup>2</sup>
L	(km)	16.11	L.-longitud del cauce principal en metros (con Rowe es en km)
V	(m/s)	2.5	v.-velocidad media del flujo en el cauce principal en m/s
S	(%)	0.05	S.-pendiente del cauce principal
H	(m)	820	H.- desnivel total en el sentido del flujo en metros
tc (gral)	hr	1.79	tc.-tiempos de concentración en horas o minutos como se especifica
tc (Kirpich)	hr	1.78	tr.- tiempo de recesión =
tc (Rowe)	hr	1.76	tp.- tiempo al pico del hidrograma =
tc	(hr)	1.78	tb.- tiempo base= 2.67tp
tc	(min)	106.89	
tr	(hr)	1.47	
tp	(hr)	2.36	
tb	(hr)	6.3	

## Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaró de la Cuenca del lago de Pátzcuaro

la subcuenca suman un total de 83.87.

Para la obtención del parámetro S se sustituye el valor obtenido de CN en la fórmula modificada por la Comisión Nacional Forestal (Cuevas *et al.* 2007). El valor que se obtuvo de S para el área de estudio es de 48.8380, este valor representa la capacidad de retención de la lámina de precipitación en la cuenca y se relaciona inversamente con el valor de curva numérica. De modo que cuando aumentan los valores de CN disminuirán los valores de retención S, siguiendo la recomendación de CONAFOR los valores de Pe fueron válidos cuando  $P > 9.761$ .

El parámetro S se emplea en el cálculo de Pe de manera directa conforme las ecuaciones ya mencionadas, los parámetros temporales que se obtienen con el método del hidrograma triangular que el SCS determina para obtener el tiempo al pico del escurrimiento y su magnitud en los eventos de precipitación en que  $P > 9.761$ . Se muestran en la tabla 10.

De acuerdo a todos los valores de los parámetros obtenidos en la subcuenca de Tzurumútaró mediante Curva Numérica y el hidrograma triangular se obtuvo un escurrimiento medio de  $0.17 \text{ hm}^3$  en el periodo de 1 de agosto de 2010 al 31 de julio del 2011.

## Discusión

Los métodos utilizados en este trabajo están basados en las características físicas de la cuenca (Suelos, Cobertura vegetal) y son útiles en la planeación y manejo de la cuenca, sobre todo en sitios donde la red de afloramientos hidrométricos es escasa (Mendoza 2002). Sin embargo, hay que buscar coeficientes de escurrimiento que tomen en cuenta más categorías de uso de suelo y vegetación para ajustar las estimaciones de escurrimiento en cuencas con diferentes tipos de uso y cobertura vegetal. Esto con la finalidad de

que permitan la construcción de modelos más eficientes.

Al interior de las cuencas la vegetación juega un papel fundamental, al mantener la calidad del agua, regular la cantidad y periodicidad de los cauces, mantener la estabilidad ambiental cuenca arriba-cuenca abajo, infiltrar agua para recargar los acuíferos, proteger al suelo, capturar CO<sub>2</sub>, controlar las inundaciones y ser refugio y proveedor de recursos para la fauna, por mencionar algunas de sus funciones más importantes (Matthews *et al.*, 2000; Revenga *et al.*, 1998 citado por Cotler 2011).

En cuanto a la influencia de la vegetación con la interceptación de la precipitación, al caer sobre la copa de los árboles, son interceptadas o retenidas por sus hojas y ramillas y en consecuencia parte de la precipitación no llega al suelo (TRAGSATEC 1994). Los factores que influyen en este proceso pueden destacarse: la especie vegetal y su edad, el tipo de vegetación y las circunstancias del ambiente (Toledo 2005).

Debido a que la precipitación es retenida por la vegetación reducen la intensidad con que llegan al suelo evitando así la erosión del suelo, además la cubierta de restos vegetales y húmicas, propias de la vegetación retrasan el punto de encharcamiento y por lo tanto el comienzo del flujo superficial.

En este trabajo se menciona que la subcuenca cuenta con más del 50% con uso agrícola, denotando la importante relación que tiene el tipo de suelo con el escurrimiento; ya que en ciertas partes de la subcuenca existen suelos con alta permeabilidad contribuyendo a la recarga de los acuíferos, que de otra forma se perdería por escurrimiento superficial, esto debido al cambio de la vegetación para su uso en la agricultura. La implementación del manejo integral de cuencas debe partir del supuesto de la cooperación y coordinación entre instituciones, implicando

el compromiso entre el gobierno y una sociedad organizada (Cotler 2011).

### Conclusiones

En la estimación del caudal en el dren Tzurumútaro y en general para el aforo de cualquier cauce que no cuente con estación hidrométrica, es importante comparar las estimaciones de los métodos indirectos. Los modelos de Curva Numérica y la NOM-011 son muy útiles cuando no se cuentan con datos de aforos en las cuencas. Ofrecen una estimación de la condición hidrológica de la cuenca y manifiestan su importancia cuando se les compara con los resultados obtenidos del aforo.

Los métodos utilizados en este trabajo se centran en los porcentajes que ocupan en las categorías del uso del suelo y la vegetación dentro de la subcuenca, sin embargo juegan un papel muy importante los cultivos. Los modelos aplicados en este trabajo no consideran las tasas de evapotranspiración diferenciado para cada cultivo.

Para el periodo de 1 de agosto de 2010 al 31 de julio del 2011 la suma ponderada de precipitación en los 3 pluviómetros disponibles ascendió a 698.45 mm. Con lo que se resolvió el modelo de la NOM-011 en un escurrimiento total anual (Q total) de 0.14279 hm<sup>3</sup>, lo que resulta en una diferencia de 0.03 hm<sup>3</sup> conforme al método realizado para cada tormenta y su hidrograma triangular que en total asciende a un escurrimiento Q total= 0.17 hm<sup>3</sup>. Estas diferencias se deben a que estos métodos manejan distintos valores para la clasificación de los usos de suelo y vegetación. Sin embargo, se aprecia una mayor diferencia al comparar los resultados de estos dos métodos con los datos de campo. Las observaciones y estimaciones a partir del sensor de nivel muestran estimación que asciende a 17

hm<sup>3</sup>. Lo anterior debido a que en los métodos indirectos utilizados (NOM-011 y CN) no toman en cuenta la existencia de flujos basales que provienen del gasto de los manantiales existentes en la subcuenca de Tzurumútaro. De acuerdo al escurrimiento medido en el dren se tiene que el escurrimiento anual equivale al 98.67% que es básicamente por los flujos basales de los manantiales que existen en la subcuenca de Tzurumútaro y el resto 1.33% es el correspondiente al flujo superficial.

En la subcuenca de Tzurumútaro es muy importante que se atiendan los distintos esquemas para mejorar las prácticas y manejo de sus recursos hidrológicos, ya que es una de las subcuencas más extensas que derivan sus aguas al Lago de Pátzcuaro y en importantes procesos de erosión y cambio de uso de suelo y vegetación que afecta directamente los coeficientes de escurrimiento superficial. Si bien un incremento en el escurrimiento superficial beneficiaría al mantenimiento del nivel de agua en el lago de Pátzcuaro también es muy probable que dicho incremento eleve el arrastre de sedimentos a dicho cuerpo de agua.

### Referencias

- Amador, A. 2000. Simulación dinámica del impacto ambiental por actividades agrícolas en la cuenca de Pátzcuaro, en Michoacán. Tesis Maestría en conservación y manejo de recursos naturales. Facultad de Biología. UMSNH. Morelia, Michoacán. 110 pp.
- Amador, A. 2009. Estructura de la Vegetación y Unidades de Respuesta Hidrológica, en un enfoque para el modelamiento ambiental de cuencas en Michoacán. Tesis Doctoral. UAQ. 226 pp.
- Campos-Aranda D.F. 1992. Procesos del ciclo hidrológico. Segunda reimpresión. UASL. México.



## Estimación del escurrimiento superficial en la subcuenca Tzurumútaru de la Cuenca del lago de Pátzcuaro

- Carabias, J, R. Landa, J. Collado y P. Martínez. 2005. Agua, Medio Ambiente y Sociedad. UNAM. México. 219 pp.
- Chow, V. T., D.R. Maidment y L. W. Mays. 1994. Hidrología aplicada. McGraw-Hill- Interamericana. Bogotá, Colombia. 584 pp.
- Cisneros-Iturbe, H.L., Pelczer, I.J. & Stevning, H. 2007. Performance comparison of three models for runoff in a rural basin. *Hydraulic engineering in Mexico* (in Spanish), vo. XXII, no. 1 January-March, pp. 31-45.
- CONAGUA. 2008. Programa nacional Hídrico 2007-2012. Edición 2008. México. 158 pp.
- CONAGUA. 2011a. Agenda del agua 2030. Edición 2011. México. 66 pp.
- CONAGUA. 2011b. Estadísticas del agua en México. Edición 2011. Agua en el mundo: 114 - 126.
- Córdova A. M. 2010. Priorización de áreas para recuperar la función hidrológica de la subcuenca Támula- Picachos, Guanajuato. Tesis Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Querétaro, Querétaro. 210 pp.
- Cotler, A, H. 2011. Las cuencas hidrográficas de México diagnóstico y priorización. 1ª. Edición. México. 232 pp.
- Cuevas F.L., Tejada S.D., García C.J.S., Guerrero H.J.A., González O.J.C y H. Hernández M. 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras prácticas. CONAFOR-SEMARNAT. México. 296 pp.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. Quinta edición. México, D.F. 220 pp.
- Haan, C.T. 1972. A water yield model for small watersheds. *Water Resources Research*. Vol. 8, núm.1: 58-69.
- Hartanto, H., Prabhu, R., Anggoro, S.E., Asdak, C. Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. *Forest Ecology and Management* 180: 361-374.
- IMTA 1999. Instructivo para aforo con molinete. 2ª. Edición. IMTA-SEMARNAP. 59 pp.
- IMTA 2002. Estimación del impacto de las descargas del Dren Tzurumútaru en el Lago de Pátzcuaro y alternativas de tratamiento. 215 pp.
- INEGI, 2010. Subcuenca Hidrográfica. L. Pátzcuaro RH12Ga, escala 1:50, 000.
- Jacobo, V. M., Saborío F. E. 2004. La gestión del agua en México: los retos para el desarrollo sustentable. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 375 pp.
- Karnoven, T., Koivusalo, H., Jauhainen, M., Palko, J., Wepling, K. 1999. A hydrological model for predicting runoff from different land use areas. *Journal of Hydrology* 217: 253-265.
- Llanas, J. 2006. Aplicación del modelo determinístico de la Universidad de Kentucky (1972) para estimación del volumen escurrido mensual. Tesis desarrollada para obtener la Maestría en Hidrosistemas. San Luis Potosí, 66 pp.
- López, C. de Ll. F. 1994. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. 902 pp.
- Lørup et al. 1998. Assessing the effect of land use change on catchment runoff by combined use of statistical test and hydrological modeling: case studies from Zimbabwe. *Journal of hydrology* 205: 147-163.
- Maidment, D.R. 1993. GIS and hydrologic modeling. In: Goodchild, M.F.; B.O. Parks and L T. Steyaert (eds.) *Environmental Modeling with GIS*. Oxford University Press: 147-167.
- Mendoza, C. M. E., G. Bocco y M. Bravo 2002. Spatial prediction in hydrology: status and implications in the estimation of hydrological processes for applied research. *Progress in Physical Geography* 26(3).
- Norma oficial Mexicana NOM-ECOL-001-1996. Diario Oficial de la Federación. Miércoles 17 de abril de 2002.
- Pizarro R., Maraboli, F., Flores, J. e Icaza, M.G. 2003. Evaluación de tres fórmulas precipitación-escorrentía en la cuenca del río Achibueno, Chile. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. XVIII, núm. 3: 95-104.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

- Sánchez, M. R. I. 2006. Evaluación de tierras en el predio denominado "Estribo Chico" de Pátzcuaro Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. 81 pp.
- Toledo, A. 2006. Agua, hombre y paisaje. Instituto Nacional de Ecología. 259 pp.
- TRAGSATEC, 1994. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Madrid. 902 pp.
- Zirlewagen, D. and Wilpert, V.K. 2001. Modeling water and ion fluxes in a highly structured, mixed-species stand. *Forest Ecology and Management* 143: 27-37.
- [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios\\_veg/doctos/cambiosmichoacan.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios_veg/doctos/cambiosmichoacan.html). Consultado el 14/02/2012.
- [http://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/SIATL/#](http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/#). Consultado el 13/01/2012.





# Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

Alfredo Amador García<sup>1</sup>, Rubén I. Huerto Delgadillo<sup>2</sup> y Álvaro San Agustín José<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Biología  
amador.umich@gmail.com

<sup>2</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

<sup>3</sup>Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Facultad de Biología

## Resumen

Durante 2010 y 2011 se realizó la medición del aporte de carga de sedimentos en suspensión que llegan al Lago de Pátzcuaro en el flujo permanente del dren Tzurumútaro. Se obtuvieron varios parámetros morfométricos de la subcuenca ya que se sabe que la cantidad de sedimentos removidos por el agua de lluvia está relacionada con el uso y condición actual del suelo. También se obtuvieron muestras de sedimentos en suspensión y se asociaron a la estimación de caudal.

Adicionalmente, se representaron espacialmente los factores que incluye la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), analizando también la tendencia climática con información del SMN de la CONAGUA. Los valores de carga de sedimentos en el dren ascienden a  $1.2 \text{ gl}^{-1}$  en periodo de estiaje asociado a trabajos de dragado y  $0.3 \text{ gl}^{-1}$  también en condiciones estiaje aunque sin el efecto del dragado. El valor mínimo registrado es de  $0.1 \text{ gl}^{-1}$  para las condiciones de menor

caudal en el dren y el máximo de  $23.14 \text{ gl}^{-1}$  para caudales superiores a  $2.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Se reportan valores promedios diarios para septiembre de 2010 de 20 ton de carga de sedimentos en suspensión en el dren. En la subcuenca, el promedio anual de pérdida de suelo estimado con la EUPS mostró valores máximos de aproximadamente  $8 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , estos se presentan en las porciones centro, SE, NE y una pequeña porción en el NW de la subcuenca y el valor mínimo de aproximadamente  $1 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , distribuidos en las áreas con vegetación mejor conservadas. Una vez que las partículas de suelo son desprendidas y alcanzan los canalillos se convierten en sedimentos en suspensión o arrastre. Ante eventuales incrementos en la intensidad de los eventos de precipitación, las repercusiones de este tipo de fenómenos en la cuenca se manifiesta en alteraciones tanto en la parte alta de la cuenca donde se pierde este recurso por diferentes acciones, como en la parte media y baja donde se depositan forman parte primero de los campos

agrícolas y eventualmente del mismo lago. Por consiguiente también juega un papel importante en las interacciones de flora y fauna acuática.

### Introducción

Durante las décadas de los años setenta a ochenta, la estimación de la aportación de sedimentos estuvo basada en métodos eminentemente empíricos, gráficas, nomogramas y tablas principalmente. A partir de los años noventa su estimación ha ido cambiando hacia un uso más frecuente de la información disponible sobre muestreo de sedimentos en suspensión y reportes de batimetrías en embalses y cuerpos de agua. Lo anterior debido a una mejor difusión de la información, a la disponibilidad de mayores registros y al uso de la técnica hidrológica del análisis regional de información. De manera aproximada el transporte de sólidos en suspensión corresponde a una porción importante de la llamada erosión total, principalmente laminar, en canalillos y algunas veces en cárcavas, cuando el perfil del suelo no incluye gravas o boleas; por ello algunas veces se relaciona el volumen escurrido con la llamada erosión o transporte de sólidos en suspensión (Campos 2010).

La degradación de los suelos, deforestación, incendios forestales, desertificación, pérdida de la biodiversidad, contaminación del suelo, aire y agua, cambio climático, incremento en el nivel del mar, y reducción de la capa de ozono, son ejemplos de degradación ambiental (Escalante 2005). El suelo es una de las riquezas naturales más importantes y explotadas. Su uso inadecuado puede provocar su pérdida irreparable en tan solo algunos años (Bravo *et al.* 2009). Entre los principales factores de su deterioro se encuentra a la intensidad de la lluvia y el escurrimiento superficial que son los agentes responsables del desprendimiento y movimiento de las partículas de suelo sobre la superficie terrestre. Estas

partículas de suelo constituyen los sedimentos (Ponce 1989).

El estudio de los sedimentos dentro del ciclo hidrológico puede dividirse en tres procesos: (1) producción, (2) transporte, y (3) deposición. Las fuentes de sedimento generalmente son las partes altas de la cuenca que forman el parteaguas (Ponce *op. cit.*). Por lo tanto el riesgo de erosión por acción del agua es máximo en condición de lluvias intensas, con el suelo saturado y escasa cubierta vegetal, esto favorece el movimiento del agua en la superficie del suelo. El escurrimiento superficial contribuye a eliminar cantidades importantes de suelo. De este modo, la erosión provocada por la acción directa del agua es llamada comúnmente erosión hídrica (Becerra 1994). Dicho proceso está asociado con la acción de dos tipos de fuerzas: hidráulicas y de resistencia. Las primeras disgregan y remueven las partículas y las transportan por los cauces, y las segundas, de naturaleza electroquímica impiden de alguna manera su desprendimiento (Chow *et al.* 1994). Adicionalmente, otro mecanismo que contribuye a la erosión hídrica es la formación del sello superficial al momento en que el suelo se expone a la acción del impacto de las gotas de la lluvia (Orts *et al.* 2000 y Yu *et al.* 2003).

Un cierto porcentaje del material removido por erosión llegará al sistema de drenaje de la cuenca, por medio del cual será transportado y alcanzará la salida. Ello establece una relación entre la erosión en una cuenca y los sedimentos en sus cauces (Brooks *et al.* 1991). Los sedimentos, además de representar problemas de azolve para los embalses naturales y artificiales, también pueden depositarse sobre los cauces, causando la elevación del fondo de los ríos, generar inestabilidad y riesgo de inundaciones (Kramer *et al.* 1997). Así, la dinámica de producción y transporte de sedimentos en una cuenca puede afectar el desarrollo de los organismos e impactar las economías locales de los pescados.

## Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

res (Stott y Mount 2004). A veces los sedimentos actúan como un contaminante que reduce la penetración de luz. Sin embargo un aspecto más dañino del movimiento de sedimentos es su habilidad para transportar otros contaminantes, principalmente fertilizantes, herbicidas y pesticidas usados en tierras agrícolas (Leytham y Johanson 1979).

El transporte de sedimentos en ríos y canales cobra cada día mayor importancia en la planeación, diseño y funcionamiento de proyectos de gestión de agua. Desde su consideración como dato hidrológico, su necesidad como dato técnico, hasta su relación con el medio ambiente y el ámbito científico, esta variable va tomando mayor relevancia. El transporte de sedimentos en un río se clasifica según Martín-Vide (2002), atendiendo dos criterios: uno el modo de transporte y otro el origen del material. Según el modo de transporte, el

sedimento puede ser transportado en suspensión, sostenido por la turbulencia o bien carga de fondo, por rodado, salto y deslizamiento de materiales (Monsalve 1999).

Así también, la medición de sedimentos en suspensión en ríos y canales, tiene un alto valor para la gestión de los recursos hídricos, tal como lo demuestra la necesidad de esta información para operar y manejar sistemas hidroeléctricos, de riego, de navegación, para la protección contra inundaciones, protección ambiental, abastecimiento de agua potable, etc.

Deben considerarse como fuentes potenciales de generación de sedimentos, la geología y morfología de la cuenca y establecerse redes de medición del transporte de sedimentos, así como para la elección apropiada de instrumentos y estrategias de medición; siendo que, estos aspectos son fundamentales para lograr un en-



tendimiento fluvio-geomorfológico de los ríos (Rivera *et al.* 2005).

El Lago de Pátzcuaro, localizado en el Estado de Michoacán a 2,035 m s.n.m. es uno de los cuerpos de agua de mayor importancia en México. Su localización geográfica, su fauna ictiológica nativa y la presencia de asentamientos humanos Purépechas en sus riberas desde hace más de 30 siglos lo identifican como un patrimonio nacional de valor histórico, ecológico, social y cultural (Chacón 1993). El desarrollo del presente trabajo se enmarca dentro del Programa de Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, conducido por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. La presente contribución se desarrolló con el objetivo de contribuir al conocimiento de la carga de sedimentos en suspensión que llegan al lago a través del dren Tzurumútaro en el estado de Michoacán. Dicho dren es una corriente perenne, que por el gasto que tiene y por las actividades agrícolas que se desarrollan dentro de la subcuenca, lo convierte en la corriente más importante por el aporte de sedimentos derivadas de las extensas prácticas agrícolas y de los escurrimientos superficiales. Los resultados obtenidos del presente trabajo pretenden contribuir a la planeación e implementación de alternativas para mejorar las condiciones actuales en las que se encuentra la subcuenca y entre las que destacan obras de conservación de suelo para reducir el impacto ambiental y disminuir la carga de sedimentos, la erosión del suelo, y mejorar la calidad del agua, que son elementos importantes para la conservación del lago y de las especies de flora y fauna nativa.

### Marco teórico y antecedentes

Desafortunadamente, todos los ríos y cauces perennes e intermitentes del mundo no aportan

únicamente agua sino que también transportan sedimentos, es decir, materiales que han sido erosionados aguas arriba en su cuenca o cauce y por ello, puede afirmarse que todo embalse natural o artificial grande o pequeño, para abastecimiento de agua o para control de crecientes, estará sujeto a un cierto grado de acumulación de sedimentos, de manera que aunque el proceso tome mucho tiempo, todo embalse llegará a ser llenado por los sedimentos, cuando no se adopten medidas para preservar su funcionamiento (Campos 2007). Monsalve (1999) señala que la discusión sobre la determinación o cálculo de sedimentos en corrientes de agua sigue siendo un tema abierto a la investigación, pues existe variabilidad en la predicción de los distintos modelos. No obstante ello, se admite una estrecha relación con el caudal o flujo que se presente en el cauce. De hecho lo recomendado por este y otros autores (Brooks *et al.* 1991, Ward y Trimble 2004 y Wanielista *et al.* 1997) es tener las medidas observadas de caudal y de sedimentos a distintas alturas del cauce.

Para medir carga en suspensión Hudson (1997) y Monsalve (1999) sugieren muestrear cinco porciones a lo ancho del cauce, adquiriendo alícuotas homogéneas de todo lo profundo del mismo con un dispositivo estándar denominado "muestreador integrado de profundidad". Alternativamente plantean entre otras múltiples posibilidades, la de obtener mediante una torre las muestras de las 5 porciones de la sección transversal, lo cual posibilita un reconocimiento del movimiento de sedimentos en las tres dimensiones del cauce. Por otro lado, y entre otros métodos para estimar la *carga de fondo*, dichos autores sugieren una estimación empírica de la concentración del sedimento en suspensión (en partes por millón por ejemplo) a partir del modelo de Einstein (1950, citado por Monsalve 1999), que considera el material del lecho del cauce y la textura de los elementos en suspensión.



## Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

Por otra parte, Maza (2005) señala la importancia de relacionar la velocidad de flujo o caudal con el transporte de sedimentos por el cauce. Indica que la velocidad media crítica es definida como la que produce el movimiento de las partículas y la mitad de dicha velocidad es la velocidad media de inicio de erosión. Estos conceptos repercuten directamente en la medición del fenómeno de transporte de sedimentos por los distintos procesos de suspensión, turbulencia, rodado, salto y deslizamiento de las partículas. Rivera *et al.* (2005) precisan los aspectos de medición de sedimentos en México; afirman que dado que no existen programas exclusivos para medirlos, los procedimientos de toma de muestras y determinación de gastos de sólidos, pueden ir desde los muy simples hasta los muy complejos, derivando en muchos casos en errores significativos. Estos autores señalan que los datos de sedimentos proporcionan información sobre el comportamiento fluvial y sedimentológico de los ríos, los cuales, además de atender a los aspectos hidráulicos sirven también para explicar la evolución y los cambios de condiciones de los ríos, lo que puede aplicarse en acciones de aprovechamiento del caudal, balances de cargas de sedimentos, estabilización de los cauces y muchos otros temas relacionados con los ambientes asociados a los ríos.

Camargo y Franco (2005), destacan la importancia de aforar y medir caudales ya que estos permiten encontrar relaciones con las cargas de sedimentos así como en general establecer relaciones de este con la calidad del agua. Señalan de manera particular las características de los muestreadores de sedimentos tanto integrales (de punto o de profundidad) como por arrastre de fondo (desarenadores, canastas y paneles así como vertedores para muestreo de canales con flujo turbulento). Por su parte Quintanilla *et al.* (2005) subrayan que así como el caudal adquiere un pico posterior a la ocurrencia de las tormentas, asimismo la concentración de sedimentos en suspensión puede coincidir o preceder o in-

cluso suceder a los picos de descargas, lo que se conoce como histéresis. Enfatizan la importancia de medir velocidad puntual en la sección transversal de los cauces ya que la velocidad del flujo de sedimentos se relaciona con la profundidad, la velocidad y el diámetro de las partículas que son arrastradas en el fondo y en suspensión. Sugiere el uso de formatos para adquisición de información en campo y recomiendan el uso de dispositivos de muestreo.

De acuerdo con Brooks *et al.* (1991), la erosión del suelo es un proceso natural de suavización o nivelación de la superficie de la tierra, en el que las partículas del suelo son removidas y transportadas desde las partes más altas de las laderas y después depositadas en las partes más bajas por la acción de diversos agentes como el agua de lluvia y el viento.

Después de un largo período de investigaciones para predecir la magnitud local de este fenómeno e identificar las variables más importantes que influyen en el mismo, se llegó al desarrollo de la bien conocida Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS o USLE por sus siglas del inglés: Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier y Smith 1978), la cual cuantifica la erosión a través de seis factores. La modificación a la EUPS, (MUSLE, por sus siglas del inglés Modified Universal Soil Loss Equation) que presentó Williams (1975), se aplica a tormentas individuales y se substituye el factor de erosividad de la lluvia por un factor de escurrimiento. Algunas características morfométricas de las cuencas permiten determinar su estado actual, principalmente sus características hidrológicas y sus rasgos propios de la superficie terrestre; pueden predecir la respuesta de la cuenca a eventos fluviales (Campos 1992).

Gómez-Tagle (1994) reconoció tres niveles de erosión para la cuenca de Pátzcuaro, se basó en la presencia o ausencia de horizontes diagnóstico de los suelos, y usó lotes de escurrimiento (2 x 20 m) y estacas en áreas agrícolas.

Clasificó como de nivel 1 aquellos que presentan horizonte A, B, y C característicos de la erosión laminar; los de nivel 2 a los que carecen de horizonte A, que son típicos de la erosión laminar intensa; y a los de nivel 3, carentes de horizonte A y B con presencia de canalillos, cárcavas y abarancamientos.

Amador (2000), realizó un estudio detallado de la cuenca de Pátzcuaro tomando como base los Sistemas de información Geográfica (SIG), utilizó datos de parcelas de escurrimiento con labranza convencional y labranza cero, y la información de 49 levantamientos edafológicos; para calibrar y correr el modelo de simulación EPIC, el cual predice la pérdida de suelo en cada una de las formas de cultivos. La labranza convencional contribuyó con un 10% de la escorrentía superficial cargada de sedimentos que influyen en la disminución del espejo del lago de Pátzcuaro.

Santos (2008), analizó en lotes de escurrimiento 24.5 x 2 m en la cuenca de Pátzcuaro, los efectos del uso agrícola y los residuos de cosechas sobre la erosión y el escurrimiento superficial. Encontró que el suelo en descanso presenta un valor más bajo en pérdida de suelo ( $4.19 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), con relación al testigo que es un suelo desnudo en constante laboreo ( $96.73 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ).

## Objetivos

- Estimar el aporte o carga de sedimentos en suspensión que llegan al Lago de Pátzcuaro por el dren Tzurumútaru.
- Obtener datos morfométricos de la subcuenca de Tzurumútaru.
- Medir temporalmente el caudal y la carga de sedimentos en suspensión en una sección transversal del dren Tzurumútaru.
- Caracterizar espacialmente los parámetros de la ecuación universal de la pérdida de suelo (EUPS) del área de estudio, identificando las zonas más susceptibles por emisión de sedimentos.

## Materiales y métodos

### Aspectos morfométricos de la subcuenca

Área de la subcuenca. El área es uno de los factores morfométricos más importantes, tiene una relación 1:1 con el gasto, por lo tanto puede usarse para predecir el gasto medio de la cuenca.

Tasa de bifurcación. Tomando en cuenta que la relación de bifurcación es una propiedad adimensional y que los sistemas de drenaje en materiales homogéneos tienden a mostrar similitud geométrica, no es sorprendente que muestre pequeñas variaciones de una región a otra.

Tasa de elongación. Schumm, 1963 (citado por Campos, 1992) lo define como el cociente adimensional entre el diámetro de un círculo de igual área de la cuenca y la longitud de la misma. El cociente anterior varía entre 0.60 y 1.00 para una amplia variedad de climas y geologías, además que está relacionado fuertemente con el relieve de la cuenca, de manera que valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo y donde presenta valores de 0.60 a 0.80 está asociado a relieves fuerte y pendientes pronunciadas del terreno.

Factor o índice de forma. Horton (1945) sugirió un factor adimensional para el índice de forma. A medida que el área aumenta, su relación  $A/L^2$  disminuye, lo cual indica una tendencia al alargamiento en cuencas grandes. La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de caudales

## Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

máximos, por lo que se han hecho numerosos esfuerzos para tratar de cuantificar este efecto por medio de un valor numérico, además de que determina las descargas de agua a lo largo del cauce principal y es en gran parte el responsable de las características de las corrientes que se presentan en la cuenca.

**Coefficiente de compacidad.** Definido por Gravelius, como el cociente adimensional entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia de un círculo con área igual al tamaño de la cuenca; el coeficiente de compacidad tendrá como límite inferior la unidad, indicando entonces que la cuenca es circular y conforme su valor crece indicará una mayor distorsión en su forma, es decir, que la cuenca se vuelve más alargada o asimétrica (Campos, 1992).

**Parámetros de textura de la cuenca.** La textura de una cuenca está determinada por la complejidad, número y longitud de red de drenaje dentro de la cuenca. La red de drenaje de una cuenca se refiere al sistema por el que fluyen escurri-

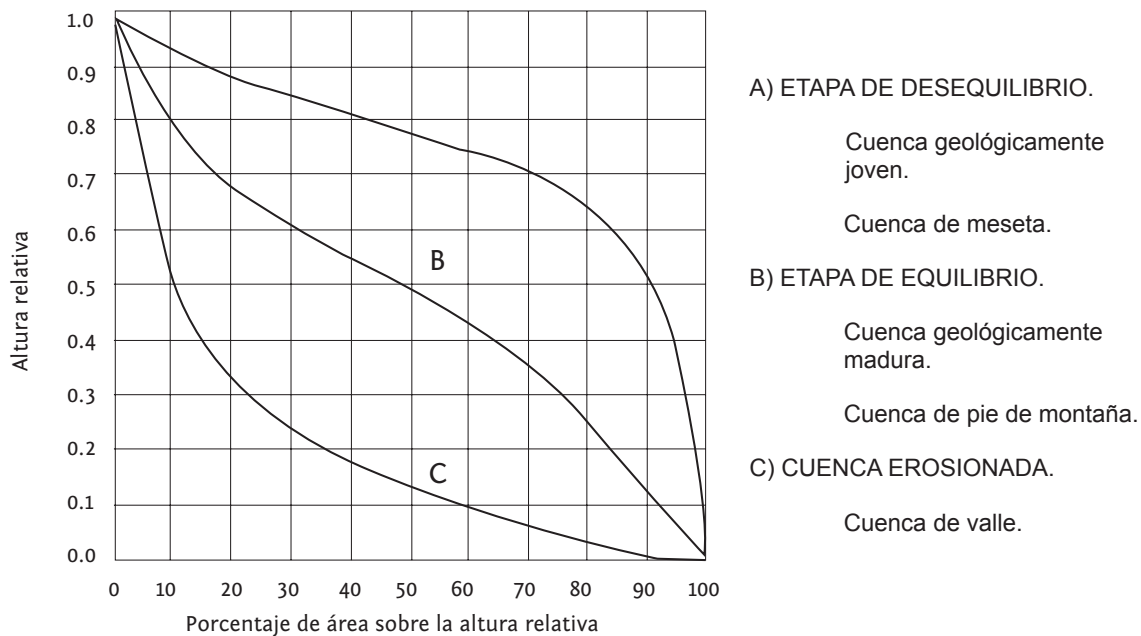
mientos superficiales, sub-superficiales y subterráneos, de manera temporal o permanente. Su importancia se manifiesta por sus efectos en la formación y rapidez de drenado de los escurrimientos normales y extraordinarios, además de proporcionar indicios de la condición física del suelo y la superficie de la cuenca.

**Densidad de corrientes y drenaje.** Campos, (1992) presenta en detalle la relación entre la densidad de corriente y la densidad de drenaje y encontró que ambas son medidas de la magnitud de la red de drenaje, pero que cada una trata de aspectos diferentes. Valores bajos de Densidad de drenaje generalmente están asociados con regiones de alta resistencia a la erosión, muy permeables y de bajo relieve. Valores altos, fundamentalmente son encontrados en regiones de suelos impermeables, con poca vegetación y de relieve montañoso.

**Máximo desnivel.** Este parámetro se refiere a la diferencia entre el punto más alto y la desembocadura.

Figura 1. Curvas hipsométricas características del ciclo erosivo y del tipo de cuenca.

Modificado de Campos (1992)



## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Orden del cauce. Es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca. Horton (1945) clasificó las corrientes de las siguiente forma; orden 1 a las más pequeñas, sin ramificaciones, orden 2 a las que tienen tributarios de orden 1, de orden 3 a aquellas que tienen tributarios de orden 2 o menor. El orden de la corriente principal será un indicador de la magnitud de la ramificación y de la extensión de la red de drenaje dentro de la cuenca.

Pendiente del cauce principal. Dicho parámetro se relaciona con las características hidráulicas de escurrimiento, en particular con la velocidad de propagación de las ondas de avenida y con la capacidad para el transporte de sedimentos.

Curva hipsométrica. La topografía o relieve de una cuenca puede tener más influencia sobre su respuesta hidrológica que la forma de la misma. La curva hipsométrica es una representación gráfica de las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes. Además de permitir calcular la elevación media de la cuenca, tiene propósitos de comparación (Figura 1).

La curva hipsométrica se construye determinando con un planímetro el área entre curvas de nivel y representando en una gráfica el área

acumulada por encima o por debajo de una cierta elevación, en función de tal cota. Con el uso de un SIG (ArcView 3.2), el vector del área y el Modelo de Elevación de Terreno se aplicó la extensión DetermHydro y se obtuvo dicha curva.

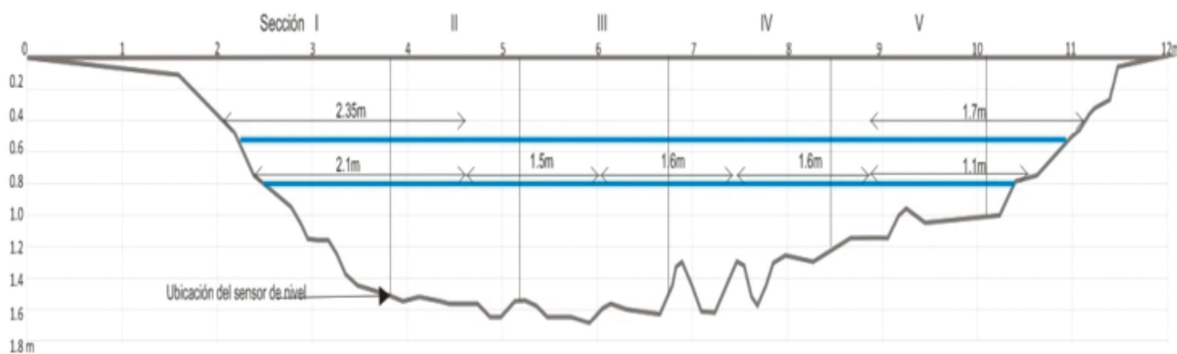
Tiempo de concentración. Este parámetro se refiere al tiempo que tarda el agua en su recorrido entre dos puntos determinados, los cuales son el extremo superior de la cuenca y el punto donde se mide el gasto, o lo que es lo mismo de la parte más alta de la cuenca hasta la desembocadura de la misma.

### Obtención de la sección transversal, velocidad del flujo y muestreo de sedimentos en suspensión

El punto que fue seleccionado para levantar la sección transversal tiene las coordenadas: 229,356 mE y 2,164,387 mN UTM (Universal Transversa de Mercator, Región E14) este punto fue seleccionado por que es donde convergen todas las corrientes que existen dentro de la subcuenca del Tzurumútaru y que además es una corriente perenne.

La sección transversal se levantó de la siguiente forma: del lado izquierdo se fijó un punto, al

Figura 2. Sección transversal del dren Tzurumútaru en el punto de inserción del sensor de nivel y secciones muestreadas con sus respectivos anchos y profundidades



## Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

igual que del lado derecho tomando en cuenta la avenida máxima, seguido de la colocación de una cinta métrica de lado a lado. El siguiente paso fue medir cada 20 centímetros la profundidad del cauce empezando del lado izquierdo (en el sentido del flujo) desde el centímetro cero a lo ancho del cauce con una baliza graduada. Se tomó en cuenta el punto donde empezaba y terminaba el espejo de agua y por último el ancho total de la sección transversal. Se capturó toda la información para su posterior procesamiento (Figura 2).

La toma de velocidad de la corriente se obtuvo con medidor de flujo FLOWMATE 2000 (Figura 3a). Este proceso se realizó de la siguiente forma. De la sección transversal que se levantó en el Dren Tzurumútaro, se dividió en cinco porciones, tomando la misma distancia entre los puntos para que tuvieran la misma distancia entre ellos. Una vez hecho esto, en cada sub-sección se tomó la profundidad total y con base en esta se define la profundidad al 20, 60 y 80% que representan respectivamente los puntos de mayor, promedio y menor velocidad de la corriente (Figura 3b).

Para cada punto de la sección se tomaron cinco lecturas de velocidad con el medidor, el sensor se coloca contra corriente, y se registran cinco lecturas de velocidad que fueron posteriormente promediadas para cada punto. Se registraron en un formato para después en laboratorio procesar toda la información extraída en campo (Tabla 1).

La obtención de las muestras de sedimentos en suspensión se hizo con un dispositivo de torre con 3 alícuotas de 0.75 l. (Figura 4a). La torre con muestras puntuales se inserta en 5 puntos distribuidos a lo ancho del dren o cauce (Figura 4b) a diferentes profundidades. Se adecuó el número de muestras verticales a 3, correspondiendo con los valores obtenidos de velocidad de caudal a 20, 60 y 80% de la profundidad en la sección, conforme se señala en el Instructivo de IMTA (1999), para dicho efecto.

Las muestras extraídas se colocaron en recipientes de 500 ml que se etiquetaron respectivamente con los siguientes datos: fecha, punto de la sección que se representó con número romano y la profundidad con letra.



Figura 3 (a) Flujoímetro Flowmate 2000 con el cual se tomaron las velocidades del caudal, (b) toma de velocidades en el Dren Tzurumútaro.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Al momento de tomar las muestras con el dispositivo de torre se sumerge verticalmente, tratando de no alterar los sedimentos depositados en el fondo del cauce, una vez que se llenan las

alícuotas se sacan a las superficie tratando de no perder el contenido, este se vacía a los recipientes etiquetados, se repite el proceso para todos los puntos de la sección.

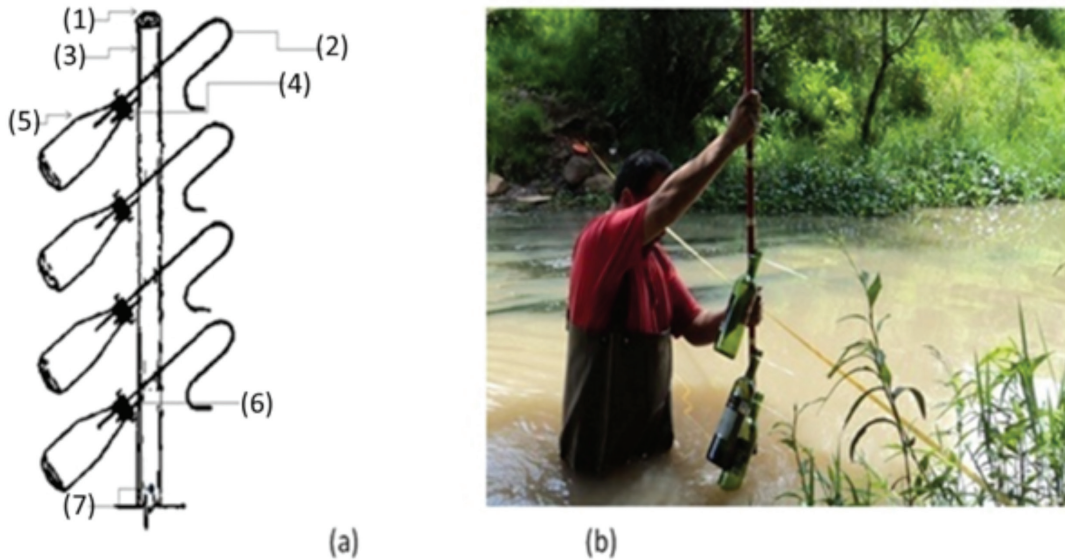


Figura 4. (a) Dispositivo de muestreo de sedimentos en suspensión (Modificado de Hudson 1997) (1) Tapón de plástico para drenar recipientes. (2) Tubería de vidrio de entrada. (3) Torre de cobre de 1 pulgada de diámetro. (4) Tapones de plástico horadados. (5) Recipiente de vidrio. (6) Tubería de vidrio para drenado de aire. (7) Base de la torre. (b) Dispositivo implementado en los muestreos en el dren Tzurumútaru.

Tabla 1. Formato de captura de las lecturas de las velocidades del Dren Tzurumútaru.

SECCION		Prof. (cm)	VEL. 1 (ms <sup>-1</sup> )	VEL 2	VEL 3	VEL 4	VEL 5
I	A						
	B						
	C						
II	A						
	B						
	C						
III	A						
	B						
	C						
IV	A						
	B						
	C						
V	A						
	B						
	C						

## Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaru hacia el lago de Pátzcuaro

Para el trabajo de campo (muestras de sedimentos y toma de velocidades), se realizaron campañas de muestreo por un año empezando en agosto del 2010 hasta agosto 2011, durante los meses de lluvias el muestreo se realizó semanalmente en tanto en el periodo de estiaje el muestro fue mensual.

### Filtrado, secado y pesado de las muestras.

Para la evaluación de los sedimentos en suspensión partió del registro del peso seco de los filtros individuales. Para ello, después de colocarse embudos en soporte universal con los filtros, se colocó otro recipiente vacío en la parte inferior para recibir el líquido filtrado. Al vaciar el contenido en la probeta se anota el volumen exacto de la muestra. Esto se realiza en proporciones pequeñas hasta que se acaba el contenido, las muestras filtradas se conservan en el recipiente nuevo y se le registra el volumen exacto en la nueva etiqueta, los filtros se colocan en papel aluminio etiquetado también. Se secan a peso constante los filtros de cada muestra por separado, y se registra y capturan los datos en Excel para luego ser procesados y analizados.

### Modelo para relacionar caudal con carga de sedimentos y distribución espacial de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo e identificación de las principales zonas de erosión en la subcuenca.

Como ya se mencionó, el caudal de la sección transversal se obtuvo de manera empírica relacionando la velocidad de la corriente a los diferentes porcentajes de profundidad con la carga de sedimentos, esto fue posible gracias a que ya se disponía de información de la morfología del cauce y las velocidades del flujo de mane-

ra que se conoce para distintos momentos del año el gasto y la producción de sedimentos. El software utilizado fue Excel 2010, Arc View 3.2 e Idrisi Andes.

Por otro lado, se distribuyeron espacialmente los parámetros de la EUPS, es decir se representaron las distintas zonas de acuerdo con los distintos parámetros de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

$$E = RKLSCP$$

Dónde:

E = Pérdida de suelo promedio anual en (ton/ha).

R = Factor de erosividad de las lluvias en (MJ mm/ha h)(con base en el promedio del total anual)

K = Factor de erodabilidad del suelo en (ton ha h/MJ mm ha) (con base en carta edafológica de INEGI y tablas de Figueroa *et al.*, 1991)

LS = Factor topográfico (función de longitud - inclinación - forma de la pendiente), adimensional.

C = Factor ordenación de los cultivos (cobertura vegetal), adimensional.

P = Factor de prácticas de conservación (conservación de la estructura del suelo), adimensional.

El término erosionabilidad o erodabilidad se refiere a que tan sensible es un suelo a ser erosionado y la cantidad de suelo erosionado depende de dos factores: las características del suelo y el manejo a que este sometido el suelo. Aunado a lo anterior la morfología del terreno también juega un papel importante en este aspecto.

Para la determinación del uso del suelo y vegetación de la subcuenca y su incorporación con valores del factor C, se procedió a un procesa-

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

miento de la subescena Spot 2008 para generar una imagen en falso color de infrarrojo y digitalizar en pantalla los polígonos correspondientes a las categorías definidas para la clasificación de dicho factor conforme a las tablas de Figueroa *et al.*, 1991.

## RESULTADOS

### Localización del a Subcuenca Tzurumútaru.

El Área de estudio se encuentra localizado en la parte central del Estado de Michoacán de Ocampo, Méx., en la región hidrológica 12g (RH12g) (SIATL) y en la porción oeste de la cuenca cerrada del Lago de Pátzcuaro a 4 kilómetros al NE de Pátzcuaro, con coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) extremas superior derecha e inferior izquierda en 239,105 mE, 2,1792,725mN y 230,811mE, 2,159,465 mN respectivamente. La altitud oscila entre 2,040 y 2,860 metros. La

subcuenca tiene un área total de captación de 129.24 km<sup>2</sup> y en ésta se localiza la unidad de riego Tzurumútaru administrada por el distrito de Riego No. 20 Morelia (Figura 5).

### Geología.

La naturaleza geológica en la mayor parte de la cuenca del lago consiste de rocas volcánicas de la era Cenozoica y de sedimentos lacustres, resultado de la desintegración parcial de las rocas por efecto del intemperismo, el arrastre y descomposición de los sedimentos y escurrimientos en la zona (IMTA 2002). Las rocas ígneas se encuentran dispersas en poca extensión constituidas por andesitas, basaltos, bombas, arenas, tobas, granitos y brechas. Las rocas de la era Terciaria son principalmente andesitas con contenido de olivita, albita, biotita, augita e hiperstenas. La zona recibió por acarreo aluvial los materiales desintegrados y mezclados de las rocas que componen las formaciones geológicas mencionadas (IMTA *op. cit.*).

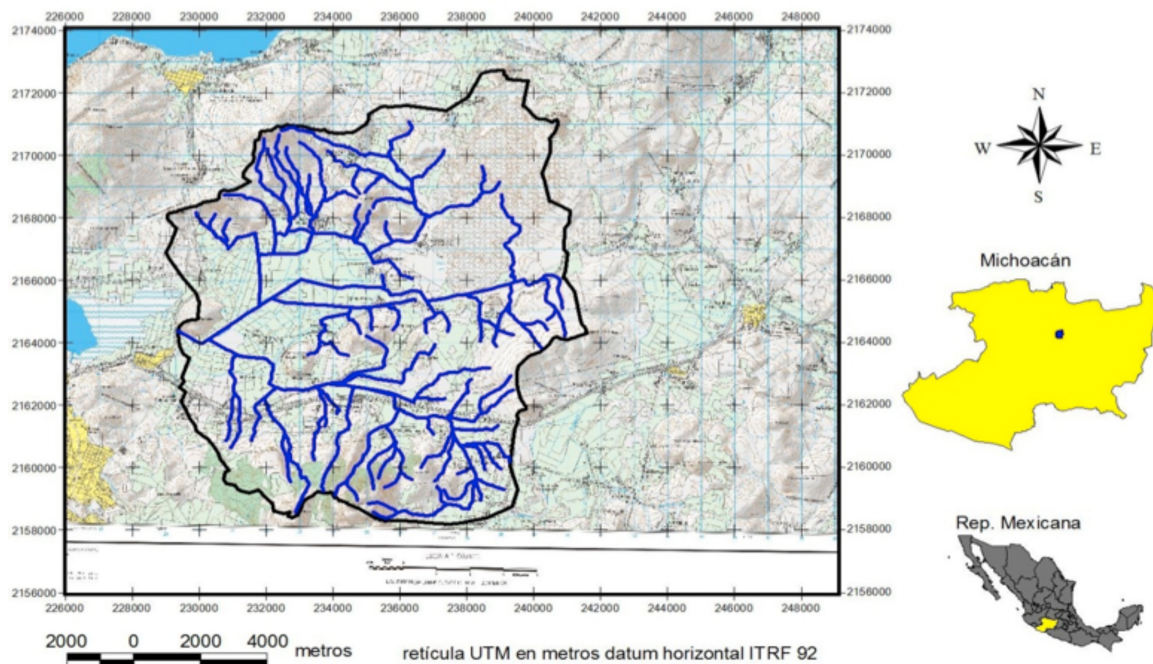


Figura 5. Localización de la subcuenca de Tzurumútaru



## Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

### Hidrología.

El lago de Pátzcuaro recibe las descargas de diferentes arroyos de los cuales el único que tiene un régimen perenne son los escurrimientos de los manantiales Chapultepec y la Alberca. El caudal que aporta estos manantiales varía en relación a las épocas de lluvia y estiaje. Las aguas de retorno son colectadas por el cauce rectificado denominado Dren Central (conocido como dren Tzurumútaro o Río Chapultepec). Antiguamente, la zona conocida como Valle de la Hacienda de Chapultepec, formaba parte del Lago de Pátzcuaro, al bajar el nivel de agua, esta área fue drenada. A mediados de siglo pasado con la construcción del Dren Central o dren Tzurumútaro, se buscó facilitar la conducción de las aguas provenientes de los manantiales y los escurrimientos originados por las lluvias. Al área de estudio se le conoce como Valle de Tzurumútaro y en este confluyen varias corrientes con caudal intermitente que se originan en los cerros adyacentes. (SARH, 1982 e IMTA, 2002).

### Morfometría de la subcuenca

En la Tabla 2 se resumen algunos de los datos de la morfometría de la Subcuenca de Tzurumútaro y posteriormente se describen los valores obtenidos.

La subcuenca de Tzurumútaro es una cuenca pequeña (129.24 km<sup>2</sup>) de acuerdo a Campos (1992). Por lo tanto se favorece el impacto erosivo de las lluvias de alta intensidad y de acuerdo con la cobertura y características del suelo en esta cuenca, se requiere de un corto tiempo para concentrar el agua.

Por el valor de la relación de elongación de la subcuenca de Tzurumútaro se deduce que presenta un relieve bajo. Por el factor de forma de

la subcuenca, los hidrogramas de caudal máximo se verán afectados.

Tabla 2. Resumen de algunos de los parámetros morfométricos de la subcuenca Tzurumútaro.

PARÁMETRO	VALOR
Área	129.24 km <sup>2</sup>
Perímetro	51.69 km
Longitud de cuenca	12.09 km
Factor de forma	0.88
Coefficiente de compacidad	1.28
Relación de elongación	1.00
Relación de bifurcación	27
Long de cauce	16.112 km
Densidad de drenaje	3.65 km/km <sup>2</sup>
Densidad de corriente	6.58/km <sup>2</sup>
Pendiente media	10.91%
Elevación mínima	2040 m
Elevación máxima	2860 m
Elevación media	2160 m
Orden de cauce	6

El valor obtenido para la subcuenca del coeficiente de compacidad indica que la subcuenca es casi circular. Los valores de densidad de drenaje y de corriente se ubican en condición intermedia que no hace de la subcuenca una de condición de relieve montañoso. El valor de relación de bifurcación de la subcuenca de Tzurumútaro indica que sus estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje.

En la Figura 6 se muestra la curva hipsométrica de la subcuenca, lo cual refleja que es una cuenca con un alto grado de erosión.

Perfil del cauce principal. El perfil del río se obtiene llevando a una gráfica los valores de sus recorridos horizontales (abscisas) contra sus cambios de elevaciones respectivas (ordenadas) (Figura 7).

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

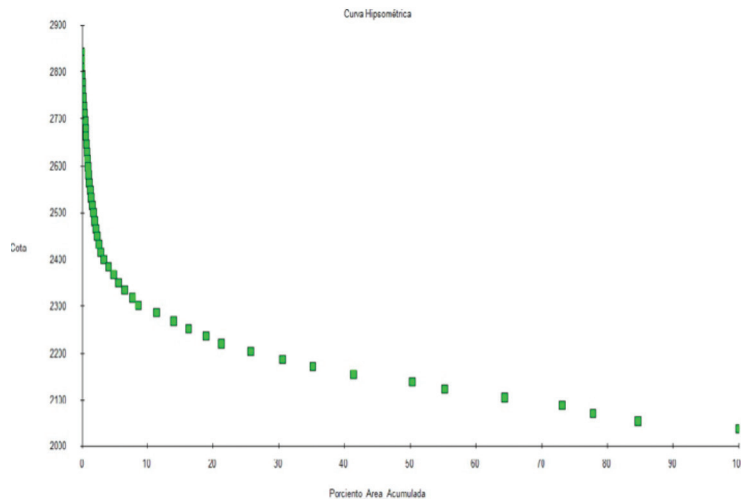


Figura 6. Curva hipsométrica de la subcuenca Tzurumútaru.

Para el área de estudio, los valores obtenidos del Tiempo de Concentración con las fórmulas aplicadas fueron:

Fórmula general: 1.79 horas o 107.4 minutos.  
 Fórmula de Kirpich: 1.78 horas o 106.8 minutos.  
 Fórmula de Rowe: 1.76 horas o 105.6 minutos.  
 Fórmula de Chow: 1.13 horas o 68 minutos.

### Uso de suelo y vegetación

En la Tabla 3 se presentan los diferentes usos de suelo y vegetación dentro de la subcuenca Tzurumútaru, el área que ocupa cada categoría y el porcentaje de área que representa. En la Figura 8 se representa la distribución del uso de suelo y vegetación y se proporciona una breve descripción de cada una de las categorías, basándose en la síntesis geográfica del estado de Michoacán (INEGI 1985) y la obra de Díaz-Barriaga y Bello (1993).

El uso de suelo para actividad agrícola ocupa el primer lugar, los principales cultivos son: maíz, frijol, haba, trigo, avena, lenteja y el restante al-

gunas otras hortalizas y frutas en menor escala. Así, se aprecia que los cultivos que predominan en la región son granos básicos. La actividad ganadera está estrechamente ligada con la agrícola, los pastizales son aprovechados por el ganado bovino y equino.

Tabla 3. Uso de suelo y vegetación en la subcuenca de Tzurumútaru.

Uso de suelo.	Hectáreas	% Del área
Agrícola	7,551.50	58.43
Bosque de encino	810.44	6.27
Bosque de encino perturbado	1,594.17	12.33
Bosque de pino-encino	777.92	6.02
Bosque de pino-encino perturbado	160.67	1.24
Matorral subtropical perturbado	126.24	0.98
Pastizal inducido	1,667.26	12.90
Plantación forestal	88.96	0.69
Urbano y residencial	147.10	1.14
Área total	12,924.25	100.00

## Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

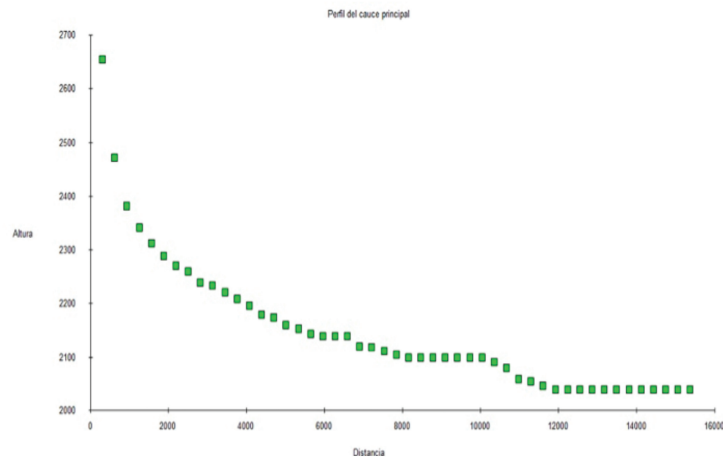


Figura 7. Perfil del cauce principal. Distancia (eje x) y Altura (eje y) en m.

El Bosque de encino se caracteriza por presentar dos o tres estratos; arbóreo, arbustivo y herbáceo. Las copas de los árboles cubren el 70% de la superficie. El estrato más importante es el arbóreo, que presenta alturas de 8 a 15 metros. Sus especies dominantes pertenecen al género *Quercus*. El Bosque de encino perturbado se caracteriza por presentar dos estratos, el arbóreo y el herbáceo, siendo el más importante el arbóreo, con alturas de 6 a 8 metros. También la especie dominante pertenece al género *Quercus* pero las copas de los árboles cubren menos del 50% de la superficie.

El bosque de pino forma asociaciones principalmente con el bosque de encino (*Quercus*). En todos los casos se trata de una comunidad siempre verde, pues tal condición lo imponen los pinos, pero con la presencia eventual de otros árboles, los bosques pueden ser más o menos caducifolios. La altura del bosque es muy variable, en mayor parte de los casos oscila entre los 8 y 25 metros, aunque puede alcanzar alturas mayores. La estructura de estos bosques revela la existencia de un estrato superior de pinos y otro más bajo de encino. Entre las especies de *Pinus* sobresalen: *Pinus teocote*, *Pinus lawsonii*, *Pinus leiophylla*, *Pinus montezumae*, *Pinus pseu-*

*dostrobus*, *Pinus michoacana*, y entre las de encino sobresalen: *Quercus obtusata*, *Quercus deserticola*, *Quercus castanea*, *Quercus crassipes*, *Quercus rugosa* y *Quercus laurina*. Como en el caso anterior, se consideró en esta categoría aquellas porciones de terreno donde se observa que la cobertura de las copas de los árboles es menor al 50% de la superficie.

El matorral subtropical se caracteriza por presentar dos o tres estratos: arbóreo, arbustivo y herbáceo, **el estrato más importante** es el arbustivo, que presenta alturas características entre 2 y 4 metros. Algunas especies dominantes son: *Acacia farnesiana*, *Acacia pennulata*, *Bursera cuneata*, *Eysenhardtia polystachya*, *Yucca filifera*, *Condalia velutina*, *Ipomoea murucoides* y *Prosopis laevigata*. La cobertura de sus copas es menor del 50% de la superficie.

El pastizal inducido resulta de la perturbación que produce el hombre al abrir zonas donde la vegetación era el bosque de pino-encino, para sustituirla por otro tipo de cobertura. Se caracteriza por presentar una altura de 10 a 15 cm, un solo estrato herbáceo con una cobertura del suelo del 100% y una disposición cerrada. Las especies dominantes pertenecen a las familias: *Poaceae*, *Compositae* y *Cyperaceae*.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

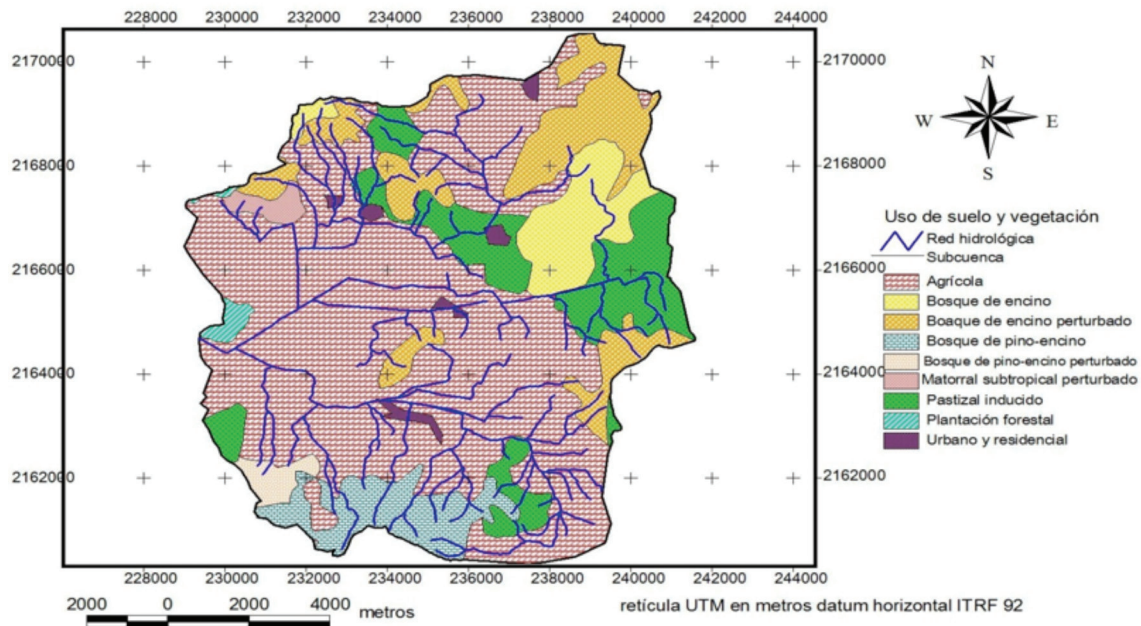


Figura 8. Uso de suelo y vegetación en la subcuenca de Tzurumútaru en 2008.

Las plantaciones forestales se establecen por el hombre, sobre todo en áreas que presentan perturbación debido también a actividades humanas. Son generalmente especies exóticas. Los fines de estas plantaciones son el recreativo, ornamental y forestal, además de conservar el medio ambiente, así como de evitar la erosión del suelo.

El uso urbano y el uso residencial se presentan en la subcuenca en pequeñas localidades. No obstante sus dimensiones constituyen áreas que reducen notoriamente la capacidad de infiltración del suelo, favorece el escurrimiento superficial y lo acelera por medio de los sistemas de drenaje.

## Suelos

Dentro de la subcuenca Tzurumútaru se encontraron 8 tipos de suelos (Tabla 4), entre los que destacan por su abundancia los luvisoles, andosoles y vertisoles, que en conjunto cubren más

del 75% de la superficie de la subcuenca. En la Figura 9 se representa la distribución de los suelos, destacando que los luvisoles y vertisoles se localizan en las porciones más bajas, mientras que los andosoles se localizan en las porciones más altas del área. Se añade una breve descripción de estos tres principales tipos de suelo conforme a lo que señala INEGI (1979).

Tabla 4. Tipos de suelos presentes en la subcuenca Tzurumútaru.

Suelo	Hectareas	% De area
Acrisol	833.89	6.45
Andosol	2,421.00	18.73
Feozem	444.07	3.44
Gleysol	7.26	0.06
Litosol	936.33	7.24
Luvisol	5,634.36	43.60
Ranker	392.33	3.04
Vertisol	2,254.20	17.44
Área total	12,924.25	100.00

## Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

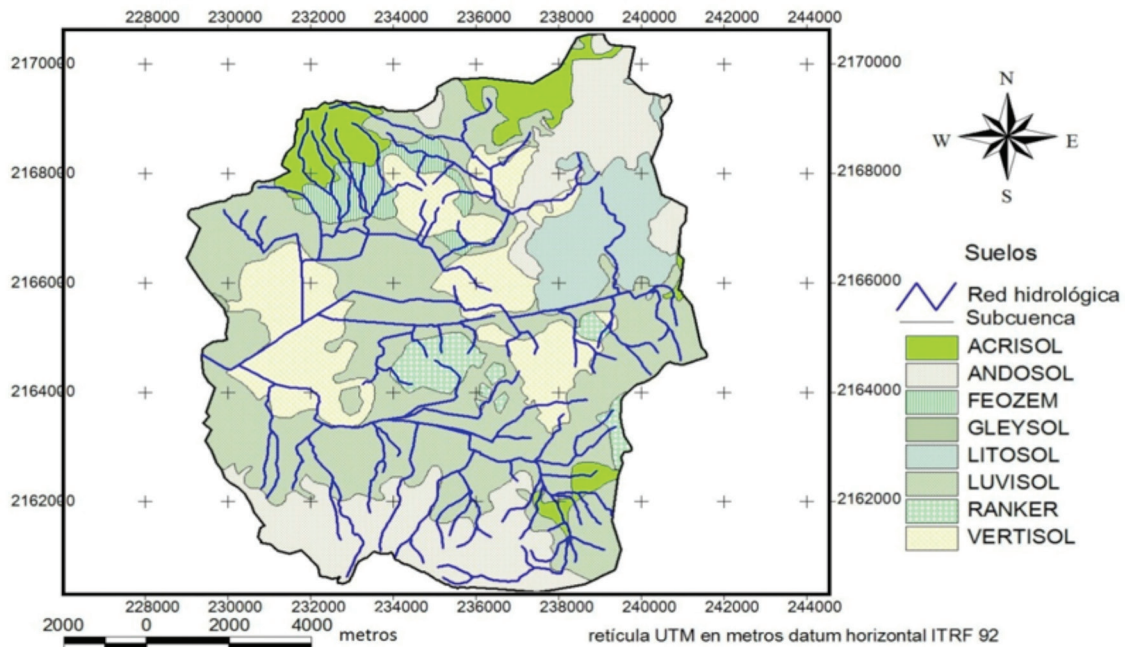


Figura 9. Acrisol.

Suelos que se caracterizan por tener acumulación de arcilla en el subsuelo, tienen características similares a los Luvisoles, aunque son más ácidos, ricos en materia orgánica (Acrisol húmico) y tienen una saturación de bases menor de 35%. Tipos de suelos presentes en la subcuenca de Tzurumútaro.

**Luvisol.** Suelos que contienen acumulación de arcilla, su profundidad varía de 40 a 100 cm, la capa superficial (horizonte A ócrico) es de color pardo oscuro cuando está húmeda, con textura media y estructura de bloques subangulares. Tiene una saturación de bases mayor de 50%, moderada fertilidad y productividad, tienen alta susceptibilidad a la erosión.

**Vertisol.** Suelos caracterizados por un contenido de arcilla de aproximadamente el 30% en los primeros 50 cms. Son suelos maduros, de color gris oscuro (en húmedo) y alto contenido de arcilla, forma superficies pulidas, al secarse se encoge y se agrieta, en general cuando están secos son muy duros, en época de lluvias tienen problemas de drenaje y son muy adhesivos.

**Andosol.** Suelo formado a partir de materiales ricos en vidrios volcánicos y que comúnmente tienen un horizonte superficial oscuro. Son

suelos derivados principalmente de ceniza volcánica vítrica, producto de actividad volcánica reciente. Tienen un color café muy oscuro, textura media, rico en materia orgánica, pero ácidos y pobre en nutrientes, con estructura de forma granular y bloques subangulares, esponjosos, poseen una gran capacidad de retención de humedad, presentan una gran susceptibilidad a erosionarse.

## Registros de caudal y sedimentos en Dren Tzurumútaro.

Los registros máximos del año 2010 dan cuenta de un ancho de cauce total de 12 m en la sección donde se colocó el sensor de nivel (level logger, ver metodología). Exactamente en dicho punto se observó una profundidad de 1.6 m. Las

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

secciones que se definieron consideraron la posibilidad de muestrear en condición de máxima elevación del cauce.

En la parte final del mes de julio la profundidad del cauce se incrementa en casi 40 cm mientras que en la porción más lluviosa de la temporada de lluvias a principios del mes de agosto la profundidad de la sección se incrementó más de 0.5 m, generando flujo en ambos márgenes del cauce y por encima de las poblaciones de las hidrófilas arraigadas que frenan significativamente el curso del agua (Figura 10).

Por otro lado, en la tabla 5 se presentan los resultados de los pesos secos de sedimentos obtenidos en las distintas campañas de muestreo al cauce del dren y aunque sigue pendiente el reajuste del modelo entre el caudal con el transporte de sedimentos, se retoma temporalmente

el modelo generado en 2010 con 6 datos más de 2011 el cual presenta un ajuste regular ( $R^2 > 0.7$ ) pero aún son escasos los datos y más aún la incertidumbre con aquellos correspondiente al periodo de dragado que indudablemente incrementarán los valores. No obstante, con el modelo de regresión binomial actualizado hasta mayo de 2011 (Figura 11) se infieren los valores de caudal monitoreados en los 295 días de registros continuos cada 10 minutos en el dren Tzurumútar. Los valores así obtenidos arrojan una cifra total para 2011 de 4,242 ton.

En el periodo de estiaje se llevo a cabo la remoción de hidrófitas en el dren, esto trae como consecuencia el aumento en el transporte de sedimentos en suspensión, cabe señalar y resaltar que la vegetación acuática tiene una fuerte influencia en el movimiento de los sedimentos (Figura 12).

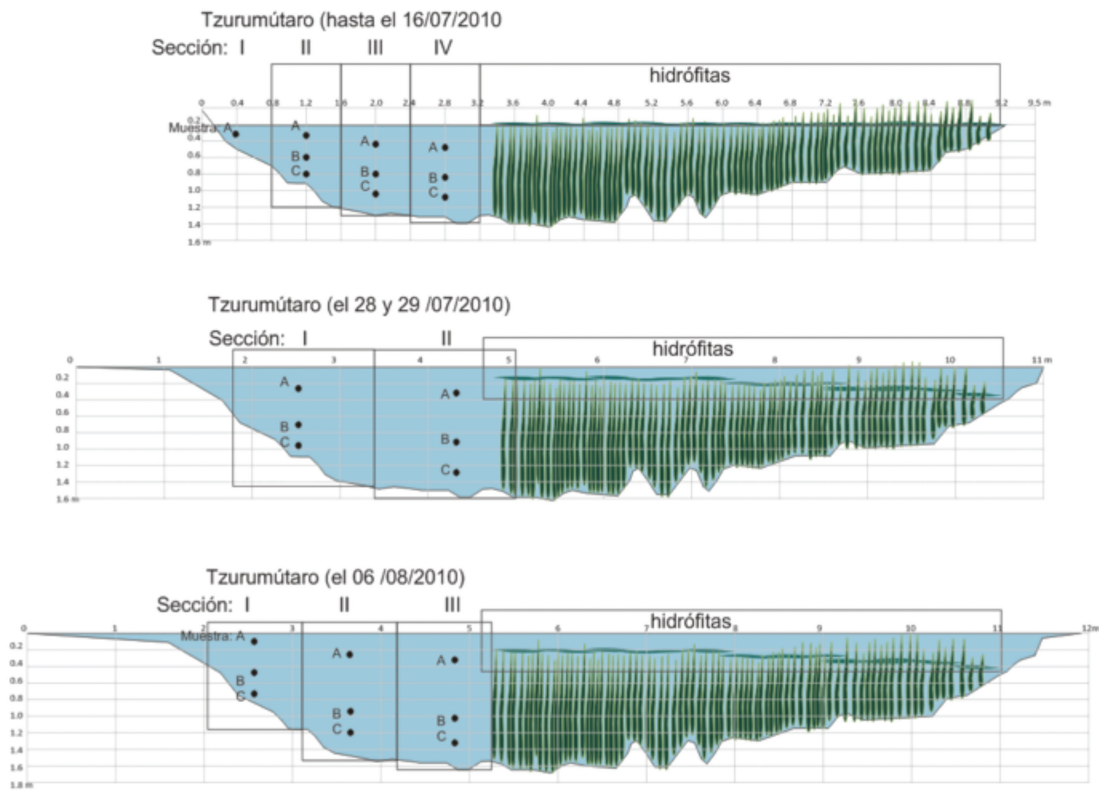


Figura 10. Condiciones de profundidad y ancho del cauce en el Dren Tzurumútar de Junio a Agosto de 2010.

### Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

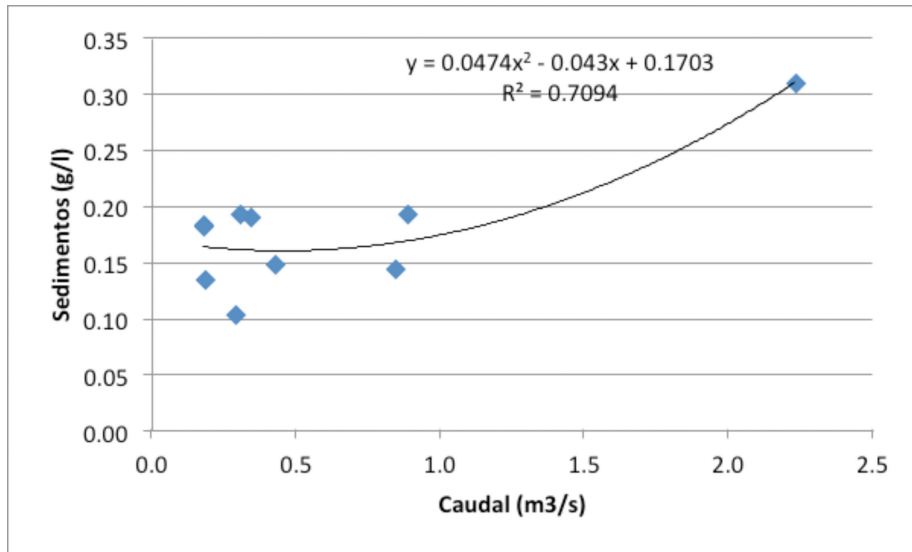


Figura 11. Modelo de regresión con los datos Caudal-Sedimentos para el Dren Tzurumútaro actualizado hasta mayo de 2011.



Figura 12. Estiaje en el dren Tzurumútaro, hidrófilas acumuladas por actividades de dragado agua arriba.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 5. Registros 2011 de carga de sedimentos en suspensión en el dren Tzurumútaró

SECC.	PROF.	MUESTRA (ml)	BRUTO (gr)	SEDIMENTOS (gr/lt)
24 de marzo de 2011				
I	20%	530	2.72	0.038
	60%	525	2.77	0.133
	80%	530	2.79	0.170
II	20%	525	2.78	0.152
	60%	530	2.7	0.000
	80%	530	2.82	0.226
III	20%	525	2.84	0.267
	60%	525	2.84	0.267
	80%	525	2.99	0.552
IV	20%	525	2.99	0.552
	60%	525	2.82	0.229
V	80%	525	2.92	0.419
	20%	--	--	--
	60%	530	2.92	0.415
80%	--	--	--	--
01 de abril de 2011				
I	20%	530	2.82	0.226
	60%	530	2.84	0.264
	80%	535	2.97	0.505
II	20%	530	2.78	0.151
	60%	530	2.79	0.170
	80%	525	2.77	0.133
III	20%	530	2.74	0.075
	60%	533	2.73	0.056
	80%	530	2.84	0.264
IV	20%	525	2.84	0.267
	60%	530	2.88	0.340
	80%	515	3.25	1.068
V	20%	--	--	--
	60%	505	2.82	0.238
	80%	--	--	--
07 de abril de 2011				
I	20%	515	2.78	0.155
	60%	151	2.83	0.861
	80%	515	2.82	0.233
II	20%	515	2.78	0.155
	60%	530	2.96	0.491
	80%	535	9.69	13.065
III	20%	520	2.94	0.462
	60%	530	2.94	0.453
	80%	533	2.98	0.525
IV	20%	535	2.91	0.393
	60%	530	2.73	0.057
	80%	540	2.83	0.241
V	20%	--	--	--
	60%	520	2.95	0.481
	80%	--	--	--
11 de abril de 2011				
I	20%	530	2.90	0.377
	60%	530	2.99	0.547
	80%	530	2.96	0.491
II	20%	530	2.96	0.491
	60%	530	2.91	0.396
	80%	528	3.12	0.795
III	20%	535	2.88	0.336
	60%	540	2.90	0.370
	80%	540	3.09	0.722
IV	20%	530	2.92	0.415
	60%	535	2.84	0.262
	80%	530	2.99	0.547
V	20%	--	--	--
	60%	525	2.94	0.457
	80%	--	--	--
03 de mayo de 2011				
I	20%	535	2.93	0.430
	60%	538	2.96	0.483
	80%	530	2.81	0.208
II	20%	530	2.89	0.358
	60%	535	2.96	0.486
	80%	520	16.16	5.115
III	20%	520	2.88	0.346
	60%	530	2.87	0.321
	80%	530	9.68	2.981
IV	20%	540	2.93	0.426
	60%	530	2.95	0.472
	80%	535	5.25	4.766
V	20%	--	--	--
	60%	535	2.96	0.486
	80%	--	--	--



## Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

12 de mayo de 2011				
I	20%	530	2.84	0.264
	60%	530	2.90	0.377
	80%	530	16.61	5.868
II	20%	520	2.89	0.365
	60%	520	2.91	0.404
	80%	530	12.01	2.283
III	20%	525	3.09	0.743
	60%	530	2.93	0.434
	80%	535	5.86	0.860
IV	20%	530	2.83	0.245
	60%	528	2.90	0.379
	80%	535	3.94	2.318
V	20%	--	--	--
	60%	520	3.05	0.673
	80%	--	--	--

18 de mayo de 2011				
I	20%	530	3.02	0.604
	60%	535	3.06	0.673
	80%	530	3.72	1.925
II	20%	530	3.31	1.151
	60%	530	3.13	0.811
	80%	535	4.26	2.916
III	20%	530	3.51	1.528
	60%	540	3.00	0.556
	80%	530	3.23	1.000
IV	20%	530	2.94	0.453
	60%	530	2.92	0.415
	80%	515	3.20	0.971
V	20%	521	3.01	--
	60%	518	3.05	0.676
	80%	--	--	--

### Distribución espacial de las variables de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

Erosividad de la lluvia (R). El factor de erosividad de la lluvia, es decir la capacidad potencial que

tiene la lluvia para causar erosión, presenta los valores más altos en la parte suroeste dentro de la subcuenca de Tzurumútaro. Los valores más altos rebasan los tres mil MJ mm/ha h, mientras que los valores más bajos se presentan en la porción noreste de la subcuenca alcanzando apenas valores alrededor de dos mil MJ mm/ha h (Figura 13).

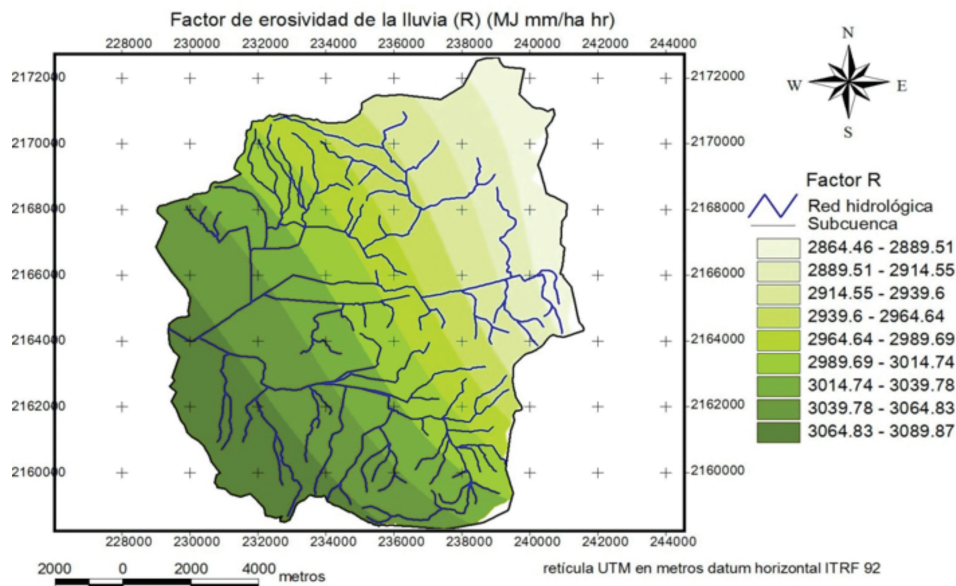


Figura 13. Representación espacial de la erosividad de la lluvia en la subcuenca Tzurumútaro.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

La porción donde los valores de erosividad de la lluvia son más altos obedece a los regímenes de precipitación con mayor intensidad registrados en el pluviómetro de la estación Pátzcuaro.

Erodabilidad o erosionabilidad del suelo (K). Los suelos que presentan mayor susceptibilidad a la erosión dentro de la subcuenca se sitúan en la parte centro y norte, así como una porción de la parte oeste de la subcuenca. En la Figura 14, se observa claramente, ya que son porciones fuertemente marcadas y en estas porciones se presentan valores mayores a 0.072 ton ha h/MJ mm ha.

Longitud de la pendiente (L). Los valores más altos se presentan en las partes centro, suroeste y sureste de la subcuenca, alcanzando valores de hasta 27 metros de longitud (Figura 15).

Dichos valores están relacionados con el factor de inclinación de la pendiente, asimismo con el uso de suelo que se da en estas porciones de la subcuenca donde resalta la actividad agrícola. Este factor es de gran importancia ya que está directamente relacionada con la pendiente, y en conjunto estos factores tienen una repercusión en la erosión de los suelos, además de su fuerte

relación con la red de drenaje y la sedimentación. Es decir que al final de la pendiente respecto a la parte alta, se presentan sitios en donde empieza a existir sedimentación.

Factor del grado de inclinación de la pendiente (S). El efecto de la topografía en la erosión resulta un factor de gran relevancia. En el área de estudio las porciones que presentan mayor grado de inclinación de la pendiente se encuentran situados de manera irregular en la parte este, centro sur, noreste y una pequeña porción en la parte oeste con valores máximos de 3.56° de inclinación.

Estas porciones se presentan donde las longitudes de pendiente son más altas, lo cual aunado al uso de suelo existente promueve una mayor erosión en estos sitios.

El punto donde la pendiente decrece presenta sedimentación, este resultado es comprensible ya que sabemos que el uso de suelo que se da en estas porciones de la subcuenca corresponde al uso agrícola en mayor proporción, y en pequeñas porciones pastizal inducido, bosque de encino perturbado y bosque de encino respectivamente. Es decir que todos estos usos y tipos de

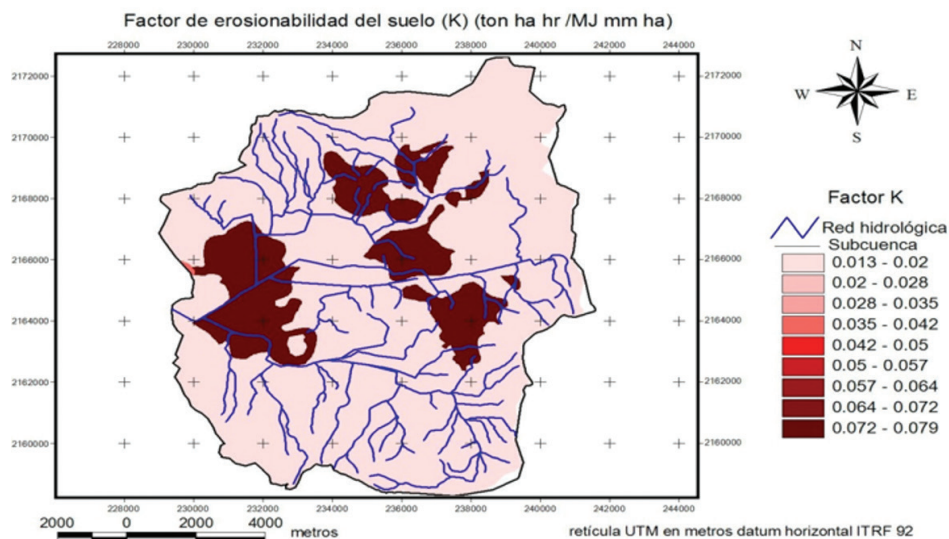


Figura 14. Representación de la erosionabilidad o erodabilidad del suelo en la subcuenca Tzurumútaru

## Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

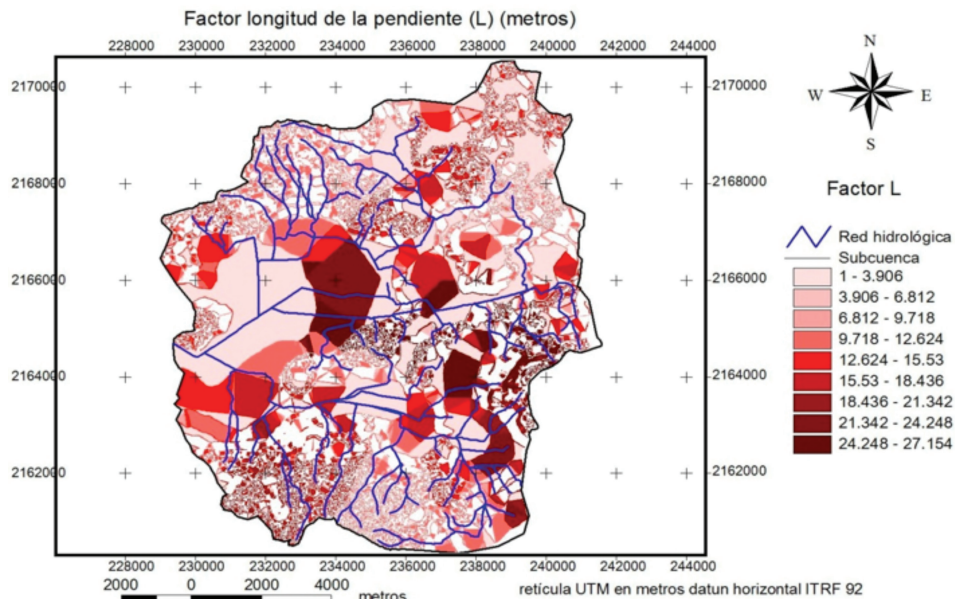


Figura 15. Representación de la longitud de la pendiente en la subcuenca Tzurumútaro

vegetación tienen poca cobertura vegetal. Ahora bien, a todos estos factores se puede sumar las formas de las pendientes (convexas, rectas y cóncavas) y el tipo de suelo, que también son características que tienen una fuerte influencia en la erosión (Figura 16).

Factor del uso y manejo del suelo o manejo de cultivos (C). Es un factor adimensional en el que los valores más altos se presentan donde el uso de suelo es agrícola. Ahora bien este se encuentra fuertemente influenciado por otros factores como: la rotación de cultivos, labores de labran-

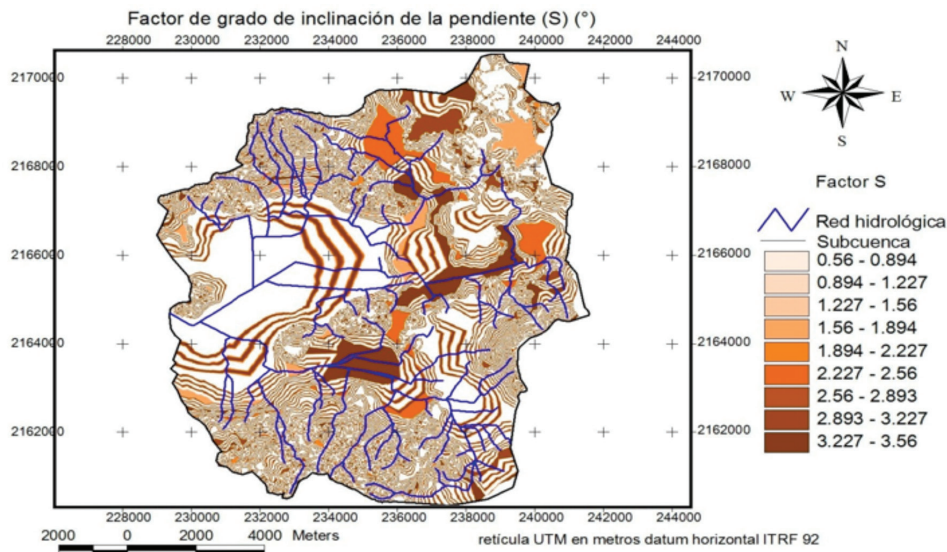


Figura 16. Representación del grado de inclinación de la pendiente en la subcuenca Tzurumútaro.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

za, residuos vegetales que pueden dejarse o removerse del sitio de cultivo, protección por cobertura aérea, entre otros. Dentro de la zona de estudio no se practica ninguna de los factores arriba mencionados (Figura 17).

Factor por prácticas de conservación (conservación de la estructura del suelo) (P). Dentro de la Subcuenca Tzurumútaro existen algunas prácticas de conservación del suelo como las presas de gavión y de geocostales, sin embargo, dentro de los campos de cultivos no se practica ninguna obra de conservación (Figura 18).

En la subcuenca Tzurumútaro el promedio anual de pérdida de suelo tiene valores máximos de más de ocho toneladas por hectáreas al año y estos se presentan espacialmente distribuidos en las porciones centro, suroeste, noreste y una pequeña porción en el noroeste de la subcuenca. Es decir que en estas porciones donde se presenta el mayor promedio de pérdida de suelo coincide con las áreas de poca cobertura vegetal, lo que subraya que la vegetación tiene un papel crucial en la pérdida de suelo (Figura 19). Los valores estimados de erosión en la subcuenca Tzurumútaro en el presente estudio van

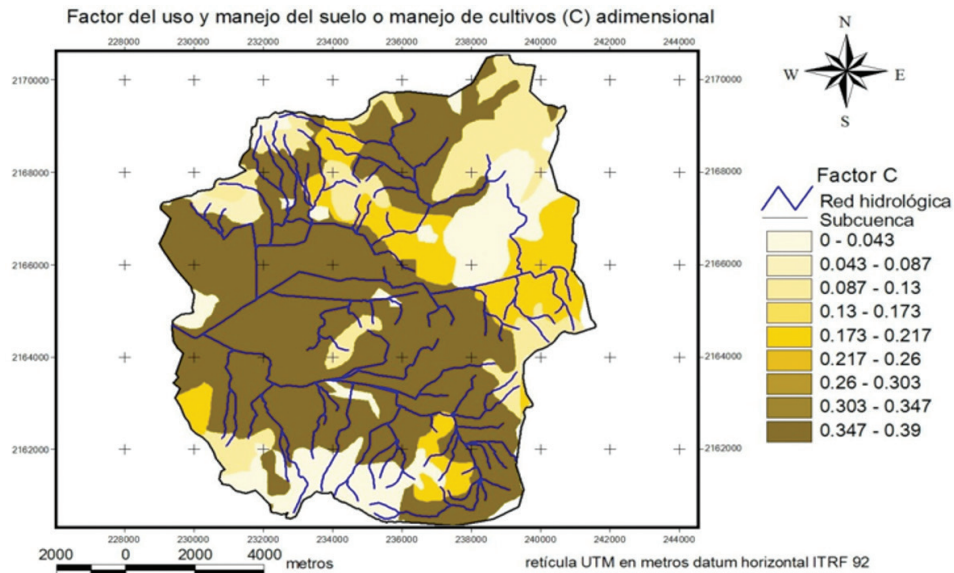


Figura 17. Representación del uso y manejo del suelo o manejo de los cultivos en la subcuenca Tzurumútaro.



Figura 18. Presa de gavión y geocostales en la porción este de la subcuenca.

## Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

de 1 a 8 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En tanto que la carga en suspensión de sedimentos medida varía de 0.1 a 23.14 gl<sup>-1</sup> con estimados de hasta 20 ton diarias promedio (septiembre de 2010). Dichos valores complementan el conocimiento de la dinámica erosiva de los suelos en la cuenca. En las pruebas de simulación de lluvia realizadas por Tapia *et al.* (2001) y Tapia *et al.* (2007) encontraron que los suelos de las laderas en la cuenca del lago de Pátzcuaro son de una estructura tan débil que los hace muy sensibles al desprendimiento entre canalillos, con valores de erosión que ascienden de 0.08 a 1.08 gs<sup>-1</sup>m<sup>-2</sup> en condiciones de labranza convencional.

Una vez que las partículas de suelo son desprendidas y alcanzan los canalillos se convierten en sedimentos en suspensión o arrastre. Ante eventuales incrementos en la intensidad de los eventos de precipitación, las repercusiones de este tipo de fenómenos en la cuenca se manifiesta en alteraciones tanto en la parte alta de la cuenca donde se pierde este recurso por diferentes acciones, como en la parte media y baja donde se depositan forman parte primero de los campos

agrícolas y eventualmente del mismo lago. Por consiguiente también juega un papel importante en las interacciones de flora y fauna acuática.

## CONCLUSIONES

La obtención de los parámetros morfométricos de la subcuenca fue lograda a partir de información de INEGI (1979, 1985 y la información que esta dependencia tiene en línea a través de su página de Internet), de diferentes cartas temáticas de formato digital y de la digitalización de sus versiones analógicas y también de los recorridos en campo. De todas estas fuentes se obtuvo información importante que sirvió para estimar la dinámica que tiene el movimiento de sedimentos en la subcuenca mediante SIG. En cuanto a la medición de sedimentos en suspensión puede señalarse que el método probó el comportamiento del movimiento de sedimentos en el espacio de un cauce.

Existieron algunos problemas de logística para muestrear avenidas extremas en el cauce ya que

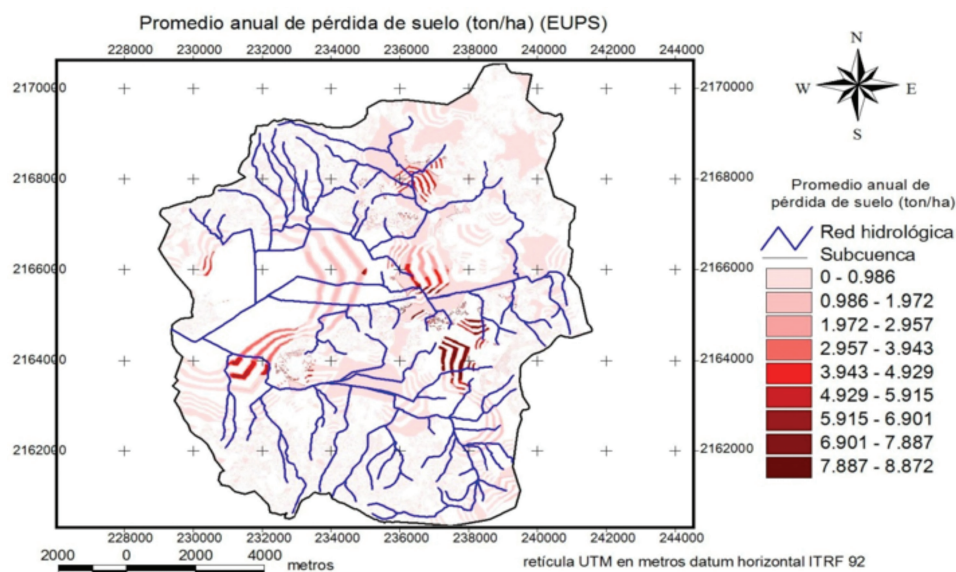


Figura 19. Representación del promedio anual de pérdida en la subcuenca Tzurumútaro

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

resulta arriesgado. Otro inconveniente fue la proliferación de hidrófilas en el sitio donde se levantó la sección transversal.

Las variaciones de caudal muestran una marcada diferencia entre el periodo de estiaje y el de la temporada lluviosa (ver el capítulo anterior de escurrimiento en este libro). Sin embargo, algunos cambios en los registros del caudal se relacionan muy probablemente a las labores de remoción de hidrófilas y dragado. También durante el estiaje se presenta un abundante uso de agua del dren para labores agropecuarias, que es la actividad y uso principal del suelo en la subcuenca. Dichos caudales del dren, reducidos durante el estiaje por bombeo para las zonas agrícolas adyacentes reducen durante 6 meses el valor mínimo de concentración de sólidos sedimentables en términos absolutos por concepto de disminución del gasto del dren.

Las fluctuaciones de los parámetros son una función de los sedimentos del margen, el fondo y la velocidad del caudal. La asociación más evidente es por el arrastre de los sedimentos del fondo y las paredes del dren, conforme se incrementa el caudal se incrementan los valores de los parámetros y la turbidez.

Las observaciones en situaciones puntuales de la marcha de la descarga en eventos de precipitación y la carga de sedimentos asociada, mostraron valores muy altos de carga de sedimentos, que de acuerdo con los modelos empíricos desarrollados, demuestran la cifra más alta fue de 1.2 g/l en el periodo de estiaje, y de 0.3 g/l en condiciones de un caudal aproximado de 2.5 m<sup>3</sup>/s, en tanto que el valor mínimo fue de 0.1g/l en condiciones de caudal de menos de 1m<sup>3</sup>/s.

Asimismo se estima que la carga de sedimentos con dichos modelos reportan para el mes de septiembre, valores diarios promedio de 20 ton, en tanto que para los restantes meses de 2010 la cifra no alcanza los 5 ton diarias. Por su

parte la extrapolación del método para los años 2007 a 2010 muestra un promedio de 10 mil ton anuales de sedimentos que entran al lago por el dren Tzurumútaró, lo cual parece aceptable con valores de 2,500 ton estimados para tan solo los 3 últimos meses de 2010, obtenidos con la extrapolación de valores usando los datos de nivel del dren.

Conforme a la espacialización de los parámetros de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo se realizó un análisis para obtener los valores del movimiento de sedimentos dentro de la misma. La cantidad y velocidad con que se mueven los sedimentos en la subcuenca se relacionan estrechamente con el uso del suelo y la vegetación, es decir, la cobertura vegetal tiene una fuerte influencia en estos aspectos tanto como los factores morfométricos y físicos así como los de naturaleza climatológica relacionados con la intensidad de la lluvia en la región.

Se recomienda vigilar periódicamente el buen funcionamiento de los dispositivos, principalmente los pluviómetros administrados por IMTA, ampliar el tiempo de muestreo y usar el muestreador integrado para asegurar la obtención de velocidad-caudal-sedimentos. Asimismo es conveniente completar el análisis conjunto de carga de sedimentos y fuentes difusas en la microcuenca y desde luego continuar realizando obras de conservación de suelo y promover para el uso agrícola diferentes prácticas que impacten de manera positiva en el factor correspondiente de la EUPS como son: la labranza de conservación y el uso de cultivos de cobertura, las terrazas y los surcos a nivel entre otras posibles acciones.

## REFERENCIAS

Amador G. A. 2000. Simulación dinámica del impacto ambiental por actividades agrícolas en la cuenca de Pátzcuaro, Michoacán. Tesis de

## Medición del transporte de sedimentos en suspensión por el dren Tzurumútaro hacia el lago de Pátzcuaro

- grado. Maestría en conservación y manejo de recursos naturales. Facultad de biología. UMSNH. 110 pp.
- Becerra M. 1994. Erosión de suelos. Departamento de suelos, área de manejo y conservación del suelo y agua. Chapingo, México pp. 107-100.
- Bravo E. M., Mendoza C. M. E. y Medina O. L.E. 2009. Escenarios de erosión bajo diferentes manejos agrícolas en la cuenca del lago de Zirahuén, Michoacán. México. Investigaciones geográficas, Boletín del instituto de Geografía, UNAM. ISSN 0188-4611. Núm. 68, 2009. Pp 73-84.
- Brooks, K.N., Folliott, P.F. Gregersen, H.M and J.L. Thames. 1991. Hydrology and the management of watersheds. Iowa State University Press. Ames, Iowa. 392 pp.
- Campos A. D. F.1992. Procesos del ciclo hidrológico. Editorial universitaria potosina. San Luis Potosí, México.
- Campos A. D. F. 2007. Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. Editorial universitaria potosina. San Luis Potosí, México.
- Campos A. D.F. 2010. Introducción a la Hidrología Urbana. UASL. México. 269 pp.
- Camargo J. E. y Franco V. 2005. Equipos de medición. Fundamentos. 17-33 pp. En Rivera et al. (editores). La medición de sedimentos en México. IMTA-UTAJ. México. 218 pp.
- Chacón, T. A. 1993. Pátzcuaro un Lago Amenazado, Bosquejo Limnológico. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Secretaría de Difusión Cultural, Editorial Universitaria. México.
- Chow, V.T., Maidment D.R. y Mays S.W. 1994. Hidrología aplicada. McGraw Hill. Santa Fé de Bogotá. Colombia. 584 pp.
- Díaz-Barriga, H. y Bello, G.M. 1993. Contribución al conocimiento de la flora de la Cuenca del lago de Pátzcuaro. Libr.Téc.1. CIPAC-INIFAP. México.
- Escalante S. C. A. 2005. Efecto en la estimación del factor erosivo de la lluvia en el aporte de sedimentos, 85-102 pp. En: Rivera et al. (editores). La medición de sedimentos en México. IMTA-UJAT. México. 218 pp.
- Figueroa S., B., A. Amante O., H.G. Cortes T., J. Pimentel L., E.S. Osuna C., J.M. Rodríguez O. y F.J. Morales F. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH-CP. Montecillo, México. 150 pp.
- Gómez-Tagle R. A. 1994 tres niveles de erosión en la cuenca del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, como base para acciones y obras de conservación SARH-INIFAP. Folleto técnico núm. 26. Uruapan, Mich. 45 p.
- Horton, R.E., 1945, Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology: Geological Society of America Bulletin, v. 56, no. 3, p. 275-370.
- Hudson N.H. 1997. Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. (Boletín de Suelos de la FAO - 68). FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Versión html: <http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s00.htm#Contents>.
- IMTA 1999. Instructivo para aforo con molinete.2ª. Edición. IMTA-SEMARNAP. 59 pp
- IMTA 2002. Informe Tzurumútaro. Estimación del impacto de las descargas del Dren Tzurumútaro en el Lago de Pátzcuaro y alternativas de tratamiento.215 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 1979 carta edafológica E14a22. Escala 1:50 000. 1985. Síntesis geográfica del estado de Michoacán, México. D. F. 315 pp. <http://www.inegi.org.mx/>
- Kramer, R. A., Richter, D.D. Pattanayak, S. and Sharma N.P. 1997. Ecological and economic analysis of watershed protection in eastern Madagascar Journal of environmental management, vol. 49, pp. 277-295.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

- Leytham, K. M. y R. C. Johanson 1979. Watershed erosion and sediment transport model. Environmental Research Laboratory U. S. EPA. Athens, Georgia pp. 356.
- Martín-Vide, J. P. 2002. Ingeniería de ríos. Ediciones de la Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España. pp. 331.
- Maza A.J.A. 2005. Velocidad media de inicio de inicio de erosión en pilas, velocidad media crítica de arrastre y velocidad media de equilibrio de erosión. In: Rivera et al. (Editores.) La medición de sedimentos en México. IMTA-UJAT. México. 319 pp.
- Monsalve, S. G. 1999. Hidrología en la Ingeniería. 2ª. Ed. Alfaomega. Bogotá 383 pp.
- Orts, J. W., R.E. Sojka, and G.M. Glenn. 2000. Biopolymer additives to reduce erosion-induced soil losses during irrigation. Industrial crops and products, II, pp. 19-29.
- Ponce V. M. 1989. Engineering Hydrology; principles and practice. Prentice-Hall, Inc. Primera edición, New Jersey, USA. 640 pp.
- Quintanilla C.A., Rivera T.F., Barajas F.J., Sánchez R.P.A y Soto C.G. 2005. Procesamiento de datos de sedimentos. In: Rivera et al. (eds.) La medición de sedimentos en México. IMTA-UJAT. México. 319 pp.
- Rivera F.J. G., Mejía Z.R., Soto C.G. y Val S.R. 2005. Aspectos de la medición de los sedimentos en México. In: Rivera et al. (eds.) La medición de sedimentos en México. IMTA-UJAT. México. 319 pp.
- Santos 2008. Gestión ambiental en los Municipios de Pátzcuaro y Quiroga. Michoacán. Tesis de maestría. Tijuana B. C. México. 109 pp
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) 1982. Unidad de Riego Tzurumútar. Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Estudios, Subdirección de Agrología. México.
- Stott, T. and Mount, N. 2004. Plantation forestry impacts on sediment yields and downstream channel dynamics in the UK: a review, Progress in physical geography. Vol. 28. No, 2, pp. 197-240.
- Tapia V., L.M.A., Tiscareño L.M., Amador G.A., Fernández O.D. y A.D. Báez. 2001. Simulación de la pérdida de suelo en la cuenca del lago de Pátzcuaro a partir de sistemas de manejo agrícola con percepción remota. Ingeniería hidráulica en México. Vol XVI. Núm. 4. Pp. 107-115.
- Tapia V.L.M.A., Larios G., J.L. Oropeza M., M. Velásquez V. y A. Amador G. 2007. Simulación de lluvia para parametrizar el Modelo WEPP en dos sistemas de manejo agrícola de ladera. P. 193-224 In Sánchez Brito, C. et al.(ed.) Avances de investigación en agricultura sostenible IV: Bases metodológicas para el manejo integral de cuencas hidrológicas. INIFAP. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro C.E. Uruapan.
- Ward A.D. and Trimble S.W. 2004. Environmental Hydrology. Lewis Pub. 475 pp.
- Wanielista, M., Kersten, R. and R. Eaglin. 1997. Hydrology Water Quantity and Quality Control. John Wiley & Sons. 2nd ed. USA.
- Williams, I.R. 1975. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service S-40, pp. 244-252.
- Wischmeier. W. H. y D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. Agricultural handbook 537. U. S. Dept. Agr. Washington. D. C. 58 pp.
- Yu, J., et al. 2003. Infiltration and erosion in soil treated with dry PAM and gypsum. Trans. ASAE. Vol. 43, pp. 1561-1568.





# 4

## La comunidad de peces del lago de Pátzcuaro

Luis Zambrano<sup>1</sup>, Fernando Córdova-Tapia<sup>2</sup>, Rodrigo Pacheco-Muñoz<sup>2</sup> y Karen Levy Gálvez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional Autónoma de México; Instituto de Biología.  
zambrano@ib.unam.mx

<sup>2</sup>Laboratorio de Restauración Ecológica,  
Instituto de Biología, UNAM,  
Ciudad Universitaria México DF: 04510 Mexico

### Resumen

La comunidad de peces del lago de Pátzcuaro ha sufrido grandes cambios en las últimas décadas. Actualmente, la pesca en el lago es una actividad secundaria enfocada principalmente en el autoconsumo. La reducción en las poblaciones de peces puede deberse al efecto sinérgico entre la presencia de las especies exóticas (carpa y tilapia), la reducción en la calidad del agua y la pérdida de rutas tróficas. Debido a esta problemática es necesario conocer como se encuentra actualmente la comunidad de peces y proponer medidas para el manejo de las especies exóticas. Las especies exóticas representan la mayor cantidad de biomasa en todo el lago. La mayor densidad de biomasa se encuentra en la zona sur del lago y está representada principalmente por la tilapia. La mayor cantidad de biomasa de carpa se encuentra en las zonas sur y norte. En cuanto al número de individuos, el charal fue la especie dominante en las tres zonas del lago.

Con el objetivo de reducir las densidades de las especies exóticas y favorecer la recuperación de las poblaciones de especies nativas se sugiere la aplicación de un programa de extracción de carpa y tilapia. La extracción de lirio en la zona sur puede contribuir a eliminar sitios de crianza para las especies exóticas. Se recomienda establecer a la zona centro como sitio de conservación y refugio de especies nativas. Para lograr un manejo adecuado del recurso pesquero del lago de Pátzcuaro y una recuperación efectiva de las poblaciones de especies nativas es necesario el compromiso a largo plazo y el monitoreo continuo de la comunidad íctica.

### Abstract

The fish community of Lake Patzcuaro has been under major changes in the last decades. Nowadays, the fishery is a secondary activity primarily focused on self-consumption. The reduction in fish stock may be due to the synergistic effect

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

between the presence of non-native species (carp and tilapia) and depletion in water quality, resulting in a reduction of trophic pathways. The non-native species represent the major part of biomass in the whole lake. Tilapia was the most abundant species in terms of biomass and it was principally distributed in the south part of the lake. Silverside fishes were more abundant in the number of individuals in the whole lake. In order to reduce the non-native species densities and favor the native species population recovery, we recommend a program of intensive fishery of non-native species. As the south part of the lake seem to be a nursery for tilapia and carp, possibly using exotic lily as a refuge for allelopathy, it is also recommended to extract this exotic floating plant. The center area can be used for conservation for native species refuge site. To achieve a successful management of Lake Patzcuaro's fishery resource and an effective recovery of the native species population, long term commitment and the continuous monitoring of fish community is needed.

## Introducción

Desde tiempos precolombinos, el lago de Pátzcuaro representaba una de las zonas pesqueras dulceacuícolas más importantes del país (Orbe-Mendoza, Acevedo-García, y Lyons, 2002). En la década de los 80, en el lago aumentó drásticamente el esfuerzo pesquero y el número de pescadores. Como consecuencia, la producción multiespecífica del lago alcanzó las 2,524 toneladas en 1988 (Orbe-Mendoza, Acevedo-García, y Lyons, 2002). Sin embargo, después de ese año la producción pesquera comenzó a decaer rápidamente, siendo la producción en 2005 de tan sólo 54.18 toneladas (SAGARPA, 2009, Figura 1). La causa de este colapso en la producción pesquera se ha atribuido principalmente a la sobre explotación y a pesar de que el esfuerzo pesquero se ha reducido paulatinamente, las poblaciones

de peces no han incrementado (Orbe-Mendoza, Acevedo-García, y Lyons, 2002). Esto puede deberse al efecto sinérgico entre la presencia de las especies exóticas, la reducción en la calidad del agua y la pérdida de rutas tróficas (Orbe-Mendoza, Acevedo-García, y Lyons, 2002; Córdova-Tapia, 2011; Zambrano *et al.*, 2011).



Figura 1. Producción pesquera multiespecífica (toneladas) desde 1981 hasta 2005.

Modificado de Orbe-Mendoza y Acevedo-García (2002) y SAGARPA (2009).

## Especies exóticas

Los estudios previos dedicados a investigar los cambios en la comunidad íctica en el lago indican que se ha mantenido en constante cambio, principalmente debido a la introducción de diversas especies exóticas en distintos tiempos y a las extinciones locales de especies nativas (Del Campo, 1940; Jiménez-Badillo y Gracia, 1995; Berlanga-Robles *et al.*, 1997; Orbe-Mendoza y Acevedo-García, 2002) (Tabla 1). Actualmente, sólo se encuentran la carpa (*Cyprinus carpio*) y la tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Tabla 1). Estas especies se encuentran ampliamente distribuidas a nivel mundial y los efectos que se han reportado se enfocan principalmente en el desplazamiento de las especies nativas y la alteración de la calidad del agua (Zambrano *et al.*, 2006). Las carpas tienden a sobrevivir en regiones más frías, mientras que la tilapia regiones tropicales

## La comunidad de peces del lago de Pátzcuaro

(Zambrano *et al.*, 2006). En el lago de Pátzcuaro, debido a sus características geográficas (un lago de intermontaña en una zona trópic), las condiciones se están dando para que ambas coexistan. La carpa es la especie exótica que más se pesca en el lago, sin embargo, individuos de esta especie presentan un peso promedio de 200 g, por lo que su comercialización es difícil. En consecuencia, la pesca en el lago es una actividad secundaria enfocada principalmente en el autoconsumo (Vargas-Velázquez, 2011).

En los últimos años se ha registrado otro cambio en la comunidad de peces. La especie *Poeciliopsis infans*, nativa de la región centro del país fue detectada en el año 1997 (Mateos *et al.*, 2002). Aún no se conoce la forma en la que esta especie colonizó el lago pero entre las posibles hipótesis se encuentra la liberación intencional por acuacristas, la introducción incidental por personas que trabajan con el recurso pesquero y la colonización natural desde la cuenca de Coahuila (Galindo-Villegas y Sosa-Lima, 2002).

Tabla 1. Matriz de presencia (1)- ausencia (0) de especies en el lago de Pátzcuaro. a: Del Campo, 1940; b: Berlanga-Robles *et al.*, 2002; c: el presente estudio.

Especie	1940 <sup>a</sup>	1991 <sup>b</sup>	2011 <sup>c</sup>
Nativas			
<i>Algansea lacustris</i>	1	1	0
<i>Allophorus robustus</i>	1	1	1
<i>Goodea atripinnis</i>	1	1	1
<i>Neophorus diazi</i>	1	1	0
<i>Chirostoma attenuatum</i>	1	1	~
<i>Chirostoma estor</i>	1	1	1
<i>Chirostoma grandocule</i>	1	1	~
<i>Chirostoma patzcuaro</i>	1	1	~
<i>Poeciliopsis infans</i> *	0	0	1
<i>Skiffia lermae</i>	1	0	0
<i>Allophorus dugesi</i>	1	0	0
Exóticas			
<i>Cyprinus carpio</i>	0	1	1
<i>Oreochromis niloticus</i>	0	1	1
<i>Micropterus salmoides</i>	1	1	0
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	0	"	0
<i>Tilapia rendalli</i>	0	"	0
<i>Chirostoma humboldtianum</i>	1	0	~

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Actualmente se desconocen los efectos que puedan ocurrir debido a la presencia de esta especie en el lago. Sin embargo, con base en sus firmas isotópicas, esta especie presenta un nicho trófico distinto al resto de las especies (Zambrano *et al.*, 2011). En el lago han sido reportadas cinco especies de charales: *Chirostoma attenuatum*, *Chirostoma grandocule*, *Chirostoma patzcuaro*, *Chirostoma humboldtianum* y el pez blanco *Chirostoma estor* (Jiménez-Badillo y Gracia, 1995). Estas especies presentan características ecológicas similares: hibridación en condiciones naturales, y un alto grado de traslape de nicho trófico, reproductivo y espacial (Jiménez-Badillo y Gracia, op. cit.). Además de presentar una identificación taxonómica complicada (Barbour, 1973). Debido a esto, el manejo de estas especies en el Lago de Pátzcuaro se ha realizado a nivel de género (*Chirostoma*).

En tiempos anteriores a la introducción de especies exóticas, las especies que representaban el recurso pesquero más rentable eran los charales, en particular el pez blanco, que es una especie con un gran valor comercial que ha sido apreciado desde tiempos prehispánicos como un manjar culinario. Actualmente, su abundancia en el lago de Pátzcuaro es la más baja en comparación con el resto de todas las especies de peces. La similitud morfológica que existe entre el pez blanco y las demás especies del género *Chirostoma* hacen imposible su identificación en campo, incluso para los especialistas taxónomos y los pescadores locales experimentados (Barbour, 1973). Así, la colecta accidental de individuos juveniles de pez blanco podría estar limitando significativamente su capacidad para alcanzar tallas reproductivas.

### *Calidad del agua*

Los cambios en la comunidad de peces también se encuentran asociados a los cambios en la calidad de agua (Ramírez-Herrejón *et al.*, 2012). El lago de Pátzcuaro presenta una clara heteroge-

neidad en sus características físicas y químicas (Sánchez-Chávez *et al.*, 2011). Permitiendo clasificar el lago en tres zonas distintas; La zona sur, la zona centro y la zona norte (Zambrano *et al.*, 2011).

La zona sur es la región más somera (hasta 0.15 metros) y perturbada del lago, pues posee el asentamiento humano más importante de la cuenca (la ciudad de Pátzcuaro) y recibe tres descargas municipales que no cuentan con un tratamiento adecuado (Pátzcuaro, Janitzio y Erongarícuaro (Chacón-Torres *et al.*, 2004; Sánchez-Chávez *et al.*, 2011) (Figura 2). En esta zona, las actividades humanas son muy frecuentes, sobre todo las turísticas en la isla de Janitzio. El combustible de las embarcaciones y la resuspensión de sedimento a causa de los motores son factores que alteran la calidad del agua en esta zona somera (Lindig-Cisneros y Zambrano, 2007).



Figura 2. Localización de los seis sitios de muestreo y su clasificación en tres zonas: norte, centro y sur. 1: San Jerónimo; 2: Tzintzuntzan; 3: Cuello; 4: Pacanda; 5: Napízaro; 6: Embarcadero

La zona norte del lago es la más profunda y se caracteriza por el uso de suelo agrícola en las riberas. Esta zona recibe el impacto de las poblaciones de Quiroga, Santa Fe de la Laguna, Tzintzuntzan y San Jerónimo. La calidad del agua, con base en los valores ICA de Sanchez-Chavez (2011) es intermedia ( $63.73 \pm 1.81$ , unidades ICA) entre la zona sur ( $60.33 \pm 1.70$ , unidades ICA) y centro ( $68.86 \pm 1.16$ , unidades ICA). La descarga municipal más importante es la de Tzintzuntzan, cuyo tratamiento también es deficiente (Sánchez-Chávez *et al.*, 2011).

La zona centro se considera la región más conservada del lago. El uso de suelo predominante es el forestal y los poblados aledaños (Tarerio, Ucasanastacua y Oponguio) son los que cuentan con un menor número de habitantes (INEGI, 2010). El índice de la calidad del agua en esta zona presenta los valores más altos en comparación con las demás zonas (Sánchez-Chávez *et al.*, 2011).

### *Pérdida de rutas tróficas*

El estudio de la estructura trófica de un sistema acuático perturbado permite comprender los efectos negativos de las especies exóticas (Vander Zanden *et al.*, 2003) y los efectos negativos de los cambios en la calidad del agua (Zambrano *et al.*, 2010).

En el lago de Pátzcuaro existe heterogeneidad en las estructuras tróficas de las tres zonas del sistema. Las zonas norte y centro presentan las rutas béntica y pelágica. La zona centro presenta la mayor diversidad trófica en todo el lago pues posee la mayor cantidad de eslabones tróficos con respecto a las demás zonas. La zona sur ha perdido la ruta béntica y conserva la ruta pelágica en la que el flujo de energía depende del fitoplancton. Esta pérdida es un indicador del efecto que las actividades antropogénicas tienen sobre la dinámica del ecosistema (Córdova-Tapia, 2011; Zambrano *et al.*, 2011).

Existen varios factores que pueden ser responsables de esta pérdida: la baja abundancia de invertebrados bénticos debida al aumento en la densidad de peces bentívoros (carpa) (Scheffer, 1998; Miller y Crowl, 2006); el alto contenido de nutrientes en la zona que favorece la proliferación del fitoplancton disminuyendo la entrada de luz en el sistema (Hargeby *et al.*, 1994.) y la resuspensión del sedimento debida al forrajeo de la carpa y al tráfico constante de embarcaciones motorizadas (Zambrano *et al.*, 2001; Lindig-Cisneros y Zambrano, 2007).

La presencia de especies exóticas, la reducción en la calidad del agua y la alteración de la estructura trófica en el lago de Pátzcuaro generan un escenario muy complejo para la recuperación de las especies nativas.

El presente estudio se enfocó en conocer la distribución espacial de las especies y sus densidades, con base en la heterogeneidad fisicoquí-

mica y biológica de las distintas zonas del lago (zona norte, centro y sur) con el fin de proponer un manejo adecuado de la pesquería y la recuperación de las poblaciones de peces nativos.

### Método

El muestreo se llevó a cabo en el lago de Pátzcuaro durante los meses de septiembre y diciembre de 2011, y abril de 2012. Estos meses corresponden a la temporada de lluvias, secas frías y secas cálidas, respectivamente. Los muestreos se realizaron entre las 9:00 y las 16:00 horas. Con el objetivo de conocer las diferencias en la comunidad de peces se eligieron seis sitios de muestreo que representan tres zonas del lago: la zona norte (San Jerónimo y Tzintzuntzan), centro (Cuello y Pacanda) y sur (Napízaro y Embarcadero) (Figura 2).

Para complementar los resultados del estudio anterior (Zambrano, et al 2011) en el cual el arte de pesca fue elegido para conocer la distribución de la carpa, en el presente estudio se utilizaron dos redes tipo chinchorro con el objetivo de representar la comunidad íctica completa. En cada sitio se realizaron seis lances: tres con chinchorro “charalero” (75 x 5 m, luz de malla de 1 cm) y tres con chinchorro “carpero” (150 x 9 m, luz de malla de 4 cm). En el caso de la salida de diciembre, que corresponde a la temporada de secas frías, se realizaron dos lances con chinchorro “charalero” y dos lances con chinchorro “carpero”. En cada lance se contó el número de individuos por especies y se tomaron datos métricos (largo patrón y peso), los cuales se utilizaron para obtener los valores del factor de condición, valor que se obtiene de la relación entre la talla y el peso del individuo. Todos los datos de colecta fueron estandarizados en densidades por m<sup>2</sup>, con base en el área total ocupada por cada chinchorro, para realizar las comparaciones. Las especies *Oreochromis aureus* (tilapia) y *Goodea atripinnis* (tiro) fueron las únicas captu-

radas con ambos chinchorros, por lo que se utilizó el promedio de las capturas estandarizadas de cada chinchorro.

Debido a la dificultad en la identificación se consideró a todo el conjunto de organismos del género *Chirostoma* con largo patrón menor a 10 cm y se agruparon como charales puesto que ocupan el mismo nicho trófico. Los organismos con un largo patrón mayor a 15 cm fueron considerados como *Chirostoma estor* (pez blanco) debido a que ninguna otra especie de charal puede alcanzar esta talla (Barbour, 1973). Cabe mencionar que, debido a la escasa presencia de la especie *Chirostoma estor* (pez blanco), esta no fue considerada en los análisis.

La captura total está representada por 62,164 individuos. El chinchorro charalero permitió la colecta de *Chirostoma spp.* (charales), *Poeciliopsis infans* (poecílido), *Allophorus robustus* (chegua), *Goodea atripinnis* (tiro) y *Oreochromis aureus* (tilapia). El chinchorro carpero permitió la colecta de *Cyprinus carpio* (carpa), *Chirostoma estor* (pez blanco), *Goodea atripinnis* (tiro) y *Oreochromis aureus* (tilapia).

### Resultados

#### Densidad por Biomasa

Con respecto a la densidad por biomasa, las especies exóticas juegan un papel importante ya que representan la mayor biomasa de todo el lago. Esta biomasa es mayor en la zona sur y está representada principalmente por la tilapia. La tilapia obtuvo el valor más alto de densidad en todo el estudio (9.28 g/m<sup>2</sup>) (Tabla 2). Sin embargo, en la zona centro, la densidad de tilapia es baja en comparación con las demás zonas (0.003 g/m<sup>2</sup> en promedio).

La comunidad de peces del lago de Pátzcuaro

Tabla 2. Densidad y biomasa de las especies de peces por época y región en el lago de Pátzcuaro.

	Individuos/metro <sup>2</sup>										Gramos/metro <sup>2</sup>			
	Charal	Poecilido	Tiro	Carpa	Tilapia	Chegua	Blanco	Charal	Poecilido	Tiro	Carpa	Tilapia	Chegua	Blanco
Lluvias														
Norte	2.244	0.004	0.004	0.010	0.002	0.000	0.000	1.102	0.005	0.086	0.932	0.061	0.000	0.000
Centro	3.757	0.001	0.001	0.001	<0.001	0.000	0.000	1.221	0.001	0.007	0.398	0.007	0.000	0.000
Sur	3.410	0.420	0.007	0.006	0.516	0.000	0.000	1.743	0.246	0.038	0.551	1.821	0.000	0.000
Secas frías														
Norte	1.786	0.004	0.000	0.005	0.001	<0.001	0.000	1.061	0.001	0.000	0.426	0.022	<0.001	0.000
Centro	0.665	0.001	<0.001	0.000	0.000	0.000	<0.001	0.494	<0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	<0.001
Sur	1.506	0.471	0.001	0.005	2.469	0.000	<0.001	0.783	0.147	0.007	0.906	5.060	0.000	0.001
Secas cálidas														
Norte	2.306	0.000	0.007	0.011	0.014	0.000	0.000	1.731	0.000	0.265	2.682	0.860	0.000	0.000
Centro	1.373	0.013	0.000	0.001	<0.001	0.000	0.000	1.158	0.008	0.000	0.242	0.002	0.000	0.000
Sur	0.907	0.139	0.026	0.030	0.272	0.000	0.000	1.502	0.131	0.799	2.432	9.285	0.000	0.000

\* Especie nativa de la región centro del país.

“ Especies introducidas en el lago aproximadamente en el año 1970 cuya presencia no está reportada en Berlanga-Robles *et al.*, 2002.

~ Especies no identificadas taxonómicamente.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

La carpa también tuvo una presencia importante en todas las zonas durante las tres temporadas, siendo la segunda especie con mayor densidad en las zonas norte y centro del lago ( $1.346 \text{ g/m}^2$  y  $0.213 \text{ g/m}^2$ , en promedio respectivamente) (Figura 3). La carpa presentó la mayor densidad en la zona norte durante la temporada de secas cálidas ( $2.682 \text{ g/m}^2$ ).

En cuanto a las especies nativas, la biomasa del tiro fue muy baja. El único lugar en donde esta especie presentó una densidad mayor a  $0.5 \text{ g/m}^2$  es la zona sur durante la temporada de secas cálidas (Tabla 2). La chegua y el pez blanco tienen las densidades por biomasa más bajas de todo el lago ( $<0.001 \text{ g/m}^2$ ) figura 3. La zona centro presentó la menor densidad por biomasa de todo el

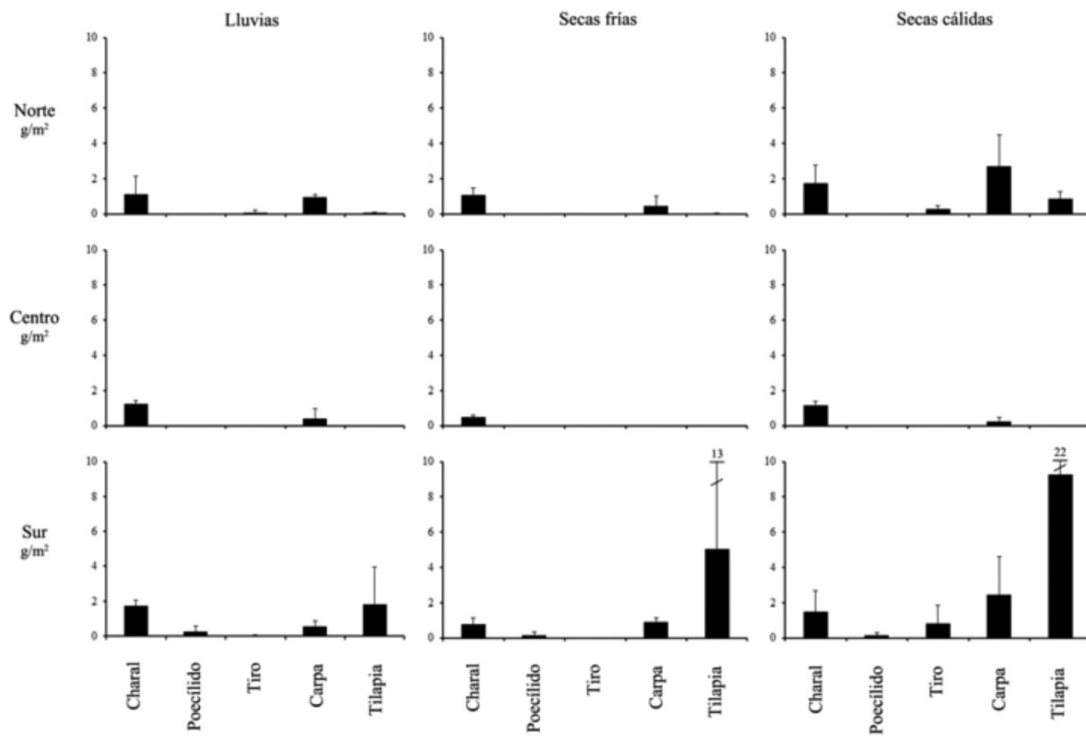


Figura 3. Densidad de biomasa ( $\text{g/m}^2$ ) de la comunidad íctica en las diferentes temporadas y zonas del lago.



## La comunidad de peces del lago de Pátzcuaro

lago y la especie que domina dicha densidad es el charal (0.957 g/m<sup>2</sup> en promedio).

### Densidad por individuos

El charal fue la especie dominante en cuanto a densidad de individuos en las tres zonas del lago (Figura 4). En las zonas norte y centro, esta especie superaba considerablemente la densidad de cualquier otra especie (Tabla 2). En la zona sur, la tilapia es la única especie que superaba la densidad del charal durante la temporada de secas frías.

En la zona centro se registró la mayor densidad de individuos de charal (3.757 ind/m<sup>2</sup>) en la temporada de lluvias. En esta misma zona se registró la menor densidad de charal (0.665 ind/m<sup>2</sup>) durante la temporada de secas frías.

Existe una mayor densidad de tilapias en la zona sur del lago con respecto a la densidad en las

otras zonas. La mayor densidad de esta especie se registró en la temporada de secas frías en la zona sur (2.469 ind/m<sup>2</sup>). Al igual que la tilapia, el grupo de los poecílicos presentó una densidad mayor en la zona sur (0.471 ind/m<sup>2</sup>). La densidad de las carpas se mantuvo baja en las tres zonas y durante las tres temporadas (0.007 ind/m<sup>2</sup>).

En todo el estudio se registraron muy pocos individuos de pez blanco y chegua. Ambas especies se colectaron únicamente durante la temporada de secas frías. Se colectaron 3 individuos de pez blanco, 1 en la zona centro y 2 en la zona sur. En cuanto a la chegua, se colectaron 2 individuos en la zona norte. Las densidades de ambas especies fueron menores a 0.001 ind/m<sup>2</sup>, por lo tanto no fueron consideradas para los análisis de la figura 4.

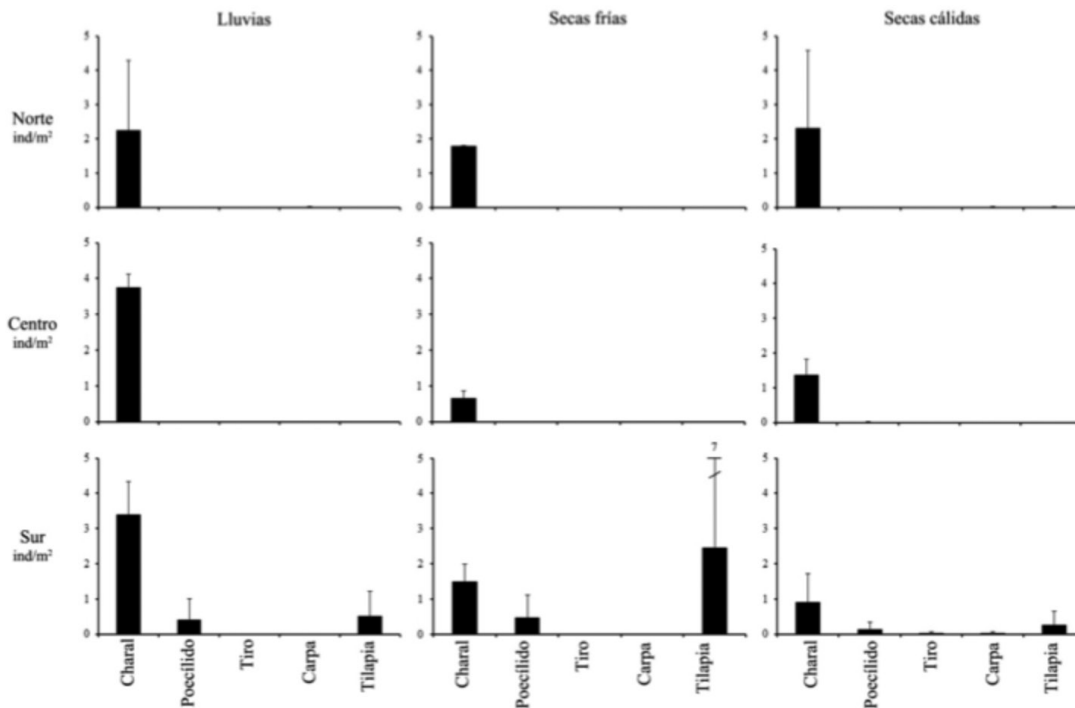


Figura 4. Densidad de individuos (ind/m<sup>2</sup>) de la comunidad íctica en las diferentes temporadas y zonas del lago.

## Talla y peso de la comunidad de peces

Existe una relación directa entre el largo patrón y el peso de los individuos de peces de las diferentes especies (Figura 5). Esta relación es variable de acuerdo a la temporada y a la especie. En la temporada de lluvias, las especies que obtuvieron un mayor factor de condición son los poecílidos y la tilapia, mientras que el charal, el tiro y la carpa obtuvieron un mayor factor de condición durante la temporada de secas (Figura 6). Estas diferencias son evidentes únicamente para el charal y para los poecílidos. Para las demás especies, las diferencias son relativamente bajas entre temporadas.

Con respecto al peso de las especies, el charal presenta valores similares en las tres zonas del lago (1.695 g, en promedio). El tiro presenta los valores más altos en la zona norte y los menores en la zona centro (36.25 g y 6.75 g, respectivamente). Los poecílidos, la carpa y la tilapia presentan una distribución en donde los valores más altos se encuentran en la zona norte y disminuyen hacia la zona sur (Figura 7).

## Discusión

La distribución espacial de la comunidad de peces es diferencial en las tres zonas del lago de Pátzcuaro. Estos resultados concuerdan con la zonificación basada en los parámetros fisicoquímicos del agua y los distintos usos de suelo de la zona litoral propuesta por Córdova-Tapia (2011). La distribución de las especies exóticas se concentra en las zonas sur (tilapia) y la zona norte (carpa). Los charales se distribuyen en todo el lago y son dominantes en la zona centro. El gradiente de perturbación y las diferencias en la temperatura son factores que pueden determinar la distribución diferencial de las especies de

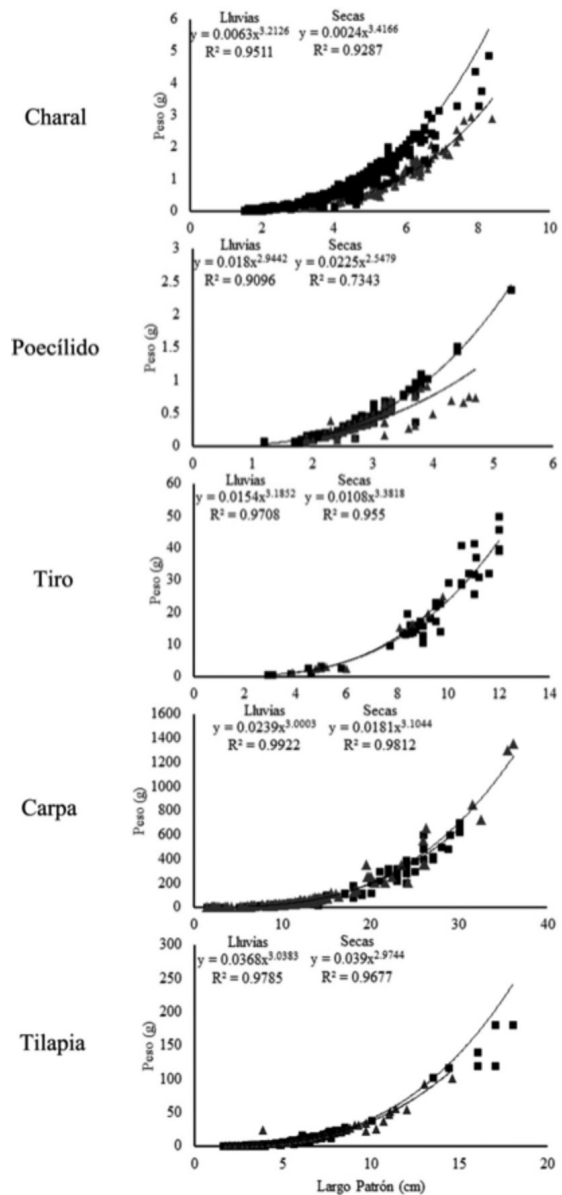


Figura 5. Relación entre el largo patrón (cm) y el peso (g) de las especies de peces. Factor de condición calculado para las temporadas de lluvias y secas frías. Los cuadros representan a los individuos durante la temporada de lluvias y los triángulos durante la temporada de secas frías.

## La comunidad de peces del lago de Pátzcuaro

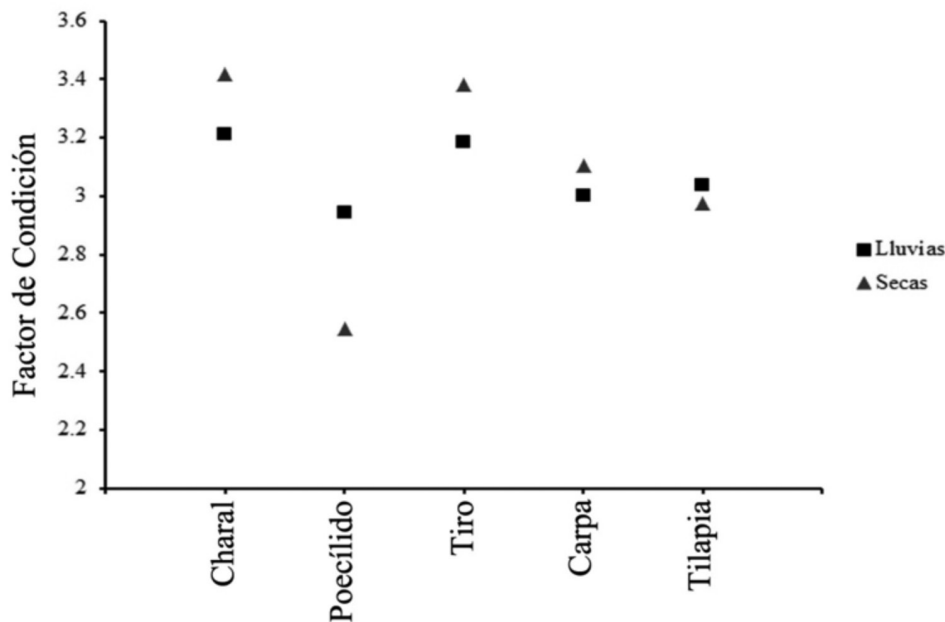


Figura 6. Factor de condición calculado para la comunidad íctica en las temporadas de lluvias y secas frías a partir de la relación entre el largo patrón y el peso de los individuos, representada en la Figura 5.

peces (Zambrano *et al.*, 2006; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2012). El aumento en el aporte de materia orgánica y nutrientes provenientes de los asentamientos humanos y el uso de suelo para la agricultura en las zonas sur y norte explica el aumento en la biomasa de la comunidad íctica.

La distribución diferencial de carpas y tilapias puede deberse principalmente a la variación en la temperatura dentro del lago. A nivel continental, las carpas muestran una preferencia por zonas con temperaturas bajas, mientras que las tilapias están adaptadas a una temperatura cálida (Zambrano *et al.*, 2006). La variación de la temperatura en el lago va de 16 a 18 °C en la zona norte y de 20 a 22 °C en la zona sur. Así, las especies exóticas podrían estar respondiendo a este gradiente. Por otra parte, de acuerdo con Zambrano *et al.*, (2011), las carpas presentan una menor variación en sus recursos alimenticios en la zona sur en comparación con las carpas de la zona norte. En cambio, las tilapias, no presentan amplias variaciones observables en los orígenes de sus recursos entre los sitios. Esto

con base en el traslape de sus nichos tróficos (Cordova-Tapia., 2011). Además, la zona sur presenta la menor calidad de agua en comparación con la zona centro y norte. Por lo que, alguno o algunos de estos factores podrían estar contribuyendo a la distribución espacial de ambas especies.

Con respecto a las especies nativas, la dominancia de charales en la zona centro se debe a las bajas densidades de carpa y tilapia durante las tres temporadas. La densidad de charales en las tres zonas es muy similar, por lo que la baja abundancia de especies exóticas en la zona centro no significa un aumento en la densidad de charales en esta zona.

La presencia de carpa y tilapia, en sitios donde las densidades de especies nativas es muy baja sugiere un efecto negativo de las especies exóticas sobre las nativas. Además, en este estudio no se registró la presencia de *Algansea lacustris*, *Neophorus diazi*, *Skifia lermae* y *Allophorus dugesi*, especies nativas de peces del lago de Pátzcuaro.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

ro. Este efecto puede deberse a una o a diversas razones, como: al traslape de los nichos tróficos entre las nativas y las exóticas (Cordova-Tapia., 2011), la capacidad de las carpas (Vooren, 1986) y tilapias de habitar zonas perturbadas (Zambrano, Valiente, & Vander Zanden, 2010b), a la alteración de la estructura trófica causada por la presencia de las especies exóticas, o por el

aporte de contaminantes al sistema (Zambrano *et al.*, 2011).

En la zona sur, la cercanía del poblado de Pátzcuaro, la afluencia de embarcaciones, el mayor aporte de sedimentos y la mayor contaminación por descargas residuales convierten a la zona sur en el sitio con mayor perturbación del lago. Esta zona posee la mayor densidad de bio-

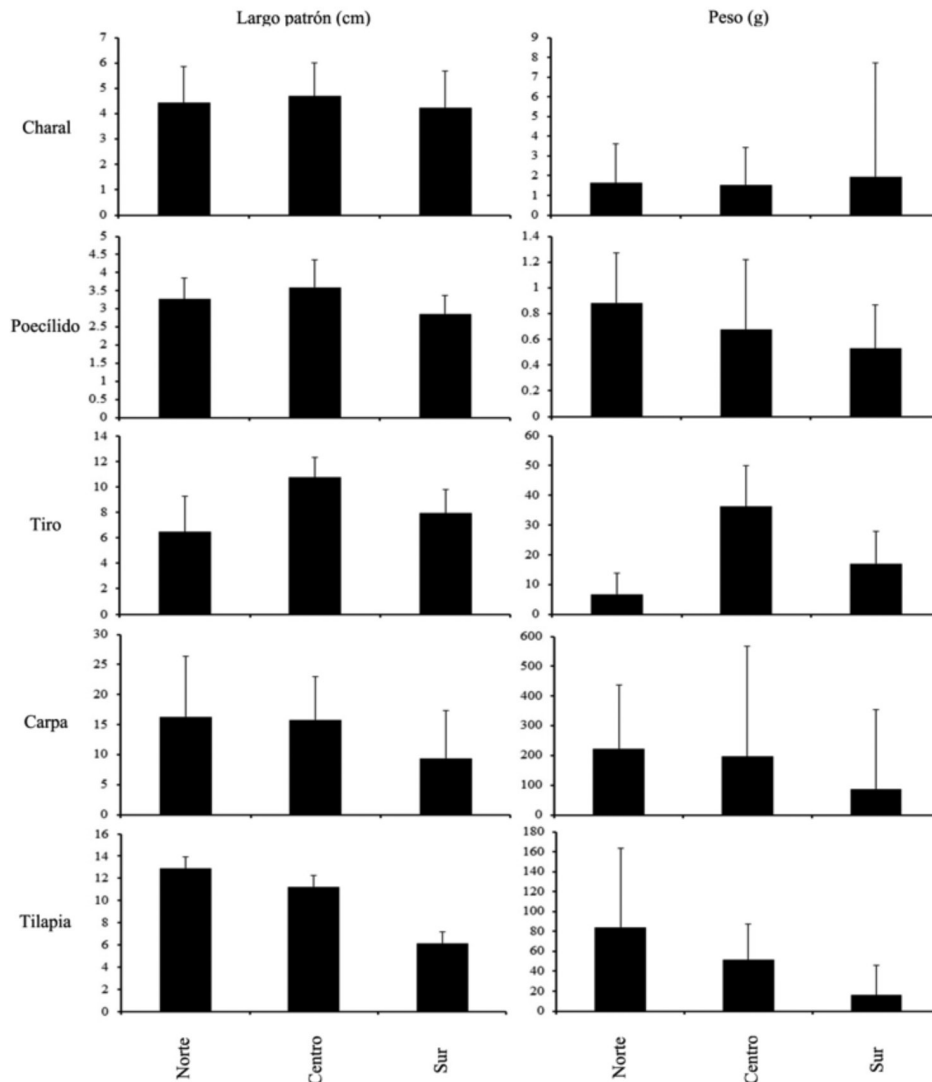


Figura 7. Promedio y desviación estándar del largo patrón (cm) y del peso (g) de las especies de peces en cada una de las zonas del lago.

masa de peces con respecto al resto del lago. Sin embargo la tilapia es la especie dominante, y tanto la carpa como la tilapia presentan las menores tallas. Esto sugerimos que se debe a la alta densidad de lirio acuático en la zona, el cual podría estar funcionando como refugio, zona de crianza y banco de alimento para estas especies exóticas. Las condiciones de la zona sur podrían estar siendo mejor aprovechadas por las especies exóticas debido a su alta tolerancia a los cambios en la calidad del agua y a sus hábitos alimenticios generalistas.

## Conclusiones y Recomendaciones

Con base en las características diferenciales de las tres zonas del lago con respecto a la comunidad íctica, y con el objetivo de reducir las densidades de las especies exóticas y favorecer la recuperación de las poblaciones de especies nativas, se sugiere la aplicación de un programa de extracción de carpa y tilapia. Para las zonas norte y centro se sugiere el uso de redes tipo chinchorro (luz de malla de 4 cm) para la captura de carpas adultas, y para la zona sur se sugiere el uso de chinchorros con luz de malla de 1 cm para la extracción de tilapias y carpas juveniles. La extracción de lirio puede contribuir a eliminar sitios de crianza para las especies exóticas. El tratamiento adecuado de aguas residuales es fundamental para disminuir el grado de perturbación de las tres zonas del lago.

Se recomienda establecer a la zona centro como sitio de conservación y refugio de especies nativas. Debido a que la probabilidad de confundir la pesca de charal con la pesca de ejemplares juveniles de pez blanco es alta, se sugiere proponer una calendarización de pesca que permita la recuperación de las poblaciones de charales y la posible protección de poblaciones remanentes de pez blanco. Para lograr un manejo adecua-

do del recurso pesquero del lago de Pátzcuaro y una recuperación efectiva de las poblaciones de especies nativas es necesario el compromiso a largo plazo y el monitoreo continuo de la comunidad íctica.

## Referencias

- Barbour C.D., 1973. The systematics and evolution of the genus *Chirostoma* Swainson (Pisces, Atherinidae). *Tulane Studies in Zoology and Botany*, 18, 97-114.
- Berlanga-Robles C.A., Ruiz-Luna A., Nepita-Villanueva M.R. and Madrid-Vera J., 1997. Estabilidad y diversidad de la composición de peces del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Revista de Biología Tropical*, 45, 1553-1558.
- Córdova-Tapia F., 2011. Caracterización de la estructura trófica del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 53 p.
- Chacón-Torres A., Ayala-Ramírez G. L., Rendon-López M. B., Rosas-Monge C. y Ruiz-Sevilla G., 2004. Ficha Informativa de Humedales Ramsar. Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México, 13 p.
- Del Campo M., 1940. Los vertebrados de Pátzcuaro. *Anales del Instituto de Biología*, 11(2): 481-492.
- Galindo-Villegas J. and Sosa-Lima E., 2002. Gonopodial system review and a new record of *Poeciliopsis infans* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) for Lake Patzcuaro, Michoacan, central Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 50, 3-4.
- Hargeby A., Andersson G., Blindow I. and Johansson S., 1994. Trophic web structure in a shallow eutrophic lake during dominance shift from phytoplankton to submerged macrophytes. *Hydrobiologia*, 279/280, 83-90.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía.,

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

2010. Censo de Población y Vivienda 2010. México en Cifras. Información Nacional, por entidad federativa y municipios. Tomado de: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexico-cifras/>
- Jiménez-Badillo M.L. and Gracia A., 1995. Evaluación de la pesquería multiespecífica de Charales (*Chirostoma spp.*, Pisces, Atherinidae) del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoológica*, 66, 205-231.
- Lindig-Cisneros R. y Zambrano L., 2007. Aplicaciones prácticas para la conservación y restauración de humedales y otros ecosistemas acuáticos. In: Sánchez O., Herzig M., Peters E., Márquez-Huitzil R. y Zambrano L. (ed.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. P 167-188.
- Mateos M., Sanjurjo O. I. and Vrijenhoek R. C., 2002. Historical biogeography of the livebearing fish genus *Poeciliopsis* (Poeciliidae: Cyprinodontiformes). *Evolution*, 56(5): 972-984.
- Miller S.A. and Crowl T.A., 2006. Effects of common carp (*Cyprinus carpio*) on macrophytes and invertebrate communities in a shallow lake. *Freshwater Biology*, 51, 85-94.
- Orbe-Mendoza A.A. and Acevedo-García J., 2002. El Lago de Pátzcuaro. In: De la Lanza G. and García-Calderón J.L. (ed.), *Lagos y Presas de México*. Centro de Ecología y Desarrollo A. C., México, 89-108.
- Ramírez-Herrejón J. P., Mercado-Silva N., Medina-Nava M. y Domínguez-Domínguez O., 2012. Validación de dos índices biológicos de integridad (IBI) en la subcuenca del río Angulo en el centro de México. *Revista de Biología Tropical*, 60(4):1669-1685.
- Sánchez-Chávez J., Bravo-Inclán L., Tomasini-Ortiz C. and Bernal-Brooks F., 2011. Calidad del agua del lago de Pátzcuaro. In: Huerto-Delgadillo R.I., Vargas-Velázquez S. and Ortiz-Paniagua C.F. (ed.), *Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro*. Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 29-48.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2009. Respuesta a los comentarios y modificaciones efectuadas al Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-036-PESC-2005, pesca responsable en el Lago de Pátzcuaro, especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros publicado el 20 de marzo de 2007. *Diario Oficial de la Federación*, México, 6 p.
- Scheffer M., 1998. *Ecology of Shallow Lakes*, Chapman & Hall, United Kingdom, 357 p.
- Vander Zanden, M.K., Chandra, S., Allen B. C., Reuter, J. E., y Goldman, C. R., 2003. Historical Food Web Structure and Restoration of Native Aquatic Communities in the Lake Tahoe (California-Nevada) Basin. *Ecosystems*, 6 (3), 274-288. Doi:10.1007/s10021-002-0204-7.
- Vargas-Velázquez S., 2011. Los Pescadores del lago; entre el manejo comunitario y el deterioro ambiental. In: Huerto-Delgadillo R.I., Vargas-Velázquez S. and Ortiz-Paniagua C.F. (ed.), *Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro*. Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 193-220.
- Vooren, A. Van., 1986. Common carp in the Upper Mississippi River. *Hidrobiologia*, 154, 141-153
- Zambrano L., Scheffer M. and Martínez-Ramos M., 2001. Catastrophic response of lakes to benthivorous fish introduction. *Oikos*, 94, 344-350.
- Zambrano L., Martínez-Meyer E., Menezes N. and Peterson T., 2006. Invasive potential of common carp (*Cyprinus carpio*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in American freshwater systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 63, 1903-1910.

## La comunidad de peces del lago de Pátzcuaro

- Zambrano L., Cordova-Tapia F., Ramírez-Herrejón J. P., Mar-Silva V., Bustamante L., Camargo T. y Bustamante E., 2011. Las especies exóticas en el lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *In*: Huerto-Delgadillo R. I., Vargas-Velázquez S. y Ortiz-Paniagua C. F. (ed.), Estudio Ecosistémico del Lago de Pátzcuaro. Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 308 p.
- Zambrano, L., Valiente., y Jake Vander Zanden, M., 2010a. Stable isotope variation of a highly heterogeneous shallow freshwater system. *Hidrobiología*, 646 (1), 327-336. Doi:10.1007/s10750-010-0182-2.
- Zambrano, L., Valiente., y Jake Vander Zanden, M., 2010b. Food Web Overlap Among Native Axolotl (*Ambystoma mexicanum*) and two exotic fishes: carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Xochimilco, Mexico City. *Biological Invasions*, 12(9), 3061-3069 doi:10.1007/s10530-010-9697-8.





# Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

Dr. Miguel Rodríguez Serna  
 Universidad Autónoma Metropolitana  
 Iztapalapa  
 mrserna66@gmail.com

## Resumen

Para este estudio se realizó una sectorización ecológica del Lago en 17 regiones. Las recolecciones se hicieron mediante el empleo de redes de cuchara, con áreas mínimas de 1m<sup>2</sup>. Los organismos se identificaron mediante claves taxonómicas (Villalobos, 1955) y se tomaron datos morfo-métricos como son: longitud total, longitud del cefalotórax, peso total y sexo. Asimismo se registraron los parámetros fisicoquímicos del agua. Basados en los registros se realizó un mapeo de las zonas de recolecta para la representación de la estructura poblacional de *C. patzcuarensis*, los resultados obtenidos de la población nos indican una relación de sexo promedio de 1 H(♀) : 1 M(♂); tallas máximas para hembras de 38.3 mm y machos de 37 mm y tallas mínimas para hembras de 8.67 mm y para machos de 11.3 mm. Se observó una densidad poblacional de 10 organismos por m<sup>2</sup>, registrando una densidad de 5 para hembras por m<sup>2</sup> y de 5 para machos por m<sup>2</sup>.

Las zonas con mayor densidad por área son: Isla Yunuen e Isla Janitzio. Puácuaro, Isla Yunuen e Isla Janitzio se establecen como zonas de reproducción por su fondo rocoso y alta presencia de hembras ovígeras. Los indicadores poblacionales fueron: Índice Sintético de Fecundidad (ISF) = 199.17; Tasa Bruta de Reproducción (R) = 97.19; Intervalo de la Talla Media para Desove (TMD) = 37.81; Tasa Neta de Reproducción (R<sub>0</sub>) = 3.79; Tasa de Crecimiento Poblacional = 1.53 y Razón de crecimiento (%) = 153.13%. Los indicadores obtenidos para la población de *C. patzcuarensis* determinan que se encuentra en aumento. El mayor registro de desoves se observó durante la temporada de lluvias, la cual abarca de junio a octubre, con un número promedio de huevos por hembra de 65, máximo de 101 y mínimo de 30. Se aprecian siete estadios de desarrollo larval con duración de 35 días antes de eclosionar del huevo. En esta especie la hembra presenta desoves continuos con intervalos de menos de 20 días entre uno y otro. Se presentó una baja cantidad de huevos pero alta viabilidad. La ta-

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

La mínima registrada de reproducción fue de 25 mm, asimismo la temperatura no representa un factor limitante ya que *C. patzcuarensis* se adapta a las fluctuaciones presentes. Hay una variación espacio-temporal de parámetros físico-químicos en el Lago de Pátzcuaro, que presentan poca fluctuación de temperatura, oxígeno y pH. Se presentó un descenso de la salinidad y la conductividad durante la temporada de lluvias. El amonio registrado presentó su mayor concentración con 42.05 mg/l al norte del Lago de Pátzcuaro en la localidad de Chupícuaro, seguidos por las zonas de Cucuchucho, Pared-Tarerio y Oponguio, esto indica una eutrofización del lago. La composición del suelo está compuesto por un alto porcentaje de arcillas y arenas finas en tamaños que van desde 0.062 a 0.42 mm, con presencia de zonas de áreas rocosas. Los porcentajes de materia orgánica registrada fueron del 6% al 16%.

### Abstract

For this study we made an ecological zoning Lake in 17 regions. The collections were made by using scoop nets, with minimal areas of 1m<sup>2</sup>. The organisms were identified using taxonomic keys (Villalobos, 1955) and morphometric data were taken as: total length, carapace length, total weight and sex. Also physicochemical parameters were water. Based on the records were mapped collects the areas for the representation of the population structure of *C. patzcuarensis*, results indicate population sex relationship 1H average (♀): 1 M (♂) maximum sizes of 38.3 mm for females and males of 37 mm for females and minimum sizes of 8.67 mm and 11.3 mm for male. There was a population density of 10 organisms per m<sup>2</sup>, recording density per m<sup>2</sup> 5 for females and 5 for males per m<sup>2</sup>. The areas with the highest density per area are Yunuen Island and Isla Janitzio. Puácuaro Island and Isla

Janitzio Yunuen established as breeding areas for its rocky bottom and high presence of ovigerous females. The population indicators were: Synthetic Fertility Index ( ISF ) = 199.17; Gross Reproduction Rate ( R ) = 97.19; Interval for spawning Medium size ( TMD ) = 37.81; Play Net Rate ( Ro ) = 3.79; rate Population Growth Ratio = 1.53 and growth rate ( % ) = 153.13%. The indicators obtained for the population of *C. patzcuarensis* determine which is increasing. The highest record of spawning was observed during the rainy season, which runs from June to October, with an average number of eggs per female of 65 , maximum of 101 and minimum of 30. Reveals seven larval development stages lasting 35 days before hatching of the egg. In this species spawning female has continued with intervals of less than 20 days of each other. There was a low number of eggs but high viability. The minimum size reproduction recorded was 25 mm, also the temperature is not a limiting factor since *C. patzcuarensis* adapts to these fluctuations. There is a spatio-temporal variation of physicochemical parameters on Lake Patzcuaro, they show little fluctuation in temperature, oxygen and pH. It showed a decline in salinity and conductivity during the rainy season. The registration showed the highest ammonium concentration 42.05 mg / l north of Lake Patzcuaro in the town of Chupícuaro, followed by Cucuchucho areas, and Wall - Tarerio Oponguio, this indicates eutrophication. The soil composition is comprised of a high percentage of clay and fine sand in sizes ranging from 0.062 to 0.42 mm, with the presence of areas of rocky areas. Organic matter percentages were recorded from 6% to 16%.

### Introducción

Se realizaron estudios y análisis de la estructura poblacional del acócil endémico, *Cambarellus patzcuarensis* en el Lago de Pátzcuaro de 2004 al

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

2010; con el objetivo fundamental de conocer el estado actual de la especie, para así establecer estrategias de conservación y aprovechamiento en base al desarrollo de su biotecnología de cultivo.

Con base en los registros que se tienen, se realizó un mapeo de las zonas de recolecta para la representación zonificada de la estructura de la población de *C. patzcuarensis*, con la intención de encontrar diferencias de distribución de acuerdo a diferentes parámetros ambientales y de características de sitio o hábitat.

Su presencia y abundancia en algunas zonas puede permitir hacer inferencias más certeras de sus preferencias y comportamiento a lo largo de los ciclos hídricos. Su importancia como parte de la cadena trófica y en el flujo de energía, los ubica como un eslabón indispensable para el funcionamiento del sistema. El comportamiento de los resultados en las diferentes campañas puede mostrar una variación espacio-temporal tanto de los parámetros fisicoquímicos dentro del lago como de la población, los cuales resultan de gran importancia de determinar para esta especie.

El objetivo general fue determinar el estado actual y la estructura poblacional de *Cambarellus patzcuarensis*, en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán, y su interrelación con los factores ambientales y fisicoquímicos de éste, de tal forma que se pueda proponer un manejo de la especie para su conservación y aprovechamiento.

Los objetivos particulares, fueron:

- A) Establecer el estado del arte de la ecología de Cambáridos en sistemas lóticos y lénticos tropicales.
- B) Determinación de la biología reproductiva de *C. patzcuarensis* para la estructuración de su ciclo de vida.
- C) Determinación de la interrelación de la población *C. patzcuarensis* con los factores físi-

co-químicos del Lago de Pátzcuaro.

- D) Determinación de la estructura poblacional de *Cambarellus patzcuarensis*.

## Antecedentes

Los acociles (Cambaridae) son un Grupo Neártico que entró por la vertiente del Golfo de México hasta Guatemala y Belice (Villalobos, 1982). Existen 356 especies descritas de esta familia, de los cuales en México se distribuye el 14%. En el estado de Michoacán se han registrado 6 especies de Cambáridos (Álvarez, 1996). El subgénero *Cambarellus*, endémico de México (Ruíz, 1996) y del género *Cambarellus* tiene un registro de 10 especies en el país (Álvarez y Rangel, 2007). El acocil *Cambarellus patzcuarensis* se agrupa en el Orden: Decápoda dentro del Suborden: Pleocyemata; Infraorden: Astacidea; Superfamilia: Cambaridae; Familia: Cambaridae (Álvarez et al., 1996; Álvarez-Noruega, 2004).

Entre las características morfológicas más evidentes de la familia Cambaridae se puede mencionar la presencia de ganchos en los isquios de uno o más de los pereiópodos y la presencia del primer par de pleópodos transformados en los machos (Álvarez-Noruega, 2004).

Estos organismos no tienen el cuerpo comprimido lateralmente, sino que varía entre subcilíndrico y deprimido dorso ventralmente. El primer par de pereiópodos es quelado y más desarrollado que los restantes cuatro pares. El ciclo de vida de los acociles se inicia con una larva zoea (aún dentro del huevo) y las hembras siempre llevan los huevecillos adheridos a los apéndices abdominales (Álvarez et al., 1996).

Con relación a las especies de Cambáridos los estudios se iniciaron en 1846, pero eran eminentemente taxonómicos. Más recientemente se han realizado varios trabajos como los realizados por Alonso (2007), quien determinó la

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

influencia del fotoperiodo en *Cambarellus montezumae*. En este mismo organismo Cantú-León (1959), realizó una descripción de su embriología, mientras que Maldonado-Rodríguez (1990) evaluó la respuesta al estrés térmico, de este acocil, encontrando una temperatura crítica máxima de 35.1° C para el verano y de 30.7° C para el invierno, además de considerar a la especie como euriplástica por su resistencia a los cambios bruscos en su ambiente natural.

Cornejo-Rodríguez (1991), por su parte, determinó la selección térmica y su correlación con algunos índices fisiológicos, encontrando diferencias en los tres estados de desarrollo entre el día y la noche, para verano e invierno así como un comportamiento ortotermoquinético.

Anaya-Manuel (1991), en la misma especie, observó el efecto de la luz monocromática en la ontogenia del ritmo circadiano de la amplitud electrorretinográfica del acocil, encontrando que durante la ontogenia del acocil se produce un desarrollo asimétrico de fotorreceptores que parecen comportarse como circadianos y que desde la eclosión tienen la posibilidad de expresar un ritmo circadiano evidente, si las características de la luz que actúan sobre ellos son cualitativamente específicos.

Moctezuma (1996) estudió la distribución natural, necesidades de sustrato, profundidad del agua, cobertura vegetal y oxigenación del acocil *Cambarellus lermensis*. Asimismo determinó el efecto de dos dietas y la densidad poblacional sobre su crecimiento y supervivencia encontrando mayor crecimiento con la dieta artificial y un peso y talla ligeramente mayor a medianas densidades.

Hinojosa-Garro (2001) estudió la relación interespecífica del acocil (*Cambarellus lermensis*) y la carpa (*Cyprinus carpio*) en embalses someros de Alto Lerma. Por su parte, Gutiérrez-Yurrita y Morales (2002) determinaron las razas del géne-

ro *Cambarellus* en la zona central del bajío utilizando ensayos ecofisiológicos y bioenergéticos. Blasco y col. (2002) obtuvieron el primer mapeo genético de las poblaciones de acociles del centro de México. Gutiérrez-Yurrita y col. (2002) pusieron en un mapa la distribución y abundancia de las poblaciones de *Cambarellus* en Querétaro, y al describir las características de sus hábitats han logrado desarrollar una estrategia integral para su conservación.

Por su parte, Félix-Cuencas y col. (2005) determinaron los factores y parámetros que gobiernan la ecología de *C. montezumae* en la cuenca del río San Juan.

En lo relacionado con la ecofisiología y bioenergética, Rojas-Flores y Gutiérrez-Yurrita (2002) y Félix-Cuencas y Gutiérrez-Yurrita (2004) determinaron los índices fisiológicos de poblaciones de *Cambarellus* alimentadas con diferentes dietas y bajo distintos regímenes hídricos en las cuencas hidrográficas del centro de México. Rodríguez y col. (2002) establecieron el metabolismo de los acociles relacionado con la absorción de algunos contaminantes (metales traza) en los sistemas riparios de Querétaro.

Álvarez y Rangel (2007) hicieron un estudio poblacional en Xochimilco, encontrando reproducción continua durante el periodo octubre-mayo, alta mortalidad en los dos primeros meses de vida. Solo el 4% alcanza la talla reproductiva. No encontró relación entre el número de organismos y la temperatura, oxígeno y pH. Gutiérrez-Yurrita (2008) menciona los factores ambientales que más han influido en la ecología poblacional y el éxito de algunas pesquerías de cambáridos en México y en el mundo, proponiendo estrategias para la conservación de las poblaciones clave para el funcionamiento ecológico y manejo pesquero de las poblaciones susceptibles a pesca. Arredondo-Figueroa et al. (2010) concluye que los acociles en general pueden tolerar altas densidades en condiciones de

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

cultivo comparados con otras especies de crustáceos decápodos, lo que ofrece ventajas para el cultivo en sistemas semi e intensivo.

### Ecología y aspectos taxonómicos

Los acociles juegan un papel fundamental en los procesos ecológicos de los cuerpos de agua dulce lénticos y lóticos, ya que contribuyen a mantener un equilibrio en la cadena alimentaria, donde forman parte de la dieta de anfibios, aves y peces, con una función muy importante en los procesos de degradación y reciclamiento de la materia orgánica dentro del sistema (Rodríguez-Serna, 1999). Los hábitats de estos organismos están hasta cierto punto en peligro, por lo que Crandall y Buhay (2008) sugieren, que en los esfuerzos de conservación se centre la atención en ellos como elementos claves de ecosistemas acuáticos de agua dulce. Como un ejemplo de su importancia ecológica estos organismos son hospederos de protozoos suctores, en el caso particular de *Cambarellus patzcuarensis* se asocian los ciliados *Podophrya sandy*, *Acineta tuberosa* y *Tokophrya cuadripartita* (Mayen y Aladro, 1998).

En los cuerpos de agua continentales de nuestro país, la familia Cambaridae está representada hasta el momento por 50 especies, 39 del género *Procambarus*, una de *Orconectes*, y 10 de *Cambarellus* (Villalobos et al., 1993; Rodríguez-Serna, 2000). El origen biogeográfico de *Cambarellus* es de la región Neártica, aunque actualmente ha invadido, o lo han translocado pescadores o acuariofílicos a ríos y pequeños lagos que se encuentran en zonas que pertenecieron a la Región Neotropical.

La presencia de este grupo en México data aproximadamente del Mioceno, cuando formas ancestrales de Cambáridos migraron hacia el sur provenientes del sudeste de los Estados Unidos (Hobbs, 1984). El aislamiento posterior que su-

frieron dichas especies, debido a la elevación de la meseta central y del eje neovolcánico, favoreció los procesos de especiación, que dieron origen a la riqueza específica de esta familia y a la formación de complejos de especies, que han sido estudiadas en forma discontinua desde 1955, con la publicación de la monografía “Cambáridos de la Fauna Mexicana” elaborada por el Dr. Villalobos-Figueroa.

Específicamente en el sur y sudeste mexicano se ha detectado la existencia de variaciones morfológicas en varias especies relacionadas con su distribución geográfica, cosa que con anterioridad no se había registrado, debido a que éstas y otras formas de acociles, solo habían sido mencionadas para la localidad Tipo. Un ejemplo, son las varias formas estrechamente relacionadas para *Cambarellus montezumae* (Saussure), que desde 1943 había sido citado para la cuenca de México; sin embargo, se han encontrado organismos de esta especie, en diferentes muestreos en estados vecinos como Querétaro, Tlaxcala, Puebla y el Río Lerma hasta alcanzar el lago de Chapala en Jalisco (Villalobos-Hiriart et al., 1993).

### Reproducción

Dentro de las estrategias reproductivas que los acociles han desarrollado para asegurar la permanencia del grupo en condiciones adversas de temperatura y desecación, se encuentra el dimorfismo cíclico que presenta el macho (cambio de la forma I a la forma II) y el desarrollo larvario abreviado de la hembra. Estas estrategias pueden considerarse como el punto clave en el éxito que ha tenido este grupo en la colonización de los ambientes dulceacuícolas (Hobbs, 1991).

El ciclo vital de los Cambáridos se caracteriza por dicho dimorfismo cíclico en machos, que está asociado al ciclo reproductivo, el cual es estacional, estos presentan dos formas alternan-

tes (Álvarez-Noruega, 2004), el cambio de una a otra ocurre en los machos maduros durante las mudas semi-anales. La forma sexualmente activa se presenta después de la última muda juvenil (Moctezuma-Malagón, 1996). Esta forma más agresiva se distingue por crecimiento, endurecimiento y coloración de los primeros pleópodos, así como la presencia de los ganchos localizados en el esquiú del tercer y cuarto par de pereiópodos (Moctezuma-Malagón, 1996; Álvarez-Noruega, op. cit.). Los primeros quelípedos son grandes y los conductos espermáticos están llenos de espermátidas (Moctezuma-Malagón, op. cit.). Esta primera forma es más abundante durante la primavera (Hobbs, op. cit.), pero ambas están presentes durante todo el año (Rosas, 1976).

La segunda forma es sexualmente inactiva, se caracteriza porque el primer pleópodo termina en tres partes, el proceso cefálico está ausente, las estructuras terminales son espiniformes, truncadas, espatuladas o acanaladas. En el macho están presentes ganchos en los isquiopoditos del segundo y tercer par de pereiópodos. Los maxilípedos del tercer par tienen una fila de dientes en el margen interno del isquiopodito. La sección *montezumae* se caracteriza porque el proceso mesial del primer pleópodo, en la primera forma del macho es acanalado (Moctezuma-Malagón, 1996).

En general, la fertilización no es inmediata, ya que la hembra puede almacenar el esperma hasta más de seis meses. El desove se lleva a cabo dentro de los túneles que construyen o encuentran en su hábitat. Los huevos son expulsados a través de un par de oviductos que se abren en la base del tercer par de pereiópodos para ser fertilizados (Rodríguez-Serna, op. cit.).

Una vez adheridos, la hembra se encarga de incubarlos y con un movimiento constante de los pleópodos crea una corriente de agua que ayuda a airear y a eliminar los huevos muertos hasta

que eclosionan dos o tres semanas después, si la temperatura se mantiene entre 20° y 25° C. A medida que la temperatura disminuye el desarrollo embrionario se retarda hasta detenerse a 10° C, en especies de zona templada (Rodríguez-Serna, 1999). En general las hembras de mayor tamaño llevan más huevos, pero esto varía también según la época del año. En los Cambáridos, en general, se presentan pérdidas de huevos por diversas causas: falta de fertilización o de fijación, abrasión con el sustrato, depredación, corriente demasiado fuerte, escasez de alimento y exceso de hembras (Hobbs, 1991).

La mayoría de los acociles se reproducen una vez al año, pero hay al menos tres especies que debido a las severas fluctuaciones hídricas de sus ambientes naturales lo hacen al menos dos veces, una larga y muy prolífera, la de verano-invierno y otra corta y poco abundante, la de primavera: *Procambarus clarkii*, *Procambarus llamasii* y *Cherax destructor*, los cuales pueden llegar a reproducirse dos veces por año (Huner y Barr, 1984; Rodríguez-Serna, 1999; Gutiérrez-Yurrita y col. 1999). El tiempo de eclosión de los huevos de *Cambarellus patzcuarensis* es de 25 días (Rosas, 1976), para *Procambarus clarkii* varía de 14 a 21 días y para *Procambarus blandingi* es de 17a 29 días (Huner y Barr, 1984; Gutiérrez-Yurrita 2000).

*C. patzcuarensis* mantiene adheridos sus huevos a sus pleópodos, 30 días después del apareamiento, embriones a los 55 días, la primera cría a los 75 días y la primera muda los 87 días, observando diez mudas sucesivas hasta los 208 días (Rosas, 1976). El ciclo de vida de los acociles se inicia con una larva zoea (Álvarez, 1996).

## Morfología

Dependiendo del tipo de hábitat en el que se desarrollan los acociles tienen ciertas adaptaciones morfológicas en el caso de los habitantes de lagos, riachuelos y grandes ríos, tiene grandes

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

abdómenes para nadar y son altamente intolerantes a bajas concentraciones de oxígeno en el agua (Crandall y Buhay, 2008).

El diseño corporal se presenta mediante un cuerpo segmentado, más o menos cilíndrico cubierto por un tegumento fuertemente calcificado. Está dividido en dos partes: cefalotórax y abdomen. El cefalotórax incluye los ojos pedunculados, el aparato bucal y las cámaras branquiales, básicamente; mientras que en el abdomen se sitúan los pleópodos, el ano y el telsón (Rodríguez-Serna, 1999).

Presentan cinco pares de apéndices torácicos, uno modificado para tomar el alimento, la defensa y el ataque, denominado quelípodo y los otros cuatro para la locomoción, manipulación del alimento y la limpieza. Estos 10 apéndices en su conjunto, son conocidos como pereiópodos y le dan el nombre al grupo Decápoda. Los apéndices abdominales se conocen como pleópodos y sirven en la hembra para el transporte e incubación de los huevos, así como para el movimiento del agua y oxigenación de los huevos (Pennak, 1978).

### Alimentación

Los acociles se desarrollan en hábitats donde las fuentes de alimento son variadas, y uno de sus grandes éxitos radica precisamente en su capacidad para adaptarse a estas condiciones (Carmona-Osalde, 2004).

El acocil es un organismo omnívoro, de cierta manera es carroñero y muy detritívoro aunque no busca deliberadamente alimento muerto para comer (Palacios-Guillen, 2003) son de hábitos nocturnos (Crandall y Buhay, 2008). Generalmente son oportunistas generalistas, son politróficos; pueden depredar tanto individuos vertebrados como invertebrados (Rodríguez-Serna, 1999; Hinojosa-Garro, 2001), ocasionando un impacto sobre la estructura y dinámica de

los ecosistemas acuáticos, que se ve reflejado en las relaciones que establece con diversas especies en los diferentes niveles tróficos. Gracias a su flexibilidad alimenticia puede mantener altas densidades poblacionales (Hinojosa-Garro, op.cit.).

Normalmente se alimentan en el fondo puesto que es bentónico, pues su incapacidad para nadar rápidamente les impide capturar organismos ágiles. Consumen desde pequeños invertebrados como crustáceos, moluscos, gusanos e insectos, hasta plantas verdes, perifiton, detritus y subproductos agrícolas (Avault et al., 1981; D'Abraham y Robinson, 1989). Además, como otros crustáceos presentan un comportamiento canibalista, el cual está estrechamente relacionado con la época del año, la edad y el aporte de proteína animal en la dieta (Marshall y Orr, 1960; Guan y Wiles, 1998).

A diferencia de otros organismos, estos invertebrados no cuentan con órganos de almacenamiento o tejido de reserva, por lo que la única fuente de aporte de nutrientes durante el proceso de reproducción es la dieta (D'Abraham, 1997). Las hembras no sólo deben cubrir sus demandas corporales, sino también las de la maduración gonádica y las reservas del huevo. Los machos por su parte deben producir suficiente esperma de buena calidad que asegure la fecundación y el éxito reproductivo (Bray et al., 1989; Alfaro, 1996). La disponibilidad y calidad del alimento, antes y durante la reproducción, afecta tanto la fecundidad por desove como el número de desoves (Ali y Wootton, 1999), además de la composición y calidad de los huevos (Harel et al., 1995). De hecho, las estrategias reproductivas de las especies están estrechamente relacionadas con las variaciones ambientales y la abundancia de alimento (Himmelman, 1980).

En condiciones controladas aceptan cualquier tipo de alimento, y presentan una alta digestibilidad hacia una amplia variedad de materiales,

reportándose de un 88% a un 96% para dietas balanceadas (Jones y De Silva, 1997). Sin embargo, su eficiencia en la conversión de alimento no es de las más altas entre las especies de animales acuáticos, ya que en términos generales está por debajo del 50% (Gutiérrez-Yurrita y Montes 2001).

Los acociles están provistos de apéndices y órganos especializados para su alimentación. Básicamente la ingestión y digestión de estos animales es similar a la de otros decápodos (Carmona-Osalde, 2004). Los acociles pertenecen a un grupo de animales con bajas demandas nutrimentales, ya que en su dieta predominan alimentos de muy baja calidad (Hessen y Skurdal, 1986), pero cuentan con adaptaciones gastrointestinales que les permiten cubrir la mayor parte de estas demandas (Syvokiené y Mickéniené, 1993). De hecho, los acociles son uno de los grupos con mayor variedad en la dieta natural, ya que su índice trófico (H) puede ser mayor a 25 (representa que un estómago puede tener más de 13 diferentes clases de alimento) (Gutiérrez-Yurrita y col. 1998).

A partir de los estudios hechos en varias especies se ha establecido que el órgano que refleja a corto plazo y con mayor contundencia las variaciones de lípidos en la dieta es la glándula digestiva. A diferencias de otros tejidos, como el muscular, que altera su composición sólo bajo condiciones de ayuno prolongado (Teshima y Kanazawa, 1983b) o la hemolinfa cuyas variaciones circadianas dependen del consumo y metabolismo de lípidos en la dieta, la glándula digestiva refleja los efectos por desnutrición al alterar su composición, estructura e integridad celular, por lo que se le considera de gran utilidad en el monitoreo del estado nutrimental de los organismos (Vogt et al., 1985).

Las reservas de lípidos derivadas de la glándula digestiva son necesarias para la maduración, específicamente para promover la gonadogénesis

y la gametogénesis. Una vez que el tejido gonádico y la formación de gametos han sido alcanzados, la energía es encaminada hacia la vitelogenénesis. El ovario es otro órgano que juega un papel importante en la acumulación de lípidos durante el proceso de maduración gonádica en crustáceos (Ramos et al., 1996). Es importante señalar que la estimación de los requerimientos nutrimentales es crucial para el crecimiento y reproducción de los crustáceos ya que tanto las deficiencias como los excesos presentan efectos negativos en el organismo, sobre todo los lípidos (Davis y Robinson, 1986; Ackefors et al., 1992).

### Efecto de la temperatura

Entre los parámetros ambientales, la temperatura, tiene mayor influencia en la reproducción, principalmente en la duración de embriogénesis y el índice de eficiencia total. Altas temperaturas ayudan a acortar el periodo de incubación, pero puede ser negativo con respecto a la eficiencia reproductiva (Celada et al., 2001). La exposición a regímenes de temperatura sub-óptima altera ciertos parámetros, metabólicos en crustáceos decápodos.

Por ende temperaturas extremadamente altas elevan los índices de mortalidad, además de que estas temperaturas alteran la permeabilidad normal de la branquia, resultando en una pérdida de sodio extracelular y de la función nerviosa

Los crustáceos son capaces de construir estructuras que les proveen refugio, el cual les permite protegerse de depredadores u otros acociles e incluso de condiciones de temperatura adversas, ya que la temperatura del refugio es menor a la temperatura de superficie (Payette y McGaw, 2003).

Los crustáceos decápodos exhiben comportamientos de termorregulación, lo que les permi-



## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

te alejarse de su temperatura máxima crítica. Evitan temperaturas letales por migración dentro de la columna de agua, protegiéndose en sus refugios (Payette y McGaw, op. cit.) o con emer-siones en aire en el caso de anfibios decápodos como los escarabajos *Carcinus maeñas* y *Hemi-grapsus nudus* o los acociles *Cherax destructor* y *Austropotamobius pallipes* que permanecen fuera del agua por arriba de 3 horas. Sin embargo la exposición al aire es fisiológicamente costosa (Taylor y Wheatly, 1981; Morris y Callaghan, 1998).

### Trabajo de campo

Para este proyecto se construyeron de mane-ra artesanal y con apoyo del IMTA, 40 trampas tipo nasa con una sola entrada, utilizando tela mosquitera, anillos de PVC para dar estructura y un embudo a manera de entrada. Estos se ajus-taron con abrazadera de plástico. Las medidas de estas fueron de 40 cm de largo, por 15 cm de diámetro. Uno de los principales problemas

observados al dejar la trampa en su sitio, es la corriente superficial que se genera por el viento. Esto ocasiona arrastre, desubicación y pérdida de la trampa si no se coloca con suficiente peso y un buen amarre.

Se realizaron cuatro salidas al campo, la primera del 9 al 12 Febrero; la segunda del 11 al 14 Mayo; la tercera del 8 al 11 Julio y una cuarta del 7 al 14 Septiembre del 2010, donde se traba-jaron 12 zonas seleccionadas previamente con base en datos históricos (IMTA, 2010). En ellas se registraron parámetros fisicoquímicos y se colocaron trampas por un período de tiempo de aproximadamente 24 h. Para cada zona de recolecta se dejaron un total de 3 trampas, para con ello cubrir un área aproximada de 0.7 m<sup>2</sup>, distribuidas a razón de 5 a 10 metros entre ellas, amarradas de manera firme y con un flotador que las identificara en la superficie. Se tomaron además de los parámetros fisicoquímicos del agua, presencia de vegetación y tipo de sustrato (suelo) (Tabla 1). Después de aproximadamente 24 h se recogieron las trampas de las 12 zonas

Tabla 1. Zonas de recolecta, ubicación geográfica 2011

Localidad	Ubicación geográfica	
	Norte	Oeste
1 Dren de Uraden (Manantiales)	19° 32' 26"	101° 38' 24"
2 Ukasanacastakua	19° 36' 15"	101° 37' 53"
3 Cucuchucho (El Mirador)	19° 35' 45"	101° 37' 56"
4 Pared Tarerio	19° 37' 30"	101° 37' 36"
5 Tzintzuntzan (Ojo de agua)	19° 38' 22"	101° 35' 21"
6 Santa Fe	19° 39' 56"	101° 33' 26"
7 Chupícuaro	19° 40' 15"	101° 34' 30"
8 Purenchécuaro	19° 40' 34"	101° 33' 19"
9 Oponguio	19° 38' 56"	101° 38' 00"
10 Puácuaro	19° 36' 29"	101° 40' 02"
11 Isla Yunuen	19° 35' 53"	101° 38' 49"
12 Isla Janitzio	19° 34' 30"	101° 38' 37"

de muestreo para contar, sexar y medir a los animales para cada una de ellas. Los animales recolectados se mantuvieron vivos en recipientes de plástico con tapa y aireación constante hasta su instalación en el laboratorio.

### Transporte de organismos y adaptación de instalaciones en laboratorio

En la UAM-I, Laboratorio T14, se instalaron 3 módulos para la consolidación y mantenimiento del banco de reproductores de *Cambarellus patzcuarensis*, mediante 3 estructuras de metal y 30 tinas de plástico de 120 x 60 cm de área y 40 cm de altura, así como 10 acuarios de 40 l. El sistema de mantenimiento contó con aireación constante, temperatura controlada de  $22^{\circ} \pm 1^{\circ}$  C y refugios y/o vegetación. Por ser un sistema estático se realizó un sifoneo diario del fondo para eliminar heces y alimento remanente. Semanalmente se hizo una limpieza de los contenedores para mantener una buena calidad del agua. Se establecieron a escala, áreas de reproducción, maternidad y crecimiento, con el fin de generar la información necesaria para el desarrollo biotecnológico.

En las instalaciones, se llevó un registro diario de temperatura mediante termómetro de mercurio. No se utilizó fotoperiodo ya que se trabajó bajo total oscuridad con el fin de mantener tranquilos a los organismos (Carmona et al., 2002) y se les mantuvo con un alimento comercial para camarón con 40% de proteína y 10% de lípidos, el cual se les proporcionó a saciedad dos o tres veces por semana. Asimismo se llevó un registro biométrico de los acociles adultos y de las crías para lo cual se utilizó un vernier con el que se tomó la longitud total y una balanza digital Ohaus Scout –Pro con precisión de 0.01 g para registrar el incremento en peso.

Los contenedores se revisaron todos los días para sacar mudas, animales muertos y hembras

cargadas. Cuando se encontraron hembras cargadas estas se colocaron en peceras pequeñas de maternidad con aireación y refugio individual, hasta que eclosionaron las crías. Las hembras, ya sin huevos, se pesaron y midieron para conocer la relación entre la talla de la hembra y el número de crías. Lo más importante fue establecer un banco de reproductores que nos permitió producir la F1 que es con la cual se trabaja para conocer toda la parte fenológica de la especie en condiciones controladas y su potencial para producción.

### Procedimientos a seguir en laboratorio

#### *Fecundidad*

La fecundidad se determinó mediante disecciones y conteos de la masa de huevos al microscopio. A las hembras ovígeras, después de retirarles la masa de huevos de su abdomen, se les tomó la longitud total mediante un vernier y con ello se determinó la relación entre la longitud total contra el número de huevos (Yeh & Rouse, 1994; Sureshkumar & Madhusoodana, 1998). Se observó el desarrollo del huevo mediante el cambio diario de coloración durante la incubación en otras hembras ovígeras aisladas en acuarios de vidrio de 70 x 40 x 30 cm a una temperatura ambiente (King, 1993; Yeh & Rouse, op. cit.).

Mediante el conteo de las crías recién eclosionadas se observó la sobrevivencia, con lo cual se obtuvo el porcentaje de viabilidad de las mismas bajo condiciones de laboratorio.

#### *Talla mínima de reproducción*

La talla mínima de reproducción es un indicador muy importante tanto desde el punto de vista de la conservación y estado de la población como para su potencial aprovechamiento. Esta se estableció a partir de la F1 mantenida

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

bajo condiciones ideales para su crecimiento en donde se dio seguimiento de la población hasta obtener las primeras hembras cargadas.

### *Resistencia del huevo a infecciones fúngicas*

Este factor es importante para el manejo de la especie en condiciones controladas ya que es común que los huevos se infecten por hongos en los sistemas sin recirculación por lo que se observa la masa de huevos diariamente para observar infecciones por hongos y su posible tratamiento.

### *Crecimiento*

Para determinar el crecimiento se utilizaron organismos juveniles obtenidos del seguimiento de reproducción (F1). Se introdujeron al sistema experimental los desoves de cada hembra como lotes únicos, sin mezcla con otro lote. El dispositivo experimental consistió en un sistema con nueve tinajas de plástico de 120 x 60 cm de área y 40 cm de altura con aireación constante. El registro se llevó durante un lapso de cuatro meses, tiempo en que se calculó alcanzar su talla adulta (30-40 mm).

La toma de datos biométricos fue mensual. Se proporcionó alimento balanceado para camarón y refugios contruidos con tubos de PVC, alineados en forma vertical. El fotoperiodo fue natural. El crecimiento fue representado mediante una ecuación tradicional de alometría entre la relación del peso y la longitud para machos, hembras y mezcla de ambos (Hartnoll, 1978).

$$W = a L^b$$

Donde: W es el peso en g, L la longitud en mm, y a y b son las constantes de la regresión.

Las clases tallas de crecimiento fueron tomadas de Lowery (1988). La longitud se determinó desde

el rostro hasta la parte terminal (telsón) en mm y para el peso se utilizó una balanza digital Ohaus Scout -Pro Mettler con precisión de 0.01 g.

### **Factores sociales que afectan el crecimiento y la reproducción**

#### *Densidades de manejo*

Todo organismo mantenido en un área restringida muestra una respuesta de estrés que se ve reflejada en su crecimiento y reproducción. Todo sistema de producción tiene una capacidad de carga que debe establecerse a través de los parámetros mencionados anteriormente así como por la mortalidad que en este caso se obtiene por la pérdida de animales por canibalismo por muda o muerte por otra condición (competencia).

#### *Relación de sexos*

El acicil tiene un comportamiento defensivo que puede afectar directamente la sobrevivencia de la población mantenida en sistemas controlados, por lo que es importante establecer el número de machos por número de hembras que den los mejores resultados en términos de crecimiento y reproducción. La competencia entre machos es evidente entre estos crustáceos.

#### *Ciclo de Vida*

Se entiende como ciclo de vida a la secuencia de acontecimientos (fecundidad, desarrollo, latencia, dispersión, etc.) que permiten y controlan la reproducción y por tanto la supervivencia y continuidad de una especie en un determinado hábitat. Consiste en una secuencia de estados morfológicos y procesos fisiológicos que ligan una generación con la siguiente.

### *Determinación de la biología reproductiva de *Cambarellus patzcuarensis* para la estructuración de su ciclo de vida.*

De las hembras recolectadas, y llevadas al laboratorio, se obtuvo de una de ellas el primer desove el 14 de febrero del 2011. Los huevos eclosionaron de 32 a 35 días de incubación. Se generaron un total de 85 crías de un total de 101 huevecillos, dando con ello una viabilidad del 84%, un porcentaje alto en referencia a otras especies como *Cambarellus montezumae*. Este desove se obtuvo manejando una temperatura de  $22^{\circ} \pm 1^{\circ}$  C. En la Tabla 2, se presenta las fases de maduración y tiempo de eclosión del huevo de *C. patzcuarensis*.

Tabla 2. Maduración y cambio de coloración de los huevos de *Cambarellus patzcuarensis*.

Esta- dio	Duración (d)	Color	Características morfológicas
1	1-5	Amarillo	Huevos hundidos y pequeños
2	6-10	Verde	Huevos esféricos y grandes
3	11-13	Verde olivo	Huevos esféricos
4	14-16	Café oscuro	Alargamiento del huevo
5	17-21	Naranja	Forma visible de la cría
6	22-26	Rojo	Ojos visibles
7	27-35	Gris-Blanco	Juveniles

Con esta primera hembra cargada se vislumbró que se tiene una especie muy plástica y adaptable, lo que nos permite tener una perspectiva muy positiva de la misma para su reproducción y crecimiento en condiciones controladas para su conservación, repoblación y aprovechamiento.

En la Tabla 3, se aprecian el proceso reproduc-

tivo obtenido bajo condiciones de laboratorio. Se observó que la talla mínima de reproducción fue de 25 mm aunque la viabilidad del desove resultó baja.

### **Biología Reproductiva**

Los acociles presentan marcado dimorfismo sexual. En los machos los dos primeros pares de apéndices abdominales están modificados para transferir el esperma al receptáculo seminal de la hembra y en la mayoría de los casos el macho presenta un mayor tamaño en las quelas (Avault y Huner, 1985). En general, la fertilización no es inmediata, ya que la hembra puede almacenar el saco espermático por más de seis meses. El desove se lleva a cabo dentro de los túneles que construyen o que encuentran en su medio. Los huevos son expulsados a través de un par de oviductos que se abren en la base del tercer par de pereopodos para ser fertilizados.

Durante este proceso las glándulas de la superficie ventral de los segmentos abdominales producen una sustancia pegajosa donde se adhieren los huevos ya fertilizados. Una vez adheridos los huevos a la cola de la hembra, ésta se encarga de incubarlos y con un movimiento constante de los pleópodos crea una corriente de agua que ayuda a airear y a eliminar los huevos muertos hasta que eclosionan, dos o tres semanas después, dependiendo de la temperatura. En comparación con *C. patzcuarensis*, los tiempo de eclosión de los huevos de *Procambarus clarkii* (acocil rojo) es de 14-21 días, el de *Procambarus blandingi* (acocil blanco) 17-29 días y el de *Procambarus llamasii*, así como *Cambarellus montezumae* es de 27 a 30 días. Una vez que eclosionan, las crías continúan adheridas a la hembra durante dos semanas más hasta que concluyen dos mudas excepto algunos casos, en los que pueden liberarse después de la primer muda (Avault y Huner, 1985).

La fecundidad depende del tamaño de la hembra

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

Tabla 3. Fecundidad de *Cambarellus patzcuarensis* bajo condiciones de laboratorio.

Día/Mes	Número	Talla	No. de huevos por hembra	No. de Crías	% de viabilidad*
7 Mayo	1	30	15	0	0
	2	35	18	0	0
	3	32	20	0	0
	4	33	24	0	0
	5 <sup>1</sup>	34	25	0	0
	6	35	26	0	0
	7	32	23	0	0
10 Junio	8 <sup>1</sup>	33	35	0	0
	9	34	28	0	0
	10	32	36	0	0
	11	31	32	0	0
	12	30	25	0	0
	13	34	21	0	0
	14 <sup>2</sup>	34	25	0	0
18 Junio	15 <sup>2</sup>	35	36	35	97
	16 <sup>1</sup>	33	34	30	88
	17	37	35	35	100
	18 <sup>3</sup>	36	40	38	95
14 Julio	19 <sup>3</sup>	37	36	36	100

\*Los valores en 0 son debido al canibalismo presente.

<sup>1,2,3</sup> Desove de la misma hembra.

y la especie; acociles de 7.5 a 8.5 cm pueden producir 300 o más huevos. Una hembra del género *Procambarus* con una longitud total de 12 cm produce entre 600 y 700 huevos por puesta en promedio (Gutiérrez-Yurrita, 1997). *Cambarellus patzcuarensis* presenta un fecundidad promedio de entre 40 a 80 huevecillos por desove. La mayoría de los acociles se reproducen una vez al año, excepto tres especies, *Procambarus clarkii* (Huner y Barr, 1984), *Procambarus llamasii* (Rodríguez-Serna, et al., 2000) y *Cherax destructor*, los cuales pueden llegar a reproducirse dos veces por año. Sin embargo, *C. patzcuarensis*, no solo presenta dos desoves por año, el éxito de esta especie, en condiciones desventajosas, son sus procesos reproductivos ya que una hembra puede presentar de 2 a 3 desoves continuos (Tabla 2).

La copulación en *Cambarellus patzcuarensis* ocurre desde la etapa juvenil (25-30 mm) cuando se

realizan los primeros intentos de amplexos, por lo cual, la talla mínima de reproducción se considera que es de 25 mm. La hembra no deja de comer durante la incubación, por lo que debe alimentársele en esta fase. Presentando alto canibalismo posterior al desove. Cuando las crías se liberan, se procura tener alimento suficiente en el sistema para evitar canibalismo y/o separar a la hembra de las crías (Rodríguez-Serna et al, 2000).

El número promedio de huevos por hembra es de 40 a 80. La viabilidad de los desoves es de arriba del 80%. Los huevos de las hembras con longitud de 35 mm presentan un mayor porcentaje de viabilidad. Se determinó que el porcentaje de desove, bajo condiciones de laboratorio, empieza desde la temporada de secas (marzo-mayo) se incrementa en la temporada de lluvias (junio-agosto) y disminuyendo durante la época

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

de otoño invierno (septiembre-febrero).

El desarrollo embrionario se caracteriza por un cambio en la coloración de los huevos conforme madura (Tabla 2).

### *Efecto de la temperatura en la reproducción*

Se encontró que la reproducción se ve afectada directamente por la temperatura. Para determinar el efecto de está en la reproducción, se montó un sistema en la cual se utilizaron tres diferentes temperaturas las cuales fueron  $18^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ ,  $22^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$  y  $26^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ , con una concentración de

oxígeno de 4.48 mg/l, 3.91 mg/l y 3.63 mg/l respectivamente (Figuras 1 y 2). La concentración de oxígeno se encuentra dentro del rango recomendado por Carmona y Rodríguez (2002).

En el presente estudio se estudió en la respuesta biológica del acocil *Cambarellus patzcuarensis* bajo el efecto de tres diferentes temperaturas, demostrando que el crecimiento, supervivencia poblacional, así como del desove no muestran diferencia estadística significativa en relación a las variaciones de temperatura, lo que significa que el intervalo de preferencia térmica de *C. patzcuarensis* resulta amplia. Sin embargo, la supervivencia de las hembras, la viabilidad y el

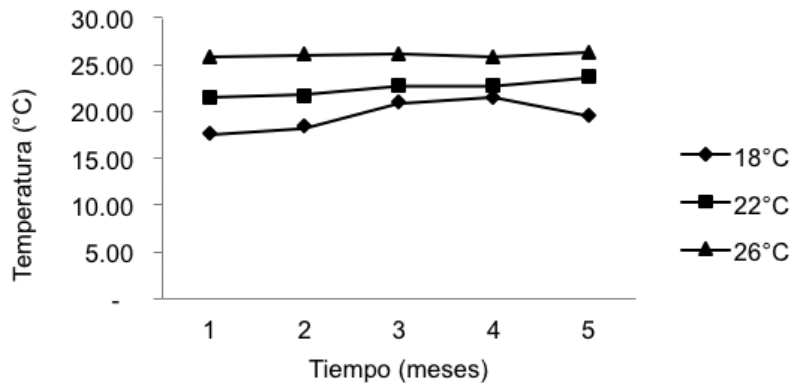


Figura 1. Seguimiento de la temperatura promedio en los tratamientos utilizados en *Cambarellus patzcuarensis*

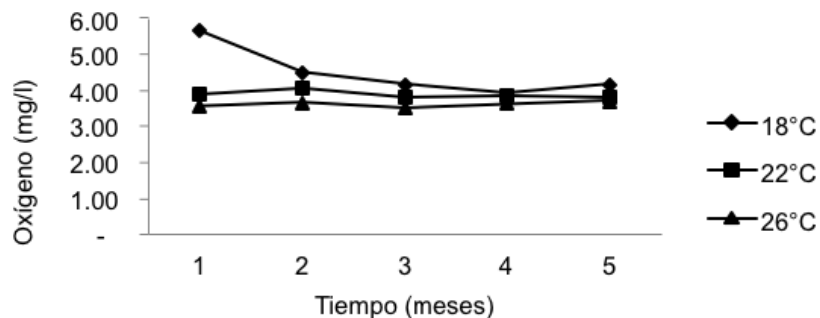


Figura 2. Oxígeno disuelto promedio de los tratamientos a  $18^{\circ}\text{C}$ ,  $22^{\circ}\text{C}$  y  $26^{\circ}\text{C}$  en *Cambarellus patzcuarensis*

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

número de huevos por hembra exhiben respuesta diferencial en relación a la variación de temperatura. Ya que la supervivencia de las hembras y número de huevos se vio favorecida con la disminución de dicho parámetro, mientras que la viabilidad tiene una relación directa con la temperatura. En la Tabla 4, se presentan los resultados del ANOVA realizado a los diferentes parámetros registrados en el crecimiento y la reproducción de *Cambarellus patzcuarensis* a tres diferentes temperaturas.

Tabla 4. ANOVA de los tratamientos a 18°, 22° y 26° C para *Cambarellus patzcuarensis*

Parámetros <sup>1</sup>	18°C	22°C	26°C	±ES <sup>2</sup>
<b>Población</b>				
Número inicial	10	10	10	
Número final	8.33 <sup>a</sup>	6.33 <sup>a</sup>	6.33 <sup>a</sup>	0.4714
Supervivencia (%)	83.33 <sup>a</sup>	63.33 <sup>a</sup>	63.33 <sup>a</sup>	4.714
<b>Hembras</b>				
Número inicial	6	6	6	
Número final	4.33 <sup>b</sup>	3.0 <sup>a</sup>	3.0 <sup>a</sup>	0.1924
Supervivencia (%)	72.22 <sup>b</sup>	50.0 <sup>a</sup>	50.0 <sup>a</sup>	3.2062
Peso inicial (g)	0.09 <sup>a</sup>	0.1033 <sup>a</sup>	0.0866 <sup>a</sup>	0.0113
Peso final (g)	0.3966 <sup>a</sup>	0.4333 <sup>a</sup>	0.3966 <sup>a</sup>	0.0294
Peso ganado (g)	0.3066 <sup>a</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.31 <sup>a</sup>	0.0267
Peso ganado (%)	351.08 <sup>a</sup>	317.25 <sup>a</sup>	385.07 <sup>a</sup>	65.3143
Tasa Especifica de Crecimiento (%/día)	1.226 <sup>a</sup>	1.1833 <sup>a</sup>	1.2966 <sup>a</sup>	0.1158
Alimento Consumido (g)	0.4 <sup>a</sup>	0.4633 <sup>a</sup>	0.4366 <sup>a</sup>	0.0332
Tasa Conversión Alimenticia	1.3366 <sup>a</sup>	1.4366 <sup>a</sup>	1.4033 <sup>a</sup>	0.1368
Longitud inicial (mm)	17.0567 <sup>a</sup>	17.5 <sup>a</sup>	16.443 <sup>a</sup>	0.5851
Longitud final (mm)	26.9 <sup>a</sup>	27.666 <sup>a</sup>	26.33 <sup>a</sup>	0.6989
Longitud ganada (mm)	9.8433 <sup>a</sup>	10.1667 <sup>a</sup>	9.89 <sup>a</sup>	0.7052
Longitud ganada (%)	57.69 <sup>a</sup>	58.32 <sup>a</sup>	60.76 <sup>a</sup>	5.449
Desoves (%)	89 <sup>a</sup>	66.67 <sup>a</sup>	66.67 <sup>a</sup>	1.6101
Numero de huevos por hembra	21.69 <sup>a</sup>	16.00 <sup>b</sup>	13.92 <sup>c</sup>	0.111
Viabilidad (%)		0.3 <sup>a</sup>	3.13 <sup>b</sup>	8.98 <sup>c</sup>
<b>Machos</b>				
Número inicial	4	4	4	
Número final	4.0 <sup>a</sup>	3.33 <sup>a</sup>	3.33 <sup>a</sup>	0.4033
Supervivencia (%)	100 <sup>a</sup>	83.33 <sup>a</sup>	83.33 <sup>a</sup>	10.7583
Peso inicial (g)	0.1166 <sup>a</sup>	0.133 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>	0.0215
Peso final (g)	0.3733 <sup>a</sup>	0.3933 <sup>a</sup>	0.36 <sup>a</sup>	0.0313
Peso Ganado (g)	0.2566 <sup>a</sup>	0.26 <sup>a</sup>	0.26 <sup>a</sup>	0.0226
Peso Ganado (%)	224.267 <sup>a</sup>	213.99 <sup>a</sup>	274.02 <sup>a</sup>	41.144
Tasa Especifica de Crecimiento (%/día)	0.96 <sup>a</sup>	0.9433 <sup>a</sup>	1.0933 <sup>a</sup>	0.1051
Alimento Consumido	0.3966 <sup>a</sup>	0.4266 <sup>a</sup>	0.38 <sup>a</sup>	0.035
Tasa de Conversión Alimenticia	1.5866 <sup>a</sup>	1.62 <sup>a</sup>	1.4533 <sup>a</sup>	0.1234
Longitud inicial (mm)	18.75 <sup>a</sup>	19.0 <sup>a</sup>	17.66 <sup>a</sup>	0.7876
Longitud final (mm)	25.583 <sup>a</sup>	25.75 <sup>a</sup>	25.4167 <sup>a</sup>	0.6649
Longitud ganada (mm)	6.833 <sup>a</sup>	6.75 <sup>a</sup>	7.75 <sup>a</sup>	0.7280
Longitud ganada (%)	36.6467 <sup>a</sup>	36.16 <sup>a</sup>	44.013 <sup>a</sup>	5.001

<sup>1</sup>Valores con el mismo superíndice no presentan diferencias estadísticas; <sup>2</sup>Error Estándar

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Mientras que en las Figuras 3, 4, 5 y, 6 se observan las curvas de crecimiento dentro de las diferentes temperaturas, para hembras y machos en referencia al peso y la talla de *C. patzcuarensis* obtenidos. El crecimiento en peso no muestra diferencias significativas entre tratamientos. La mayor ganancia de peso la presentó el tratamiento a 22° C con 0.33 gramos para hembras y

para machos presentaron 0.26 g de ganancia a 22° C y 26° C. Observando un mayor crecimiento en hembras (Figuras 3 y 4). El crecimiento en talla no tuvo diferencia significativa entre tratamientos, en ambos sexos la mayor longitud se observó a 26°C y la menor talla se observó a 18°C (Figuras 5 y 6).

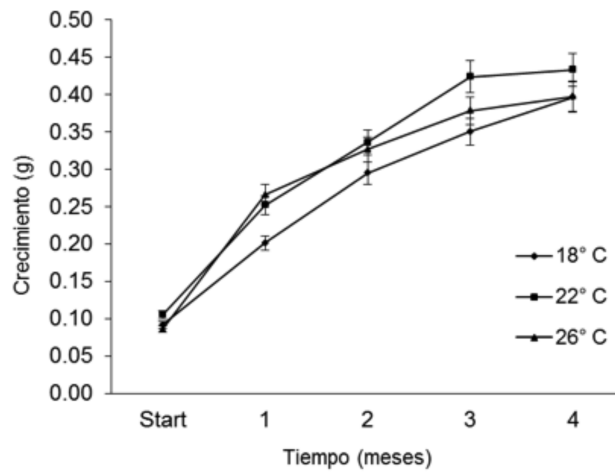


Figura 3. Crecimiento en peso (g) a de los diferentes tratamientos para hembras de *C. patzcuarensis*.

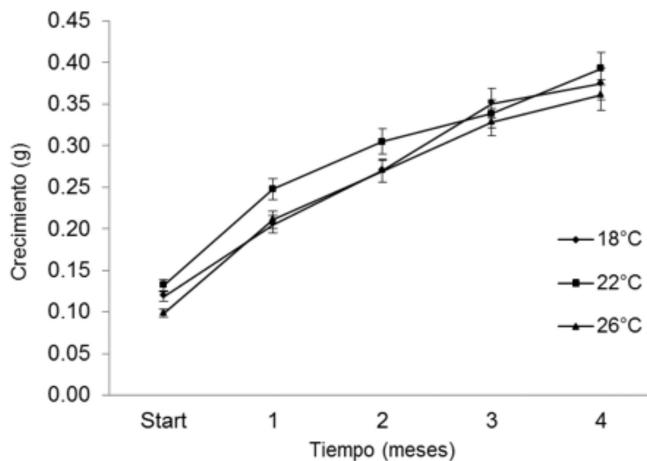


Figura 4. Crecimiento en peso (g) en los diferentes tratamiento en machos de *C. patzcuarensis*



## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

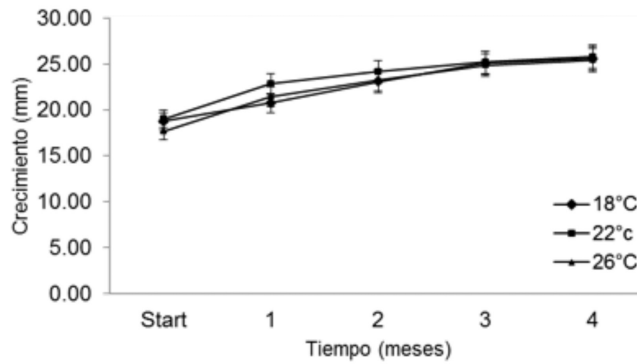


Figura 5. Crecimiento en longitud (mm) en los diferentes tratamientos en hembras de *C. patzcuarensis*

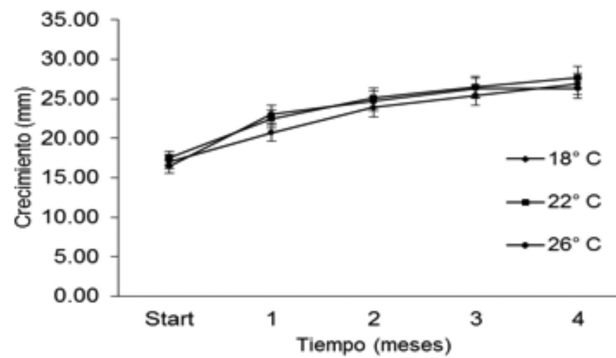


Figura 6. Crecimiento en longitud (mm) en los diferentes tratamientos en machos de *C. patzcuarensis*

### Supervivencia

La supervivencia poblacional no muestra diferencia significativa entre tratamientos. Para ambos sexos el mayor porcentaje de supervivencia se registró a 18° C. Sin embargo en los machos fue del 100% y en hembras del 72.2%, lo que hace notar una mayor tolerancia de los machos, esto puede deberse entre otros factores a que las hembras por la reproducción sean más susceptibles a sufrir ataques de canibalismo. Por otro lado en la supervivencia de las hembras, si

existe diferencia significativa del tratamiento a 18° C con respecto a los tratamientos a 22° y 26° C puesto que en estos solo sobrevivió el 50% de los organismos (Tabla 4).

### Crecimiento

Hembras y machos registraron una tasa específica de crecimiento alta, sin diferencia estadística significativa entre tratamientos. En hembras la más baja fue de 1.18 %/día a 22° C y la más alta fue a 26° C con 1.29 %/día. En machos la

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

más baja fue de 0.94 %/día a 22° C y 1.09 %/día, la más alta a 26° C. Para hembras la tasa de conversión alimenticia no presentó diferencia entre tratamientos, esta fluctuó de 1.3 a 1.43 a 18 y 22° C respectivamente. Para los machos esta fue más alta de 1.45 y 1.62 a 26° C y 22° C respectivamente (Tabla 4).

El crecimiento en peso no muestra diferencias significativas entre tratamientos. La mayor ganancia de peso la presentó el tratamiento a 22° C con 0.33 g para hembras y para machos presentaron 0.26 g de ganancia a 22° C y 26° C. Observando un mayor crecimiento de las hembras en todos los tratamientos (Tabla 4).

### Desoves

Los desoves no mostraron diferencia estadísticas significativa entre tratamientos, no obstante se presentó un mayor porcentaje de desove a 18° C con 89%, a 22° C y 26° C desovaron un 66.67% de las hembras. Es importante mencionar que a 18° C y 22° C se registró que las hembras desovaron más de una vez. En cuanto al número de huevos por hembra se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los

tratamientos, el más bajo se encontró en 26° C con 13.92 huevos promedio y el mayor número lo presentaron las hembras del tratamiento en 18° C con 21.69 huevos promedio (Tabla 4).

### Viabilidad

La viabilidad mostro diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. A 18° C se presentó la más baja con 0.3% y a 26° C la más alta con 8.98% (Tabla 4).

### Poblacional

En la primera campaña de muestreo (febrero de 2011) no se obtuvieron, vía recolecta por trapeo, organismos en todas las zonas de trabajo. En las posteriores tres campañas tanto en mayo como en septiembre del 2011 hubo un total de 81 organismos recolectados: 40 machos y 41 hembras (2 de estas desovadas) en diferentes zonas de recolectas a las de febrero.

El resumen del número de organismos y talla recolectados por temporada se presenta en la Tabla 5, y en la Tabla 6 se presenta un resumen de la relación de sus tallas promedio por zona de recolecta.

Tabla 5. Relación de sexo y longitud total de los organismos recolectados.

Salida	Zona de recolecta	# Organismos	M(♀)	H(♂)	L.T. M (mm)	L.T. H (mm)
<b>1era. 9-12</b>	Dren Uranden	0	0	0	0	0
<b>Febrero</b>	Ukasanacastakua	1	1	0	35	0
<b>2011</b>	Cucuchucho (El Mirador)	0	0	0	0	0
	Pared-Tarerio	0	0	0	0	0
	Tzintzunzan	0	0	0	0	0
	Santa Fe	0	0	0	0	0
	Chupícuaro	1	0	1	0	27
	Purenchécuaro	0	0	0	0	0
	Oponguio	3	1	2	34	40, 33
	Puácuaro	1	0	1	0	37
	Isla Yunuen	1	0	1	0	25
	Isla Janitizio	0	0	0	0	0

**Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis*  
del Lago de Pátzcuaro**

Tabla 5. Relación de sexo y longitud total de los organismos recolectados. (Continuación)

		Total de organismos	7	2	5	
2da. 11-14 <b>Mayo</b> <b>2011</b>	Dren Uranden	2	0	2	0	24, 24
	Ukasanacastakua	0	0	0	0	0
	Cucuchucho (El Mirador)	0	0	0	0	0
	Pared-Tarerio	1	1	0	31	0
	Tzintzunzan	0	0	0	0	0
	Santa Fe	0	0	0	0	0
	Chupícuaro	0	0	0	0	0
	Purenchécuaro	0	0	0	0	0
	Oponguio	1	0	1	0	23
	Puácuaro	3	2	1	29, 20	25
	Isla Yunuen	0	0	0	0	0
	Isla Janitizio	2	1	1	25	26*
	Total de organismos		9	4	5	
3era. 8-11 <b>Julio</b> <b>2011</b>	Dren Uranden	6	6	0	25, 25, 27, 21, 20, 25	0
	Ukasanacastakua	0	0	0	0	0
	Cucuchucho (El Mirador)	1	1	0	29	0
	Pared-Tarerio	2	2	0	32, 32	0
	Tzintzunzan	2	2	0	27, 27	0
	Santa Fe	0	0	0	0	0
	Chupícuaro	0	0	0	0	0
	Purenchécuaro	0	0	0	0	0
	Oponguio	0	0	0	0	0
	Puácuaro	0	0	0	0	0
	Isla Yunuen	5	3	2	28, 28, 28	10, 24
	Isla Janitizio	7	4	3	30, 28, 30, 29	21, 21, 21*
	Total de organismos		23	18	5	
4ta. 7-14 <b>Septiembre</b>	Dren Uranden	0	0	0	0	0
	Ukasanacastakua	0	0	0	0	0

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 5. Relación de sexo y longitud total de los organismos recolectados. (Continuación)

2011	Cucuchucho (El Mirador)	0	0	0	0	0
	Pared-Tarerio	0	0	0	0	0
	Tzintzunzan	6	4	2	26, 24, 25, 11	30, 20
	Santa Fe	0	0	0	0	0
	Chupícuaro	0	0	0	0	0
	Purenchécuaro	4	2	2	26, 20	35, 28
	Oponguio	0	0	0	0	0
	Puácuaro	8	3	5	10, 27, 25	30, 20, 28, 11, 16
	Isla Yunuen	5	2	3	25, 20	25, 24, 27
	Isla Janitizio	19	5	14	23, 20, 22, 20, 15	30, 23, 28, 20, 28, 27, 22, 20, 18, 21, 18, 10, 20, 16
	Total de organismos		42	16	26	

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

Tabla 6. Resumen del total de organismos recolectados en cada una de las zonas vía trampeo.

Zona	# Organismos	M (♀)	H (♂)	L.T. M (mm □)	Promedio Machos	L.T. H (mm )	Promedio Hembras
Dren Uranden	8	6	2	25, 25, 27, 21, 20, 25	24	24, 24	24
Ukasanacastakua	1	1	0	35	35	0	0
Cucuchucho (El Mirador)	1	1	0	29	29	0	0
Pared-Tarerio	3	3	0	32, 32, 31	32	0	0
Tzintzunzan	8	6	2	27, 27, 26, 24, 25, 11	23.3	30, 20	25
Santa Fé	0	0	0	0	0	0	0
Chupícuaro	1	0	1	0	0	27	27
Purenchécuaro	4	2	2	26, 20	23	35, 28	32
Oponguio	4	1	3	34	34	40, 33, 23	32
Puácuaro	12	5	7	29, 20, 10, 27, 25	28	37, 25, 30, 20, 28, 11, 16	24
Isla Yunuen	11	5	6	28, 28, 28, 25, 20	26	10, 24, 25, 25, 24, 27	23
Isla Janitizio	28	10	18	30, 28, 30, 29, 25, 23, 20, 22, 20, 15	24	21, 21, 21, 26, 30, 23, 28, 20, 28, 27, 22, 20, 18, 21, 18, 10, 20, 16	28
Organismos recolectados	81	40	41		28	Promedio LT	27
Relación de sexo	1:1						

### Fisicoquímicos

Los parámetros ambientales tomados por temporada y zona de recolecta se presentan en la Tabla 7. En ella se aprecia, a manera general, un incremento en el Lago de Pátzcuaro, de la temperatura, que pasa de 17.97° a 21.18° C y del pH que pasa de 8.48 a 9.02; y un decremento en oxígeno el cual pasa de 6.39 a 5.50 (notándose un incremento notorio de algas en el Lago en el mes de julio), asimismo se aprecia una disminución en las concentraciones de la salinidad y de la conductividad los cuales pasan de 0.46 a 0.09 ‰ y de 948 a 130 NS/cm respectivamente, esto

dado por el inicio en la temporada de lluvias.

El análisis de la composición del suelo y de nutrientes en agua nos permite distinguir que, en general, el ambiente está compuesto por arenas finas en tamaños que van desde 0.062 a 0.42 mm, la composición por región se aprecia en la tabla 8.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 7. Registro de parámetros ambientales en las diferentes zonas registradas para cada temporada.

1era.	Zona	Oxígeno (mg/l)	Temperatura (°C)	Hora	Profundidad (m)	Salinidad (‰)	Conductividad (NS/cm)	pH
<b>9-12 Febrero 2011</b>	1 Dren Uranden	1.8	14.8	12:30	0.3	0.3	577	7.2
	2 Ukasana-castakua	5.7	16.4	11:00	0.5	0.4	964	8.6
	3 Cucuchucho (El Mirador)	6.2	17	11:13	0.5	0.4	969	8.5
	4 Pared-Tarerio	7.2	18.7	12:46	0.6	0.5	986	8.1
	5 Tzintzunzan	7.3	20.1	13:21	0.5	0.5	998	8.5
	6 Santa Fé	6.5	19.4	13:55	0.7	0.5	1007	8.5
	7 Chupícuaro	6.8	21.7	14:20	0.5	0.5	1001	9
	8 Purenchécuaro	8	19.3	14:20	0.5	0.5	989	8.3
	9 Oponguio	7.5	16.7	13:30	0.7	0.5	976	8.9
	10 Puácuaro	6.1	16.2	12:35	0.7	0.5	985	8.9
	11 Isla Yunuen	5.7	18.3	17:45	0.7	0.5	985	8.5
	12 Isla Janitizio	7.9	17	12:05	0.5	0.4	946	8.7
	Promedios	6.39	17.97		0.56	0.46	948.58	8.48
<b>2da. 11-14 Mayo 2011</b>	1 Dren Uranden	1.5	15.8	10:15	0.3	0.07	973	6.8
	2 Ukasana-castakua	4.2	20.8	11:18	0.3	0.4	-	9.8
	3 Cucuchucho (El Mirador)	3.8	21.5	11:56	0.9	0.4	-	9.2
	4 Pared-Tarerio	6.3	21.5	17:09	0.3	0.4	-	9.2
	5 Tzintzunzan	8.2	25.5	16:20	0.95	0.4	-	9.1
	6 Santa Fé	5.6	26.8	14:20	0.4	0.4	-	8.8
	7 Chupícuaro	6.1	26.5	13:30	0.5	0.4	-	8.7
	8 Purenchécuaro	8.5	27	15:20	0.3	0.4	-	8.9
	9 Oponguio	4.8	23.4	15:40	0.3	0.4	-	8.7
	10 Puácuaro	4.6	21.3	16:00	0.5	0.4	-	8.9
	11 Isla Yunuen	4.8	21.8	16:20	0.45	0.4	-	8.8
	12 Isla Janitizio	4.2	21.3	16:45	0.4	0.4	994	8.8
	Promedios	5.22	22.77		0.47	0.37	983.50	8.81
<b>3era. 8-11 Julio 2011</b>	1 Dren Uranden	6.4	17.2	18:22	0.5	0.03	60	8.5
	2 Ukasana-castakua	5.1	20.1	08:45	0.4	0.17	310	9.9
	3 Cucuchucho (El Mirador)	5.3	19.7	10:15	0.6	0.17	310	9.8
	4 Pared-Tarerio	5.1	20.1	09:25	0.4	0.17	310	9.7
	5 Tzintzunzan	5.1	20.2	10:10	0.3	0.17	310	9.6
	6 Santa Fé	4.5	21.7	10:43	0.6	0.17	330	9.7
	7 Chupícuaro	4.2	22.9	11:40	0.4	0.17	340	9.6
	8 Purenchécuaro	4.1	23	12:09	0.4	0.17	330	9.7
	9 Oponguio	4.4	22.4	13:18	0.4	0.17	330	9.5
	10 Puácuaro	3.8	24.1	14:11	0.4	0.17	340	9.4
	11 Isla Yunuen	4.7	21.4	15:30	0.6	0.16	320	9.8
	12 Isla Janitizio	4.7	21.4	15:50	0.6	0.16	310	9.8
	Promedios	4.78	21.18		0.47	0.16	300	9.58
<b>4ta. 7-14 Sep- tiembre 2011</b>	1 Dren Uranden	4.4	18	17:19	0.3	0.02	29	8.02
	2 Ukasana-castakua	5.6	20.1	15:15	0.4	0.1	146	9.3
	3 Cucuchucho (El Mirador)	5.6	19.7	14:24	0.5	0.09	136	9.3
	4 Pared-Tarerio	5.9	20.1	10:20	0.5	0.1	139	9.2
	5 Tzintzunzan	5.7	20.2	11:00	0.4	0.1	142	8.5
	6 Santa Fé	-	-	-	-	-	-	-
	7 Chupícuaro	-	-	-	-	-	-	-
	8 Purenchécuaro	5.6	23	12:00	0.4	0.1	145	9.0
	9 Oponguio	5.7	22.4	12:20	0.4	0.1	141	9.4
	10 Puácuaro	5.3	24.1	13:07	0.4	0.1	145	9.0
	11 Isla Yunuen	5.6	21.4	14:48	0.6	0.1	141	9.6
	12 Isla Janitizio	5.6	21.4	14:13	0.6	0.1	140	8.9
	Promedios	4.4	18	0.56	0.45	0.09	130.40	9.02

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

Tabla 8. Tipos de sustratos en las diferentes zonas de trabajo.

Zona de recolecta de muestra	Materia orgánica (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcillas (%)	Tipo de suelo
Dren Uranden	28.43	8	37	55	Arcilla limosa
Ukasanacastakua	6.52	5	66	29	Limo arcilloso
Cucuchucho (El Mirador)	15.98	9	29	62	Arcilla limosa
Pared-Tarerio	12.70	8	41	52	Arcilla limosa
Tzintzunzan	16.66	6	73	21	Limo arcilloso
Santa Fé	7.41	8	34	58	Arcilla limosa
Chupícuaro	7.39	9	31	60	Arcilla limosa
Purenchécuaro	7.40	6	55	39	Limo arcilloso
Oponguio	8.10	10	14	76	Arcilloso
Puácuaro	15.93	6	67	27	Arcilloso-rocoso
Isla Yunuen	13.80	8	30	62	Arcilla limosa
Isla Janitizio	11.96	7	42	51	Arcilloso-rocoso

Los valores obtenidos para fosfatos y amonio en el Lago de Pátzcuaro para el mes de julio se presentan en la Tabla 9. Se observan valores puntuales bajos para fosfatos y concentrados para el amonio. Estos valores, en conjunto con la presencia de algas y una coloración verde en

el agua, indican un efecto de eutrofización en el Lago de Pátzcuaro para el mes de julio de acuerdo a lo establecido por Fontúrbel, (2005) y Pütz (2008). Este efecto es más notorio en las zonas de recolecta del norte y centro del Lago: Chupícuaro, Cucuchucho, Pared-Tarerio y Oponguio.

Tabla 9. Análisis de fosfatos y amonio en el agua.

1. Zonas de muestreo	2. PO <sub>4</sub> [mg/l]	3. NH <sub>4</sub> [mg/l]
4. Dren Uranden	5. 0.02	6. 8.57
7. Ukasanacastakua	8. 0.00	9. 12.18
10. Cucuchucho (El Mirador)	11. 0.00	12. 22.99
13. Pared-Tarerio	14. 0.00	15. 24.54
16. Tzintzunzan	17. 0.00	18. 8.06
19. Santa Fé	20. 0.01	21. 14.24
22. Chupícuaro	23. 0.01	24. 42.05
25. Purenchécuaro	26. 0.01	27. 11.66
28. Oponguio	29. 0.00	30. 28.14
31. Puácuaro	32. 0.00	33. 4.97
34. Isla Yunuen	35. 0.01	36. 10.12
37. Isla Janitizio	38. 0.01	39. 12.69

## Determinación de la interrelación de la población *Cambarellus patzcuarensis* con los factores fisicoquímicos del lago de Pátzcuaro.

Los factores abióticos de un ecosistema son todos aquellos parámetros físicos o químicos que afectan a los organismos. Estos determinan la presencia, supervivencia y desarrollo de los organismos en los cuerpos de agua. Mediante su medición podemos interpretar las fluctuaciones de las poblaciones y dar seguimiento a las diferentes fases de su ciclo de vida. Así pues, los factores limitantes son todos aquellos que regulan el crecimiento y la expansión de las poblaciones.

Es por demás conocido que según el tipo de suelo que se encuentre en una región, este será condicionante de la fauna que se establezcan en él, así como las adaptaciones de los organismos

a nivel reproductivo, fisiológico y de desarrollo (Momot & Gowing, 1977; Payette y McGaw, 2003; Carmona-Osalde, 2004). Los factores limitantes de tipo climático, como la temperatura, la salinidad, el oxígeno, la profundidad y el pH, son factores que pueden diezmar una población de manera casi inmediata (Holdich & Lowery, 1988, Carmona-Osalde, op. cit.). Los valores registrados durante todo este programa se resumen en la Tabla 10.

En México existe la normatividad NOM-127 establecida por la Secretaría de Salud en la cual se indican los parámetros permisibles del agua para consumo humano; sin embargo, sobre captación del agua de lluvia no se tiene aún datos establecidos. Lo más cercano a una son los criterios para control de la contaminación del aire, suelo y agua emitidos por la Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de los Estados Unidos (Environmental Protection Agency - EPA) que estableció el cumplimiento estricto de las leyes para la prevención de la contaminantes (Tabla 11).

Tabla 10. Promedios de los parámetros ambientales por temporada.

Tiempo (Mes)	Oxígeno (mg/l)	Temperatura (°C)	Profundidad (m)	Salinidad (‰)	Conductividad (NS/cm)	pH	PO <sub>4</sub> (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)
Febrero	6.39	17.97	0.56	0.46	948.58	8.48		
Mayo	5.22	22.77	0.47	0.37	983.50	8.81		
Julio	4.78	21.18	0.47	0.16	300.00	9.58	0.006	16.7
Sept.	5.50	21.04	0.45	0.09	130.40	9.02		

Profundidad: Las profundidades trabajadas en promedio fueron de 0.5 m, con una alta turbidez, lo cual puede ser indicativo de los altos valores de sílice (ppm). Así mismo se obtuvo un alto porcentaje de materia orgánica en el lago.



## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

Tabla 11. Límites permisibles de algunas características físicas y químicas del agua dulce.

Parámetro/Norma	NOM-127	BWA	NOM-041	EPA
Acidez o alcalinidad total	300 ppm		300 ppm	
Cloro residual	0.2-1.5 ppm		0.10 ppm	0.11
Cloruros	250 ppm	250 ppm	250 ppm	250 ppm
Color	20 UCV	5 UCV	15 UCV	
Dureza total	500 ppm		200 ppm	
Hierro (como Fe)	0.3 ppm		0.30 ppm	1 ppm
Turbiedad	5 UTN	5 UTN	5 UTN	
SDT (Sólidos disueltos totales)	1,000 ppm	500 ppm	500 ppm	
SAAM (Substancias activas al azul de metileno)	0.5 ppm		0.50 ppm	
Sulfatos	400 ppm	250 ppm	250 ppm	0.005 ppm
pH	6.5-8.5	6.5 -8.5	6.5 -8.5	NA
Zinc	5 ppm	5 ppm	3.0 ppm	

**Fuente:** Valores de las normas 127, IBWA (International Bottled Water Association), 041 y las normas de la EPA (Environmental Protection Agency, 1983)

### Conductividad

La conductividad de una muestra de agua es una medida de la capacidad que tiene la solución para transmitir corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia, movilidad, valencia y concentración de iones, así como de la temperatura del agua. Asimismo es un indicador de la salinidad del agua.

Los valores aquí obtenidos indican una fuerte presencia de sales para inicios del año (febrero-mayo) disminuyendo durante la presencia de lluvias (julio-septiembre).

### Fosfatos

El ión fosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Como procede de un ácido débil contribuye a la alcalinidad del agua. No suele haber en el agua más de 1 ppm, salvo en los casos de contaminación por fertilizantes fosfatados.

El análisis puntual de nutrientes en el agua, realizado en el mes de julio, indicó baja presencia de fosfatos  $\text{PO}_4^{-3}$  [mg/l] en casi todas las zonas de trabajo, esto puede ser debido al inicio de las lluvias, que ayuda a la dilución de la concentración.

### Nitrógeno

De los tres compuestos más estudiados de nutrientes: nitritos, nitratos y amonio, el que ha llamado más la atención es el amonio, el cual sobresale por ser generalmente el más tóxico y el que se encuentra frecuentemente en mayor concentración en las aguas de desecho tanto domésticas como industriales. Para el nitrógeno en forma de amonio  $\text{NH}_4$  [mg/l], realizado en el mes de julio, indicó que la mayor presencia de este nutriente se localiza al norte del Lago de Pátzcuaro en la localidad de Chupícuaro con 42.05 mg/l. seguidos por las zonas de Cucuchicho, Pared-Tarerio y Oponguio. Los valores registrados indican una fuerte aportación de sus-

tancias agrícolas, esto al observar los criterios indicados por la EPA (1983), los cuales indican valores de 0.06 g/l. Esta presencia en el agua puede también ser producto natural del metabolismo de las proteínas de los organismos acuáticos.

Asimismo la relación N/P permite observar, para el mes de julio, valores que indican una fuerte eutrofización según los criterios de Salas y Martino (1996) del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente de la Organización Mundial de la Salud y Ongley (1997) del Canada Centre for Inland Waters.

El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) es un compuesto de nitrógeno que con frecuencia está presente en las aguas residuales frecuentemente descargado a través de los desagües municipales, industriales y en la agricultura. Las concentraciones altas de amoníaco en aguas superficiales son tóxicas para los peces y al ser oxidadas consumen el oxígeno disuelto del agua (procesos de nitrificación). Mucho del nitrato resulta de la nitrificación, proceso por el cual el amonio producido durante la descomposición bacteriana y la excreción animal es primeramente convertido a nitritos y subsecuentemente a nitratos por las bacterias aeróbicas autotróficas.

Las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos que resultan de las descargas puntuales y no-puntuales son algunas veces elevadas, de manera tal que provocan efectos agudos y/o subletales sobre los organismos que habitan en el lago que son alimentados con aguas que reciben tales descargas. Debido a que los compuestos del nitrógeno (amonio, nitritos y nitratos) son omnipresentes y tóxicos, las consecuencias adversas potenciales a largo y mediano plazo, y exposiciones a bajos niveles son de interés conocerlas. La mayoría de la información sobre la toxicidad de los compuestos del nitrógeno tradicionalmente se ha centrado en los peces, sin embargo, recientemente, se han estudiado los

efectos en crustáceos (Frías-Espéricueta y Páez-Osuna, 2001).

### Oxígeno

Este parámetro proporciona una medida de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Mantener una concentración adecuada de oxígeno disuelto en el agua es importante para la supervivencia de los peces y otros organismos de vida acuática. La temperatura, el material orgánico disuelto, los oxidantes inorgánicos, etc. afectan sus niveles. La baja concentración de oxígeno disuelto puede ser un indicador de que el agua tiene una alta carga orgánica provocada por aguas residuales, sin embargo, no se registraron bajas concentraciones de oxígeno, dado que se registró solo la orilla del Lago, donde hay un continuo aporte de este gas debido al oleaje ocasionado por el viento. Se obtuvieron valores promedio de 5 mg/l, valor por arriba de lo indicado como óptimo en sistemas de producción de crustáceos (Decamp *et al.*, 2003).

### Temperatura

La temperatura es un factor limitante para mantener la estabilidad bioquímica de los organismos, la cual es necesaria para un óptimo desarrollo en cuanto al desove, viabilidad, crecimiento y supervivencia; asimismo de la influencia de la temperatura dependerán los rangos de tolerancia, la distribución geográfica y los procesos de aclimatación de una especie (Carmona-Osalde, 2004). Los organismos acuáticos han desarrollado una serie de mecanismos fisiológicos y/o de comportamiento que les permite adecuarse a esta amplia gama de temperaturas y evitar aquellas que le son adversas (Boxhall y Lincoln, 2002); por medio de mecanismos compensatorios que capacitan al organismo a modificar su comportamiento (Stephens, 1985).

El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (oxígeno) y aumenta, en general,

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción. La temperatura mostró poca fluctuación durante el periodo de registro. Si bien, tuvo un incremento de 3° C de febrero a mayo, esta se mantuvo en 21° ± 1° C durante el resto del año.

Asimismo, en el laboratorio, se observó que *Cambarellus patzcuarensis* mostró tolerancia hacia las fluctuaciones de temperatura (22° ± 2° C), en los aspectos reproductivos. Lo cual nos permite inferir que la temperatura no es un factor que límite la presencia de *C. patzcuarensis* en el Lago de Pátzcuaro.

### pH

El pH es una medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua. Aguas fuera del rango normal de 6 a 9 pueden ser dañinas para la vida acuática (por debajo de 7 son ácidas y por encima de 7 son alcalinas). Estos niveles de

pH pueden causar perturbaciones celulares y la eventual destrucción de la flora y fauna acuática. Los resultados obtenidos indican una ligera alcalinidad al obtener un valor promedio cercano al 9, aunque este valor entra en los rangos de la Ley Federal de Derechos (Lineamientos de Calidad del Agua). Los resultados de estos parámetros se presentan en la figura 7.

### Suelos

El análisis de la composición del suelo nos permite distinguir que en general el ambiente está compuesto por un alto porcentaje de arcillas y arenas finas en tamaños que van desde .062 a 0.42 mm. Con zonas que concentran áreas rocosas y porcentajes de entre 6 al 16% de materia orgánica, en las zonas registradas. Esta conformación es el fondo idóneo para *C. patzcuarensis*, (dado que tiene áreas de desove (rocosa) y áreas de crecimiento (con materia orgánica) (Rodríguez-Serna, 1999; Álvarez y Rangel, 2007).

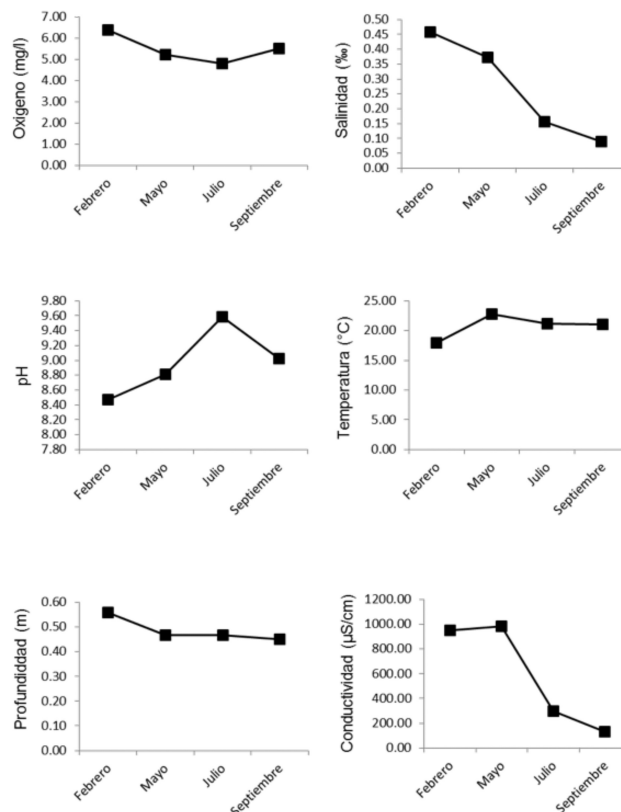


Figura 7. Parámetros fisicoquímicos durante el periodo de recolectas.

### Estructura Poblacional de *Cambarellus patzcuarensis*.

El resumen de la estructura de la población se presenta en la Tabla 12, asimismo la densidad por zonas de registro se observa en la Figura 8.

Con base en los valores observados, en la Tabla 12, de la reproducción de *Cambarellus patzcuarensis* se obtuvieron los siguientes indicadores poblacionales según Pianka (1982).

Índice Sintético de Fecundidad (ISF), fue calculado en un valor de 199.17. Dado que la Tasa Bruta de Reproducción (R) trata de cuantas hembras se obtiene a partir de cada madre acocil, el valor de R se obtiene multiplicando el ISF por la parte proporcional de nacimientos femeninos. Puesto que se trata de una constante biológica, cuyo valor oscila en torno a 0.488, basta con multiplicar:  $R = ISF * 0.488$  dando como resultado una tasa bruta de reproducción de 97.19. El intervalo de la Talla Media para Desove (TMD) se calculó bajo la suposición de que las crías que

Tabla 12. Estructura poblacional de *Cambarellus patzcuarensis*, en el Lago de Pátzcuaro.

Localidad	Organismos recolectados			Densidad (Org/m <sup>2</sup> )*			Relación de Sexo M:H
	Población	M (♀)	H (♂)	Población	M (♀)	H (♂)	
Dren Uranden	8	6	2	11.43	8.57	2.86	3:1
Ukasana-castakua	1	1	0	1.43	1.43	0.00	0
Cucuchucho (El Mirador)	1	1	0	1.43	1.43	0.00	0
Pared-Tarerio	3	3	0	4.29	4.29	0.00	0
Tzintzunzan	8	6	2	11.43	8.57	2.86	3:1
Santa Fé	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0
Chupícuaro	1	0	1	1.43	0.00	1.43	0
Purenchécuaro	4	2	2	5.71	2.86	2.86	1:1
Oponguio	4	1	3	5.71	1.43	4.29	0.3:1
Puácuaro	12	5	7	17.14	7.14	10.00	0.7:1
Isla Yunuen	11	5	6	15.71	7.14	8.57	0.8:1
Isla Janitizio	28	10	18	40.00	14.29	25.71	0.6:1
Total	81	40	41	9.64	4.76	4.88	1:1

\*Densidad = N organismos / área de trampas (0.7 m<sup>2</sup>)

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

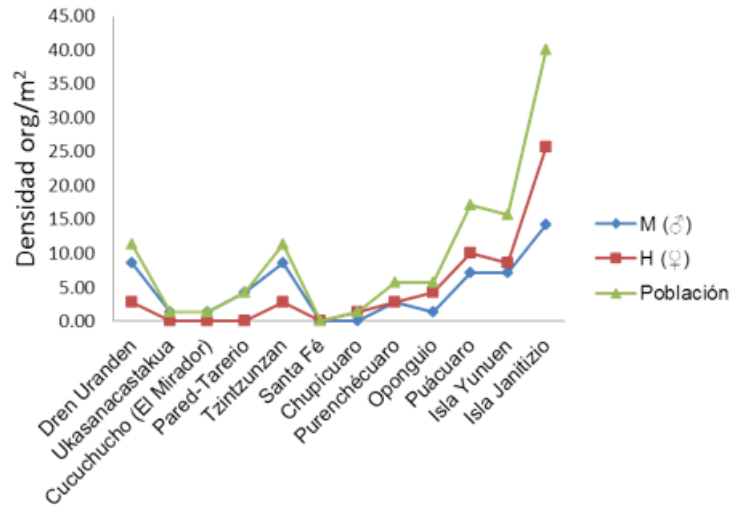


Figura 8. Densidad poblacional por zonas registradas de *Cambarellus patzcuarensis*

se obtuvieron en cada intervalo de talla las han tenido hembras cuya talla se sitúa como promedio el punto central de ese intervalo, este valor obtenido fue calculado en **37.81**.

El cálculo de la **Tasa Neta de Reproducción (Ro)**, tiene en cuenta el efecto de la mortalidad; ya que la mayor o menor supervivencia de las hembras tiene efectos sobre el número real de crías que cada generación de acociles tendría al llegar al límite de su talla reproductiva. Por tanto, para el cálculo de esta tasa utilizamos los datos de mortalidad. El método consiste en ponderar la R obtenida anteriormente por las probabilidades de sobrevivir hasta la TMD (Talla Media para el Desove), la cual también se calculó. El valor obtenido es de **3.79**.

Cuando  $R_o$  es mayor que 1, la población está en aumento; cuando  $R_o$  es igual a 1, la población es estable, y cuando  $R_o$  es menor que 1, la población está disminuyendo. Debido a esto, la tasa de reproducción neta también se ha denominado tasa

de sustitución de la población. El valor obtenido nos indica que la población de *Cambarellus patzcuarensis* se encuentra en estable y en aumento.

Se observa una densidad poblacional de 9.64 organismos por  $m^2$ , mientras que se aprecia una densidad para las hembras de 4.88 hembras por  $m^2$  y de 4.76 para machos por  $m^2$ . Asimismo se observa una relación de sexo (M:H) de 1:1. Lo cual es indicativo de una estabilidad en la población. Las zonas con mayor densidad por área son: Isla Yunuen e Isla Janitzio.

En la Tabla 13, se observa la distribución de *C. patzcuarensis* según el tipo de substrato o fondo. Aquí se aprecia que la población prefiere los fondos de tipo arcilloso-rocoso, dado por la posibilidad de conseguir refugio, lo cual resulta óptimo durante la reproducción, dado que se asegura que las crías no sean depredadas por los peces. Puacuaro, Isla Yunuen e Isla Janitzio, se establecen como **zonas de reproducción** por su fondo rocoso y alta presencia de organismos.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 13. Distribución de la población según el tipo de sustrato.

Tipo de sustrato	No. Hembras	%	No. Machos	%	Poblacional	%
Arcilla limosa	9	21.95	15	37.5	24	29.62
Limo arcilloso	4	9.75	9	22.5	13	16.04
Arcilloso	3	7.31	1	2.5	4	4.93
Arcilloso-rocoso	25	60.97	15	37.5	40	49.38
Total	41	100	40	100	81	100

Las bajas tallas en las cuales se encontraron hembras cargadas (25 mm) proponen que su mayor gasto energético se enfoca al proceso de reproducción y no hacia el crecimiento. Lo cual en un ambiente contaminado es propicio para la conservación de la especie (Pianka, 1982). Lo anterior se presentó en los experimentos llevados a cabo en el laboratorio, donde se observó que una hembra es capaz de desovar en múlti-

ples ocasiones. Con un bajo número de huevos en cada desove pero una alta viabilidad (Tabla 14).

En la Figura 9, se observan las tallas promedio obtenidas por zonas de recolecta. Se encontró una homogeneidad entre las tallas en ambos sexos, siendo las tallas más grandes registradas en las localidades de Purenchécuaro y Oponguío.

Tabla 14. Datos de reproducción para el periodo de recolectas del 2005 al 2011.

Intervalo de talla (mm)	No. Hembras	No. de Huevos x hembra	No. Crías x hembra	% Viabilidad
10-19	12	0	0	0
20-29	12	48	48	8.3
30-39	36	871	511	82
40-49	2	30	30	50

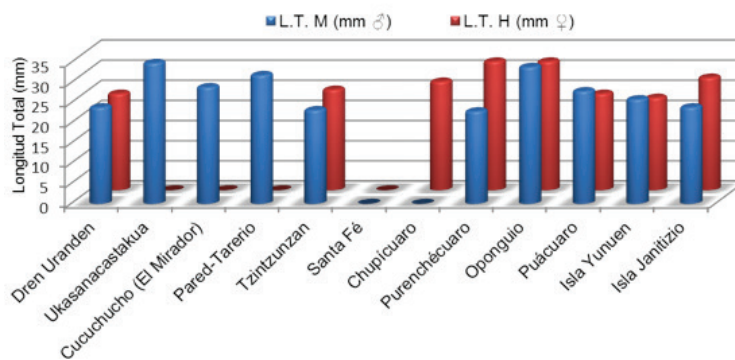


Figura 9. Distribución de tallas por sexo de *Cambarellus patzcuarensis* en las diferentes zonas de recolecta.

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

En la Tabla 15 se presenta el número de organismos recolectados por zonas de trabajo durante el periodo del 2005 al 2011, gráficamente se

presenta en la Figura 10. En ellas se aprecia un incremento en la población. Los cuales se corroboraron mediante los indicadores de Tasa y Razón de Crecimiento.

Tabla 15. Número de organismos recolectados por región-año.

Zona	Región	Periodos de recolecta			
		2005	2008	2009	2011
1	Cucuchucho (El Mirador)	0	1	1	1
2	Ukasanacastakua	0	7	0	1
3	Pared-Tarerio	1	3	6	3
4	Tzintzuntzan (Ojo de agua)	0	0	1	8
5	Zocurio	0	1	1	0
6	Santa Fe	0	0	0	0
7	Chupicuario	0	0	0	1
8	Oponguio	1	1	0	4
9	Puácuaro	11	0	0	12
10	Isla Yunuen	0	4	2	11
11	Isla Janitzio	0	0	3	28
12	Dren Uradén	0	1	18	8
14	Pacandas	11	0	0	0
15	Jarácuaro	6	0	0	0
16	Tarcrio	2	0	0	0
17	Apíزارo	0	1	0	0
18	Jarácuaro	0	0	0	0
19	Erongaricuario	0	0	0	0
20	Purenchécuaro	0	0	0	4
Total de organismos		32	19	32	81

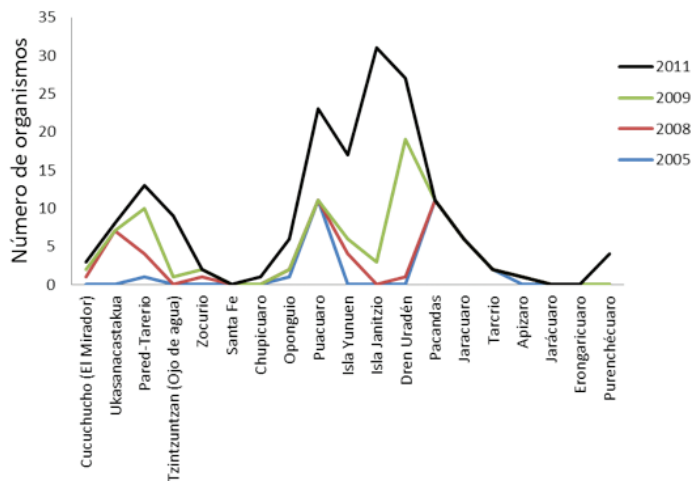


Figura 10. Número de organismos recolectados por zonas de recolecta durante el periodo del 2005 al 2011 en el Lago de Pátzcuaro.

En demografía y ecología, la **Tasa de Crecimiento Poblacional (TC)** o tasa de crecimiento demográfico (PGR de las siglas en inglés: Population growth rate) es la tasa que mide el crecimiento o decrecimiento de la población. Específicamente, la tasa de crecimiento demográfico se refiere ordinariamente al cambio en la población durante un período de tiempo, expresado a menudo como un porcentaje del número de individuos sobre la población inicial de dicho período. Puede expresarse bajo la fórmula:

$$TC = (P_f - P_i) / P_i$$

Dónde:  $P_f$  = Población Final y  $P_i$  = Población Inicial.

Tasa de Crecimiento resultante fue de: **1.53**

La manera más común de expresar el crecimiento demográfico es mostrarlo como una razón aritmética, y no como porcentaje. El cambio en la población durante un período de unidad se expresa como porcentaje de la población al principio del período. Esto es:

$$\text{Razón de crecimiento (\%)} = TC * 100\% = \mathbf{153.13\%}$$

### **Importancia del registro de las especie (*Cambarellus patzcuarensis*) en el lago**

Sánchez et al., (2011) determinan que las condiciones fisicoquímicas del Lago muestran una diferencia importante, no nada más interanualmente como era de esperarse, sino con condiciones que difieren marcadamente entre la zona norte, centro y sur de éste. Al comparar sus resultados, observa un gradiente de menor a mayor contaminación, los cuales van desde el centro del Lago hacia el norte (Quiroga) y hacia el sur (Ciudad de Pátzcuaro), esto lo asocia a las descargas de aguas residuales vertidas en

los extremos del Lago. Este resultado señala un ambiente eutrófico, sobre todo con base en el contenido de clorofila a (Sánchez et al., 2011). Lo cual, según los criterios establecidos por León (1991 y 1992), califica al lago de Pátzcuaro como contaminado leve para uso agrícola y de calidad aceptable para los usos de pesca y recreación.

La recomendación proporcionada por Sánchez et al., (2011) es el control de las fuentes de contaminación puntual y no puntual, las cuales deben considerarse una prioridad ya que las cargas de nutrientes, orgánicas y microbiológicas, impactan al Lago por la naturaleza cerrada de la cuenca, con un proyecto que permita identificar, cuantificar y proponer la aplicación de mejores prácticas de conservación.

Similares condiciones se encontraron en nuestro trabajo, el Lago presenta una contaminación por material orgánico, es decir, presenta impacto por eutrofización. Estas condiciones de eutrofización determinan que la fauna macrobentónica (la cual incluye a los acociles) asociada al litoral se encuentra sometida a variaciones marcadas tanto en temperatura como conductividad y oxígeno disuelto, todas variables de gran importancia para el ciclo de vida de estos organismos.

La comunidad de macroinvertebrados que habitan el Lago de Pátzcuaro está conformada principalmente por una fauna con características de alta tolerancia a la contaminación orgánica y cuyos requerimientos de subsistencia son poco estrictos. Aunado a esto la biodiversidad presente en el Lago de Pátzcuaro muestra una riqueza importante (72 taxa) en su fauna bentónica a pesar de que las condiciones ambientales corresponden a un sistema eutrofizado (Alonso-EguíaLis et al., 2011).

A pesar de las condiciones de calidad del agua, el lago cuenta aún con especies altamente intolerantes a la contaminación orgánica, lo que indica que aún se encuentran condiciones ambien-



## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

tales “altamente rescatables” dentro del mismo (Alonso-EguíaLis et al., 2011). Asimismo, esto se demuestra con la alta tolerancia que presenta *C. patzcuarensis*, a las variaciones de temperatura durante los estudios de su reproducción. En los cuales no se aprecia efecto en su crecimiento.

La contaminación del Lago presenta presión para las especies endémicas presentes en este cuerpo de agua. La gran ventaja que presentan los macroinvertebrados que habitan el Lago, es su alta flexibilidad para adaptarse a las condiciones desfavorables (Alonso-Eguía Lis et al., op.cit.). Así lo demuestra el ciclo de vida de *Cambarellus patzcuarensis*, el cual presenta la adaptación de una reproducción temprana y constante en sus hembras para mantener una población estable. Su alimentación base son los detritos (materia orgánica en descomposición) por lo cual las condiciones del Lago no los limitan en este sentido. Su crecimiento es acelerado y no presenta depredadores aparentes.

Los resultados encontrados con *C. patzcuarensis* permiten determinar que las condiciones del Lago, pueden, con las medidas necesarias, rescatarse de manera paulatina. Sin embargo, como lo refiere el trabajo de Sánchez et al., (2011), de no limitarse las descargas de aguas residuales al Lago, en un futuro se presentarían problemas de biodiversidad, pesca y salud humana, afectando a todas las especies asociadas al Lago.

### Conclusiones

- a) Estado del arte de la ecología de Cambáridos en sistemas lóticos y lénticos tropicales.
  - Poca información poblacional sobre la especie *Cambarellus patzcuarensis*, especie endémica del Lago de Pátzcuaro y en general de las especies de Michoacán. No así en poblaciones del Centro y Sur del país.
  - Se encuentra literatura sobre aspectos

fisiológicos y nutrimentales principalmente, así como trabajos relativos a manejo y producción en otras especies de *Cambarellus*.

- b) Determinación de la biología reproductiva de *C. patzcuarensis* para la estructuración de su ciclo de vida.

- Presenta siete estadios de desarrollo larval con duración de 35 días antes de eclosionar del huevo.
- En esta especie la hembra presenta desoves continuos con intervalos de menos de 20 días entre uno y otro.
- Presenta baja cantidad de huevos, pero alta viabilidad.
- La talla mínima registrada de reproducción fue de 25 mm.
- La temperatura no representa un factor limitante. Los organismos se adaptan a sus fluctuaciones.

- c) Determinación de la interrelación de la población *C. patzcuarensis* con los factores físico-químicos del Lago de Pátzcuaro.

- El Lago de Pátzcuaro según los indicadores fisicoquímicos, presenta poca fluctuación de temperatura, oxígeno y pH.
- Se presentó un descenso de la salinidad y la conductividad debido a la temporada de lluvias.
- El amonio registrado presenta su mayor presencia con 42.05 mg/l al norte del Lago de Pátzcuaro en la localidad de Chupícuaro, seguidos por las zonas de Cucuchuco, Pared-Tarero y Oponguio. La alta presencia de amonio indica una eutrofización del sistema.
- La composición del suelo está com-

puesto por un alto porcentaje de arcillas y arenas finas en tamaños que van desde .062 a 0.42 mm. Con presencia de zonas de áreas rocosas.

- Los porcentajes de materia orgánica registrada fueron del 6% al 16%.

d) Determinación de la estructura poblacional de *Cambarellus patzcuarensis*.

Indicadores Poblacionales:

- Índice Sintético de Fecundidad (ISF) = 199.17.

Tasa Bruta de Reproducción (R) = 97.19.

Intervalo de la Talla Media para Desove (TMD) = 37.81.

Tasa Neta de Reproducción (Ro) = 3.79.

Tasa de Crecimiento Poblacional = 1.53

Razón de crecimiento (%) = 153.13%

- Los indicadores obtenidos nos indica que la población de *Cambarellus patzcuarensis* se encuentra estable y en aumento.
- Relación de sexo (M:H) de 1:1. Lo cual es indicativo de una estabilidad en la población.
- Se observa una densidad poblacional de 9.64 organismos por m<sup>2</sup>, mientras que se aprecia una densidad para las hembras de 4.88 hembras por m<sup>2</sup> y de 4.76 para machos por m<sup>2</sup>. Las zonas con mayor densidad por área son: Isla Yunuen e Isla Janitzio.
- Puácuaro, Isla Yunuen e Isla Janitzio, se establecen como zonas de reproducción por su fondo rocoso y alta presencia de organismos.

## Bibliografía

- Ackefors, H., Castell, J.D., Boston, L.D., Rätty, P. y Svensson, M., 1992. Standard experimental diets for crustacean nutrition research. II. Growth and survival of juvenil crayfish *As-tacus astacus* (Linné) fed diets containing various amounts of protein, carbohydrate and lipid. *Aquaculture*, 104: 341-356.
- Alfaro, J., 1996. Effect of 17 $\alpha$ -methyltestosterone and 17 $\beta$ -hydroxyprogesterone on the quality of white shrimp *Penaeus vannamei* spermatophores. *Journal of the World Aquaculture Society*, 27(4): 487-492.
- Ali, M. y Wootton, R. J., 1999. Coping with resource variation: effect of constant and variable intervals between feeding on reproductive performance at first spawning of female threespined sticklebacks. *Journal of Fish Biology*, 55: 211-220
- Alonso-EguíaLis, P., González-Valencia, L., Estrada-Carbajal, C. y Rocha-Mendoza, M.A., 2011. La fauna de macroinvertebrados bentónicos del lago de Pátzcuaro y su uso como indicadores del estado de salud e integridad del hidrosistema. En: Huerto-Delgadillo, R., Vargas-Velázquez, S. y Ortiz-Paniagua, C.F. (Eds.); *Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, ISBN: 978-607-7563-39-6, 304 p.
- Álvarez N.F., Villalobos, J.L. y Lira, E., 1996. Decápoda. En: J. Llorente, A.N. García-Aldrete y E. González (Eds.); *Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México, hacia una síntesis de su conocimiento*. Instituto de Biología, U.N.A.M., 103-129 pp.
- Álvarez, F. y Rangel, R., 2007. Estudio poblacional del acocil *Cambarellus montezumae* (Crustacea: Decápoda: Cambaridae) en Xochimilco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 431-437.

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

- Álvarez-Noruega, F., 2004. Estudio poblacional de *Cambarellus montezumae* en la pista de remo y canotaje "Virgilio Uribe"; Xochimilco, México, D.F. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México, D.F., 50 p.
- Anaya-Manuel, M., 1991. Efecto de la luz monocromática en la ontogenia del ritmo circadiano de la amplitud electroretinográfica del acocil. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México, D.F., p:76.
- Arredondo-Figueroa, J.L., Vázquez-González, A., Barriga-Sosa, I., Carmona-Osalde, C. y Rodríguez-Serna, M., 2010. Effect of density on growth and feeding of the crayfish *Cambarellus montezumae* (Saussure, 1857) Journal of applied Aquaculture 22(1): 66-73.
- Avault J.W. Jr. y J.V. Huner, 1985. Crawfish culture in the United States. In: Huner J.V. y E.E. Brown (Eds.); Crustacean and mollusk aquaculture in the United States. AVI. Publ. Co. Westport, Connecticut, 1-61 pp.
- Avault, J.W.(Jr), Romaine, R.P. y Miltner, M.R., 1981. Feeds and forages for red swamp crawfish, *Procambarus clarkii*; 15 years research at the Louisiana State University reviewed. Freshwater Crayfish, 5: 362-369.
- Bowman, T.E. y Abele, L.G., 1982. Classification of the recent Crustacea, In: L.G. Abele (Eds.); The biology of Crustacea, pp:1: 1-27.
- Boxhall y Lincoln, R.J., 2002. Los mandíbulados acuáticos. In: Hickman, C.P., Roberts, L.S. y Larson, A. (Eds.); Principios integrales de zoología. 11 Ed., Mc-Graw-Hill, España, pp: 389-410.
- Bray, W.A., Lawrence, A.L., Leung-Trujillo, J.R., 1989. Reproductive performance of ablated *Penaeus stylirostris* fed a soy lecithin supplement. Journal of the World Aquaculture Society, 20: 19A.
- Cantú-León, L., 1959. Contribución al conocimiento de la embriología de una especie de acocil: *Cambarellus (montezumae) montezumae* (Saussure), (Crustacea: Decápoda). Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México, D.F., 37 p.
- Carmona-Osalde, C., 2004. Efecto de diferentes factores ambientales, sociales y nutrimentales en la reproducción, bajo condiciones experimentales, del acocil *Procambarus (Austrocambarus) llamasii* (Villalobos, 1955) (Decápoda: Astacidae). Tesis de Doctorado, Centro de Investigación y de Estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Departamento de Recursos del mar, Mérida, 88 p.
- Carmona-Osalde, C., Rodríguez-Serna, M. and Olvera-Novoa, M.A., 2002. The influence of the absence of light on the onset of first maturity and egg laying in the crayfish *Procambarus (Austrocambarus) llamasii* (Villalobos, 1955). Aquaculture, 212 (1-4): 289-298
- Celada, J.D., Carral, J.M., Saez-Royuela, M., Muñoz, C. y Pérez, J.R., 2001. Effects of different thermal treatments on the maternal incubation efficiency of the astacid crayfish *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet, 1858) under controlled conditions. Crustaceana 74 (9): 801-808.
- Cornejo-Rodríguez, A.N., 1991. Selección térmica del acocil *Cambarellus montezumae* (Saussure) (Crustácea: Astacidae) y su correlación con algunos índices fisiológicos: diferencias estacionales. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México, D.F., 71 p.
- Crandall, K. A. y Buhay, J.E., 2008. Global diversity of crayfish (Astacidae, Cambaridae, y Parastacidae-Decapoda) in freshwater. Hydrobiología, 595: 295-301.
- Crandall, K.A. y Feldmann, R.M., 2010. The deca-pod crustacean tree of life. En: Mikkelsen, P.; why study the tree of Life? – The Scientists Speak. American paleontologist 18(3): 10-13
- D'Abramo, L.R. y Robinson E.H., 1989. Nutrition of crayfish. Reviews in Aquatic Sci., 1(4): 711-728.
- D'Abramo, L.R., 1997. Triacylglycerols and fatty acids. In: Crustacean Nutrition, D'Abramo, L.R., Conklin, D.E. and Akiyama, D.M. (Eds.), Advances in World Aquaculture Vol. 6, pp. 71-84.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

- Davis, D.A. y Robinson E.H., 1986. Estimation of the dietary lipid requirement level of the white crayfish *Procambarus acutus acutus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 17(1-4):37-43.
- Decamp, O., Cody, J. Conquest, L., Delanoy G. & Tacon, A.G.J., 2003. Effect of salinity on natural community and production of *Litopenaeus vannamei* (Boone), within experimental zero-water exchange culture systems *Aquaculture Research*, 34: 345-355
- Félix-Cuencas, L. & P. J. Gutiérrez-Yurrita, 2004. Comparative analyses of the metabolism of two populations of *Cambarellus montezumae* in two environmental different sections of the San Juan River, Querétaro, México. 15th Symposium of the International Association of Astacology. British Ecological Society, London, England, 29 March-2 April.
- Fontúrbel Rada, F., 2005. Indicadores fisicoquímicos y biológicos del proceso de eutrofización del Lago Titikaka (Bolivia). *Ecología Aplicada*: 135-141.
- Frías-Espericueta M.G. y Páez-Osuna, F., 2001 Toxicidad de los Compuestos del Nitrógeno en Camarones. En: Páez-Osuna, F. (Ed.) *Camaricultura y Medio Ambiente*, Instituto de Ciencia del Mar y Limnología. Programa Universitario de Alimentos y El Colegio de Sinaloa, pp. 253-276
- Guan, R. y Wiles, P.R., 1998. Feeding ecology of the signal crayfish *Pacifastacus leniusculus* in a British lowland river. *Aquaculture*, 169: 177-193.
- Gutiérrez-Yurrita, P.J., 1997. El papel ecológico del cangrejo rojo (*Procambarus clarkii*) en los ecosistemas acuáticos del parque Nacional Doñana. Una perspectiva ecofisiológica y bioenergética. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, España, 349 p.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. & A. Morales-Ortiz. 2002. Ecophysiological Races of *Cambarellus* spp. in Querétaro, Central México. The beginning of a new species?. *Freshwater crayfish*, 13: 175-185.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J., A. Morales-Ortiz, A. Oviedo & Carlos Ramírez-Pérez. 2002. Distribution, spread, habitat characterisation and conservation of the crayfish species (Cambaridae) in Querétaro (Central México). *Freshwater Crayfish*, 13: 288-297.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. 2008. *Nuevos paradigmas y retos de la Ecología: estudios con Cambáridos de México*. In: Álvarez-Noguera, F. y G. Rodríguez-Almaráz (Eds.): *Crustáceos de México: Estado actual de su conocimiento*. UNAM-UANL. ISBN 978-970-694-482-5, 522pp. Nuevo León, México.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J., J. M. Martínez, M. Ilhéu, M. Á. Bravo, J. Bernardo & C. Montes. 1999. *The status of crayfish populations in Spain and Portugal*. (In: F. Gherardi and DM. Holdich (Eds): *Crayfish in Europe as alien species: how to make the best of a bad situation?*). *Crustacean issues*. Balkema, Rotterdam/Brookfield. Pp.: 161-192.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. 2000. *El Papel Ecológico Del Cangrejo Rojo (Procambarus clarkii)*, En *El Parque Nacional De Doñana. Una Perspectiva Ecofisiológica y Bioenergética*. Servicio de Publicaciones, Universidad Autónoma de Madrid. España (ISBN: 84-7477-685-6): 280pp.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J. & C. Montes. 2001. Bioenergetics of juveniles of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 130 (1):29-38.
- Gutiérrez-Yurrita, P. J., S. Gorka, M. A. Bravo, A. Baltanás & C. Montes C. 1998. Natural diet of the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* in the Doñana National Park freshwater marsh (SW-Spain). *Journal of Crustacean Biology*, 8(1): 120-127.
- Harel, M., Tandler, A., Kissil, G.S., y Applebaum, S.W., 1995. The role of broodstock dietary protein in vitellogenin synthesis and oocyte development and its effect on reproductive

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

- performance and egg quality in gilhead seabream *Sparus aurata*. In: Goetz F.W. y Thomas A., (Eds.); Reproductive physiology of fish, Fifth International Symposium, 2-8 of July, University of Austin Texas, U.S.A., pp. 105-107
- Hartnoll, R.G., 1978. The determination of relative growth in crustacea. *Crustaceana* 34(3): 281-293
- Hessen, D.O. y Skurdal, J., 1986. Analysis of food utilized by the crayfish *Astacus astacus* in lake Steinsfjorden S.E. Norway. *Freshwater Crayfish* 6: 187-193.
- Hewitt, D.R. y Duncan, P.F., 2001. Effect of high water temperature on the survival, molting and food consumption of *Penaeus (Marsupenaeus) japonicus* (Bate, 1888). *Aquaculture Research* 32: 305-313.
- Hickman, C.P., Roberts, L.S. y Larson, A., 2002. Principio integrales de zoología. 11 Ed., McGraw-Hill, España, 895 p.
- Himmelman, J.H., 1980. Synchronization of spawning in invertebrates by phytoplankton. In: Clark W.H. y Adams T.S. (Eds.), *Advances in invertebrate reproduction, Development in Endocrinology Volume 11*, Elsevier, North Holland, pp. 3-19.
- Hinojosa-Garro, D., 2001. Relación intraespecífica entre el acocil *Cambarellus (montezumae) lermenis* y la carpa *Cyprinus carpio* en embalses someros del Alto Lerma. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México, D.F., 43 p.
- Hobbs, H.H., 1984. On the distribution of the crayfish genus *Procambarus* (Decapoda:Cambaridae). *Journal of Crustacean Biology* 4(1): 12-24
- Hobbs, H.H., 1991. Decapoda. In: Throp H. y A.P. Covich (Eds.) *Ecology and classification of northamerican freshwater invertebrates*. Academic Press Inc., pp: 823-874.
- Holdich, D.M. & Lowery R.S. (Eds.), 1988. *Freshwater crayfish, biology, management and exploitation*. Croom Helm Press, London, 498 pp.
- Holdich, D.M., 2002. *Biology of freshwater crayfish*. Blackwell Science, Oxford p: 702.
- Huner, J.V. y Barr, J.E., 1984. *Red swamp crayfish: biology and exploitation*. Baton Rouge, Louisiana USA, Louisiana Sea Grant College Program, Center for Wetland Resources, Louisiana State University, p:136.
- I.M.T.A., 2010. Programa anual de análisis de calidad del agua del Lago de Patzcuaro. Registros anuales del 2000 al 2010. Morelos, Méx.
- Jones P. L. y De Silva S.S., 1997. Apparent nutrient digestibility of formulated diets by the australian freshwater crayfish *Cherax destructor* Clark (Decapado, Parastacidae). *Aquaculture Research*, 28: 881-891.
- Kerkut, G.A. y Taylor, B.J.R., 1958. The effect of temperature changes on the activity of poikilotherms. *Behaviour* 13, (3/4): 259-279.
- King, C., 1993. Potential fecundity of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* von Martens, in culture. *Aquaculture*, 114: 237-341.
- Kivivuori, L., 1980. Temperature acclimation of walking in the crayfish *Astacus astacus* (L.) *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* 75(3): 375-378.
- Krasne, F.B. y Wine, J.J., 1975. Extrinsic modulation of crayfish escape behavior. *Journal of Experimental Biology*, 63 (2): 433-450.
- Lam, T.J., 1983. Environmental influence on gonadal activity in fish. In: Hoar, W., Randall, D., Donaldson, E. (Eds.), *Fish Physiology*, Vol. IX. Academic Press, pp. 65-116.
- Lowery, R.S., 1988. Growth, molting and reproduction. In: Holdich, D.M. y Lowery, R.S., (Eds.); *Freshwater crayfish, biology, management and exploitation*. Croom Helm Press, London, pp. 83-113.
- Maldonado-Rodríguez, J.G., 1990. Respuesta al estrés térmico del acocil *Cambarellus montezumae* (Saussure),(Crustacea: Astaciadae), comparación de métodos. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México, D.F., 75 p.
- Mantel, L.R. y Farmer, L.L., 1983. Osmotic and ionic regulation. In: Farmer, E. (Ed.); *The biology of Crustacea*, 5:53-161.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

- Marshall, S.M. y Orr, A.P., 1960. Feeding and nutrition. In: Waterman T.H. (Eds.), The physiology of crustacea, Vol. I.- Metabolism and growth, Academic Press, New York, pp. 227-247
- Mayén, E.R. y Aladro, L.M.A., 1998. Tres especies de suctores (Protozoa:Ciliophora) ectosimbiontes del acocil *Cambarellus patzcuarensis*. Anales del Instituto de Biología, U.N.A.M. Serie Zoológica 69(1): 1-12.
- Mayén, E.R., y Aladro, L.M.A., 1994. Primer registro de Conidophrys pitelkae (Ciliophora: Apostomatia: Pilisuctorida) en crustáceos decápodos de la Laguna de Tamiahua, Veracruz. Anales del Instituto de Biología. Serie Zoológica 65(1): 1-10.
- Moctezuma-Malagón, A., 1996. Bases biológicas y técnicas para el cultivo del acocil *Cambarellus montezumae*. Tesis de maestría. Facultad de ciencias Marinas, Universidad de Colima, Manzanillo, Colima, 85 p.
- Momot W.T. & Gowing H., 1977. Production and population dynamics of the crayfish *Orconectes virilis* in three Michigan Lakes. In: Hobbs H. (Ed.); Ecology and classification of north-american freshwater invertebrates. Thorp and Covich Eds. Academic Press. NY USA, pp 823-858.
- Morris, S. y Callaghan, J., 1998. The emersion response of the Australian Yabby *Cherax destructor* to environmental hypoxia and the respiratory and metabolic responses to consequent air-breathing. J. Comp. Physiol. B 168: 389-398.
- Ongley, E.D., 1997. Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55) GEMS/Water Collaborating Centre, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Canada, 75 pp.
- Palacios-Guillén, J.A. 2003. Aspectos de reproducción, alimentación y crecimiento en cautiverio de *Cambarellus montezumae* (Saussure, 1858) (Crustacea: Decapoda) de Xochimilco. Servicio Social de la Licenciatura en Biología, CBS, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, 44 p.
- Payette, L.A. y McGaw, I.J., 2003. Thermoregulatory behavior of the crayfish *P. clarkii* in a burrow environment. Comparative Biochemistry and physiology part A 136: 539-556.
- Pennak, R.W., 1978. Freshwater invertebrates of the United States. 2a Ed. John' Wiley and Sons, Nueva York, 803 pp.
- Pianka, E. R. 1982. Ecología evolutiva. Spanish Translation of Second Edition of Evolutionary Ecology. Ediciones Omega, Barcelona, Spain. 365 pp.
- Pike R.L. y Brown, M.L., 1984. Nutrition an integrated approach. John Wiley and Sons, N.Y., 1067 p.
- Pütz, P., 2008. Optimale Nährstoffverhältnisse für die Abwasserreinigung. Informe Técnico, HACH LANGE , Germany. 64 p.
- Ramos, L., Vázquez-Boucard, C., Oliva, M., García, E. y Fernández, I., 1996. Variaciones en el contenido de lípidos totales, clases de lípidos y ácidos grasos durante la maduración ovárica en los camarones *Penaeus schmitti* y *P. notialis*. Rev. Invest. Mar 17(2-3): 157-165.
- Reynaldo, F. y Gómez, M., 1992. Efecto de la temperatura sobre la sobrevivencia, crecimiento y diversos índices del metabolismo energético en crías de *Cambarellus montezumae* (Saussure) (Crustacea: Astacidae). Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, U.N.A.M., México, D.F., 46 p.
- Reynolds, W.W. y Casterlin, M.E. 1978. Thermoregulatory behavior of brown trout, *Salmo trutta*. Hydrobiologia, 62(1): 79-80
- Rodríguez-Serna, M. 1999. Biología y sistemática de los cambáridos del sudeste de México y su potencial aprovechamiento en la acuicultura. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México D.F. 118 p.
- Rodríguez-Serna, M., Carmona-Osalde, C., Olvera-Novoa, M. A. & Arredondo-Figueroa, J. L., 2000. Fecundity, egg development and growth under two densities of juvenile cra-

## Análisis ecológico y poblacional de la especie *Cambarellus patzcuarensis* del Lago de Pátzcuaro

- yfish *Procambarus* (*Austrocambarus*) *llamasi* (Villalobos, 1955) under laboratory conditions. *Aquaculture Research*, 31(2): 173-180.
- Rosas, M. M., 1976. Datos biológicos sobre el acocil del lago de Pátzcuaro *Cambarellus (montezumae) patzcuarensis*. Simposio sobre pesquerías en aguas continentales. Tuxtla Gutierrez, Chiapas, S.I.C. I.N.P. 89-123 pp.
- Ruíz-Yañez, S., 1996. Estudio de una posible fase fotoinducible en el desarrollo gonadal del acocil *Procambarus clarkii*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, U.N.A.M., D.F. 65 p.
- Salas H.J. y Martino P., 1996. Curso de, eutrofización en lagos cálidos tropicales: Medidas de control y legislación para eutrofización. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Santo Domingo, República Dominicana, 2-6 de setiembre, OPS/CEPIS/96.24(CPA), 77 pp.
- Sánchez-Chávez, J., Bravo-Inclán, L., Tomasini-Ortiz, C. y Bernal-Brooks, F., 2011. Calidad del agua del Lago de Pátzcuaro. En: Huerto-Delgado, R., Vargas-Velázquez, S. y Ortiz-Paniagua, C.F. (Eds.); Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, ISBN: 978-607-7563-39-6, 304 p.
- Stephens, P.J. 1985. The effects of temperature and acclimation on crustacean nerve-muscle physiology. *Biol. Bull.*, 169: 92-105.
- Sureshkumar, S. & Madhusoodana, B. (1998) Fecundity indices of giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Journal Aquaculture in the Tropics* 13(3): 181-188
- Syvokiené, J. y Mickéniené, L., 1993. The activity of gut bacteria of the crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Dana), in producing essential free amino acids. *Freshwater Crayfish*, 9: 235-240.
- Taylor, E.W. y Wheatly, M.G., 1981. The effect of long-term aerial exposure on heart rate, ventilation, respiratory gas exchange and acid-base status in the crayfish *Austropotamobius pallipes*. *J. Exp. Biol.* 92: 109-124.
- Teshima, S. y Kanazawa, A., 1983b. Digestibility of dietary lipids in the prawn. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 49(6): 963-966.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1983. "Methods for Collection and Analysis of Water and Wastes". (Métodos para la Recolección y Análisis de Agua y Residuos). EPA-600/4-79-0120, Cincinnati, Ohio, EE.UU.
- Villalobos-Figueroa, A., 1982. Decapoda. *In*: Hulbert y Villalobos (eds.), *Aquatic Biota of México, Central America and the West Indies*. San Diego State University, San Diego California, pp: 215-239.
- Villalobos-Figueroa, A., 1955. *Cambarinos de la Fauna Mexicana (Crustacea:Decapoda)*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, U.N.A.M., p: 290.
- Villalobos-Hiriart, J.L., Cantú, A., Díaz-Barriga, R. y Lira-Fernández, E., 1993. Los crustáceos de agua dulce de México. Vol. Esp. (XLIV) *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 267-290 pp.
- Vogt G., Storch, V., Quintio, E.M. y Pascual, F.P., 1985. Midgut gland as monitor organ for the nutritional value of diets in *Penaeus Monodon* (Decapoda). *Aquaculture* 48: 1-12.
- Yeh, H.S., Rouse, D.B., 1994. Indoor spawning and egg development of the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 25(2): 297-302.





# **PROCESOS SOCIALES**





## Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio*

I. Arroyo Quiroz<sup>1</sup>, V.H. Flores Armillas<sup>1</sup>,  
R. Huerto Delgadillo<sup>2</sup> y R. Pérez Gil Salcido<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faunam A.C.

diceines@yahoo.com.mx

<sup>2</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

<sup>3</sup>Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P.

### Introducción

El lago de Pátzcuaro ha sido desde siempre una fuente de recursos para sus habitantes; este lago ahora somero ha sido pieza fundamental para la cultura Purépecha. Los productos naturales de Pátzcuaro proveyeron de estructuras para la fabricación de canoas y casas a sus habitantes, pero fundamentalmente de una alimentación basada en crustáceos y peces.

Comparado con otros lagos del país, la diversidad pesquera en Pátzcuaro es grande. Existen 12 especies de peces que tienen importancia comercial en el lago, de los cuales cuatro son especies introducidas. Los peces de la familia

Atherinopsidae como el pez blanco (*Chirostoma estor*), el charal blanco (*Chirostoma grandocule*), el charal pinto (*Chirostoma patzcuaro*) y el charal prieto (*Chirostoma attenuatum*) son la base pesquera tradicional y turística de la región. Otras especies nativas de importancia comercial son la acúmara (*Algansea lacustris*), el tiro (*Goodea atripinnis*), la chegua (*Allophorus robustus*) y el choromu (*Allotoca diazi*) (Tabla 1). Además existen cuatro especies exóticas que fueron introducidas para aumentar la actividad pesquera: la carpa (*Cyprinus carpio*), la tilapia (*Oreochromis aureus*), la lobina (*Micropterus salmoides*) y el charal (*Chirostoma humboldtianum*) (Orbe-Mendoza *et al.* 2002) (Tabla 2).

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 1. Especies de fauna nativas presentes en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México

Nombre común	Especie
Chegua	<i>Allophorus robustus</i>
Acúmara	<i>Algansea lacustris</i>
Choromu	<i>Allotoca diazi</i>
Achoque	<i>Ambystoma dumerilii</i>
Acocil	<i>Cambarellus patzcuarensis</i>
Charal prieto	<i>Chirostoma attenuatum</i>
Pez Blanco	<i>Chirostoma estor estor</i>
Charal blanco	<i>Chirostoma grandocule</i>
Charal pinto	<i>Chirostoma patzcuaro</i>
Tiro	<i>Goodea atripinnis luitpoldi</i>
Guppy	<i>Poeciliopsis infans</i>
Tiro	<i>Allotoca dugesi*</i>
Tiro	<i>Skiffia lemae*</i>
Rana de pátzcuaro	<i>Rana dunni</i>

\*Probablemente extintas en el Lago

Tabla 2. Especies de fauna exótica presentes en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México

Nombre común	Especie
Carpa de Israel	<i>Cyprinus carpio specularis</i>
Charal	<i>Chirostoma estor copandaro</i>
Charal	<i>Chirostoma humboldtianum</i>
Charal	<i>Chirostoma lucius</i>
Carpa barrigona	<i>Cyprinus carpio rubufruscus</i>
Lobina negra	<i>Micropterus salmoides</i>
Tilapia azul	<i>Oreochromis aureus</i>
Tilapia	<i>Oreochromis niloticus</i>
Tilapia	<i>Tilapia melanopleura</i>
Charal	<i>Chirostoma estor copandaro</i>
Charal	<i>Chirostoma humboldtianum</i>
Charal	<i>Chirostoma lucius</i>
Carpa barrigona	<i>Cyprinus carpio rubufruscus</i>
Carpa herbívora	<i>Ctenopharyngodon idellus*</i>
Mojarra herbívora	<i>Tilapia rendalli*</i>

\* Probablemente extintas en el Lago

Además de ser un producto comercial, el pescado del lago es fundamental para la autosuficiencia alimentaria de las familias de pescadores. Por ello, es importante estudiar el autoconsumo de pescado y el impacto que significa un decli-

ve productivo y un cambio en la calidad de la producción en la economía alimentaria de los hogares de los pescadores y habitantes de las localidades alrededor del lago.

## Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio*

A pesar de los enormes retos que enfrenta el sector, la pesca sigue siendo un recurso importante e incluso esencial para la economía y la alimentación de los indígenas del Lago de Pátzcuaro. Todos los pescadores dedican una parte de su captura para el consumo familiar. La alimentación de los productores más pobres depende fuertemente de la producción pesquera. Por tanto, el deterioro del lago es una seria amenaza para el autoconsumo, no sólo por la reducción en los volúmenes de captura, sino porque muchos hombres han dejado de pescar o han disminuido la frecuencia con que lo hacen. A este respecto, Fong (2011) y Ortiz (2004), realizaron un análisis detallado de esta problemática.

Por otra parte, la larga trayectoria histórica de la pesca la convierte en una actividad sumamente arraigada entre los purépechas del Lago. La producción, el consumo y el comercio de pescado se relacionan con muchas esferas de la vida social y económica de esta etnia, las cuales también se re-adaptan a las condiciones actuales del ecosistema lacustre. En este proceso se ve, por un lado, que la tradición, la costumbre y la cultura son fuertes determinantes de la organización del trabajo dentro de las familias, de las estrategias de mercadeo, la localización y funcionamiento de los mercados y del consumo de pescado. Empero, también se observa que la crisis de la pesca y el estrés económico motivan la reinterpretación de las tradiciones, modifican las estrategias de sobrevivencia, las relaciones entre productores y comerciantes, el uso y transmisión del conocimiento tradicional, entre otros.

En definitiva, la situación de la pesca en el Lago de Pátzcuaro pone de manifiesto la capacidad de adaptación y sobrevivencia cultural de los purépechas y, al mismo tiempo, destaca su vulnerabilidad ante el deterioro ecológico. De acuerdo con Vargas (2011), actualmente no existe ningún organismo gubernamental que regule efectivamente la pesca del lago. El marco nor-

mativo efectivo es el que construyeron las organizaciones de pescadores con base en su tradición comunitaria, la cual se limita al territorio de cada comunidad, sin existir una organización ni normas a nivel de todo el lago.

En la década de 1970, bajo el influjo de los policultivos chinos, en donde la carpa común (*Cyprinus carpio*), especie omnívora de las aguas pantanosas de los arrozales, asociada con los cultivos agrícolas y el uso de los desperdicios de la porcicultura, la FAO promovió su diseminación en muchos cuerpos de agua, como una alternativa para la alimentación campesina, ya que en condiciones apropiadas es posible obtener ejemplares de hasta nueve kilos, con alta resistencia a la variedad de condiciones climáticas, capaz de tener varios periodos reproductivos al año y puestas de hasta 300 mil huevos en hembras adultas de gran talla (Zambrano, Scheffer y Martínez-Ramos 2001; Zambrano *et al.* 2006). Resulta ser una especie muy dañina para ciertos cuerpos de agua por su inclinación a alimentarse del sustrato vegetal de los fondos poco profundos, que sirve de alimento a numerosas especies animales. Su presencia generalmente hace que se enturbien considerablemente las aguas, como ha pasado en Pátzcuaro al resuspender grandes cantidades de sedimentos y destruir la vegetación sumergida.

En amplias zonas del lago ya se transformaron las asociaciones vegetales, por ejemplo, desapareció el putsurheni (*Potamogetum fiolusus*), en donde al decir de los mismos pescadores, el pescado blanco depositaba sus huevos, o de otras emergentes, como el kuturheni y la p'áchkurhinda. Además, la carpa compete con especies nativas por el alimento y se considera responsable de la rápida disminución de las poblaciones de la salamandra endémica, el achojki (*Ambistoma dumerilii*), la sanguijuela (kuendé), el camarón (xapu) y otros invertebrados que pueden ser indicadores de la calidad del agua y de la situación de la cadena trófica.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Hace una década o años más atrás, la proporción de carpas era inferior al 15% del volumen de pesca, y se lograban obtener especímenes de entre tres y seis kilos con relativa frecuencia. Pero al reducirse el nivel del lago e incrementarse la turbiedad y contaminación, esta especie ha pasado a representar de manera estimada entre el 60% (Alaye 2006) y 90% (Huerto *et.al.* 2009) de la pesca, capturándose generalmente especímenes menores a los 200 gramos, e incluso hembras en etapa reproductiva de dicha talla. Esto significa que biológicamente también la carpa está teniendo problemas para sobrevivir, aunque sea ya la especie dominante, de acuerdo con lo que Zambrano (2011), menciona en su estudio ecológico de las especies exóticas del lago.

Los pescadores de la región continuamente expresan los efectos negativos que perciben que ocasiona esta especie, por lo que llevan años solicitando apoyo por parte del gobierno para combatirla. Para lo cual han existido algunas iniciativas, como la dotación de artes de pesca específicos para esta especie e intentos fallidos por subsidiar su comercialización.

La pesca en el lago de Pátzcuaro se encuentra en un acelerado detrimento, principalmente por el deterioro de la cuenca y en particular por la condición oligotrófica del lago, a lo que se agrega la pérdida de volumen por reducción en las precipitaciones anuales, así como por el incremento en la evapotranspiración de la vegetación introducida e inducida. Esta situación ha favorecido la proliferación de los peces introducidos, como la carpa, la cual se caracteriza por su alta resistencia, soportar condiciones de poco oxígeno y alta concentración de contaminantes, tener hábitos multiespecíficos en cuanto a la alimentación que la hicieron parecer inocua, pero que como está demostrado en otras partes, es un factor importante de deterioro de muchos cuerpos de agua de donde no era originaria.

Se han propuesto e implementado programas para la recuperación de las especies nativas, el

pescado blanco y la acúmara, sin considerar el ecosistema lacustre y la afectación que hay de la cadena trófica a través de organismos introducidos y el efecto agregado de las acciones humanas en toda la cuenca. Por esto se requiere revalorar las normas bajo las cuales se realiza actualmente la pesca, caracterizado por el pluralismo jurídico, desconocido o despreciado por quienes representan la autoridad federal.

En este momento, después de más de 10 años del rompimiento de relaciones entre las uniones de pescadores y las dependencias federales responsables de la regulación de la pesca, hay una débil o nula presencia de las autoridades federales. La pesca está regulada, pero sólo a través de la reglas de manejo comunitarias, también desarticuladas por la pérdida de importancia económica de esta actividad (Vargas, 2011).

El proceso de formulación de la NOM para el Ordenamiento Pesquero del lago adolece de varias debilidades para su implementación. Respecto a los aspectos sociales, este proceso se realizó sin una buena difusión ni negociación con los distintos intereses, lo que se muestra que en este momento sea prácticamente inaplicable, a menos que se inicie un nuevo diálogo entre uniones de pescadores y autoridades que eviten las salidas unilaterales por parte de la autoridades obligadas a la aplicación de esta norma.

Las especies nativas del lago de Pátzcuaro tienen un nicho trófico propio, mientras que las especies exóticas se traslapan en nicho entre sí y con las especies nativas (Zambrano 2011). Por lo tanto, es fundamental entender la dinámica espacial y temporal del lago con el fin de generar los mejores programas de manejo y restauración tanto de ciertas regiones como de las especies nativas. Para lograrlo fue necesario hacer un análisis de la heterogeneidad espacial de la calidad del agua con base en las características limnéticas y biológicas así como profundizar en la comprensión de la estructura trófica del lago

## **Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio***

en las diferentes regiones y llevar a cabo estudios poblacionales de las especies exóticas que tengan como resultado planes para la reducción de sus poblaciones (Zambrano op. cit.). Con esta información será posible entender la dinámica del sistema para establecer sitios potenciales para la conservación de especies nativas dentro del lago y generar estrategias de restauración.

A pesar de los retos, muchos comerciantes y pescadores están dispuestos a participar al lado de académicos, funcionarios públicos, autoridades locales u otros actores para encontrar alternativas que ayuden a resolver el problema de la pesca, sobre todo de las especies nativas del lago, por lo que se requieren estudios sistemáticos que sirvan para elaborar futuras estrategias que traten el problema de la pesca de forma integral. Identificando los procesos de cambio y deterioro ambiental y de adaptación que ligan el deterioro productivo, el sistema de mercados, la cultura alimentaria, el trabajo familiar y el autoconsumo, con lo cual es posible conocer el comportamiento interrelacionado de dimensiones socioambientales de gran influencia que es necesario incluir en dichas iniciativas (Huerto, et al. 2011).

Se requiere impulsar un enfoque de restauración ecosistémica, la cual debe ser una actividad deliberada que inicie o acelere la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado, transformado o destruido, hasta tal grado que ya no es capaz de restablecerse por su cuenta y volver al estado anterior a la alteración o a su trayectoria histórica de desarrollo. Seguramente recuperar plenamente el lago es una tarea difícil bajo las condiciones actuales, pero consideramos fundamental preguntarles a los actores de la cuenca cuál es su balance respecto a si desean más conservar o utilizar sus recursos lacustres; tal vez la respuesta no tenga que ser planteada como una disyuntiva, sino como una combinación de alternativas factibles de llevarse a cabo. La restauración implica un

compromiso de recursos de todo tipo a un plazo indefinido, y esto requiere de una deliberación casi permanente entre todos los involucrados, porque siempre las decisiones colectivas tienen la posibilidad de ser obedecidas y realizadas que aquellas tomadas unilateralmente. Al respecto afortunadamente existe ya en marcha, desde hace algunos años el Programa de Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro del cual este esfuerzo forma parte.

### **La introducción de especies exóticas en el Lago de Pátzcuaro**

La introducción de especies exóticas en el Lago de Pátzcuaro se ha documentado como la principal causa de extinción de especies dulceacuícolas (CONABIO, SUMA y SEDAGRO 2007). Algunas especies introducidas, como la lobina negra (*Micropterus salmoides*), la carpa de Israel (*Cyprinus carpio specularis*), la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon ideallus* o *C. idella*) y la tilapia (*Tilapia melanopleura*), han afectado seriamente a las poblaciones de especies nativas y endémicas como el pez blanco (*Chirostoma estor estor*), el achoque (*Ambystoma dumerilii*) y la rana de Pátzcuaro (*Rana dunni*) (CONABIO, SUMA y SEDAGRO 2007; CONABIO 2008). La introducción, el establecimiento y la dispersión de peces invasores, típicamente siguen los mismos patrones que otros organismos invasores. Los organismos deben de ser transportados, a través de una barrena natural a la dispersión (accidental o deliberadamente) a un área fuera de su rango nativo y luego liberada dentro de un hábitat adecuado que permita su establecimiento y dispersión (Ling, 2009).

En el lago de Pátzcuaro se han registrado introducciones en varias ocasiones principalmente para contribuir a la economía local y ofrecer alternativas alimenticias para los pobladores de la zona. La primera introducción se registró en

1929 cuando se introduce la lobina negra (*Micropterus salmoides*) conocida localmente como trucha. En varios sucesos posteriores se llevó a cabo la siembra (voluntaria o involuntaria) de carpas (*Cyprinus* spp.), tilapias (*Tilapia* spp.) y mojarra (*Oreochromis aureus*) (Rosas 1976 en Berlanga *et al.* 1997; Rosas 1976 en Orbe-Mendoza 2002; Rodríguez 2003; Huerto *et al.* 2009; IMTA 2004 en Alvarado 2011).

Si bien a través de un largo periodo de la historia, la introducción y aclimatación de las especies no nativas ha sido visto como una contribución positiva para mejorar el ambiente humano bajo las creencias de beneficios económicos, deportivos o estéticos; incrementar la seguridad alimentaria; recubrir áreas desérticas y pantanos para uso humano, entre otros objetivos, desde su llegada la especie exótica invasora tiene impactos negativos sobre las especies nativas (Wittenberg y Cock 2001; Hernández 2002; Young 2006; Ling 2009). Los impactos potenciales de las especies exóticas cubren un amplio rango de factores tanto biológicos (e.g. hibridación y contaminación genética) como ecológicos (e.g. alteraciones de las redes de interacción entre especies de la comunidad, alteración de las condiciones del ecosistema nativo), ambientales (e.g. provocando la extinción de otras especies y su consecuente daño ecosistémico), comerciales (e.g. trayendo la destrucción de sistemas comerciales locales basados en la agricultura o productos naturales) y sociales (e.g. alterando las relaciones humano-ecosistema y sus dependencias) (Castro, Valladares y Alonso 2004; Young, 2006).

Algunas especies invasoras pueden afectar las bases de toda la red alimenticia, cambiando las dinámicas de un ecosistema a un patrón nuevo por completo. Las invasiones caracterizadas por este tipo de modificación del hábitat pueden ser entre los problemas más catastróficos e intratables de las especies no nativas. Algunos de los cambios que imponen sobre el sistema las espe-

cies invasoras pueden ser de una importancia y magnitud tales que alteran las condiciones fundamentales dentro de las cuales pueden desarrollarse las especies nativas, en otras palabras, les orillan a desaparecer (Van Driesche y Van Driesche 2000).

Se ha podido constatar que las especies exóticas invasoras son las responsables de la extinción del 39% de las especies que han desaparecido en el globo terráqueo desde el año 1600 al menos, siendo la destrucción de hábitats la segunda causa (36%). En las zonas continentales, están amenazados cerca del 20% de los mamíferos, el 15% de los reptiles, el 5% de las aves, y el 3% de los anfibios; si se promedia el total de estos grupos, se tiene que el 12% de los animales en el continente están amenazados por causa de la presencia de especies exóticas invasoras (Hernández 2002).

Efectivamente, los peces exóticos en Pátzcuaro generan problemas en todo el ecosistema lacustre. Estas especies afectan la dinámica de las variables abióticas y generan cambios dentro de las redes tróficas ocupadas por las especies nativas. La carpa, por ejemplo, ha generado aumento en la turbidez en prácticamente todos los lagos someros en donde son introducidas y disminución del espejo de agua (Meijer *et al.* 1990; Sibbing 1991; Breukelaar *et al.* 1994; Cline, East y Threlkeld, 1994; Huerto *et al.* 2009) y tanto la carpa como la tilapia tienen un solapamiento en el nicho trófico de especies nativas (i.e. pez blanco, ajolote, acúmara, cheguas)<sup>1</sup> (Cahn 1929; Persson 1991; Zambrano *et al.* 1999; Zambrano, Scheffer y Martínez-Ramos 2001; Huerto *et al.* 2009). A raíz de la introducción de peces exóticos las condiciones del Lago han ido cambiando y se ha observado disminución pesquera. La carpa común *Cyprinus carpio*, por ejemplo, revuelve el fondo del lago, tiene un solapamiento en el nicho trófico de las especies nativas, se alimenta de los desoves del pescado blanco e inclusive se alimenta de otros peces (IMTA 2004; Huerto *et al.* 2009, 2010).



## Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio*

La presencia de especies exóticas invasoras aunado al deterioro de las características idóneas para su desarrollo dentro del lago, sea por la propia acción de las invasoras como por la acción del hombre y sus actividades, tienen en problemas a las especies nativas, por lo que se subraya a través de este trabajo la importancia de valorar cursos de acción para intentar contrarrestar los impactos negativos y ayudar a la recuperación de las especies nativas y la restauración de las condiciones óptimas del lago.

### El Sector Pesquero del Lago de Pátzcuaro

#### *Caracterización de las actividades pesqueras*

Actualmente la pesca en el Lago de Pátzcuaro es realizada por 27 organizaciones ribereñas e isleñas donde cada grupo tiene su representante. En total hay 840 individuos afiliados a este sector organizados en 67 cooperativas (Cornelio, P. com. pers. 2012). Es importante hacer notar que existe además un número indeterminado de pescadores libres sin registro que no pertenecen a ninguna organización (Ortiz 2004; Alaye 2006; Huerto *et al.* 2009). La variación anual constante

de pescadores registrados desde 1981 se puede observar en la Tabla 3.

En el lago se desarrolla la pesca artesanal, cuyas principales características son: escala de operación limitada, empleo de técnicas de pesca rudimentarias, elevada demanda de mano de obra y escasa utilización de capital. En la actualidad se emplean tres tipos de redes: agallera, chinchorra y mariposa. La red agallera permitida en la zona utiliza una luz de malla (apertura) de 3½ pulgadas con la finalidad de capturar especies que han alcanzado un estado propicio de madurez y no permitir la entrada a especies más chicas, para que se asegure su ciclo reproductivo. El chinchorro es una red de arrastre que captura indistintamente las especies, independiente de su fase de desarrollo. Por no permitir la selectividad en cuanto a captura de especies, es considerada un arte de pesca nociva para la ictiofauna y la flora acuícola, tendiente a agotar el recurso y en consecuencia, impedir la reproducción de las diferentes especies de peces que habitan en el lago. Mientras que la pesca con red agallera se practica de manera individual, la utilización del chinchorro para la captura de peces demanda de 4 a 5 trabajadores. Las embarcaciones utilizadas en ambas artes de pesca son

Tabla 3. Variación anual de pescadores registrados operando en el Lago de Pátzcuaro, Michoacán

Número de pescadores					
Año	Pescadores	Año	Pescadores	Año	Pescadores
1940s	418	1990	930	2002	870
1981	1106	1991	747	2006	513
1982	1261	1992	747	2006	513 a 850
1983	1049	1993	747	2009	~800
1984	1049	1994	760	2012	840
1985	1567	1995	805		
1986	1597	1996	802		
1987	1149	1997	811		
1988	1294	1998	817		
1989	1334	1999	826		

(Orbe-Mendoza 2002; Ortiz 2004; Alaye 2006; DOF 2009; Chauvet *et al.* 2009; García 2009; Huerto *et al.* 2009; Cornelio, P. com. pers., 2012).

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

de tipo rústico como pangas o canoas (Huerto *et al.* 2009). Anteriormente, la captura de peces era con chinchorros, tiempo después cambiaron el arte de pesca por redes agalleras, tanto el chinchorro como las redes agalleras se utilizaban específicamente para capturar pez blanco y acúmara. El cambio de arte de pesca de chinchorro a red agallera se dio porque la oficina de pesca prohibió el uso del chinchorro. Finalmente, la red de mariposa se encuentra en franca disminución ya que en 1989 se reportaban sólo 38 (Centro Geo 2012). Y para el 2010 sólo el 6% del total de los pescadores las utilizaban; las redes de mariposa son simbólicas de la zona y los pescadores que aún quedan en el lago son constantemente fotografiados con ellas, ya que les resulta más productivo salir a ser fotografiados que utilizarlas para pescar (Vargas, 2010).

Se estima que entre el 30 y el 35% de los pescadores utiliza el chinchorro y entre el 65-70% restante utilizan la red agallera. Si se tiene en cuenta que la pesca con chinchorro requiere de 4 a 5 peones, mientras que la red agallera es una actividad básicamente individual, la primera tiene una mayor importancia social ya que genera unos 1170 empleos directos, mientras que la segunda casi la mitad (540), considerando un universo de 800 pescadores. Sin embargo, el análisis de las ventajas comparativas de cada una

de las artes de pesca debe contemplar también otro tipo de indicadores tales como el ecológico, económico y cultural (Huerto *et al.* 2009).

En la tabla 4 y figura 1 se presenta la variación anual de embarcaciones y artes de pesca registrados desde 1981. En 1981 los pescadores contaban con 7380 redes y 685 embarcaciones. Estas artes de pesca incrementaron drásticamente hasta alcanzar su punto más alto en 1986 cuando se contabilizaron 1650 embarcaciones con 15194 redes. Siendo 1998 el año en el que se registró la menor cantidad de instrumentos con 422 embarcaciones y 2073 redes. La organización que existía entre los pescadores en el 2000 fue dañada seriamente a partir de un conflicto con el gobierno federal, como lo documenta Martínez-Sifuentes (2002), específicamente con la SEMARNAT. Luego de este conflicto se negaron a reportar la producción y desde entonces no hay registro oficial de cantidades de pesca ni del número de pescadores en funciones ni datos sobre la utilización de embarcaciones y las distintas artes de pesca. Curiosamente, se considera este episodio como el único momento fuerte de unificación de los pescadores (Castilleja, A. com. pers. 2012). El estudio más reciente menciona que los pescadores activos contaban en el 2009 con 812 canoas, 68 chinchorros y 9,344 redes agalleras (Tabla 4).

## Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio*

Tabla 4. Variación anual de embarcaciones y artes de pesca registradas.

Número de embarcaciones y artes de pesca.								
Década de los 80's			Década de los 90's			2000's		
Año	Embarcaciones	Redes	Año	Embarcaciones	Redes	Año	Embarcaciones	Redes
	Sin datos		1990	830	8295			
1981	685	7380	1991	837	5580			
1982	742	7420	1992	837	5580			
1983	857	7440	1993	837	5580			
1984	915	7466	1994	492	3957		Sin datos	
1985	1384	12315	1995	444	3419			
1986	1650	15194	1996	447	3311			
1987	1066	9816	1997	444	3282			
1988	1181	10875	1998	422	2073			
1989	1246	12598	1999	476	4374	2009	812	9412

(Ortiz 2004; Chauvet *et al.* 2009; García 2009; DOF 2009).

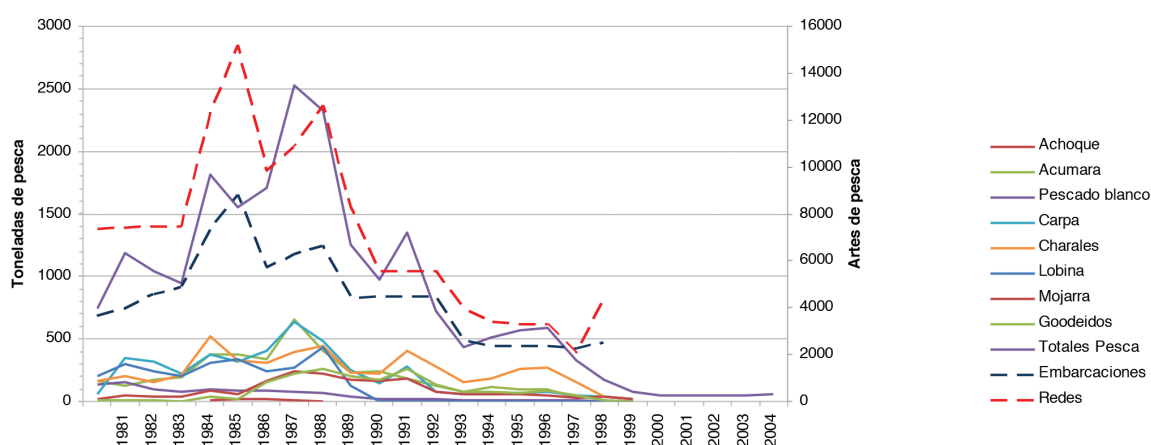


Figura 1. Variación anual de embarcaciones y artes de pesca registradas con densidades de pesca total en el Lago de Pátzcuaro 1981-2005 (Orbe-Mendoza *et al.* 2002; Rodríguez 2003; Ortiz 2004; Rojas 2006; Chauvet *et al.* 2009; DOF 2009; García 2009).

**Estrategia para apoyar la Recuperación de Peces Nativos del Lago de Pátzcuaro a través del manejo de la carpa *Cyprinus carpio*.**

### Metodología

Para fundamentar y elaborar la Estrategia para apoyar la Recuperación de Peces Nativos del Lago de Pátzcuaro a través del Manejo de Especies Exóticas, fue necesario llevar a cabo la reco-

pilación, revisión y análisis de planes de manejo para especies exóticas y documentos sobre la cuenca de Pátzcuaro; realizar consultas puntuales y entrevistas con representantes de los sectores social, académico, político e institucional (Arroyo Quiroz y Flores Armillas, 2012).

Por otro lado, se utilizó el sistema de calificación comparativa del grado de sustentabilidad de proyectos selectos de PG7 Consultores y FAUNAM A.C V.08.09, creado originalmente por

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

FAUNAM y PG7 Consultores en 1996 para calificar la sustentabilidad de usos de la vida silvestre en México (proyecto A-001 de la CONABIO) y sus versiones posteriores, las más recientes del 2008 y modificada en agosto del 2009 (Pérez-Gil y Arroyo-Quiroz, *In prep.*).

El sistema de calificación comparativa del grado de sustentabilidad de proyectos, sirvió de base para conformar una matriz de indicadores y así evaluar alternativas de intervención propuestas para incidir sobre las poblaciones de las especies exóticas particularmente de la carpa de Israel. Los criterios que se emplean en dicho sistema de calificación se agrupan en 9 ámbitos: Ecológico, Económico, Social, Cultural, Político, Técnico, Legal, Temporal y Espacial. Los ámbitos corresponden a lo que se consideran requisitos *sine qua non* de toda iniciativa que pretenda ser sustentable. Los ámbitos corresponden a eslabones de una cadena que hay que ir manejando de forma adaptativa, para acercarse a dicho horizonte, es decir fortaleciendo siempre al más débil según corresponda.

La fortaleza, cercanía o grado de propensión de una iniciativa o proyecto para con la sustentabilidad dependerá del número de elementos deseables que dicha iniciativa despliegue, muestre, presente o contenga en todos los ámbitos que delinear la sustentabilidad. Es precisamente esa cercanía, grado de propensión o fortaleza lo que éste sistema busca calificar (Pérez-Gil y Arroyo-Quiroz, *In prep.*).

El resultado de aplicar el sistema de calificación a una iniciativa o proyecto puede resultar interesante para los ejecutores del proyecto porque les permitirá detectar debilidades y ventanas de oportunidad para la mejora continua en la ruta a la sostenibilidad. Sin embargo, cuando el resultado no se genera con ese propósito, visto de forma aislada puede no tener aparentemente ningún significado a menos que se le compare con el o los resultados que se obtengan de aplicar el sistema a otras iniciativas o proyec-

tos, en ese momento su riqueza y potencial de calificación comparativa queda en evidencia. Esta fortaleza que es función y característica del sistema, es de particular relevancia para la comunidad de donantes así como para quienes realizan labores de monitoreo y evaluación de proyectos (derivación de lecciones aprendidas, intervenciones de control o corrección, incluso reingeniería) o para quienes, además pretenden fines de prospectiva, planificación estratégica o promoción (por segmentos del mercado) (Pérez-Gil y Arroyo-Quiroz, *In prep.*).

Las premisas del sistema de calificación comparativo del grado de sustentabilidad son las siguientes:

- a. Es un sistema de calificación comparativa que busca contrastar iniciativas de proyectos, acciones o actividades previstas en documentos de planificación como planes, programas y estrategias.
- b. No pretende evaluar los avances de los proyectos, acciones o actividades enlistadas, ni en calidad ni en cantidad.
- c. Califica la naturaleza del proyecto/ intervención o acción descrita.
- d. No evalúa directamente las actividades, proyectos, acciones o intervenciones realizadas o por realizar.
- e. No evalúa a las organizaciones o grupos ejecutores, responsables o participantes de dichas acciones, actividades, intervenciones o proyectos.
- f. Indirectamente, combinando con la estadística descriptiva y con otros análisis comparativos (matriz de avance en el caso de alguna estrategia vigente por ejemplo) sí puede dar cuenta de la "calidad" del avance de las intervenciones-acciones.
- g. Pretende dar cuenta de la fortaleza de las actividades, proyectos, acciones o intervenciones en términos de su sustentabilidad.
- h. La calificación obtenida equivale a una lectura de brújula, ayuda a corregir el rumbo hacia la dirección deseada.

## Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio*

- i. Se parte necesariamente de la información al alcance. Es claro que otra información complementaria puede hacer que los valores cambien en una segunda aplicación.

Las características del sistema de calificación comparativo del grado de sustentabilidad son:

- a. Es calificada la sustentabilidad.
- b. Es una instantánea.
- c. Usa pocos criterios/ámbitos.
- d. Es escalable en complejidad.
- e. Es modular.
- f. El “Juicio Experto” es aprovechado.
- g. Se emplea escala numérica.
- h. Se utiliza cuatro valores.
- i. Se utiliza criterios ponderados.
- j. Los resultados pueden ofrecerse en representación porcentual con fines de comunicación.
- k. La profundidad en los análisis por ámbito y criterio está determinada por la disponibilidad de tiempo y presupuesto.
- l. El propósito del sistema es ser completo incluso en su aplicación más somera.

En la tabla 5 se describen los criterios para cada ámbito y su asignación de valores. Se emplea una escala de cuatro valores siendo 4 el máximo y 1 el mínimo. El empleo de esta escala permite clara e indubitablemente distinguir un polo del otro, dos valores mas próximos a un extremo (3 y 4, los valores mayores) y los valores mínimos (1 y 2) mas próximos al otro extremo. Los valores máximos resultantes de la sumatoria representan mayor sustentabilidad y los mínimos un escenario alejado de lo sustentable (Pérez-Gil y Arroyo-Quiroz, *In prep.*).

Antes de la aplicación del sistema de calificación comparativa debe definirse la importancia relativa que para el caso en análisis tienen cada uno de los ámbitos. Esta ponderación se entien-

de que puede y regularmente es distinta dependiendo de los fines de la aplicación del sistema y del caso en cuestión aparte.

Para el caso concreto de la Estrategia para apoyar la Recuperación de Peces Nativos del Lago de Pátzcuaro, el peso relativo que se asignó a cada uno de los ámbitos se presenta en la Tabla 6. La sumatoria de la ponderación equivale al 100% del valor total. Como puede observarse, los criterios de mayor peso son los técnicos y los ecológicos, así como los sociales y culturales que colectivamente representan el 60% de la calificación. En este caso pesan más los criterios sociales y culturales (20%) que los económicos (14%) o que los políticos (8%) por ejemplo. Se pensó que el propósito último de la Estrategia, como su propio título anuncia pretende “apoyar la recuperación de las especies nativas en el Lago de Pátzcuaro”, en consecuencia, los criterios ecológicos y técnicos resultan centrales (reúnen el 40% de la calificación total), el segundo paquete de criterios que consideramos mas importantes son los sociales y culturales para el contexto del Lago de Pátzcuaro (con ellos ya se suma el 60% de la calificación total).

El ámbito que consideramos seguía a los anteriores en importancia relativa fue el económico, restándole importancia frente a los anteriores. Lo usual es lo contrario, que a los asuntos económicos se les confiere un valor mayor que los asuntos socioculturales, no en este caso. Incorporados los criterios económicos, la suma da el 74% de la calificación. Enseguida consideramos con igual peso relativo los asuntos políticos y legales (llegando a sumar hasta el 90% de la calificación) y en último término se reconoció la importancia de las dimensiones espacial y temporal, cuyo colectivo 10% completa el 100% de la calificación máxima total.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 5. Criterios utilizados en el sistema de calificación comparativo del grado de sustentabilidad

No.	ÁMBITO	CRITERIOS	EVALUACIÓN	CALIFICACIÓN
1	CULTURAL	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Compatible</li> <li>b) Aceptable</li> <li>c) Positivo (fortalece o contribuye a preservar la cultura local, es positiva).</li> </ul>	Compatible con la cultura local, con las prácticas culturales locales vigentes e históricas presentes. Aceptable culturalmente, preferentemente además fortalece o contribuye a preservar la cultura local, es positiva.	4
			Compatible con la cultura local, no les confronta, violenta o se contraponen. No es algo propio pero puede ser aceptado por no contravenir las creencias y prácticas culturales. No refuerza o fortalece la cultura local ni contribuye a preservar la cultura. Es inocuo culturalmente.	3
			Contrasta con la cultura local, es una práctica cultural exótica, no nativa, es incompatible con la cultura local pero no se contraponen con ésta. Es una influencia negativa culturalmente.	2
			No es compatible con la cultura local, es una práctica cultural no nativa, exótica. Se contraponen a la cultura local, la confronta, la violenta, es agresiva para con las prácticas culturales locales, no es aceptable culturalmente por ello. Es una influencia negativa culturalmente, por ello no recomendable.	1
2	ECOLÓGICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Armónico</li> <li>b) Inocuo</li> <li>c) Positivo</li> <li>i) Remedia</li> <li>ii) Restaura</li> <li>iii) Rehabilita</li> <li>iv) Conserva</li> </ul>	Intervención que es armónica con los ecosistemas o ambientes naturales y las especies y características que los componen. No sólo no tiene un impacto ambiental negativo sino por el contrario, positivo en tanto que ayuda a restaurar, remediar, rehabilitar y conservar las condiciones naturales óptimas. El balance de esta intervención es favorable para la salud del planeta en el largo plazo.	4
			La intervención es inocua ecológicamente hablando, no tiene un impacto negativo ostensible o significativo. Es armónica con los ecosistemas y ambientes naturales.	3

**Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio***

Tabla 5. Criterios utilizados en el sistema de calificación comparativo del grado de sustentabilidad (Continuación).

No.	ÁMBITO	CRITERIOS	EVALUACIÓN	CALIFICACIÓN
			La intervención tiene un impacto ambiental negativo, no es armónica con los ecosistemas naturales pero por su magnitud e importancia pueden ser mitigados o remediados con algunas medidas preventivas o precautorias y otras compensatorias de mitigación o restauración franca. Preferentemente se atienden éstas antes de aprobar la intervención. El balance de la intervención es negativa para la salud del planeta en el largo plazo.	2
			La intervención tiene un impacto ambiental negativo significativo. No puede ser armónica con los ecosistemas naturales y por la magnitud e importancia del impacto negativo no puede ser prevenido o remediado con medidas precautorias o compensatorias. Por el deterioro ecológico que trae aparejado no se recomienda desarrollar esta intervención, es contraindicada.	1
3	ECONÓMICO			
		a) Viable b) Rentable c) Factible d) Independiente e) Autosuficiente f) Vinculado-Alianzas Estratégicas	Viable (con recursos propios o a la mano). Rentable (pronta recuperación de la inversión) Factible, puede iniciarse y echarse a volar con los recursos disponibles; los cálculos y estudios preliminares indican que puede operar de forma independiente económicamente, puede ser autosuficiente económicamente, es decir, genera recursos suficientes para continuar sin inyección de recursos frescos. Está vinculado es decir, dispone de alianzas estratégicas complementarias para propósitos diversos por ejemplo para promoción o comercialización. Se puede hacer aún no teniendo presupuesto fiscal etiquetado para ello, sólo con los recursos del gasto corriente u operativo.	4
			Los recursos propios no son suficientes. Requiere recursos externos de inicio. Mayor plazo para la recuperación de la inversión. Relativa independencia económica en el ciclo de un año calendario, no antes. Requiere alianzas para conseguir éxito económico. Se puede hacer sólo si se tiene presupuesto fiscal municipal o estatal etiquetado para ello.	3
			Requiere intermitentemente la inyección de recursos externos frescos. Estacionalmente rentable, no así en un año calendario. No genera suficientes recursos para mantenerse sólo. Depende del exterior. Depende de alianzas externas para sobrevivir. Se puede hacer sólo si se tiene apoyo complementario del presupuesto fiscal federal.	2

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 5. Criterios utilizados en el sistema de calificación comparativo del grado de sustentabilidad (Continuación).

No.	ÁMBITO	CRITERIOS	EVALUACIÓN	CALIFICACIÓN
3	SOCIAL	a) Aceptable b) Justo c) Equitativo d) Aprehendido e) Claramente Benéfico f) Demanda/ Apoyo	<p>No es viable económicamente. Depende de aportaciones permanentes del exterior. Se puede hacer si además se tienen recursos complementarios de algún grupo de interés nacional o internacional. No es rentable. Sus ingresos no compensan adecuadamente sus egresos. Desvinculado, aislado.</p> <p>La intervención cuenta con apoyo social, la gente la demanda, la espera. La intervención es socialmente aceptada y aceptable, considerada justa y equitativa, se le reconoce colectivamente un claro beneficio. Se puede esperar la activa participación social en la iniciativa, no sólo de los beneficiarios sino de toda la comunidad, no hay dudas sobre la adopción de la intervención, con toda seguridad será aprehendida socialmente en lapso breve. Es una intervención gestionada desde las comunidades, desde la sociedad en respuesta a sus demandas.</p> <p>Aún no siendo gestionada por la sociedad local la intervención cuenta con apoyo social. La mayor proporción de la comunidad considera que es aceptable, la demanda, la considera justa y le reconoce colectivamente un claro beneficio. Altas probabilidades de ser adoptada. Sus beneficios son equitativos. Se espera la activa participación de los beneficiarios directos.</p> <p>No hay un abierto apoyo social ni un abierto rechazo social a la intervención. Una parte de la comunidad local, los beneficiarios directos la consideran aceptable y le reconocen sus méritos. Para otros en la comunidad los beneficios no son claros. Baja probabilidad de adopción cuando cese la presencia de agentes del exterior. Los beneficios de la intervención no se distribuyen ni equitativa ni homogéneamente en toda la comunidad, no por ello es injusta o inconveniente.</p> <p>Sólo una minoría le considera aceptable. No hay oposición abierta, sin beneficio claro, con perjuicio percibido o real. O bien, hay un rechazo social a la intervención. No es claro para la mayoría de la comunidad los beneficios de la intervención. No se considera a priori que pueda ser adoptada. Pueden presentarse conflictos sociales como resultado de la intervención. Por ese simple hecho se considera inconveniente.</p>	1  4  3  2  1



**Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio***

Tabla 5. Criterios utilizados en el sistema de calificación comparativo del grado de sustentabilidad (Continuación).

No.	ÁMBITO POLITICO	CRITERIOS	EVALUACIÓN	CALIFICACIÓN
4		a) Oportuno b) Deseable c) Conveniente d) Correcto e) Luce-viste	<p>La intervención es políticamente muy oportuna y por ello conveniente y hasta deseable. Es políticamente correcto. Si hay demanda y apoyo nacional o internacional. Sin duda, en el corto plazo, es algo que “hace lucir o viste” al político interesado que lo impulse. Tiene gran visibilidad política.</p> <p>La intervención es políticamente correcta, puede ser oportuna y por ello recomendable. Si hay demanda y apoyo local para su realización. Probablemente es algo que “hace lucir o viste” curricularmente al político interesado que lo impulse aunque no sea tan visible en el corto plazo.</p> <p>La intervención no parece ser políticamente contraindicada, no contraviene aparentemente el status quo político. No hay demanda local, pero no hay oposición. Pareciera políticamente inocua.</p>	4   3  2
5	TÉCNICO	a) Factible-viable b) Pertinente c) Demandado d) Justificado-indicado e) Capacidad local/próxima f) Sinergias	<p>Aún no habiendo oposición a la intervención se considera inoportuna o inconveniente políticamente. No se recomienda por poder generar reacciones políticas negativas, es políticamente contraindicada. Aparentemente contraviene el status quo político imperante. Puede haber una oposición política abierta a su realización.</p> <p>Técnicamente la intervención es factible-viable. Es la intervención que mejor se justifica, la más conveniente, la opción mas recomendable. Corresponde a la solución técnica mas aceptable, de mayor consenso, la mas demandada incluso. Se cuenta con estudios que justifican la realización de acciones. La pertinencia científica y técnica es muy alta, la reclama o demanda la academia local o nacional, incluso internacional. Es congruente y muy vinculado con las líneas estratégicas del PRA-CLP*. Existe conexión con los instrumentos generales de gestión y política nacional y estatal. Congruente con el avance y momento de la investigación científica y desarrollo tecnológico. Existen localmente grupos u organizaciones que están trabajando sobre este aspecto. Exite la capacidad técnica para implementarla prácticamente sin asesoría.</p>	1     4

\*Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 5. Criterios utilizados en el sistema de calificación comparativo del grado de sustentabilidad (Continuación).

No.	ÁMBITO	CRITERIOS	EVALUACIÓN	CALIFICACIÓN
			<p>Se cuenta con estudios en proceso o información parcial que justifica la realización de acciones. Pertinencia científica y técnica pues lo pide o demanda la academia local. En la zona existen grupos u organizaciones trabajando en aspectos similares. Es congruente y vinculado con algunas de las líneas estratégicas del PRACLP. Existe conexión con algunos instrumentos como EMichCB, EMCB, Prog: Nacional Medio Ambiente Sectorial, Programa estatal Medio ambiente. Técnicamente la intervención es factible. Corresponde a una de las soluciones técnica mas recomendables. Existe la capacidad técnica para implementarla con asesoría.</p>	3
			<p>Es posible realizar los estudios que permitan identificar la viabilidad de las acciones. La justificación técnica de la intervención no es clara, ni hay demanda, ya que no necesita aval técnico o científico. La opción selecta técnicamente puede optimizarse, sustituirse quizá por otra solución técnicamente mas indicada. Existen localmente únicamente individuos que trabajan en temas similares. Es congruente y vinculado sólo con acciones al interior de las líneas estratégicas del PRACLP que le considera. Existe conexión con alguno de los instrumentos. La capacidad técnica para implementarla es muy limitada localmente.</p>	2
			<p>Hay fundadas dudas sobre si la intervención es técnicamente factible-viable. No es la intervención que mejor se justifica, ni la mas conveniente se considera que hay otras opciones mas recomendables No es congruente ni hay vinculación con las líneas estratégicas del PRACLP ni conexión con otros documentos estratégicos pertinentes o peor aún no sólo no es consecuente con las estrategias sino que aparentemente las contraviene en alguna proporción. No se justifica técnicamente, o hasta se contraindica. En la zona no existen grupos o personas trabajando ni en acciones similares.</p>	1

**Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio***

Tabla 5. Criterios utilizados en el sistema de calificación comparativo del grado de sustentabilidad (Continuación).

No.	ÁMBITO	CRITERIOS	EVALUACIÓN	CALIFICACIÓN
6	LEGAL	a) Permitido b) Cubierto c) Incentivo/ Desincentivo	La intervención está legalmente permitida, esta cubierta por la ley, es legal. No hay impedimento legal y si por el contrario hay facilidades o incluso un mandato expreso para facilitar la puesta en marcha de la intervención selecta.	4
			La intervención está legalmente permitida, esta cubierta por la ley, es legal. No hay impedimento legal para que se desarrolle ni lugar a falsas interpretaciones legales.	3
			Hay impedimento legal que es subsanable con intervención local. Pueden presentarse problemas por la interpretación legal sobre si la intervención está permitida, toda o parte de ella, dentro de la ley. Hay un riesgo legal.	2
			Hay impedimento legal salvable con intervención federal o es irresoluble. La intervención en alguna proporción es ilegal y por ende contraindicada.	1
7	ESPACIAL	a) Escala b) Vinculación c) Concatenación d) Sinergia e) Alcance	Por su escala, en términos de cobertura geográfica, por su vinculación, concatenación y sinergia con otros procesos en marcha, se presupone que el alcance de la intervención tenga un impacto visible a nivel estatal o nacional. (Incluso con repercusiones o implicaciones internacionales).	4
			Por su escala, en términos de cobertura geográfica, por su vinculación, concatenación y sinergia con otros procesos en marcha, se presupone que el alcance de la intervención tenga un impacto visible a nivel regional dentro del estado (intermunicipio).	3

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 5. Criterios utilizados en el sistema de calificación comparativo del grado de sustentabilidad (Continuación).

No.	ÁMBITO	CRITERIOS	EVALUACIÓN	CALIFICACIÓN
			Se presupone que el alcance de la intervención tenga un impacto visible a nivel municipal.	2
			Se presupone que el alcance de la intervención tenga un impacto visible a nivel de comunidad local.	1
8	TEMPORAL			
		a) Urgencia relativa b) Plazo de amortización c) Plazo al pacto en conservación	Conviene que suceda de inmediato, todo a punto para que ocurra ya, cuanto antes mejor, lo mas oportuno es que inicie cuanto antes. En los próximos meses. Mientras más pronto se inicie mas pronto se verán sus resultados en términos de conservación y de sustentabilidad. Debe iniciarse ya considerando que hay plazos que transcurren antes de empezar a ver resultados (por ejemplo de crecimiento o desarrollo de especies u otros no manipulables por la mano del hombre, naturales).	4
			Algunos asuntos por atender antes de iniciar. Si es oportuno hacer lo necesario para que ocurra pronto y no se pierda el interés. Iniciar antes de un año. Debe planearse su inicio considerando que hay plazos que transcurren antes de empezar a ver resultados (por ejemplo de crecimiento o desarrollo de especies u otros no manipulables por la mano del hombre, naturales).	3
			Puede esperar, el tiempo oportuno para iniciar se verá después, debe crecer el interés por iniciarlo, sin embargo se estima no debe pasar de dos años. La intervención no debe considerar necesariamente plazos naturales que transcurren antes de empezar a ver resultados.	2
			Conviene que se difiera su arranque, no están las cosas dispuestas para que empiece en el cortísimo plazo, la espera puede ser mayor de dos años. La intervención no depende de plazos naturales que transcurren antes de empezar a ver resultados o al menos no esta determinada por ellos.	1

## Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio*

Tabla 6. Importancia relativa de cada ámbito

<b>Ámbito</b>	<b>Ponderación</b>
Cultural	9
Ecológico	20
Económico	14
Social	11
Político	8
Técnico	20
Legal	8
Espacial	5
Temporal	5
Sumatoria	100%

Hecha la selección de los criterios por ámbito, su ponderación, su descripción para la evaluación y asignación de valores, se procede a la aplicación del sistema y se obtienen resultados por criterio, los cuales se agrupan por ámbito. El evaluador debe definir cuales son los valores mínimos aceptables por cada ámbito en función de su ponderación. La representación de los resultados en colores se define a partir de la sumatoria de los valores máximos hipotéticos y mínimos aceptables. El rango de valores máximo posible y mínimo aceptable se divide entre tres partes (percentiles A, B y C) y se asignan el color verde oscuro al percentil de máxima puntuación (A), al siguiente percentil se le asigna el color verde claro (B), al tercero cuyo límite inferior es el mínimo aceptable se le asigna el color amarillo (C) y se asigna el color rojo para todos los valores inferiores al mínimo aceptable.

## Resultados

Como resultado de las entrevistas, la revisión bibliográfica y nuestro propio análisis se integró una lista de opciones o alternativas de intervención con el propósito de incidir en la población de la carpa introducida del Lago de Pátzcuaro. Para efectos de presentación, se muestran las opciones en cuatro grupos (A-D) (Tabla 7). La primer opción implica la extracción o pesca

de ejemplares del lago asumiendo que requiere alguna inversión para poder llevar a cabo la intervención y agregar valor al aprovechamiento de los ejemplares. En la segunda opción, las alternativas aportan poco valor agregado a los ejemplares pescados. Un tercer grupo muestra distintas opciones que implican muchas más actividades que sólo la extracción de los ejemplares del lago. Y por último, un caso selecto que se destaca por sus peculiaridades aun siendo una variante de las opciones del primer grupo.

Tabla 7. Opciones de intervención sugeridas para el manejo de la carpa *Cyprinus carpio*

### A. CON INVERSIÓN PARA AGREGAR VALOR

- 1** **CURTIDO DE PIEL**  
Piel curtida  
Llaveros  
Carteras-billeteras  
Bolsas, portafolios y similares  
Aplicaciones en prendas  
cinturones y correas
- 2** **CARNE**  
Filete enlatado crudo o cocido  
Filete al vacío, crudo o cocido  
filete congelado  
Filete en fresco  
Ceviche u otro preparado en fresco  
Embutidos: hamburguesas, chorizos,  
salchichas, jamón  
Pizzas, nuggets u otro preparado cocinado
- 3** **ENSILADO**
- 4** **PESCA DEPORTIVA**
- 5** **HARINA DE PESCADO**

### B. PRACTICAMENTE SIN VALOR AGREGADO

- 6** **COMPOSTA**
- 7** **VENTA A INTRODUCTOR EXTERNO**

### C. OTRAS ACTIVIDADES

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 7. Opciones de intervención sugeridas para el manejo de la carpa *Cyprinus carpio* (Continuación)

<b>8</b>	<b>CONCURSO Y FERIA GASTRONÓMICA</b>
	Chef vs Chef Chef vs Amas de casa Amas de casa vs. Amas de casa Libre
<b>9</b>	<b>CONCURSO DE PROYECTOS PRODUCTIVOS</b>
	Jóvenes emprendedores Mujeres emprendedoras Tercera edad Grupos mixtos Categoría libre
<b>10</b>	<b>RESERVAS DE BLANCO y NATIVAS</b>
	Municipio de Pátzcuaro Municipio de Erongarícuaro Municipio de Quiroga Municipio de Tzintzuntzan Centro Janitzio Otras islas
<b>11</b>	<b>MANEJO DE HABITAT-CUENCA</b>
<b>D.</b>	<b>CASOS PUNTUALES SELECTOS</b>
<b>12</b>	Producción de nuggets para el DIF

Las alternativas propuestas que implican una inversión para agregar valor fueron en primer término el aprovechamiento de la piel de los peces extraídos del lago, se sugirió el curtido de la piel y su utilización para la venta en pieza, o como productos elaborados como llaveros, carteras-billeteras, bolsas, portafolios y similares o para la fabricación de cinturones y correas de reloj entre otros. También se sugirió el empleo de la piel curtida para aplicaciones en prendas diversas. La propuesta es muy coherente dado que esto se realiza ya en la zona, particularmente con la piel del pez diablo, otra especie introduci-

da, que se extrae de la Presa de Infiernillo.

Se propuso la utilización de la carne de la carpa, se visitó infraestructura y se entrevistó a pescadores que fueron capacitados, por iniciativa de la Comisión Estatal de Pesca y la SUMA, para desarrollar esta actividad a mayor escala. Las alternativas de utilización de la carne de pescado incluyen preparación para venta de: Filete enlatado crudo o cocido, filete al vacío, crudo o cocido, filete congelado, filete en fresco, ceviche u otro preparado en fresco, embutidos (hamburguesas, chorizos, salchichas, jamón) o incluso la preparación con la carne de pizzas, nuggets u otra receta cocinada lista para servir (pre-preparada).

Una alternativa que se sugirió en tanto que se ha estudiado por parte del Instituto de Investigaciones Económicas y otros centros de estudio de la Universidad local (UMSNH) fue la utilización de la carne de la carpa para preparar alimento para ganado, en particular para alimentar puercos, después de un proceso de ensilado (Ortiz, *et al*, 2011). Aparentemente hay la demanda y por supuesto podría, dada la disponibilidad de peces, darse la oferta, así fue como se planteó la alternativa a evaluar.

Otra alternativa a evaluar que fuera sugerida y que ha sido empleada exitosamente en otras latitudes es la de aprovechar la especie promoviendo la pesca deportiva, particularmente a realizarse por visitantes a la zona, se sugirió incluso una fuerte promoción turística vinculada a la oferta, incluso celebrando anualmente competencias de pesca.

Una mas de las alternativas sugerida dentro de este grupo, aunque es limítrofe con el siguiente, es la utilización de los ejemplares obtenidos para la producción y venta de harina de pescado que se emplea para diferentes propósitos y tiene ya un mercado tanto a nivel nacional como internacional.

## **Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio***

Dentro de las alternativas propuestas que prácticamente no agregan valor a la extracción de las carpas extraídas están la utilización de los ejemplares completos, incluso sin procesamiento alguno para su incorporación en la fabricación de composta. Esta alternativa fue analizada ya también desde el punto de vista económico y la Universidad local dispone de proyecciones financieras asociadas a esta intervención. Otra sugerencia que se mencionó y que ha sido utilizada ya en varias ocasiones es la venta del producto de la pesca a compradores foráneos intermediarios que fungen como introductores del producto en otros mercados. Los pescadores conocen ya a algunos de estos compradores que llevan el producto a las ciudades de Guadalajara y Aguascalientes al menos.

Cuatro modalidades de intervención sugeridas implican mucho más trabajo que la mera extracción de los peces del lago, se propusieron dos concursos para incentivar el aprovechamiento de la carpa y de cierta forma forjarles un mercado y consolidar la emergencia de esquemas más claros de oferta y demanda y dos alternativas que afectarán de forma indirecta a las poblaciones de carpa por estar más vinculadas con el manejo del hábitat. Un concurso y feria gastronómica de platillos y recetas basados en la carpa con varias categorías. Se propusieron: Chef vs Chef, Chef vs Amas de casa, Amas de casa vs. Amas de casa y categoría o concurso Libre. El otro concurso sugerido es una competencia entre propuestas fundamentadas para la puesta en marcha y apoyo al arranque o pruebas de campo o piloto de iniciativas de proyectos productivos también basados en el aprovechamiento de la carpa en varias categorías a saber: Jóvenes emprendedores, Mujeres emprendedoras, Tercera edad, Grupos mixtos y el concurso de Categoría libre. La sugerencia presupone que estimulará innovación y creatividad en torno al uso de la especie en modalidades que no pueden definirse anticipadamente (se señalaron ideas como artesanías y manualidades pero sin precisarles, en realidad la

idea de que sea concurso es precisamente esa, que surjan múltiples ideas novedosas).

En el caso de las sugerencias de manejo del hábitat, que tendrán, se presupone en tanto que así se plantearon, efectos indirectos o hasta directos en las poblaciones de la carpa exótica, están el fortalecimiento a los esfuerzos de propagación en semicautiverio y cautiverio de las especies endémicas (en particular el pescado blanco) y otras nativas. Estas son actividades que ya se vienen dando pero se sugirió se fortalezcan y redimensionen para conseguir que a partir de la vigorización de las poblaciones de especies nativas pudiese debilitarse, por decirlo coloquialmente, la presencia e impacto de la exótica. En este planteamiento se habló de promover las llamadas “reservas” de pescado blanco y otras especies nativas ya no sólo en el Municipio de Pátzcuaro donde ya existen esfuerzos concretos, sino de ampliar este trabajo para que existan estos espacios y actividades en los municipios de Erongarícuaro, Quiroga, Tzintzuntzan, así como en la isla de Janitzio y en las otras islas.

Dado que se reconoce que las condiciones de la cuenca tienen un impacto directo en las condiciones imperantes en el Lago y el debate en torno a la situación imperante en términos de la calidad del hábitat de las especies nativas, se propuso reforzar la diversidad de acciones que hoy se llevan a cabo en el terreno de restaurar o rehabilitar la cuenca toda. Se reconoció la existencia de un programa de recuperación de la salud de la cuenca del Lago de Pátzcuaro y las bondades que su continuidad y reforzamiento, particularmente de algunas de sus actividades, puede tener en términos de fortalecer el desarrollo y rescate de las especies nativas. Entre otras acciones el programa referido incorpora una de control de malezas acuáticas y de especies exóticas que bien podría llevarse a cabo afectando a las poblaciones de la carpa, sin otro propósito que el de simplemente hacer disminuir sus números, es decir sin pretensiones de

aprovechamiento o retribución económica alguna, como en el caso de las otras alternativas sugeridas y aquí consignadas, sino por el mero valor ecológico de la intervención. En ese sentido es que se planteó distinguir esta intervención de algunas de las opciones anteriores.

Por último se propuso un caso puntual, una variante de una de las sugerencias relativas al aprovechamiento de la carne de carpa. La variante consistió en señalar lo que a juicio de los proponentes era una oportunidad singular porque reconocían que existía una demanda muy clara, un comprador definido y la posibilidad de cubrir esa demanda con una oferta clara que no demandaba una inversión muy importante de entrada. Nos referimos a la propuesta de producción de nuggets de carpa para el DIF local.

En las tablas 8 y 9 se presenta la ponderación comparada de las principales opciones, sugerida para control de las poblaciones de carpa en el lago de Pátzcuaro y los resultados del sistema de calificación comparativa del grado de sustentabilidad para las distintas opciones de intervención. Se presentan en orden descendente de puntuación las actividades evaluadas: A y B son las acciones o actividades más recomendables y las actividades C y D las menos recomendables (Tablas 8 y 9). Dentro de las opciones de intervención A y B, las opciones A (creación de reservas de blanco y otras especies nativas, manejo de hábitat-cuenca y venta a introductor externo) son las alternativas más recomendadas por el sistema de evaluación conforme a la ponderación definida.



**Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio***

Tabla 8. Ponderación comparada de las principales opciones sugeridas para control de las poblaciones de carpa en el lago de Pátzcuaro.

	CULTURAL	fp	ECOLÓGICO	fp	ECONÓMICO	fp	SOCIAL	fp	POLÍTICO	fp	TÉCNICO	fp	LEGAL	fp	ESPECIAL	fp	TEMPORAL	fp	RESULTADOS	
	<b>OPCIONES SUGERIDAS</b>																			
<b>A.</b>	<b>CON INVERSION PARA AGREGAR VALOR</b>																			
<b>1</b>	3	30	3	60	3	42	1	10	1	8	3	60	3	24	2	10	1	5	249	<b>D</b>
	CURTIDO DE PIEL																			
	Piel curtida																			
	Llaveros																			
	Carteras-billeteras																			
	Bolsas, portafolios y similares																			
	Aplicaciones en prendas																			
	cinturones y correas																			
<b>2</b>	3	30	3	60	4	56	2	20	4	32	4	80	3	24	2	10	4	20	332	<b>B</b>
	<b>CARNE</b>																			
	Filete enlatado crudo o cocido																			
	Filete al vacío, crudo o cocido																			
	filete congelado																			
	Filete en fresco																			
	Ceviche u otro preparado en fresco																			
	Embutidos: hamburguesas, chorizos, salchichas, jamón																			

Tabla 8. Ponderación comparada de las principales opciones sugeridas para control de las poblaciones de carpa en el lago de Pátzcuaro

		CULTURAL	fp	ECOLÓGICO	fp	ECONÓMICO	fp	SOCIAL	fp	POLÍTICO	fp	TÉCNICO	fp	LEGAL	fp	ESPACIAL	fp	TEMPORAL	fp	RESULTADOS	
	Pizzas, nuggets u otro preparado cocinado																				
3	<b>ENSILADO</b>	3	30	3	60	2	28	2	20	2	16	3	60	3	24	3	15	2	10	263	C
4	<b>PESCA DEPORTIVA</b>	3	30	2	40	3	42	2	20	1	8	2	40	3	24	3	15	1	5	224	D
5	<b>HARINA DE PESCADO</b>	3	30	3	60	3	42	2	20	2	16	3	60	3	24	2	10	3	15	277	C
<b>B.</b>	<b>PRACTICAMENTE SIN VALOR AGREGADO</b>																				
6	<b>COMPOSTA</b>	3	30	4	80	4	56	2	20	1	8	4	80	3	24	2	10	4	20	328	B
7	<b>VENTA A INTRODUCTOR EXTERNO</b>	3	30	4	80	4	56	4	40	1	8	4	80	3	24	3	15	4	20	353	A
<b>C.</b>	<b>OTRAS ACTIVIDADES</b>																				
8	<b>CONCURSO Y FERIA GASTRONOMICA</b>	3	30	3	60	3	42	1	10	3	24	3	60	3	24	2	10	1	5	265	C
	Chef vs Chef																				
	Chef vs Amas de casa																				
	Amas de casa vs Amas de casa																				
	Libre																				
9	<b>CONCURSO DE PROYECTOS PRODUCTIVOS</b>	3	30	3	60	4	56	4	40	4	32	3	60	3	24	2	10	2	10	322	B

**Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio***

Tabla 8. Ponderación comparada de las principales opciones sugeridas para control de las poblaciones de carpa en el lago de Pátzcuaro (Continuación)

	CULTURAL	ECOLÓGICO	ECONÓMICO	SOCIAL	POLÍTICO	TÉCNICO	LEGAL	ESPECIAL	TEMPORAL	fp	RESULTADOS
	Jóvenes emprendedores										
	Mujeres emprendedoras										
	Tercera edad										
	Grupos mixtos										
	Categoría libre										
<b>10</b>	<b>RESERVAS DE BLANCO Y NATIVAS</b>	4	40	4	40	4	32	4	80	4	371
	Municipio de Pátzcuaro										
	Municipio de Erongarícuaro										
	Municipio de Quiroga										
	Municipio de Tzintzuntzan										
	Centro Janitzio										
	Otras islas										
<b>11</b>	<b>MANEJO DE HÁBITAT/ CUENCA</b>	4	40	4	80	2	28	3	30	4	362
<b>D.</b>	<b>CASOS PUNTUALES SELECTOS</b>										

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 8. Ponderación comparada de las principales opciones sugeridas para control de las poblaciones de carpa en el lago de Pátzcuaro  
(Continuación)

	CULTURAL	ECOLÓGICO	ECONÓMICO	SOCIAL	POLÍTICO	TÉCNICO	LEGAL	ESPACIAL	TEMPORAL	fp	RESULTADOS
12	3	4	4	3	4	2	3	3	3	15	322
	<i>Producción de nuggets para el DIF</i>										
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	20	400
	máxima										
	2	2	3	2	2	2	3	3	3	15	232
	mínima aceptable										
	CULTURAL	ECOLÓGICO	ECONÓMICO	SOCIAL	POLÍTICO	TÉCNICO	LEGAL	ESPACIAL	TEMPORAL	fp	RESULTADOS

**Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio***

Tabla 9. Resultados del Sistema de calificación comparativa del grado de sustentabilidad para las distintas opciones de intervención

Lugar		Puntaje	Actividad
1	A	371	RESERVAS DE BLANCO y NATIVAS
2	A	362	MANEJO DE HABITAT/CUENCA
3	A	353	VENTA A INTRODUTOR EXTERNO
4	B	332	CARNE
	B	(322)	Producción de nuggets para el DIF
5	B	328	COMPOSTA
6	B	322	CONCURSO DE PROYECTOS PRODUCTIVOS
7	C	277	HARINA DE PESCADO
8	C	265	CONCURSO Y FERIA GASTRONOMICA
9	C	263	ENSILADO
10	D	249	CURTIDO DE PIEL
11	D	224	PESCA DEPORTIVA

### *Análisis de resultados*

La lógica subyacente para la incorporación de las sugerencias a la lista que fue finalmente analizada empleando el sistema de calificación, fue que la propuesta efectivamente contribuyese de una u otra forma a impactar las poblaciones de carpa. En condiciones normales para una especie nativa se buscaría que cualquier intervención permitiese el aprovechamiento durante un plazo largo de la especie en cuestión sin que sus posibilidades de seguir siendo aprovechada se viesan disminuidas, dicho de otra forma, se buscaría un aprovechamiento sustentable. Las tasas de aprovechamiento habrían de ser determinadas en consecuencia y ajustadas con la frecuencia que el caso demandase, y con las salvaguardas para certificar que la población no sufra un deterioro ni cualitativo ni cuantitativo de ninguna índole.

Sin embargo, al tratarse en este caso de una población de una especie exótica y además pernicioso, que ha demostrado afectar de forma severa a las especies nativas orillándoles a la extinción, las tasas de aprovechamiento en cambio habrían de ser determinadas para certificar que se produzca un impacto negativo sobre las poblaciones de la exótica, es decir, un aprovechamiento no sustentable que en un plazo dado haya que suspender o el número de personas participantes en dicha actividad disminuya porque las tasas de aprovechamiento no puedan seguir cubriéndose. Se presupone que la población original se ve afectada y disminuye en calidad y cantidad dada la forma de manejo que se aplica, diseñada para tener ese efecto deletéreo sobre la misma, y que por tanto el reclutamiento y desarrollo de la población objeto de manejo no puede seguir ofreciendo la cosecha (la tasa de aprovechamiento) que se venía obteniendo.

En ese momento se esperaría tomar decisiones en torno a la definición de la propia tasa, en un caso, por ejemplo si se quiere infringir un impac-

to negativo mayor sobre la población objetivo puede resolverse mantenerla prácticamente sin cambio y modificar quizá cuestiones como talla mínima o temporalidad y entonces intentar forzar a la consecución de la meta de cosecha (la tasa predefinida). Si por el contrario, ya no se quiere infringir el mismo nivel de afectación a la población objetivo la tasa de aprovechamiento puede ajustarse a la baja o imponerse otras restricciones como la talla o temporalidad ya mencionadas. La decisión técnica de manejo es función de definiciones de otra índole (de corte más político y social), de la claridad que se tenga sobre el deseo de solo disminuir la población de la especie problema por un lado, controlar manteniendo en niveles muy bajos su población o bien, al extremo, buscar su erradicación o exterminio de la zona.

Esta consideración no es trivial puesto que las alternativas que se exploraron y se preguntaron sugerían vías de aprovechamiento de la especie, es decir, vías para revalorizar a un recurso que al día de hoy no tiene un valor reconocido localmente. Esto es así porque se partió de la lógica de que si a la especie se le reconoce un valor y por tanto un precio en el mercado, así fuese subsidiado como se ha propuesto, será quizá objeto de aprovechamiento. Un riesgo de poner en marcha alguna intervención, la que a partir de los análisis y evaluaciones resultare más conveniente, es el de que la opción no se plantea como algo de largo plazo, no si se trata de disminuir la población de carpas, es decir, la alternativa presupone que al término de un cierto tiempo, gracias a la disminución de la población de carpas hay una recuperación de las poblaciones de otras especies otrora comerciales (en el lago en particular el pescado blanco), de tal suerte que, cuando la opción de la carpa empiece a menguar los pescadores podrán una vez más volver a aprovechar al pescado blanco quizá.

Al término de la evaluación se vio que no nece-

sariamente en todas las opciones sugeridas las dos premisas antes comentadas se sostienen. Por ejemplo, la opción de una explotación casi irrestricta de la carpa para destinar el producto sea a la composta, la harina de pescado o hasta el ensilado, por mencionar algunas muy claras, conllevarían una disminución idealmente drástica y en un plazo no muy remoto de la población de la especie problema, sin embargo, el plazo se antoja insuficiente para la recuperación de las especies nativas hoy severamente disminuidas, esto representaría por tanto un enorme riesgo para cualquiera de las alternativas de este corte puesto que agotarían el recurso que aprovechan.

La erradicación de la carpa o su exterminio local no es una opción necesariamente viable ni recomendable sobre todo en el corto plazo. Las poblaciones de esta especie problema están muy arraigadas, ocupan ya un lugar en la red de relaciones tróficas y en la estructura funcional del ecosistema lacustre. Su abundancia relativa sugiere que aún con una tasa de aprovechamiento agresiva en casi cualquiera de las intervenciones propuestas (las que implican recuperaciones económicas y el concurso e involucramiento activo del sector pesquero) el declive en sus poblaciones no será drástico sino paulatino, más o menos rápido según se decida.

La erradicación o exterminio, si no imposible, si es un esfuerzo de un plazo mucho mayor. Se pueden mantener a niveles bajísimos, casi indetectables las poblaciones de la especie pero difícilmente se consigue con certeza afirmar que la totalidad de los ejemplares de la especie han desaparecido del lugar. El punto central no es conseguir o no el exterminio pero si el control vía manejo de las poblaciones para beneficio del lago y por ende también de forma directa de las especies de especies nativas, ya no sólo de peces sino de anfibios y plantas también por ejemplo.

Fue interesante ver que surgieron un gran nú-

## Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio*

mero de alternativas, la creatividad e innovación de los entrevistados nos sorprendió gratamente. Respetuosamente debemos señalar que no esperábamos *a priori* recoger tantas propuestas, algunas sabíamos que serían mencionadas porque eran las opciones que ya la Comisión Estatal de Pesca venía promoviendo entre la comunidad de pescadores, tal fue el caso de la fabricación de embutidos a partir de la carne de pescado o la producción de harina de pescado por ejemplo. Incluso hubo intercambios con propósitos de capacitación a los que acudieron pescadores de la zona, repartición de artes de pesca específicos para el propósito e inversión del Gobierno estatal en infraestructura para ello.

Esperábamos que otras aparecieran por imitación como el caso del curtido y variantes a la utilización de las pieles de pescado porque no solo la comisión de pesca sino incluso los académicos hablaban de esta alternativa, se ha sugerido subsidiar su comercialización y promover su mercado como en el caso del pez diablo procedente de la Presa de Infiernillo también en el estado.

El resultado de la evaluación resultó interesante, una opción sugerida que aparentemente tenía méritos, la pesca deportiva, no se sostuvo, tanto por las restricciones a las embarcaciones de motor como por su inviabilidad social y económica. Incluso por la pequeña talla observada en los ejemplares que integran las poblaciones de carpa.

Las opciones de mas largo plazo como las que implican el manejo del hábitat y las actividades a favor de la cuenca obtuvieron en la evaluación calificaciones altas, lo que no nos sorprende dado que la mayoría de los entrevistados privilegian las actividades a favor de las especies nativas, hecho que de suyo es un reflejo fehaciente de la prelación de sus aspiraciones y consecuente con el contexto cultural local. El clamor unánime es el rescate del pescado blanco,

de la acúmara y del achoque al menos, no así el control o el hipotético exterminio de la especie invasora. La aparentemente clara vinculación entre ambos asuntos no lo es en la realidad cotidiana ni en el imaginario colectivo que revela la narrativa que se escucha; se viven y sienten como procesos y hechos que si bien tienen una relación, -la gente reconoce que la carpa y otras exóticas han propiciado la disminución de las especies nativas, pero también reconocen que se ha dado una sobreexplotación de algunas de ellas- se piensan como proceso desvinculados por parte de la mayoría de la población.

La existencia de un mercado externo para la carpa, entre otros criterios, da cuenta de la alta calificación que obtuviera la venta del producto a compradores foráneos. Localmente no se ofrece la carpa en los restaurantes, salvo excepcionalmente, no se le encuentra, como pudimos constatar, en las pescaderías locales tradicionales a las que los locales acuden a hacerse de pescados para consumir. No es, a juicio de los entrevistados una especie palatable, el referente del blanco, de la acúmara o de los charales nativos es tal que la carpa no es competencia contra ellas, queda totalmente rebasada, su gusto es “lodoso” y además tiene muchas espinas. Sin embargo en la cocina de Aguascalientes al menos, hay algunas recetas de platillos afamados empleando la carpa como base. La especie es extraída en grandes volúmenes en el lago de Chapala para satisfacer el gran mercado de la ciudad de Guadalajara por tanto se ha sugerido que el mercado y la demanda claramente existen.

Algunos compradores esporádicamente llegan a presentarse en Pátzcuaro, en el embarcadero de San Pedrito usualmente con camionetas con cámaras frigoríficas y ofrecen un precio tope, muy bajo, por kilogramo de carpa. El bajo precio no es un aliciente actualmente para su cosecha como tampoco lo es lo limitado del volumen y la irregularidad con la que ocurren estas compras, de ahí que si fuese algo promovido y orquestado

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

satisfactoriamente su viabilidad es otra. Esta opción incidiría sobre la población invasora pero no a un ritmo tal que ponga en riesgo su propio futuro al menos en un plazo mediano.

En el caso de la producción de nuggets de pescado para venderlos al DIF local, se habló de la necesidad de satisfacer la demanda de la organización para los desayunos escolares y de lo competitivo que resultaría. Esta opción de uso de la carne de carpa se planteó como un caso particular de una solución que beneficia a todas las partes y en la que todos ganan: comprador directo, niños consumidores y sus familias, vendedores intermediarios (aun siendo las mismas cooperativas pesqueras), cocineras y pescadores y hasta el lago, sus condiciones ambientales y las especies nativas.

Corresponderá a las nuevas autoridades del Gobierno del Estado, de la Comisión Estatal de Pesca y suponemos que de la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente o hasta la de Fomento o Desarrollo Económico la determinación de la pertinencia de echar a volar alguna de las alternativas aquí planteadas. Es un hecho que los programas de manejo de hábitat, propagación en semicautiverio de las nativas y recuperación de la cuenca tendrán continuidad porque son asuntos que ya tienen una inercia propia y el respaldo social y con ello la confluencia de apoyos de fuentes públicas y privadas, en cambio, la promoción específica por ejemplo de la pesca y venta a compradores foráneos, que demanda una regulación específica, el diseño de los instrumentos económicos y la definición de políticas públicas y procedimientos, metas e indicadores claros, es una materia que exige la participación de varias entidades de los tres niveles de Gobierno y una coordinación, inversión y voluntad política definitivas.

Cada una de las alternativas aquí previstas y calificadas exige un plan propio completo y estructurado que reconozca el rol de los distintos

actores y sectores, sus indicadores de seguimiento y resultados, sus proyecciones técnicas y financieras, la suscripción de los compromisos puntuales, la elección de los sitios piloto si se opta por esa ruta conservadora o las políticas y procedimientos administrativos y de otro tipo para ponerles en marcha.

Nosotros nos pronunciamos por la inmediata adopción de las alternativas resultantes calificadas con los numerales A y B en ese orden. Al mismo tiempo la puesta en marcha de un protocolo específico de monitoreo y evaluación de avances y resultados de las alternativas, en particular el impacto sobre el estado de las poblaciones de la especie exótica y de los beneficios e impactos sociales asociados a cada una de ellas. Recomendamos la utilización de la metodología de evaluación para el seguimiento de su avance puesto que se dispone ya de una línea base contra la cual se puede ir midiendo el cambio.

## Recomendaciones

Derivadas de las entrevistas, los recorridos, las revisiones documentales y de información y los análisis y resultados obtenidos, surgen algunas ideas, propias y de terceros que tienen relación con el tema que nos ocupa y que merecen ser consignadas aquí a modo de recomendaciones. Como podrá constatar enseguida las hay de distintos tipos y lo que a través de ellas se propone no es sino complementario a lo presentado como las consideraciones que conforman la que dimos en denominar Estrategia para apoyar la Recuperación de Peces Nativos del Lago de Pátzcuaro a través del manejo de la carpa *Cyprinus carpio*. La presentación de las recomendaciones no presupone orden o prioridad alguna.

Implementar y formalizar en breve las actividades que recomienda el sistema de calificación comparativa del grado de sustentabilidad. En este sentido, es indispensable integrar las acti-



## **Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio***

vidades a una estrategia avalada por todos los sectores y acompañada de esfuerzos específicos de comunicación social para conseguir la máxima participación social y apoyo público. En toda estrategia que se implemente deben considerarse los siguientes elementos: utilizar el principio precautorio; incluir dentro de las acciones calendarios, locaciones, participantes y responsables, recursos necesarios en órdenes de magnitud (recursos humanos, materiales y financieros), comunicación y difusión, monitoreo y evaluación, índices e indicadores de seguimiento y resultados, riesgos o considerandos particulares, actores complementarios, plazos (corto, mediano y largo), fecha sugerida de realización, nivel de prioridad, observaciones y comentarios.

Independientemente de la opción elegida para el manejo de los peces exóticos, si se extrae la carpa del Lago de Pátzcuaro, se recomienda evaluar adecuadamente si el sacar la carpa está contribuyendo realmente al mejoramiento de la situación de las especies nativas del lago de Pátzcuaro. Será necesario monitorear los niveles poblacionales de todas las especies presentes para definir niveles ideales y metas a conseguir en el fomento o decremento de cada una de ellas. Existe como consta en este mismo libro (ver capítulo de Zambrano et al.), una línea base muy importante y bien analizada, como punto de partida y referente para continuar este esfuerzo.

Como sugirieran los entrevistados y arrojará su evaluación y calificaciones, se antoja indispensable promocionar, fortalecer y multiplicar el esfuerzo estatal de reproducir especies nativas en varios puntos del Lago, al menos debiera haber un proyecto por cada municipio y preferentemente incluso uno a cargo de cada cooperativa de pescadores. Se pueden utilizar los terrenos de COMPESCA y del CRIP para utilizar las técnicas y procedimientos en el cultivo de pez blanco y trabajar en repoblamiento.

Es importante continuar con los esfuerzos de integrar planes de recuperación para las especies nativas, en donde se consideren los elementos particulares de la biología y ecología de cada especie con el objetivo de generar información y conocer posibles líneas de investigación que puedan ayudar a la conservación, protección y manejo de cada especie. El caso del achoque es uno que avanza a paso firme. Es digno de todo reconocimiento el trabajo de las monjas con el achoque como actividad a favor de las especies nativas, no sólo por el ensayo de crianza en cautiverio, exitoso, y por haber resuelto la zootecnia sino por difundir indirectamente los usos, valores e importancia de la especie. Nos enorgullece el que recientemente se han sumado nuevos actores a los esfuerzos de pobladores locales, de pescadores y de las monjas de la Inmaculada Concepción de Pátzcuaro como son el CRIM, FAUNAM AC y la Alianza para la Supervivencia de los Anfibios (ASA por sus siglas en inglés) (Pérez Gil S. , R comm pers. 2013).

Reactivar la iniciativa de establecer el Comité de Rescate de la especie del pez blanco y en la que todos los institutos y organismos formen parte y todos tengan un protocolo compartido del manejo de los organismos.

Dar seguimiento a los proyectos de las organizaciones de pescadores para que tengan la mayor probabilidad de éxito.

Aprovechar la disposición que tienen los pescadores para integrarlos a nuevos programas con el apoyo y soporte de las instituciones gubernamentales (a los tres niveles) y de la sociedad civil. En este sentido, a diferencia de un pescador tradicional, los pescadores hoy en el Lago de Pátzcuaro no se dedican a esta actividad de tiempo completo, sino que complementan sus ingresos con otras actividades dependiendo de la época del año y la temporalidad de los programas gubernamentales que llegan a la región. El pescador actual puede dedicarse a la construc-

ción, la agricultura y las artesanías entre otras actividades, es decir, su economía es multifactorial. Estas características deberán ser tomadas cuando se pretenda establecer algún programa con este sector para así mejorar el entendimiento de sus motivaciones económicas.

Crear o consolidar canales de comunicación entre las dependencias de gobierno y organismos que están involucrados directamente en el manejo del lago acerca de cualquier proyecto o iniciativa que se vaya a realizar para ponerlo a consenso y no realizar esfuerzos aislados. En el mismo sentido se recomienda vigilar que los proyectos e iniciativas que el gobierno proponga vayan de acuerdo con el propósito último de recuperar las condiciones ambientales del lago y de sus especies nativas. Se habló de las bondades de impulsar la consolidación de una entidad multisectorial como Consejo o Coordinadora del Lago que se asuma y todos reconozcan como la autoridad del lago. La recomendación es estu- penda pero su implementación se antoja remota por la disparidad de los intereses en juego.

En este mismo sentido, desarrollar y aplicar, como se planteó (Amador y Huerto, 2011; Huerto *et al.*, 2010), un Modelo de Gestión de Procesos, en el que una vez que ya se han identificado los procesos de deterioro que afectan al lago, tanto en los aspectos físicos, químicos, biológicos y en general del manejo de la cuenca, se definan claramente las instituciones y organizaciones Municipales, Federales y Estatales que pueden o deben incidir a partir de toda esta información generada en las acciones de restauración del lago. Que el esfuerzo no se quede truncado.

Limitar el chinchorro pactando previamente con los pescadores y fomentar el cambio o la compra de redes agalleras por otras artes de pesca menos dañinas ya que al parecer existe la disposición de los pescadores a realizar este cambio, siempre y cuando recuperen alguna parte de la

alta inversión que representa la elaboración y compra de dichas artes de pesca. Verificar que estas nuevas artes de pesca se adapten tanto a las necesidades de los pescadores como a las necesidades ambientales del lago y sobre todo de las especies que tienen muy bajas densidades poblacionales. El uso de las redes de tres y media es lo más recomendable para la extracción de las especies exóticas, también el uso de líneas con ganchos se ha practicado aunque no ha tenido el impulso necesario.

Estudiar a fondo, dar seguimiento e inclusive establecer indicadores de éxito para el caso particular del apoyo de COMPESCA a los pescadores para la producción del chorizo de pescado ya que se observan fallas a nivel de acompañamiento por parte de la institución promotora, falta de canales de comercialización y un cierto grado de desinterés.

Conminar a las dependencias de gobierno que en un pasado introdujeron a las especies exóticas a que no reincidan en esa práctica de introducción de peces que no son las del Lago de Pátzcuaro. En particular, tratar de eliminar la idea de reintroducir a la lobina para la obtención de carne de óptima calidad y si es posible mejor motivar el regreso de los peces nativos.

## Conclusiones

Los intereses concurrentes y discrepantes de los distintos sectores con relación a las especies nativas mas emblemáticas y culturalmente relevantes del lago como lo son el pescado blanco, la acúmara y el achoque, fueron revelados, debatidos, compartidos y en algunos casos hasta conciliados.

Sin excepción, todos los sectores entrevistados coinciden en la necesidad de realizar acciones en favor de las especies nativas, del lago, de la recuperación de la actividad pesquera, de la ca-

## **Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio***

lidad del agua y de la reivindicación del oficio de pescador. Al recuperar especies nativas y las condiciones de la cuenca mediante el manejo adecuado de las especies exóticas se estarían haciendo partícipes tanto a los diferentes sectores gubernamentales como a las comunidades ribereñas para que las relaciones rotas se recuperen y mejoren. La resolución definitiva de puntos de vista antagónicos con relación a los asuntos pesqueros es una expectativa social añeja.

La preocupación central de todos los sectores de la sociedad, los pescadores, las entidades de gobierno, los académicos, los operadores turísticos y otros proveedores de servicios y el público en general es el restablecimiento, en el plazo mas corto posible, de las poblaciones de las especies nativas. Otra lectura, no explícita de ello, pero consecuente y realista es la prioridad de combatir y conseguir el control de las poblaciones de carpa, si no su exterminio. El reto, por encima de ello es conseguir que, en esta oportunidad no se pase por alto, como ocurrió hace una década la dimensión social y cultural implícita en la aplicación de cualquier medida de conservación. No sobra subrayar que los ámbitos ecológico, económico, político, técnico y legal deben por supuesto ser tomados en cuenta.

Sentimos que por primera vez se dispone de unos lineamientos de estrategia para incidir sobre las poblaciones de las especies exóticas y nativas en cuya formulación se consultó a todos los sectores de la sociedad.

Dicha Estrategia identificó actividades que pueden realizarse en el corto plazo y que pueden incidir en la mejoría de las condiciones para el florecimiento o recuperación de las especies nativas, en tanto que ya fueron evaluadas contra el sistema de calificación comparativa del grado de sustentabilidad.

El proceso para conseguir la participación de

los pescadores ya no en la formulación de estos lineamientos de estrategia como fue posible hasta aquí, sino en la construcción de la estrategia y plan a detalle que vayan a ponerse en marcha será el principio de una reconstrucción franca de los puentes de comunicación rotos entre los pescadores y las autoridades, será el principio del fin del ostracismo y la opacidad que ha caracterizado a esta última década. La reconsideración de las implicaciones sociales y culturales de cualquiera de las intervenciones sugeridas propiciará el involucramiento y activa participación de los actores, puede dar lugar a que surja un profundo y auténtico compromiso a favor de las especies nativas, que como ha sido reiteradamente manifiesto si es uno de los intereses prioritarios enarbolados por todos. Ello permitirá además su formal adopción, la toma de decisiones informadas y a conciencia, el seguimiento y vigilancia social y esperamos también: su éxito.

## **Bibliografía**

- Amador A. y R. Huerto. 2011. Análisis multicriterio de naturalidad de embalse y proyecciones markovianas del cambio de uso del suelo: Elementos para la planeación de obras y acciones de restauración en la cuenca de Pátzcuaro. En: Huerto-Delgadillo, R., Vargas-Velázquez, S. y Ortiz-Paniagua, C.F. (Eds.); Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, ISBN: 978-607-7563-39-6, 308 p.
- Arroyo Quiroz, I. y V.H. Flores Armillas. 2012. *Estrategia para apoyar la recuperación de los peces nativos del lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio**. Reporte Técnico. FAUNAM AC para el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, México. 101p.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

- Alaye, N. 2006. *Actualización de la información técnica para el manejo pesquero del Lago de Pátzcuaro y actividades relativas a la ejecución del Plan de Manejo*. CRIP-Pátzcuaro. INAPESCA. México.
- Alvarado, O. 2011. *Perspectiva ambiental y conocimiento tradicional en los alumnos de las escuelas secundarias oficiales de cuatro comunidades (San Andrés Ziróndaro, San Jerónimo Purenchecuaró, Urandén Morelos y Huecorio) de la cuenca del lago de Pátzcuaro*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
- Berlanga, R., Ruíz, L., Nepita, M. y Madrid, J. 1997. Estabilidad y diversidad de la composición de peces del Lago de Pátzcuaro, Mich., México. *Revista de Biología Tropical*, 45(4):1553-1558.
- Breukelaar, A.W., E.H.R.R. Lammens, J.G.P.K. Breukelaar, y I. Tatrai. 1994. Effects of benthivorous bream (*Abramis brama*) and carp (*Cyprinus carpio*) on sediment suspension and concentrations of nutrients and chlorophyll a. *Freshwat. Bio.* 32: 113-121.
- Cahn, A. 1929. The Effect of Carp on a Small Lake: Carp as a Dominant. *Ecology* 10: 271-274.
- Castilleja, A. 2012. *Comunicación personal a Victor Flores Armillas*. Centro INAH Morelia, Michoacán, México.
- Castro, P., F. Valladares y A. Alonso. 2004. La creciente amenaza de las invasiones biológicas. *Ecosistemas XIII* 003: 1-10.
- Centro Geo. 2012. Pesca. Revisado el 23 de mayo de 2012. <http://www.centrogeo.org.mx/internet2/patzcuaro/02/paisaje/0201a3%20Pesca.htm>
- Chauvet, M., Castañeda, Y., Ávila, G. y Galindo, J. 2009. *La ciencia al servicio del rescate de una tradición: El pescado blanco de Pátzcuaro*. Diagnostico parcial de los aspectos sociales del proyecto. UAM Azcapotzalco.
- Cline, J.M., T.L. East y S.T. Threlkeld. 1994. Fish interactions with the sediment-water interface. *Hydrobiologia*, 275/276: 301-311.
- CONABIO, SUMA y SEDAGRO. 2007. *Estrategia para la Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica de Michoacán*. Primera edición.
- CONABIO. 2008. *Catálogo Taxonómico de Especies de México*. CD1.
- Contreras, B. y M. Escalante. 1984. Distribution and known impacts of exotic fishes in Mexico. pp. 102-130. En: W. Courtenay y J. Stauffer (eds.). *Distribution, Biology and Management of Exotic Fishes*. Hopkins. Baltimore, U.S.A.
- Cornelio, P. 2012. *Comunicación personal a Victor Flores Armillas*. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- DOF. 2009. NOM-036-PESC-2007. *Pesca responsable en el Lago de Pátzcuaro ubicado en el Estado de Michoacán. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros*. Diario Oficial de la Federación.
- Fong, C. J (2011). La carpa en el comercio de pescado, la cultura alimentaria y las estrategias de vida en la región del lago de Pátzcuaro, Michoacán. En: Huerto-Delgadillo, R., Vargas-Velázquez, S. y Ortiz-Paniagua, C.F. (Eds.); *Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos (221-260 pp).
- García, N. (Ed). 2009. *Memoria Ilustrada del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, 2003-2008*. Jiutepec, Morelos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Hernández, G. 2002. *Invasores en Mesoamérica y el Caribe*. Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza. Resultados del Taller Regional sobre Especies Invasoras: ante los retos de su presencia en Mesoamérica y el Caribe San José, Costa Rica, 11 y 12 de junio del 2001. 54p.
- Huerto, R., Alonso, P., Vargas, S., Ortiz, C., Amador, A., Zambrano, L. y Fong, J. 2009. *Manejo integral para el control de malezas acuáticas, especies invasoras y remoción de sedimentos en apoyo a la recuperación de especies emblemáticas y mejora de la calidad del agua del lago, In-*

**Estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies exóticas: propuestas para el manejo de la carpa común *Cyprinus carpio***

- forme Final. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, México. 348 Pp.
- Huerto, R., Alonso, P., Vargas, S., Amador, A., Ortiz, C. y Zambrano, L. 2010. *Manejo integral para el control de malezas acuáticas, especies invasoras y remoción de sedimentos en apoyo a la recuperación de especies emblemáticas y mejora de la calidad del agua del lago, Informe Final*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, México 104 Pp.
- Huerto, R. y S. Vargas. 2011. Conclusiones para una política pública hacia la restauración del ecosistema lacustre. En: Huerto-Delgadillo, R., Vargas-Velázquez, S. y Ortiz-Paniagua, C.F. (Eds.); Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, ISBN: 978-607-7563-39-6, 308 p.
- IMTA, 2004. *Descubre una cuenca: el lago de Pátzcuaro*. 2ª. Ed. Jiutepec, Morelos: IMTA, Fundación Gonzalo Río Arronte. 362 p.
- Lara, A. 1980. *Introducción de nuevas especies al lago de Pátzcuaro y su posible perjuicio a las especies nativas*. 11º Simposio Latinoamericano de Acuicultura. Secretaria de Pesca, México, D.E Vol. 1. 727 p.
- Ling, N. 2009. Management of invasive fish. En: Clout, M. y Williams, P. 2009 (Eds). *Invasive Species Management: A handbook of principles and techniques*. Oxford Press University. 331 Pp.
- Martínez Sifuentes, E. (2002). La veda en el lago de Pátzcuaro: historia sin final de una imposición. INI, SEDESOL, M
- Meijer, M. L, W. de Haan, A. W. Breukelaar y H. Buiteveld, 1990. Is reduction of the benthivorous fish an important cause of high transparency following biomanipulation in shallow lakes? *Hydro-biologia* 200/201: 303-316.
- Orbe-Mendoza, A., J. Acevedo-García y J. Lyons. 2002. Lake Pátzcuaro fishery management plan. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12:207-217.
- Ortiz, C. 2004. *La pesca en el lago de Pátzcuaro, arreglos institucionales y política pesquera: 1990-2004*. Tesis de Maestría. Colegio de la Frontera Norte, México.
- Ortiz, C., C. Hernández y N. Bravo (2011). Alternativas económicas de valor agregado para el aprovechamiento de la extracción de carpa en el lago de Pátzcuaro. En: Huerto-Delgadillo, R., Vargas-Velázquez, S. y Ortiz-Paniagua, C.F. (Eds.); Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, ISBN: 978-607-7563-39-6, 308 p.
- Persson, L. 1991. Behavioral response to predators reverses the outcome of competition between prey species. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 28, 101-105.
- Rodríguez, E. 2003. *Evaluación de las interacciones entre los factores hidrológicos y las actividades domésticas y de urbanización en la cuenca de Pátzcuaro, Michoacán*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Rojas, P. 2006. Aspectos reproductivos del charal prieto *Chirostoma attenuatum* (Meek, 1902) del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. Nuevas líneas de investigación en atherinópsidos de México. *Hidrobiológica* 16 (1): 1-9.
- Rosas, M. 1976. *Datos biológicos de la ictiofauna del Lago de Pátzcuaro, con especial énfasis en la alimentación de sus especies*. Memorias del Simposio sobre Pesquerías en Aguas Continentales, México. p. 299-366.
- Sibbing, F.A. 1991. Food capture and oral processing. Pp. 377-412 en: I.J. Winfield Y J.S. Nelson (eds). *Cyprinid fishes: systematics, biology and exploitation*. Chapman & Hall, London, Reino Unido.
- Solórzano, P. 1961. *Contribución al conocimiento de la biología del charal prieto del Lago de Pátzcuaro, Mich. (Chirostoma bartoni Jordan y Evermann, 1986)*. Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional, México, México.
- Toledo, M.P. 1986. *Consumo de atherinidos por la lo-*

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

- bina negra (Micropterus salmoides) en el Lago de Pátzcuaro, Mich., México.* CRIP-Pátzcuaro, México. 131 p.
- Van Driesche, J. y R. Van Driesche. 2000. *Nature out of place: biological invasions in the global age.* Island press. United States of America. 380p.
- Vargas, S. 2010. *Agua y paisaje cultural en los pueblos p'urhépecha del lago de Pátzcuaro.* Primer Congreso Red de Investigadores Sociales sobre el Agua. 18 y 19 de marzo del 2010.
- Vargas, S. 2011. Los Pescadores del lago; entre el manejo comunitario y el deterioro ambiental. En: Huerto-Delgadillo, R., Vargas-Velázquez, S. y Ortiz-Paniagua, C.F. (Eds.); Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, ISBN: 978-607-7563-39-6, 308 p.
- Wittenberg, R. y M. Cock (eds). 2001. *Invasive Alien Species: A Toolkit of Best Prevention and Management Practices.* CAB International, Wallingford, Oxon, UK.228p.
- Young, T. 2006. *National and regional legislation for promotion and support to the prevention, control and eradication of invasive species.* The International Bank for Reconstruction and Development. U.S.A. 98p.
- Zambrano, L. Perrow M.R., MacíasGarcía C. y Aguirre Hidalgo V. 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., Scheffer, M. y Martínez-Ramos, M. 2001. Catastrophic response of lakes to benthivorous fish introduction. *Oikos*, 94: 344-350.
- Zambrano, L., Martínez-Meyer, E., Manezes, N. y Peterson, T. 2006. Invasive potential of common carp (*Cyprinus carpio*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in American freshwater systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 63: 1903-1910.
- Zambrano, L., Córdova, F., Camargo, T., Bustamante, E. y Bustamante, L. 2010. *Análisis ecológico de la población de carpas (Cyprinus carpio), Lobina (Micropterus salmoides) y Tilapia (Tilapia melanopleura) en el lago de Pátzcuaro, Michoacán.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos.
- Zambrano, L., Cordova, F., Ramírez, J., Mar, S., Bustamante, L., Camargo, T. y Bustamante, E. (2011). Las especies exóticas en el lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. En: Huerto-Delgadillo, R., Vargas-Velázquez, S. y Ortiz-Paniagua, C.F. (Eds.); Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos,.









# Gobernanza ambiental del Lago de Pátzcuaro y la pesca

**Sergio Vargas Velázquez**

Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
kuirunhari@yahoo.com.mx

## Resumen

El lago de Pátzcuaro ha sido objeto de múltiples intervenciones de política pública, las cuales no han logrado los efectos deseados para frenar el deterioro de la cuenca. Esto se refleja en la pobre capacidad gubernamental de regulación de la pesca, la cual es gestionada desde el ámbito local por los propios pescadores, sin que exista realmente una autoridad del lago en conjunto. A pesar de que discursivamente se ha establecido un enfoque de gestión integrada de la cuenca del lago de Pátzcuaro, y además se afirma que también existe la participación social en la gestión del lago y su cuenca, el ejemplo de la pesca es muestra de la inexistencia de la gobernanza ambiental y de la pesca.

## Abstract

Lake Patzcuaro has been the subject of numerous policy interventions, which have not achieved the desired effect of slowing the basin's deterioration. This is reflected in the poor governmental ability to regulate fishing, which is managed at the local level by the traditional fishermen, without there really a lake authority. This leads to the conclusion that although it has been established discursively the integrated management approach of the Lake Patzcuaro watershed, and there is the assertion that social participation prevails in the management of the lake and its basin, the example of fishing is indicative of the lack of environmental and fisheries governance.

Keywords: environmental governance, fishing, policy

### Introducción

En las discusiones sobre el manejo de los recursos naturales se impuso en la última década una terminología para hacer referencia a una serie de nodos problemáticos que ya se reconocían e investigaban tiempo atrás, pero que eran pensados todavía en el contexto de la intervención gubernamental, para pasar ahora a analizarlas en un contexto en el que intervienen múltiples actores en distintas escalas, con diferentes interdependencias. Este ensayo muestra la incorporación de la gobernanza ambiental como uno de los discursos dominantes contemporáneos que puede ser aplicado al caso de la pesca artesanal del lago de Pátzcuaro, pero que, como discurso tiende a reflejar un discurso avalado técnicamente por estos ‘expertos’ y se convierte en un discurso dominante (comunidad epistémica). En la visión de estos sobresale la necesidad de justificar un modelo tecnológico, una forma de economía para enfrentar los problemas globales, así como soluciones que impliquen su misma participación en ella. Ante esto, se encuentra la problemática del manejo de la pesca desde las reglas comunitarias, las cuales es esencial incluir para avanzar en la problemática de gestión con un enfoque ecosistémico del lago y sus recursos. De esta manera se analiza brevemente este concepto y algunos puntos a discusión respecto a temas medioambientales y de la pesca, para pasar después a una aproximación sobre la gestión de la pesca en el lago de Pátzcuaro, considerando esto complementario a lo antes desarrollado en Vargas (2011) sobre el manejo comunitario de la pesca artesanal.

En las últimas tres décadas, la gestión de los recursos naturales en nuestro país transitó de un enfoque basado en la centralidad del gobierno federal, concentrado en garantizar el desarrollo y crecimiento económico sin considerar sus consecuencias ambientales, a otra

perspectiva en la que se incorporan diferentes requerimientos incuestionables para conseguir la conservación de los recursos naturales, pero que aún resultan insuficientes socioambientalmente (Musters, Graaf, Keurs, 1998). Esto significa que aún no se logra regular el fuerte vínculo prevaleciente entre los subsistemas sociales (las conductas humanas, decisiones y políticas) y biofísicos (situación de los ecosistemas) los cuales se influyen mutuamente. Este último enfoque de gestión todavía está en construcción, ya que no se han alcanzado los arreglos institucionales y organizativos que hagan viables las políticas públicas ambientalmente adecuadas, pero también en sentido metodológico e incluso epistemológico (García 1986), aún se requiere romper con el antagonismo intransigente entre el paradigma antropocéntrico y el ecocéntrico (Ventura, Ribas, Saurí, 2002), el cual se expresa en la lucha de actores gubernamentales, grupos de interés económico y político con los grupos sociales, teniendo como producto la incapacidad de llegar a los imprescindibles pactos sociales, en el sentido rousseauiano, de qué acciones públicas emprender y cómo establecer un nuevo marco normativo para su conservación.

Esta reflexión sobre la problemática del lago de Pátzcuaro se inscribe en el proyecto realizado para evaluar la población de especies exóticas, sus efectos sobre la diversidad biológica y consecuencias socioeconómicas y las alternativas económicas compatibles con la economía pesquera. Su objetivo no era analizar las políticas públicas establecidas durante tanto tiempo en el lago, ni tampoco un enfoque interdisciplinario en principio. Sus intenciones eran mucho más concretas y aplicadas, pero el tratar de interpretar los vínculos entre los múltiples procesos sociales con los ambientales para explicar la entrada, expansión y ahora proyectado declive de la población de carpa y de toda la cadena trófica del lago, no era posible explicar sus posibles salidas sin intentar vincular la dinámica socioe-

conómica y cultural de los pescadores con las variaciones determinadas por la dinámica de las poblaciones de carpa y otros peces en el ecosistema lacustre. Los enfoques interdisciplinarios no son nuevos. Existen múltiples intentos desde la teoría de sistemas de intentar vincular factores múltiples con la situación ecológica de paisajes, pero ahora se cuentan muchas otras herramientas más que permiten realmente construirlo, al existir recursos digitales, metodologías y el surgimiento de muchos campos de conocimiento nuevo entre áreas de conocimiento tradicionalmente separados.

La interdisciplina surge como necesaria para la resolución de problemas concretos. Esta no se puede llevar a cabo si no es a través de trabajo grupal, pues se requiere el aporte de personas provenientes de diferentes ciencias —no hay interdisciplina unipersonal—. También tienen que los problemas que surgen para coordinar esas actividades grupales; lo interdisciplinar no es fácil ni brinda resultados inmediatos, pero resulta fundamental para estudiar ecosistemas, en donde las sociedades humanas son parte del sistema natural, fuertemente intervenido.

En el lago de Pátzcuaro nos encontramos con una situación en la que a pesar de los múltiples esfuerzos por establecer acciones para resolver los variados problemas de la cuenca y su lago, aún no se ha logrado construir el indispensable diálogo entre actores clave, en tanto ni siquiera se les reconoce a todas las formas de organización social en torno a los recursos ecosistémicos su derecho a intervenir en las decisiones. Sigue siendo la perspectiva de los actores gubernamentales y grupos de interés en torno al crecimiento económico la que domina las acciones y presupuestos públicos. La principal aseveración de este trabajo es que la gestión por cuenca aplicada en Pátzcuaro aún no logra producir los acuerdos sociales indispensables para estabilizar la economía pesquera extractiva, no es integral ni tampoco implica la gobernanza

ambiental.

La organización de la gestión ambiental de la cuenca del lago opera sobre la base de una variedad de preferencias que son inconsistentes y mal definidas. Aun cuando la gestión de la cuenca se las arregla para producir decisiones, repartir recursos y mostrar resultados, sus propios procesos nos son entendidos por todos sus miembros, incluso aquellos a nivel local y comunitario, como pasa con las organizaciones de pescadores. También el involucramiento de los distintos actores varía de un momento a otro; la audiencia y los que realizan las decisiones para cualquier tipo de elección cambian circunstancialmente. Desde el ámbito gubernamental, incluso entre algunas ONG existen prácticas de simulación. De esta manera es que se dan muchas conductas oportunistas ante la falta de claridad en las reglas del juego, en el reparto de los beneficios como en la aplicación de las sanciones. Este es un problema organizacional común en las entidades gubernamentales y públicas, y es conocido como una anarquía organizada o modelo del *bote de basura* (Cohen, March, Olsen, 2011).

Aún queda mucho por hacer para lograr establecer una definición precisa de los límites al uso y asignación de los recursos naturales para las necesidades humanas y para la conservación de la naturaleza. Lo que sí es posible documentar son los crecientes conflictos socioambientales, el deterioro del ecosistema lacustre y cómo los numerosos esfuerzos para establecer una gestión sustentable se pierden al no lograr implantarse en las dinámicas institucionales y organizativas locales.

## La gobernanza ambiental y de la pesca

La política y las políticas públicas son entidades diferentes, las cuales indudablemente se influyen de manera recíproca. Desde el mundo de la ciencia y formación disciplinaria, se nos muestra la realidad de una cuenca como la de Pátzcuaro dividida temáticamente, pero estas divisiones son sólo de carácter analítico. En realidad, el deterioro ambiental es problema y objeto de investigación interdisciplinaria, ya que requieren de la generación de un nuevo campo de conocimiento en el que confluyan, no sólo se traslapen, distintos conocimientos y metodologías (García 1986). Esto ocurre incluso dentro de las ciencias sociales cuando se analiza el efecto de las políticas públicas sobre grupos sociales, en donde se requiere de la mixtura interdisciplinaria de métodos, incluso epistemologías distintas.

Tanto la política como las políticas públicas tienen que ver con el poder social, pero mientras la política es un concepto amplio, relativo al poder en general, las políticas públicas corresponden a soluciones específicas de cómo manejar los asuntos públicos. Las políticas públicas son un factor común de la política y de las decisiones del gobierno y de la oposición. Así, la política puede ser analizada como la búsqueda de establecer o de bloquear políticas públicas sobre determinados temas, o de influir en ellas. A su vez, parte fundamental del quehacer del gobierno se refiere al diseño, gestión y evaluación de políticas públicas (Medellín, 2006). La gestión de la pesca requiere ser analizada tanto como política pública (acción organizada de actores sociales y gubernamentales con fin específico), como la política (definida como el ejercicio del poder que busca un fin trascendental).

Cuando se habla sobre el manejo del agua, bosque y biodiversidad con sus actores sociales y

gubernamentales, es común escuchar en México la referencia de que la gestión es muy ‘política’, haciéndose hincapié en que existe siempre la intervención de muchos actores en disputa, incluyendo a aquellos que son, más allá de su función técnica respecto al manejo de los recursos naturales, políticos-burócratas de carrera. A este tipo de afirmaciones se les da un sentido negativo que más hace referencia al tipo de retroalimentaciones negativas que no permiten producir un orden o alcanzar un nivel de mayor organización entre ambos.

A pesar de que se reconoce generalmente que existe una importante relación entre la política y las políticas públicas, en muchos estudios se carece de una adecuada interpretación sobre esta relación. No consideran sus referentes principales: el gobierno y el régimen político. Pareciera que las políticas públicas ocurrieran independientemente de la existencia, la naturaleza o la tipología de los gobiernos en que se definen, y de los regímenes en que se producen. Es decir, independientemente de los factores que determinan la dinámica que le confiere sentido y contenido político a las políticas públicas. Pareciera que las políticas públicas se explican por sí mismas, y no por el proceso decisional y las intencionalidades de los actores gubernamentales y sociales que intervienen en su diseño e implementación (Medellín, op. cit.). Consideramos que sin referencia al problema del gobierno y del régimen político, resultan incomprensibles las fuerzas directoras que llevan al éxito o fracaso de las políticas públicas, como ocurre con la política pública de gestión del agua, cuencas y ambiental. Sin presentar los detalles de la explicación aquí, se toma la clasificación de Medellín que ubica al régimen político mexicano como un régimen de *obediencia endeble*, en tanto sus estructuras y prácticas institucionales de poder político y acción estatal están determinadas por la coyuntura que atraviesan los intereses privados en un momento dado; cualquier cambio que se produzca en los intereses, implica un cambio

en las estructuras y prácticas de poder político o altera su adecuado funcionamiento. Otro aspecto considerado en esta tipología es que la institucionalización del orden es incompleta, no cubriendo el Estado a toda la nación. En el caso de la pesca en el lago de Pátzcuaro es evidente que quienes regulan la pesca son los pescadores, con prácticamente nula intervención gubernamental, más aún a partir del conflicto de 2000, debido al decomiso de chinchorros, cuando la actuación de la Profepa en contra de las artes de pesca prohibidas llevó a una confrontación y crisis en la relación entre uniones de pescadores y autoridades.

La importancia del régimen político radica en que es el ordenamiento que define las instancias, grados y escalas en que se produce y estructura el ejercicio del gobierno y con él la estructuración de las políticas públicas. El régimen establece los distintos niveles de decisión, organización y operación estatal, al momento en que se especifica la indicación de jerarquías, los principios organizacionales y las relaciones de poder que rigen la acción del aparato estatal (Medellín, 2006). El régimen político mexicano inicia una profunda transformación desde la década de 1970, la cual, con el fin de acotarla temporalmente, se cristaliza en el fin de los gobierno del Partido Revolucionario Institucional, PRI, en 2000, posteriormente se inicia un período bajo el Partido de Acción Nacional, PAN, de carácter conservador, que antes de transformar optó por continuar las políticas públicas diseñadas con anterioridad, utilizando con los mismos recursos 'políticos'. Pero el contexto socioeconómico es otro, así como la transformación y densificación de los actores sociales (distintas formas de acción colectiva).

Durante toda la década de 1990 se hablaría de la 'transición a la democracia' de la cual la mayoría de los académicos estarían de acuerdo en que es una transición política, pero muchos menos en que es hacia la democracia. La rela-

ción que tiene esto con la gestión ambiental y del agua generalmente no es inmediatamente visible para los mismos actores del proceso: la burocracia y los grupos sociales organizados por los recursos naturales. Pero si se analizan los modos de enfrentar los problemas y conflictos es posible caracterizar la cara del régimen respecto a su capacidad de regulación del acceso y uso de los recursos.

El concepto de transición, empleado para analizar los procesos políticos, es definido fundamentalmente como cambio de régimen de manera pacífica, que contrasta con el término de revolución. El régimen político se define como el conjunto de reglas e organismos que regulan el poder político, definido este último como el ejercicio de la capacidad de que tienen algunas personas o grupos de hacer que otras personas o grupos realicen lo que los primeros desean; y esto puede ser de manera legítima o consensuada, o bien enteramente por medios coercitivos. La transición del régimen político mexicano si es una transición hacia la democracia, al menos en sus intenciones, ya que en la amplia literatura al respecto, e incluso de manera comparativa, se muestra cómo la descentralización y desconcentración del poder de decisión sobre las políticas públicas que ha transformado la manera en que se relacionan, en nuestro caso, los ciudadanos y grupos sociales organizados en torno a los recursos naturales con los organismos gubernamentales. Pero esta transición tiene sus dificultades (Schettino, 2002), y así como a nivel del conjunto existen actores sociales o gubernamentales que presionan para tener mayor influencia en las decisiones que les afectan, así también en el sector hídrico y ambiental. Esta transición ha sido estudiada como el paso de la gobernabilidad a la gobernanza, lo que implica también el paso de modelos de gestión basados en un ente central que ejerce la dirección de todo el proceso a otro en el que el conjunto de entidades gubernamentales, grupos sociales o personas actúan en una red en la que se gene-

ran contrapesos, sin que ninguna funcione centralizando funciones y decisiones.

En las ciencias sociales, particularmente en varios estudios de la década de 1960 en los que se buscaban identificar los patrones de modernización política asociados a la modernización económica (Apter 1972; Crozier et al., 1975), se empezó a utilizar el término gobernabilidad o también en su sentido negativo, como ingobernabilidad (Huntington 1972), para hacer referencia a la existencia de un Estado (entendido como orden político) que era capaz o no de generar estabilidad y producir acciones a través de su órgano ejecutor que es el gobierno y vencer la resistencia o incorporar políticamente a los grupos sociales en los márgenes de los estados nacionales. El significado asignado a gobernabilidad fue entonces la capacidad de las entidades gubernamentales, o del Estado, de ejercer dirección política todo un sistema social, como un país o una organización.

Las transformaciones políticas posteriores a la crisis del estado de bienestar en los países centrales, ocurridas en la década de 1970-1980, llevaron a la implementación de cambios fundamentales orientados a la desregulación de la economía. El orden político se retiraba y dejaba a los mecanismos de mercado un conjunto de relaciones para su regulación.

En la década de los años noventa, el Banco Mundial (BM) y el Fondo Monetario Internacional (FMI), lograron ocupar un nivel de intervención considerable en los países bajo el sistema de apoyo financiero. La influencia de éstas últimas llegó a la cúspide con las reformas neoliberales, la desregulación y la apertura del mercado impulsadas por los gobiernos de turno. En este contexto, se editó una vasta literatura sobre indicadores de *governance* (gobernanza) y a la par se acuñó la idea de una buena gobernanza (*good governance*), imponiendo una lógica prescriptiva a la administración pública (Fontaine y Velasco, 2011).

En la traducción al español del término inglés de *governance* existen numerosas confusiones, al no existir un consenso sobre cuál es el término equivalente y que se encuentre en uso. Cabe señalar que el empleo del término gobernabilidad (*governability*) es anterior al de *governance*, y tiene un significado distinto en la teoría política y social, particularmente en aquellos enfoques relacionados con las teorías del desarrollo económico y político de la década de 1960. El concepto de gobernabilidad se ha tratado de limitar a su acepción política, en las que el enfoque central tenía que ver con la estabilidad de los sistemas políticos durante los procesos de desarrollo económico, como por ejemplo es utilizado por Huntington (1972) para señalar la capacidad de un sistema político de generar orden, lo cual no necesariamente implica la existencia de los arreglos institucionales asociados a las formas de gobierno democráticas.

Con el concepto de *governance* se ha buscado representar una conceptualización distinta de los varios aspectos que implica la existencia de formas de regulación pública en la literatura sobre políticas públicas y formas de gobierno. Sin embargo, la traducción del término inglés *governance* al español tendió a ser el de gobernabilidad y no de gobernanza hasta hace pocos años, ya que estos últimos términos se encontraban ya en desuso en español, lo cual ha llevado a numerosas confusiones (Solà, 2000) que a pesar de los años continúan en las traducciones, y aún más en el ámbito latinoamericano, y por el uso indiscriminado que se hace de gobernanza como sinónimo de gobernabilidad. En los temas ambientales esta falta de consenso en cuanto a cuál término en español reflejaba mejor el concepto de *governance*, se generalizó con varias traducciones oficiales, como por ejemplo, en la documentación oficial en español relacionada con la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro (1992), en la cual se tradujo este término de varias maneras, como gobierno, administración, régimen de administración, autoridad, reglamentación (Solà, op. cit.).

Gobernanza es un concepto como los de 'democracia' y 'justicia', significa muchas cosas a la vez, dependiendo del referente teórico desde el que se hable. Pero con el fin de marcar la diferencia entre *governability/governance*, los cuales son términos esencialmente distintos, ahora se insiste en la literatura más reciente en la necesidad de diferenciarlos. Aguilar, 2006, expone varias razones del orden conceptual por las cuales es importante mantener esta diferenciación, como ya ha ocurrido entre los términos de 'gestión', 'administración' y 'manejo' en la traducción de la palabra inglesa de 'management', particularmente en la literatura sobre política ambiental y sobre agua.

De esta manera, la gobernanza debe entenderse como un concepto aplicable a situaciones sociopolíticas donde ya ha ocurrido una transición fundamental en el orden político, en el cual existen múltiples actores capaces de participar en un proceso como contrapesos cruzados entre actores sociales y actores gubernamentales; y esto supone las lógicas del mercado.

Este nuevo enfoque de gestión descentralizada del agua y del medio ambiente ha sido fuertemente cuestionado por diversas razones. Una de las numerosas críticas que se le han hecho al concepto de gobernanza de las agencias internacionales como el Banco Mundial al contexto de los países en desarrollo, es la misma conveniencia de utilizar un concepto en contextos en donde no existen las condiciones de desarrollo político, económico y social comparables a los de las democracias occidentales, o también de convertir a los arreglos institucionales de las democracias europeas y norteamericana como el patrón de medida del desarrollo para países con historias, tradiciones y culturas tan distintas (Moreau, 2003, y IV Foro Mundial del Agua, 2006).

La gobernanza ambiental está relacionada con la protección de las áreas protegidas, la conser-

vación de los recursos naturales e inclusive puede incluirse en el debate socioambiental y político sobre el cambio climático. En el espacio de la gobernanza, los procesos de concertación y la institucionalización de arreglos dan paso a las políticas públicas como respuesta a las demandas e inquietudes de variados actores sociales. La gobernanza ambiental ha cobrado un importante interés en la literatura de las ONG y los organismos internacionales preocupados por la complejidad de la relación entre la humanidad y el medio ambiente (Bridge y Perreault, 2008). Actualmente es posible encontrar multiplicidad de planteamientos existentes alrededor de este término, pero apuntan que "el concepto de gobernanza debe ser asumido como un instrumento analítico para comprender cómo funciona un sistema social y político reflexivo". Así también, presentan el aporte del concepto gobernanza a la discusión sobre la influencia de la globalización y en la redefinición del rol del Estado. Para estos autores, la gobernanza connota un sentido de dirección, de capacidad de acción del Gobierno, con referencia a los modelos de gestión y funcional a la dinámica del sistema capitalista imperante en el mundo actual, pero sin desconocer otros sistemas políticos que contienen su propia forma de gobernanza.

Los procesos de descentralización de la gestión gubernamental y el desarrollo de políticas públicas ambientales han buscado la participación pública, generalmente limitada a cumplir funciones consultivas, así como también la promoción de mecanismos de mercado y la incorporación del capital privado y organizaciones sociales. En muchos casos, como el de la regulación de la pesca en el lago, las organizaciones gubernamentales nunca fueron capaces de actuar localmente y lo que trataron de hacer fue transferir o simplemente atribuyendo funciones o responsabilidades a los grupos sociales o a los individuos que le correspondían, o deberían corresponder, al Estado. De esta manera se transitaron las reformas neoliberales de la economía,

hacia formas de operación que pretenden integrarse al mercado ambiental global. Cuando se observa la escala regional y local es posible identificar el espacio concreto en el cual interactúan los actores sociales, los desfases y retrasos, la descoordinación y la incapacidad del arreglo institucional de regular apropiadamente, con resultados muy contrastantes.

Con respecto a la pesca del lago de Pátzcuaro de qué podemos hablar: ¿gobernanza o gobernabilidad? Es claro que no existe la gobernanza ambiental y de la pesca en el lago de Pátzcuaro, en donde son los marcos normativos de los pescadores tradicionales, enfrentados a veces con quienes realizaron una pesca más comercial. Estos marcos normativos locales no fueron capaces de regular la pesca a escala del lago entre las décadas de 1970 y 1990, cuando la demanda de pescado blanco hizo crecer el número de pescadores y el volumen de extracción. Pero tampoco existe actualmente una entidad gubernamental que ejerza la gobernabilidad de la pesca, la cual sea capaz de ejercer dirección sobre cuantos permisos, qué volumen de extracción, cuáles artes de pesca se pueden o no utilizar.

### **La gestión de la pesca en el lago de Pátzcuaro**

En la cuenca del lago de Pátzcuaro se iniciaron desde hace más de cuatro décadas varias experiencias significativas para la gestión de cuencas y la implementación de políticas públicas para frenar el deterioro ambiental (Garibay 1992: 273-296), en las cuales se han ejecutado diversas acciones gubernamentales y de organizaciones no gubernamentales para frenar el deterioro del lago y sus recursos, con mayor o menor consenso de los usuarios de esos recursos.

La cuenca viene siendo escenario, desde hace más de medio siglo, de múltiples acciones orientadas a propiciar su desarrollo. En ese sentido,

en 1936 se realizó la primera iniciativa de rehabilitación y conservación de recursos naturales, por parte de la Presidencia de la República y a partir de ello, una serie de instituciones, entre ellas el Ejército Mexicano, UNAM, Escuela Nacional de Antropología, UNESCO, SEP, SARH, Secretaría de Marina, Escuela de Posgraduados de Chapingo, Dirección General de Culturas Populares, Gobierno del Estado, Fundación Mexicana para el Desarrollo Rural, Centro de Estudios Sociales y Ecológicos, Organización Ribereña contra la Contaminación del Lago, Instituto Nacional Indigenista, Ayuntamientos locales, etc., tuvieron incidencia, en distintos niveles, en el rescate ambiental de la zona, impulsando desde acciones muy puntuales de erradicación de malezas acuáticas o siembra de carpas de Israel en el lago, hasta proyectos con una perspectiva más amplia, de desarrollo rural regional sustentable. Actualmente se identifican 29 organizaciones e instituciones, excluyendo las organizaciones sociales y comunitarias, de las cuales 10 son instituciones del gobierno federal, 9 pertenecen al gobierno del estado de Michoacán, 5 son instituciones educativas locales y nacionales, 3 son organizaciones no gubernamentales y 2 son internacionales (IMTA, 2012: 338).

A partir de los años ochenta es cuando se intensifican las estrategias de recuperación ambiental de la cuenca, en virtud del incremento del deterioro de los recursos naturales y de la presión de habitantes locales para que se diera una solución a su problemática. En virtud de ello, desde la academia, de organismos gubernamentales y no gubernamentales y de organizaciones sociales se vienen emprendiendo acciones más sistemáticas en los ámbitos de la producción pesquera, forestal, artesanal, agropecuaria, así como hacia el desarrollo urbano, turístico, educativo, entre otros.

En la década de 1990 cambia la orientación de los primeros esfuerzos y se empieza a perfilar un modelo de gestión ambiental descentraliza-



## Gobernanza ambiental del lago de Pátzcuaro y la pesca

da, con múltiples actores, al modo de la gobernanza ambiental. Si bien antes la centralidad estatal no permitía actuar, además que no existían las instancias organizativas, o no tenían la orientación hacia el trabajo aplicado en comunidades. La manera de conceptualizar esta nueva forma en la que se pretende regular o realizar la gestión ambiental, y que en el plano regional de la cuenca del lago de Pátzcuaro ya ha sido puesta en marcha, es la idea de la autorregulación cruzada entre distintos actores sociales y gubernamentales. Al descentralizar el gobierno federal funciones que en muchos casos se adjudicó pero nunca pudo ejercer a plenitud, le entrega a niveles de gobierno y a grupos de interés organizados cierto poder de decisión. Supone este modelo descentralizado la posibilidad de mecanismos de autocontrol y de coordinación, lo cual no ha resultado cierto en este caso.

El Lago de Pátzcuaro ha sido objeto de una larga lista de intervenciones que han incluido y afectado al sector pesquero. La historia de programas se remonta a 1929 cuando fue introducida la lobina negra (conocida localmente como “trucha”) como parte de una política que buscaba incrementar la producción pesquera (Ibañez y García, 2006). Según el análisis de Ortiz (2004), hasta años recientes, la visión que permeaba

los programas dirigidos al sector pesquero era meramente extractiva; no fue hasta la década de los 90 cuando la visión de sustentabilidad y conservación de los recursos naturales permea la política pesquera. Esto último se reflejó, por ejemplo, en la instauración de la veda temporal en 1991 por parte de las entonces SEDUE y SEPESCA, la cual no se trató de implementar hasta 1998 (Martínez Sifuentes, 2002).

En la lista de los programas más importantes que han afectado la pesca en el Lago de Pátzcuaro se puede observar que las intervenciones se pueden resumir en: dragado; investigación; introducción de especies exóticas de peces; reproducción y siembra de crías de peces nativos; promoción de acuicultura de especies nativas y no nativas; dotación de artes de pesca y embarcaciones; apoyo a infraestructura de acopio, comercial y de transformación; y regulación oficial (veda, ordenamiento pesquero, plan de manejo y propuesta de NOM)(Tabla 1). En 2006, el CRIP registró centros acuícolas instalados en 12 comunidades de la rivera: Urandén, San Jerónimo, Santa Fe, Quiroga, Uricho, Colonia Revolución, Isla Pacanda, Chapultepec, Santiago Tzipijo, Tziranga, Ucasanastacua e Ichupio, los mismos que funcionaban bajo la dirección y asesoría de COMPESCA, CRIP-Pátzcuaro e INIRENA (Alaye, 2006).

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Tabla 1. Programas más importantes para el sector pesquero del Lago de Pátzcuaro.

Año	Institución	Programa
1929	Secretaría de Marina	Introducción de la lobina negra
1938	Estación Limnológica, Departamento Forestal, Pesca y Caza	Estudios sobre ecología
1962	Secretaría de Marina, Fideicomiso para el Desarrollo de la Fauna Acuática	Siembra de carpa de Israel
1968	Departamento de Pesca	Incremento de peces
1968	Dirección de Dragado de la Secretaría de Marina	Plan global de dragado
1970s	Secretaría de Marina	Introducción de <i>Tilapia melanopleura</i>
1981	Comité de Defensa Ecológica de Michoacán (CODEMICH)	Defensa ecológica contra la instalación de un reactor nuclear en el lago
1982	Delegación Federal de Pesca en el Estado, Secretaria de Fomento Rural del Estado	Conocer el perfil del lago
1983	Organización Ribereña contra la Contaminación del Lago (ORCA)	Restauración ecológica y protección ambiental
1983	Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología	Plan de ordenamiento ecológico para la cuenca lacustre
1983	SARH, CRAC, CREFAL, INI, Pronagra, Conafrut, Subdelegación de Ecología, Sría. Reforma Agraria, Fomento Rural, Banrural, Dir. de Planeación y Programación	Optimizar los esfuerzos coordinados para controlar la degradación y restauración del equilibrio ecológico
1985	Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP)	Creación del CRIP en Pátzcuaro
1987	Comité para el Desarrollo Integral de las cuencas de Pátzcuaro y Zirahuén (CODI-LAPA)	Dragado del lago
1989	Pescadores y gobierno	Convenio de erradicación del chinchorro
1991	Secretaria de Pesca (SEPESCA), Secretaria de Desarrollo Urbano (SEDUE)	Inician la instauración de vedas temporales en el lago
1992	SEPESCA, SEDUE	Prohibición legal del uso de redes de arrastre
1993	Comité de Planeación y Desarrollo del Estado de Michoacán	Comité de Solidaridad Pátzcuaro-Zirahuén para la Recuperación Ambiental
1995	INIRENA	Comienza investigación teórica y aplicada para promover la acuicultura en la zona
1996	Multidisciplinario e Interinstitucional: Semarnap, CREFAL, SEDUE, CRIP, UMSNH, CESE, ONG's	Proyecto Pátzcuaro 2000 derivado del Plan Pátzcuaro 2000: Restauración ambiental
1998	Semarnap y Compesca	Siembra de crías de peces
1998	Semarnap, Compesca	Implementación de la veda temporal y programa de empleo temporal

## Gobernanza ambiental del lago de Pátzcuaro y la pesca

Tabla 1. Programas más importantes para el sector pesquero del Lago de Pátzcuaro.

Año	Institución	Programa
1999	Semarnap, Compesca y FIRCO	Implementación de la veda temporal y programa de empleo temporal
2000	Semarnat, Profepa	Veda temporal
2000s	INIRENA, Compesca, INI (ahora CDI), CRIP y otras	Promoción y financiamiento de proyectos acuícolas dentro y fuera del vaso lacustre, de especies nativas y no nativas
1990s y 2000s	Compesca, INI (CDI), Sepesca, Semarnap, Sagarpa, Ayuntamientos, Suplader	Dotación de artes de pesca y embarcaciones
2001	COMPESCA, CRIP, INIRENA	Comienza siembra de crías de pescado blanco y acúmara (Programa de Repoblamiento de Especies Nativas)
2002	UMSNH, SAGARPA, CONAPESCA, Gobierno del Estado de Michoacán	Plan de Manejo para el Lago de Pátzcuaro
2002	COEECO	Ordenamiento pesquero
2003	Semarnat, SUMA, IMTA, Fundación Río Arronte	Programa para la Restauración Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro
2003	Comisión de Pesca del Gobierno del Estado de Michoacán	Programas de Repoblamiento de Especies Nativas en el LP
2003	SUPLADER	Suplader 03 Pátzcuaro-Zirahuén: Recuperación ambiental y desarrollo
2004	IMTA y UMSNH	Diseño de Programa interinstitucional Plan Estratégico de Acciones para la Recuperación del Lago de Pátzcuaro. Recurso Agua (PEARLP)

Fuente: Elaboración propia con información de Ortiz, 2004; Martínez Sifuentes, 2002; Garibay, 1992; INIRENA, 2000; COEECO, 2002; Alaye, 2006; Orbe-Mendoza, 2002; Ibáñez y García, 2006; Castilleja, 2004; Rojas, P., 1993; y entrevistas con pescadores y líderes de las uniones locales.

Las formas en que se han llevado a cabo estos programas han sido cuestionadas y criticadas por académicos (Ortiz, 2004; Castilleja, 2004; Garibay, 1992), organizaciones civiles (Esteva, 1997) y por los mismos pescadores. Las críticas señalan una falta de congruencia y coordinación entre las diferentes dependencias que en ocasiones ha llevado a que se apliquen al mismo tiempo programas que promueven visiones y objetivos opuestos (Garibay, 1993; Castilleja, 2004). En años recientes se han realizado esfuerzos de coordinación importantes, como es el caso del Progra-

ma para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro y el Consejo de Cuenca del Lago de Pátzcuaro y Zirahuén, que han llevado a algunas acciones destacables, pero que son poco percibidas y apreciadas por la población. Asimismo, se han instrumentado programas en base a diagnósticos y fuentes de informaciones pobres o ficticias, “que se colapsan frente a una realidad compleja y en ocasiones actúan de manera contraproducente” (Ortiz, 2004; Garibay, op. cit.). Por mucho tiempo se implementaron programas en ausencia de un plan de manejo integral y con visión a largo plazo (Ortiz, op. cit.; Garibay, op. cit.; Esteva, op. cit.). Por otra parte, se han realizado numerosos trabajos de investigación y

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

diagnóstico que nunca rindieron fruto, así como un ordenamiento pesquero y un plan de manejo que no han sido aplicados (Ortiz, op. cit.).

Al respecto de los estudios de los que han sido *objeto* los usuarios, en las reuniones informativas, los pescadores afirmaron estar en desacuerdo con los términos y metodologías en los que estas investigaciones se llevan a cabo. En su opinión, los estudios consumen cuantiosos recursos que no se materializan en acciones que los beneficien a ellos o al lago; reportan información ficticia y sin el consentimiento de los usuarios; se legitiman con la participación de poca gente o personas que no los representan; realizan cálculos inadecuados que no consideran la compleja socio-economía y cultura pesquera de la región; omiten sus demandas y opiniones; la mayoría de las veces los investigadores no regresan para devolverles la información que recabaron y en la ocasión que esto se haga, no se les toma en cuenta para modificar aquello que se reporta con inexactitud; y finalmente, no se les informa de manera clara y honesta de las intenciones de los estudios ni el impacto que éstos tendrán sobre el futuro de su actividad. Todo esto contribuye a que muchos de los miembros del gremio se muestren renuentes a compartir información con cualquier agente externo. Incluso, cuando se trata de hacer participativa su opinión, reconocen que no existe una representación legítima de todos los pescadores ante ninguna instancia gubernamental. En todo caso se observa todavía la tensión entre uniones de agalleros y de chinchorreros, que no olvidan los hechos de violencia física que llegó existir entre ellos, a fines de la década de 1980 y principios de 1990, cuando llegó a un punto máximo las tensiones entre uniones de pescadores regidos por el marco institucional comunitarios, con aquellos pescadores fundamentados en la racionalidad de producción comercial. La actual representación está en alguien que no identifican plenamente como pescador, en una localidad tradicionalmente de chinchorreros, y de la

menor identidad p'urhépecha de la ribera. En la consulta sobre el ordenamiento pesquero intervinieron COEECO, a través de estas vías, lo cual fue visto como nada representativo del sentir de las uniones de pescadores.

Es evidente que la larga serie de intervenciones ha dejado como saldo un desgaste social muy importante y una desconfianza arraigada entre muchos miembros del sector pesquero no solo hacia los estudios, sino hacia todo tipo de programas e intervenciones de gobierno e incluso de instituciones académicas. Ello se fundamenta en gran medida en los magros, nulos e incluso contraproducentes resultados que han generado años de inversiones encaminadas a detener o revertir el deterioro del lago e impulsar el desarrollo socioeconómico (entrevistas; Castilleja, 2004; Garibay, 1993). Algunas de estas intervenciones han sido cuestionadas en cuanto la asignación y manejo de recursos, generando conflictos al interior del gremio y de las mismas uniones (entrevistas). Además, la diversidad de instituciones que tienen incidencia en el manejo del lago y el recurso pesquero y los programas y regulaciones que éstas generan, dibujan un panorama complejo y confuso para los usuarios (entrevistas; Castilleja, op. cit.). Algunas intervenciones han fomentado la creación de relaciones clientelares y de dependencia entre el sector y las dependencias públicas.

En entrevista, pescadores y líderes de organizaciones pesqueras también coincidieron en considerar que las intervenciones en el Lago de Pátzcuaro en general y en el sector pesquero en particular, persiguen fines políticos y económicos más que ambientales, toda vez que perciben que los cuantiosos recursos asignados para este rubro se han capitalizado en las manos de funcionarios de gobierno, organizaciones no gubernamentales, académicos y líderes políticos con programas que han demostrado poca efectividad. Tal es la crítica, por ejemplo, hacia los programas de empleo temporal, los estudios de

## Gobernanza ambiental del lago de Pátzcuaro y la pesca

biología pesquera y los proyectos de acuacultura y cría de peces nativos. La impresión de estos pescadores es que el sector es utilizado para justificar acciones como éstas que en poco ayudan a revertir o detener el deterioro del lago y que no obstante demandan cuantiosos recursos que tampoco han logrado potenciar el desarrollo económico de las familias de pescadores (entrevistas). Este no es un fenómeno reciente, ya que en la literatura se documenta una continuidad discursiva respecto al deterioro de la pesca en más de cincuenta años (Solórzano, 1955; Salinas de Gortari, 1987).

Un análisis interesante acerca de las fallas de la política pesquera es presentado por Ortiz (2004). De acuerdo con este autor, las formas de planificar y llevar a cabo la política pública que amenazan la administración de las pesquerías (y que por tanto deberían evitarse en la formulación de un plan de extracción para la carpa) son:

- (1) *Pensar según esquemas predefinidos que no se adaptan a las condiciones actuales locales* (programas federales instrumentados de forma vertical);
- (2) *Confianza excesiva en reglas simples de votación como mecanismo primario de decisión para las opciones colectivas en vez de negociar y dialogar consensos* (la instrumentación de las vedas de 1998 y 1999);
- (3) *Cambios tecnológicos rápidos* (sistemas de acuacultura rural);
- (4) *Intervenciones que afectan de forma negativa la transmisión de una generación a otra de los principios operacionales sobre los cuales se basa el sistema comunitario de administración y gestión* (programas y proyectos que ignoran y desplazan el conocimiento tradicional, los valores comunitarios y las autoridades comunitarias, afectando la identidad y rompiendo la reproducción del sistema socioeconómico local);
- (5) *Dependencia exagerada de la ayuda externa y cooperación internacional que no toma en*

*cuenta las instituciones y los conocimientos locales autóctonos* (existe una fuerte dependencia en los programas de apoyo de gobierno en los que aparecen oportunistas ajenos a la comunidad; los proyectos se adaptan buscando la aprobación de la fuente de financiamiento y no las necesidades reales de la población);

- (6) *Corrupción y otras formas de comportamiento oportunista* (como se sospecha que existe en torno al manejo de los apoyos, lo cual ha suscitado desconfianza y conflictos).

A esta lista, Aída Castilleja añade que “en el diseño de las políticas públicas y en su aplicación prevalecen visiones de homogeneidad de los ámbitos naturales y sociales a los que estas se dirigen, así como en términos de los mecanismos que se definen para su operación”. Se refiere, por ejemplo, a los programas de gobierno que asumen que es posible aplicar de forma efectiva la misma fórmula de política pública para impulsar el desarrollo o el manejo sostenible de los recursos naturales en localidades que viven situaciones sociales y ecológicas diversas. Ante esto, la autora defiende los procesos de auto-diagnóstico y planeación comunitaria que retoman propuestas específicas generadas localmente para definir una propuesta regional (en lugar de lo opuesto que ha sido el esquema más común hasta ahora), tal como lo realizó Servicios Alternativos para la Educación y el Desarrollo (SAED, A.C.) con apoyo de dependencias del gobierno estatal en 2003.

Fuera de esfuerzos como éste, en los programas para la cuenca prevalece una “visión mecánica” y vertical en donde la planeación y diseño de los objetivos y las formas de organización y trabajo que se generan a nivel estatal y federal “bajan” para ser aplicados a las comunidades locales, mismas que deben ajustarse a los lineamientos establecidos por instancias de gobierno de otro nivel (Castilleja, 2004). De modo que las decisiones que definen la acción pública se toman

demasiado lejos del lugar donde se originan y viven los problemas que intentan solucionar (Garibay, 1993). En la práctica, la operación de estos programas propicia la formación de grupos de interés y debilita las instancias locales de decisión, lo cual obstaculiza la continuidad y la eficiencia de las acciones y termina debilitando el tejido social de las comunidades (Castilleja, op. cit.; Esteva, 1997; Garibay, op. cit.). Uno de los impactos sociales negativos generado por los programas de gobierno ha sido la disminución de la disposición de los habitantes para realizar algunos trabajos no remunerados de beneficio comunal, conocidos como “faenas”, esto debido a programas que ofrecían pagar por estos servicios (reforestación).

En el caso de la política pesquera en el Lago de Pátzcuaro, también resulta pertinente la crítica de Martínez Sifuentes (2002), quien señala que las políticas que afectan a la población indígena con frecuencia excluyen a la población de la toma de decisiones sobre el diseño, instrumentación, control y evaluación de los programas que los involucran y las políticas que los afectan (el autor se refiere específicamente a la veda implementada de 1998 a 2000). Explica que:

“los pueblos indígenas del país están sujetos a la discrecionalidad de las instituciones, al humor y la buena voluntad del gobernante en turno, a modelos de relación tradicional entre el Estado y los pueblos indígenas en donde estos son tratados como menores de edad y las instancias de gobierno toman actitudes de asistencialismo y paternalismo, cuando no de franca omisión y hasta discriminación” (Martínez Sifuentes, 2002).

En el prefacio de las recomendaciones del Consejo Estatal de Ecología de Michoacán, COEECO, de 2002 –responsable de llevar a cabo el proceso de consulta a las uniones de pescadores respecto al ordenamiento pesquero- para el ordenamiento pesquero del Lago de Pátzcuaro, este

organismo reconoció que “los problemas pesqueros se han abordado de una manera parcial, con una visión solamente técnica y legal, sin tomar en cuenta los aspectos socioeconómicos y la participación activa de la ciudadanía que es fundamental para la solución de los mismos”. Ante esto, el COEECO propuso al Gobierno del Estado, abrir espacios de debate y consenso para la política pesquera (COEECO, 2002). Sin embargo, en la actualidad, no se han concretado espacios o instancias efectivas que permitan a las uniones o sus representantes decidir o incidir directamente en la política pública que tanto los afecta. Tal es el reclamo recurrente y muy sentido, por poner un ejemplo, de la forma en que opera el dragado. Según lo manifiestan pescadores de diversas comunidades, el dragado no respeta zonas ni temporadas de reproducción y desove de los peces, enturbia el agua y destruye la vegetación nativa sin remover el lirio de forma eficaz. Todo esto se realiza sin consultarlos, transgrediendo lo que ellos perciben como territorios lacustres de propiedad comunal (entrevistas). Para Garibay (1993), una posible solución a este tipo de problemas es precisamente “transmitir las tomas de decisión sobre el manejo de la cuenca del Lago de Pátzcuaro a las instancias locales”. Sin embargo, este escenario parece aún menos probable.

Haciendo el análisis de la política pesquera hasta 1993, Garibay ya había advertido de un error al intentar resolver los problemas ambientales de la cuenca “desde un punto de vista meramente técnico, nunca como problemas de una organización social actuante dentro de un espacio territorial determinado”. En este sentido cabe la advertencia de que el problema del manejo de la pesca y de la extracción de la carpa debe analizarse y buscar soluciones técnicas pero sobretodo sociales, dirigidas a la inclusión de los pescadores y comerciantes en la toma de decisiones y la implementación de las regulaciones y acciones adecuadas para atender estas problemáticas. Garibay también observó la falta

## Gobernanza ambiental del lago de Pátzcuaro y la pesca

de sistematización de las numerosas experiencias de programas ambientales, lo que ha significado “una continua y recurrente pérdida de memoria de lo hecho y lo que falta por hacer”. Además, este autor reconoce que resulta problemático desarrollar programas desde un enfoque con metas rígidas sin tomar en cuenta la calidad y pertinencia de las acciones y la forma en que se llevan a cabo.

Existe una gran cantidad de proyectos impulsados desde distintas instancias en la cuenca, pero su visión fragmentada y sesgada hacia un determinado aspecto de la problemática socioambiental ha conducido a resultados también parciales, predominando soluciones técnicas en detrimento del análisis detallado de la organización social como origen de gran parte de los problemas. En virtud de ello, hasta el momento no se ha logrado generar acciones capaces de detener o revertir las tendencias de deterioro y pérdida de los recursos naturales de la cuenca.

Asimismo la falta de coordinación entre todas las instancias que promueven el desarrollo sustentable en la cuenca no ha permitido una capitalización de sus acciones, llegando a ocurrir una severa contradicción entre los postulados de cada una, de tal manera que no llega a consolidarse una propuesta coherente de manejo ambiental para los campesinos, quienes optan por desacreditar a los promotores del desarrollo. A manera de hipótesis, el *Programa para la recuperación ambiental de la cuenca del Lago de Pátzcuaro, desarrollado con apoyo de la Fundación Gonzalo Río Arronte-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, desarrolló múltiples actividades en toda el área de la cuenca, pero el impacto sobre el arreglo institucional no ha demostrado ser tan sustantivo como para redirigir el proceso de interacción entre actores gubernamentales y los grupos de interés en torno a la conservación de la cuenca y su lago. Esto solo será observable en un mediano plazo, si ninguna organización gubernamental retoma el liderazgo y el esfuerzo para realizar ac-*

*ciones que transformen el entorno institucional respecto al lago desde un enfoque ecosistémico.*

De acuerdo con el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), para caracterizar las complejas relaciones entre ecosistemas y sociedad, se requiere de una perspectiva que integre las dimensiones sociales relevantes con las ecológicas, de acuerdo con áreas geográficas definidas por límites ecológicos, lo cual constituye la base del enfoque ecosistémico (Shephard 2004). Desde la perspectiva social, el deterioro ambiental es un fenómeno construido, en el sentido que es una mezcla de elementos heterogéneos en interacción convertidos en hechos sociales, de acuerdo a cada sociedad particular. Estas sociedades le dan significado y determinan los parámetros normativos sobre cuales niveles de equilibrio/desequilibrio ambiental son aceptables (Lezama 2004).

Caracterizar el deterioro ambiental requiere de la vinculación entre procesos biofísicos y sociales que transcurren a escalas muy distintas. Estos procesos son conformados en unidades de análisis indivisibles que funcionan como una totalidad, convirtiéndose entonces en fenómenos complejos (García 1986) cuyo estudio no puede abordarse a partir de la simple adición de las disciplinas propias de cada uno de los elementos (Castañares 2009: 13-24). Es necesario lograr una verdadera articulación, lo cual resulta aún más complicado cuando se pretende tener como resultado una política pública, entendiendo por esta a la confluencia de la acción gubernamental con la acción de los grupos sociales implicados, con el fin de producir resultados de beneficio general (Cabrero-Mendoza 2005).

Durante décadas, el régimen político en México ha sido caracterizado como autoritario y fuertemente centralizado a nivel federal, pero en realidad como muestra la literatura, dicha centralización creó un orden jurídico que tenía que ser negociado con los grupos de poder local para

ser implementado. La legitimidad del derecho de uso de recursos naturales como la pesca se basa a menudo en decisiones y actos jurídicos del gobierno central que entrega concesiones o permisos, tiene su base también en las prácticas sociales de las comunidades usuarias de los recursos. Esto permitió la permanencia del pluralismo jurídico en la pesca (Boelens, Zwartveen, Roth 2005), desconocido o despreciado por quienes representan la autoridad federal. En Vargas (2011) se analizan algunas características de este modelo de gestión local de la pesca, el cual presenta serias debilidades como manejo de recurso de uso común (Álvarez-Icaza, 2006), en tanto no fue capaz de regular a nivel de todo el lago, ni tampoco los conflictos entre agalleros y chinchorreros cuando se dio el auge de la pesca en décadas pasadas.

Hay una historia poco reconocida en la literatura sobre la pesca en el lago, en donde se analicen los conflictos entre el manejo comunitario y las regulaciones gubernamentales, en donde ninguna prevalece sobre la otra, pero se bloquean entre sí para lograr una regulación apropiada de la pesca. En este momento, a más de 10 años de rompimiento de relaciones entre las uniones de pescadores y las dependencias federales responsables de la regulación de la pesca, hay una débil o nula presencia de las autoridades federales. La pesca está regulada pero sólo a través de la reglas de manejo comunitarias, también desarticuladas por la pérdida de importancia económica de esta actividad. Considerando la características sociales de las comunidades y las características ambientales de la cuenca del Lago de Pátzcuaro; resulta evidente la necesidad de definir y replantear acciones encaminadas a la recuperación y el mejoramiento paulatino de la cuenca en general y del Lago en particular.

La dinámica de las organizaciones de pescadores, las cuales están reflejando las estrategias de supervivencia que han asumido las comunidades campesinas de la cuenca, consistentes

en la diversificación de actividades, la migración de distinto tipo, así como ubicación de la pesca como actividad secundaria, a diferencia de lo que ocurría veinte o treinta años antes. Otro aspecto importante es la comercialización de la pesca –primordialmente tarea de las mujeres- en distintos circuitos, y la competencia que tienen por la introducción de productos provenientes de la presa de Infiernillo u otros lugares, así como la diversificación del consumo en la ciudad de Pátzcuaro que no les favorece, e incluso entre los mismos pescadores. La conclusión es incuestionable: el excedente que generó la pesca del pescado blanco desapareció, y la carpa, especie dominante ahora, no permite sostener el entramado sociocultural de la pesca.

A una escala regional de cuenca, es posible vincular la problemática ambiental con la social, en donde resalta el rol de la política y el poder entre distintos actores. Esta afirmación coincide con la propuesta de la ecología política (Forsyth, 2003), desde donde se pone de manifiesto la pérdida de control sobre las acciones que se realizan en el lago por parte de los actores locales, como fue la introducción de especies exóticas al lago, así como de las fuerzas socioeconómicas y políticas a una escala e intensidad que los obliga a adoptar nuevas estrategias de vida.

Es importante dejar de percibir a los pescadores y su relación con el lago en un marco simplista, como continuadores de tradiciones que eran ecológicamente sustentables, y tratar de aclarar los impactos que están teniendo sus propias transformaciones sobre el paisaje cultural, la biodiversidad del lago y el desarrollo social local. Se debe trabajar aún más en caracterizar la función de la actividad humana en la transformación e incluso la definición de los ecosistemas actuales. De igual manera, hay una visión crítica entre distintos organismos gubernamentales que no les permite construir con los pescadores las soluciones necesarias que frene el deterioro. En este sentido resalta la pobre capacidad de ac-



ción del arreglo institucional responsable de la pesca, en otras palabras, la endeble gobernanza ambiental (Paré, 2007).

### Conclusiones

La principal conclusión de esta aproximación a la gobernanza ambiental y de la pesca en el Lago de Pátzcuaro, es que precisamente no existe ninguna regulación coherente a la escala del lago, entre el nivel local en el cual actúan de forma exhaustiva los pescadores, a diferencia de las múltiples entidades gubernamentales y ONGs que tienen una perspectiva de cuenca o regional, con objetivos fragmentados de acuerdo a funciones, intereses o recursos, sin una visión clara de los efectos concretos en los pueblos, en las estrategias de los actores sociales o de otros actores gubernamentales. La perspectiva institucional (las reglas del juego) laxa que prevalece, en donde no existen objetivos claros ni coordinación apropiada entre las partes ha dado lugar a muchas conductas oportunistas por un lado, fuertes relaciones clientelares, y por el otro al constante dilema de la acción colectiva, tal como lo plantea Olson (1992), en donde una minoría activa actúa a nombre de una gran mayoría pasiva.

La gestión de la pesca debe ser lo más local posible, con base en los arreglos institucionales de los pescadores, pero debe existir una autoridad del lago, la cual sea capaz de ejercer sanciones o promover incentivos a partir de la escala en la que los mismos pescadores ya no son capaces de llevar a cabo acciones colectivas. Su sistema de usos y costumbres los limita a actuar a nivel de comunidad o pueblo, de *ireta juramukua* como se concibe desde su misma matriz cultural (Vargas, 2011). Se requiere un rediseño institucional en el cual se reconozca el pluralismo jurídico (Boelens, Zwartveen, Roth, 2005) en la pesca del lago y se asignen de manera apropiada responsabilidades y derechos a las uniones y la construcción de una autoridad intercomunita-

ria en el lago.

A partir de este acercamiento a la Cuenca del Lago de Pátzcuaro se pueden desprender dos vertientes de consideraciones. Por un lado, no ha habido los suficientes acuerdos sobre la gravedad del problema ni los procedimientos para encarar dicha situación como para producir una respuesta firme de las entidades gubernamentales respecto al curso de acción a seguir. La problemática ambiental no ha sido presentada de manera lo suficientemente dramática para quedar fijada una agenda (Hannigan, 1995), aunque ya es reconocido por todos el deterioro del lago. Los planteamientos respecto al deterioro del ecosistema lacustre, el efecto de las especies introducidas, y las soluciones tampoco son tan contundentes aunque exista un acuerdo desde el ámbito académico hacia la diversidad de actores sociales y gubernamentales. De esa manera, cada institución presente en la región plantea soluciones desde su muy particular lectura de la realidad, respondiendo a situaciones inmediatistas sin atacar la crisis socioambiental de una manera coordinada e integral –ecosistémica–, mucho menos las causas que la originan. La carencia de un debate entre los organismos presentes en la zona para la definición de estrategias de desarrollo también dificulta la existencia de mecanismos claros y ágiles de coordinación interinstitucional entre organizaciones civiles e instancias gubernamentales, que derivan en la agudización creciente del proceso de deterioro socioambiental de la región.

Por otro lado la participación de los grupos sociales locales, a nivel de pueblos, en la región es débil y las organizaciones de productores locales no llegan a convertirse en interlocutores de peso que incidan en la formulación y práctica de las estrategias de desarrollo sustentable. Sin embargo esta situación no es exclusiva de los actores sociales de la cuenca del Lago de Pátzcuaro, sino que la problemática de la participación social en la toma de decisiones públicas

tiene un origen común a nivel nacional. Ninguna estrategia de rehabilitación ambiental puede lograr el éxito sin la participación social en la toma de decisiones de dicho proceso.

### Referencias

- Aguilar Villanueva, Luis F. (2006), *Gobernanza y gestión pública*. México: FCE.
- Alaye R., N. y cols., (2006), "Actualización de la información técnica para el manejo pesquero del Lago de Pátzcuaro y actividades relativas a la ejecución del Plan de Manejo", CRIP-Pátzcuaro, INAPESCA, México.
- Álvarez-Icaza, P. (2006). "Los recursos de uso común en México: un acercamiento conceptual". *Gaceta Ecológica* 80: 5-17. Instituto Nacional de Ecología.
- Apter, David E. (1972), *Política de la modernización*. Buenos Aires: Paidós.
- Boelens, R.; Zwartveen, M.; Roth, D. (2005), "Legal complexity in the analysis of water rights and water resources management", en D. Roth, R. Boelens, M. Zwartveen (eds.), *Liquid Relations. Contested water rights and legal complexity*, Rutgers University Press, New Jersey, pp. 1-19
- Bridge, Gavin y Tom Perreault (2008), "Environmental Governance". En *A Companion to Environmental Geography*, N. Castree, D. Demeritt, D. Liverman y B. Rhoads (Eds.): 475-498. New York: Wiley-Blackwell.
- Cabrero M. E. (2005), *Acción Pública y Desarrollo Local*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Castañares Maddox, E. J. (2009). *Sistemas complejos y gestión ambiental: el caso del Corredor Biológico Mesoamericano México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Corredor Biológico Mesoamericano México. (Serie Conocimientos, 6).
- Castilleja, A., 2004, "La cuenca del lago de Pátzcuaro como escenario y objeto de políticas públicas: notas y reflexiones", Ponencia presentada en el *Seminario Intensivo Pueblos Indígenas: desarrollo y perspectivas*, CDI, Veracruz, 20 al 23 abril 2004,
- COEEO, 2002, Marzo, "Ordenamiento Pesquero del Lago de Pátzcuaro, Michoacán", Recomendación No. 13/2001, COEEO, Michoacán, México.
- Cohen, Michael D.; March, James G.; Olsen, Johan P. (2011) "El bote de basura como modelo de elección organizacional". *Gestión y Política Pública*, Volumen XX(2). II semestre. Centro de Investigación y Docencias Económicas, pp. 247-290.
- Contreras Castañeda, Luis Gilberto (2008), "La gestión ambiental en los municipios de Pátzcuaro y Quiroga, Michoacán", Tesis Maestría en Administración Integral del Ambiente. Tijuana, BCN; El Colegio de la Frontera Norte-CICESE.
- Crozier, Michel, Samuel Huntington y Joji Watanuki (1975). *The Crisis of Democracy: Report on the Governability of Democracies to the Trilateral Commission*. New York: New York University Press.
- Esteva, J., coord. (1997), *La ORCA: su historia y su forma de trabajo*. Pátzcuaro, Michoacán, México: Centro de Estudios Sociales y Ecológicos, A.C. (CESE).
- Fontaine, Guillaume; Velasco, Susan (2011), "La conceptualización de la gobernanza: de lo descriptivo a lo analítico", en Mendoza, Karen Andrade. *Gobernanza ambiental en Bolivia y Perú. Gobernanza en tres dimensiones: de los recursos naturales, la conservación en áreas protegidas y los pueblos indígenas*. Quito, Ecuador: FLACSO-Ecuador, UICN.
- Forsyth, T. (2003), *Critical Political Ecology: The Politics of Environmental Science*. Londres: Routledge.
- García, R. (1986), "Conceptos Básicos para el estudio de sistemas complejos", en E. Leff, coord. *Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo*. México, Siglo XXI.
- Garibay, C. (1992). "Acción institucional", en Toledo, V. M., P. Álvarez-Icaza, P. Ávila (Eds.), *Plan Pátzcuaro 2000. Investigación multidisciplinaria*

## Gobernanza ambiental del lago de Pátzcuaro y la pesca

- ria para el desarrollo sostenido. México: Fundación Friedrich Ebert, pp. 273-298.
- Hannigan, John A. (1995). *Environmental Sociology: A Social Constructions Perspective*, Routledge, Londres.
- Huntington, Samuel (1972). *El orden político en las sociedades en cambio*. Buenos Aires: Paidós.
- Ibáñez, A. L.; García, J. L. (2006), “¿Cuencas o entidades federativas? Los repoblamientos de peces realizados por el gobierno federal”, Ponencia presentada en el “Congreso Nacional y Reunión Mesoamericana de Manejo de Cuencas Hidrográficas 2006”, Instituto Nacional de Ecología.
- INIRENA (2000), *Plan de Manejo Lago de Pátzcuaro*, Gobierno del Estado de Michoacán, SAGARPA, CONAPESCA, Michoacán, México.
- Lezama, J. L. (2004), *La construcción social y política del medio ambiente*, México, El Colegio de México.
- Martínez Sifuentes, E., (2002), *La veda en el Lago de Pátzcuaro. Historia sin final de una imposición*. México: INI-SEDESOL.
- Medellín, P. (2006), “La política y las políticas públicas en regímenes de ‘obediencias endebles’”. Una propuesta para abordar las políticas públicas en América Latina”, en R. Franco y J. Lanzaro, coord. *Política y Políticas Públicas en los procesos de reforma de América Latina*. CEPAL-FLACSO, Buenos Aires, pp. 101-144.
- Moreau Defarges, Philippe (2003). *La gouvernance*. Paris: PUF.
- Musters, C.J.M; de Graaf, H.J; ter Keurs, W.J. (1998) “Defining socio-environmental systems for sustainable development”. *Ecological Economics*, Volume 26, Issue 3, pp 243-258.
- Olson, Mancur (1992), *La lógica de la acción colectiva: bienes públicos y la teoría de grupos*, México: Limusa.
- Ortiz Paniagua, C., (2004), “La pesca en el Lago de Pátzcuaro, Arreglos institucionales y política pesquera: 1990-2004”, Tesis de Maestría (Admón. Integral del Ambiente), El Colegio de la Frontera Norte/CICESE, Tijuana, B.C., México.
- Paré Luisa y Tajín Fuentes (2007), *Gobernanza ambiental y políticas públicas en Áreas Naturales Protegidas: lecciones desde Los Tuxtlas*. México: Instituto de Investigaciones Sociales-UNAM.
- Rojas, P. (1993), “Producción Pesquera”, en V.M. Toledo, P. Álvarez-Icaza y P. Ávila (Eds.), *Plan Pátzcuaro 2000*. Investigación multidisciplinaria para el desarrollo sostenido, Fund. Friedrich Ebert, México, pp. 135-158.
- Salinas de Gortari, Carlos (1987), *Restauración ecológica en el Lago de Pátzcuaro: diálogo con los pescadores del candidato del Partido Revolucionario Institucional a la Presidencia de la República, con pescadores del Lago de Pátzcuaro el 20 de noviembre de 1987*. México, Partido Revolucionario Institucional. (Diálogos de campaña).
- Schettino, M. (2002), *Paisajes del Nuevo Régimen; ¿revivir el pasado o reinventar el futuro?*, Océano, México.
- Shepherd, G. (2004), *The Ecosystem Approach. Five Steps to Implementation*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- Solà, Amadeu (2000), “La traducción de governance”, *Puntoycoma*, 65, septiembre/octubre. Boletín de traductores españoles de la Unión Europea. <http://ec.europa.eu/translation/bulletins/puntoycoma/65/pyc652.htm> consultado en marzo de 2008.
- Solórzano Preciado, Aurelio (1955), *La pesca en el lago de Pátzcuaro, Michoacán y su importancia económica regional*. Secretaría de Marina.
- IMTA (2012), *Manejo integral para el control de malezas acuáticas, especies invasoras y remoción de sedimentos en apoyo a la recuperación de especies emblemáticas y mejora de la calidad del agua del lago. Informe Final*. Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua – Fundación Gonzalo Río Arronte.
- Vargas, S. (2011) “Los pescadores del lago; entre el manejo comunitario y el deterioro ambiental”, en Huerto, R.; Vargas, S.; Ortiz, C. *Estudio Ecosistémico del lago de Pátzcuaro*. México: IMTA-UAEM, UMICH.



# Conclusiones para una política pública para la restauración del ecosistema lacustre desde la perspectiva de la justicia ambiental

Rubén I. Huerto Delgadillo<sup>1</sup> y Sergio Vargas Velázquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
rhuerto@tlaloc.imta.mx

<sup>2</sup>Universidad Autónoma del Estado de Morelos

El lago de Pátzcuaro ha sido objeto de numerosos estudios y acciones gubernamentales que no han tenido las consecuencias tangibles que se esperaban en el ecosistema lacustre. Las preguntas versan en torno de las causas que explicarían la baja efectividad de las acciones tomadas, como a las razones de por qué no hay efectivamente un cambio en los incentivos y las condiciones de las organizaciones gubernamentales, los grupos sociales que utilizan sus recursos y la sociedad civil que, aunque no sean habitantes de la cuenca, se han interesado y trabajado durante décadas por la conservación del lago y sus ecosistemas.

En este volumen se da seguimiento a la trayectoria del ecosistema lacustre, en los aspectos relativos al deterioro de la cuenca y las condiciones prevalecientes en el lago sobre los cuales ya se

había concentrado el proyecto original. Esto con la expectativa de que el tiempo y los reiterados esfuerzos por su recuperación permitan aflorar las transformaciones tanto en el arreglo institucional, los grupos sociales involucrados en la gestión y aprovechamiento de sus recursos, así como los distintos actores gubernamentales.

Aquí se ofrecen nuevas recomendaciones y se ajustan los datos básicos del deterioro de la cuenca y su ecosistema, pero lo más importante es hacer visible que la problemática no está resuelta, que requiere de un desplazamiento completo de las prioridades hasta ahora establecidas, los procedimientos institucionales y las estrategias dominantes de los actores de la cuenca. Resumimos algunas ideas en los siguientes apartados, considerando que el diálogo entre grupos sociales y gubernamentales, inclu-

yendo entre estos a los académicos preocupados por el lago, es una parte central para establecer las bases de un nuevo enfoque interdisciplinario que permita reorganizar el actualmente endeble arreglo institucional, así como produzca la imprescindible coordinación de todos con base en una visión integrada de la problemática.

### Integración de saberes

Sobre el deterioro socioambiental de la cuenca hay muchas preguntas que hacer. Las respuestas no son fáciles de ninguna manera, pero a modo de conclusiones queremos abordar un eje sobre el cual debemos avanzar en los próximos años. Este es el problema de la integración en varios sentidos. El primero que queremos anotar es el de la integración de saberes, consistente en primer lugar en el acuerdo al que deben llegar las distintas “comunidades epistémicas” relacionadas con el lago. La ciencia no tiene “toda la verdad”, sólo la “verdad científica” la cual siempre está a prueba.

La ciencia produce conocimiento sistemático, pero los grupos locales de la cuenca tienen su propio conocimiento, en el que confían y a partir del cual realizan sus prácticas productivas y extractivas de los recursos lacustres. Es fundamental reconocer e incorporar los saberes locales en el diseño de las acciones de restauración, ya sea reorientando o bien reforzando las representaciones sociales y las prácticas productivas que de ellas resultan, y no simplemente ignorando o queriendo imponer desde el aval de la ciencia, la cual tampoco representa una garantía plena de solución. El conocimiento de los locales sobre el deterioro los lleva a tener estrategias de supervivencia que también producen un impacto, lo cual los ha confrontado con los que quieren su conservación. ¿Qué hace la política pública? ¿A quién está realmente incentivando? Todavía es muy fuerte el papel de los expertos que dictan como debe hacerse algo. Los trabajos

aquí expuestos muestran que aun no está dicho todo, ni lo suficientemente construido para su presentación como un problema socioambiental en la opinión pública con el fin de generar las acciones necesarias para la construcción de una política pública eficiente.

La noción de diálogo reivindica los saberes locales, y está estrechamente vinculado con la investigación participativa. El diálogo de saberes apela a la construcción de un saber significativo para los sujetos locales y para el manejo de su territorio, ya que propone un conocimiento construido con base en el intercambio y en una negociación de significados. De otra manera, seguirá existiendo un diálogo de sordos respecto a lo que ocurre en la cuenca y a la implementación de acciones de restauración. El diálogo implica el desarrollo de la investigación intercultural y crear espacios para la generación de conocimiento pertinente en la que concurren los académicos, las comunidades locales y los actores gubernamentales (también los funcionarios y técnicos gubernamentales son portadores de sus propias representaciones respecto a los problemas y soluciones al deterioro ambiental del lago), en la definición de sus problemas como soluciones, y prescinde de la investigación extractiva, en donde los miembros de las comunidades sólo fungen como informantes para formular propuestas de investigación colaborativa, o bien receptores de decisiones ya tomadas por otros. Esto nos lleva a plantear la necesidad de un cambio fundamental en nuestros modos de manejar el conocimiento sobre el lago de Pátzcuaro, en el cual ha prevalecido una gran distancia social entre los investigadores marcados disciplinariamente respecto a los procesos locales, sus actores sociales y gubernamentales involucrados.

El diálogo ocurre cuando entre los sujetos de conocimiento se crea un escenario propicio para quienes quieren conocer un tema. Los interlocutores entran en una conversación que rompe las

## Conclusiones para una política pública para la restauración del ecosistema lacustre desde la perspectiva de la justicia ambiental

ataduras de poder entre quien supuestamente sabe y quien no sabe. Esta dicotomía inhibe la reflexión y suprime el entendimiento conjunto lo cual perpetua el autoritarismo.

En cambio si de veras ocurre un diálogo, todas las partes se tomarán en serio como interlocutores válidos reconociendo las diferencias con respeto sin llegar a aceptar la verdad ajena como suya. Cada quien entenderá al otro en sus propios términos y desde saberes distintos pero ambos dispuestos a aprender mutuamente uno del otro. Ese deseo de mutuo aprendizaje es el sello de la paridad de sujetos de conocimiento en el diálogo de saberes. Las partes no aprenden lo mismo, no se trata de uniformizar sino de enriquecerse con la diversidad de ideas sin hacer concesiones fáciles sino comprensiones duraderas. El lago de Pátzcuaro fue objeto de múltiples intervenciones, muchas de ellas – particularmente después del conflicto generado por la pretensión gubernamental de instalar una planta nucleoelectrica a principios de la década de 1980- fundamentadas en pretensiones participativas que a la fecha poco queda de ellas. Lo que está claro en este caso es la persistencia de lo que Castilleja (2011) llama condiciones de competencia asimétrica, los cuales derivan en el desplazamiento o reemplazo de conocimientos de quienes ocupan posiciones de mayor desventaja social. Es fundamental retomar este diálogo de saberes, implementar de manera participativa las acciones que se pretenden realizar en el ecosistema lacustre reconociendo la validez práctica de los conocimientos locales a partir no sólo de “metodologías participativas”, sino de mecanismos más efectivos y renovados de inclusión.

Aquí se hacen diversas recomendaciones, como por ejemplo sobre las áreas de conservación y refugio de especies nativas, debido a la pesca de la tripilla y charal que seguramente afecta la diezmada población de pescado blanco. Esto como el control de las artes de pesca, la calen-

darización de la pesca, incluso del charal, es imprescindible acoplarlo con las necesidades económicas de pescadores y otros grupos de interés en el lago. Las soluciones de arriba hacia abajo ya no son soluciones factibles. Estas, como otras recomendaciones tienen que ser trabajadas conjuntamente entre los involucrados, y esto implica el diálogo de saberes. Pero además del diálogo y construcción de consenso en torno a cuáles son principales problemas y cuales sus soluciones, se requiere de la coordinación de acciones, de forma tal que sea bajo otras reglas del juego y una representación renovada de los grupos de interés.

## Integración de acciones

Cuando son definidos los problemas ambientales, irremediamente se hace referencia a las complicaciones o alteraciones de los ecosistemas o paisajes naturales en alguno de sus aspectos sustantivos, expresando tácitamente o de forma manifiesta la afectación provocada por los seres humanos, y las consecuencias negativas para ellos mismos. Desde este punto de vista, pierde sentido tratar de definir los problemas ambientales exclusivamente desde la racionalidad científica disciplinaria de las ciencias naturales, como puede ser la ecología, biología, hidrología, edafología, entre tantas otras. Todo proceso de degradación es inherentemente socioambiental. El planteamiento con el cual Blaikie (1985) discute la erosión es muy claro. La erosión que no afecta o es producida por la población sólo es parte de un proceso de transformación natural; cuando afecta o es provocado por población, resulta en un problema socioambiental.

El científico natural generalmente asume que la presencia de un problema ambiental se demuestra sólo con datos cuantitativos obtenidos en su laboratorio o en campo. Se le dificulta asumir que no sólo se trata de demostrar cuantitativa-

mente que en un determinado sitio existe tal o cual concentración de un contaminante, sino vincular esto con otros procesos no estudiados por su enfoque disciplinario, como por ejemplo el hecho de que las especies exóticas ya han desplazado de forma definitiva a las especies nativas en el ecosistema lacustre, y que esto es un problema complejo que involucra disciplinas distintas.

Peor aún, su manera de abordar disciplinariamente los problemas de degradación ambiental no le permite mostrar sus descubrimientos de manera inteligible a una población indiferente, para convertirlo en problema “público”, ni a los funcionarios que toman decisiones, a quienes quiere persuadir de la problemática ambiental y sus consecuencias. La cuantificación de la degradación ambiental es un elemento de suma importancia para la construcción del problema ambiental, el cálculo de población de peces en el lago o la carga de azolve que llega son datos, pero como afirmó el filósofo de la ciencia N.R. Hanson en su crítica al empirismo lógico: “todo dato está cargado de teoría”, y atrás de los datos está una disputa que la sola producción de conocimiento científico sobre los ecosistemas es incapaz de resolver el deterioro ambiental.

Desde la perspectiva de la sociología y más aún desde la emergente sociología ambiental, se sostiene que los problemas ambientales “*graves*” o “*muy graves*” no son reconocidos socialmente y que éstos no salen a la luz pública por la amenaza real que representan. Es sorprendente la disociación que existe entre el daño ambiental sostenido por los especialistas y la importancia que éstos tienen en el plano de la conciencia pública y de los instrumentos gubernamentales para enfrentarlos (Lezama, 2004).

Lezama (Op.cit) sostiene que el ambiente y su deterioro, antes de ser reconocidos como tales pasan por un proceso de valoración, filtración y construcción social. Es necesario reconocer, que

no sólo en los ciudadanos comunes o los funcionarios de gobierno existen discrepancias sobre la magnitud, importancia y jerarquía de los problemas ambientales; esto se presenta también en el llamado mundo de los expertos.

El conocimiento científico de un determinado problema social o ambiental no se traduce necesariamente en acciones para revertir el problema, lo que confirma que este conocimiento, a pesar de ser necesario para la toma de decisiones, no es suficiente. En la actualidad se cuenta con un cuerpo de conocimientos sobre la degradación ambiental que permitirían tomar decisiones que aún no se toman y entonces la relevancia que adquiere un problema socioambiental no es necesariamente una función de la magnitud del daño que provocan, de su presencia o existencia física, sino de la manera en que son internalizados por la sociedad humana (Eder, 1996; Lezama, 2004).

La perspectiva constructivista, como indica Lezama (2004), sostiene que los problemas socioambientales y los métodos para su estudio no poseen un carácter universal; cada sociedad valora en forma muy distinta la naturaleza y el ambiente. La sociedad humana elige sus preocupaciones y los riesgos a los que puede someterse y los que decide ignorar. Un gran número de comunidades que viven en zonas de alto riesgo, con problemas de contaminación atmosférica o hídrica, riesgos más inmediatos como inundaciones o sequías, prefieren ignorarlos por la inexistencia de alternativas, sobre todo de reubicación. El proceso de construcción de un problema socioambiental es complejo, pasa por una dinámica procesual que está siendo estudiada desde distintas perspectivas, en las cuales se destaca una dinámica de presentación, discusión y confrontación sobre quién o quiénes son los portadores de la “verdad” sobre el problema socioambiental, para luego incorporarse en la agenda pública ambiental. Hannigan resume lo complejo y múltiples vías de este proceso (Tabla 1).



## Conclusiones para una política pública para la restauración del ecosistema lacustre desde la perspectiva de la justicia ambiental

Tabla 1. Proceso de construcción de problemas socioambientales

	Agrupando	Mostrando la tarea	Disputando
Actividades primarias	Descubriendo el problema	Dirigiendo la atención	Invocando la acción
	Nombrando el problema	Legitimando la demanda	Movilizando el apoyo
	Determinando las bases de la demanda		Defendiendo la propiedad
	Estableciendo los parámetros		
Foro central	Ciencia	Medios masivos de comunicación	Políticos
La línea central de pruebas	Científicos	El comunicador	Analista de la política aplicado
La fallas potenciales	Verificador de la teoría		
	Falta de claridad	Baja visibilidad	Cooptación
	Ambigüedad	Novedad decreciente	Fatiga del tema
Las estrategias del éxito	Evidencia científica conflictuada		Reclamaciones compensatorias
	Creando un foco experiencial	Vinculación con temas y causas populares	Conformando una red
	Las demandas de conocimiento que marcan "línea"	El uso de imaginería verbal y visual dramática	Desarrollando la especialización técnica
	La división científica del trabajo	Tácticas retóricas y estrategias	Abriendo las ventanas de la política

Fuente: Hannigan (1985), traducción propia.

Los problemas socioambientales siguen el mismo ciclo experimentado por los problemas sociales. En primer lugar, no son estáticos, pero presentan una sucesión de acontecimientos, la cual es variable ya que cada problema tiene su propia historia, y puede ser resumida en varias etapas que están estrechamente relacionadas con la forma en que en las sociedades actuales se define lo que es un problema público. En la literatura sobre agenda pública se pueden encontrar descrito y analizado desde distintas perspectivas este proceso recursivo de construcción: 1) El intento de un grupo o grupos de afirmar la existencia de condiciones ofensivas, perjudiciales o indeseables y al hacerla pública, estimular la controversia, además de situar el asunto en la

esfera política; 2) El reconocimiento por alguna organización oficial, agencia o institución de la legitimidad de la demanda y, por lo tanto, el establecimiento de mecanismos de solución; 3) El resurgimiento de la demanda por insatisfacción de los grupos con los mecanismos establecidos por las instituciones para la solución del problema; 4) El rechazo del grupo a la falta de respuestas por parte de las agencias o instituciones y con esto el desarrollo de alternativas paralelas o contra las establecidas por aquéllas.

Para Hajer (1995) los discursos elaborados por cada uno de los participantes buscan imponerse sobre el de los otros involucrados, hasta lograr aquel en que se "fija" la manera en que pública-

mente se define el problema, discurso que todos los involucrados tienden a repetir, pero no cualquiera lograr ser su generador, y que juega un papel importante en la construcción de los problemas ambientales; a ésta la considera como el estudio de la persuasión que puede ser utilizada para analizar las demandas.

Existen otros factores como los ideológicos y políticos que se hacen presentes en la construcción de los problemas ambientales y esto explica que las sociedades no siempre seleccionan los riesgos que pueden ocasionarles más daño. Un grupo social puede estar interesado en promover la aparición o desaparición de un problema ambiental; sin embargo es necesario tener presente que la perspectiva constructivista no niega la existencia física y química del problema ambiental, pero sí parte del hecho de que el no considerar la dimensión social de los problemas ambientales no permite a su vez una visión integral de éstos y, por lo tanto, se termina proponiendo recetas técnicas para la solución de los mismos (Hannigan, 1995; Lezama, 2004).

Es posible ver la formación de las políticas públicas como un continuo indivisible. En él, constantemente se define y redefine la agenda pública, según la dinámica de las fuerzas políticas en conflicto observable o latente. La formación de la agenda implica la incorporación de ciertos temas o cuestiones públicas, y la definición del modo en que van a ser considerados, y también la exclusión de otros temas y definiciones. La formación de la agenda es un punto políticamente crítico del proceso de formación de políticas, en el que participan y dejan de participar actores con montos variables de poder.

### **El arreglo institucional en el lago de Pátzcuaro**

El lago de Pátzcuaro, como la mayoría de los ecosistemas lacustres del país, se ha deteriora-

do rápidamente durante las últimas cuatro décadas. Aunque existen muchas dudas e incertidumbre sobre los indicadores de este proceso, sea por las limitaciones propias de cada disciplina y metodologías aplicadas, por la inexistencia de un enfoque comparativo y generalizador que lleva a la dispersión de la estadística ambiental, todos coinciden en señalar las tendencias de deterioro, las cuales no se han revertido a pesar de múltiples planes y acciones, cuanto más algunas tendencias o comportamientos se han mantenido, como el crecimiento de la mancha de vegetación acuática por las actividades realizadas.

El deterioro continúa presentándose a pesar de que desde hace casi 30 años se cuenta con una legislación ambiental que establece mecanismos de protección y conservación de los ecosistemas, así como de mitigación y compensación de los daños ambientales. El desequilibrio y la pérdida de las funciones del ecosistema ponen en riesgo la capacidad de seguir proveyendo a las localidades de la cuenca de los recursos lacustres, además de otros servicios ambientales como son los llamados de soporte, de regulación y los culturales. Es claro que a nivel nacional, la restauración ambiental no se ha convertido en una política pública prioritaria (Carabias et al, 2007).

Apenas en la década de los años noventa cuando se incluyó una visión más integral de la gestión del lago, que sin embargo adoleció de su lado social, y que también del estrictamente ambiental, al ser incapaz de vincular investigación académica con las estrategias productivas de sus habitantes y la falta de construcción de una política para la cuenca, congruente con la dimensión del deterioro socioambiental.

Cuando el objetivo es recuperar las condiciones de origen del sistema, para regresarlo a algún estado preexistente, se requiere conocer la composición, la estructura y el funcionamiento del

## Conclusiones para una política pública para la restauración del ecosistema lacustre desde la perspectiva de la justicia ambiental

ecosistema elegido, y las manipulaciones deben orientarse a replicar esas condiciones de origen. Este proceso se conoce como restauración ecológica. Pero se debe considerar el componente humano, las fuerzas directrices del deterioro ambiental y trabajar sobre ellas, no solo en poner presas de gavión para detener el arrastre de materiales o ampliar el canal perimetral, sino en la construcción de incentivos y sanciones – las reglas del juego del marco institucional- que efectivamente incentive o desincentive ciertas prácticas. Ahora nos planteamos si el conjunto de acciones debe estar orientadas a la conservación de especies emblemáticas, prácticamente sofocadas por las especies introducidas, la conservación del contorno del lago, bajo un proyecto de restauración ambiental, o mejor examinar un mejor desenlace que sea factible bajo las actuales condiciones del arreglo institucional, el cual ha sido incapaz de impulsar

No existe una entidad que se desempeñe realmente como la autoridad de la cuenca y el lago. Organismos como el Consejo de Cuenca no ha funcionado del todo para eso; pone de acuerdo a los municipios en torno a un presupuesto, pero no moviliza a la sociedad, ni es el espacio efectivo para la resolución de conflictos; la representación corporativa poco representativa sigue dominando este espacio. Lo que se muestra es un régimen de gestión endeble del lago.

La complejidad de la problemática socioambiental del agua, tanto a nivel mundial como en el ámbito local, ha suscitado un sinnúmero de diagnósticos y propuestas para enfrentarla, los cuales sólo ponen en evidencia las enormes discrepancias entre disciplinas científicas, políticas públicas y grupos de interés en torno al aprovechamiento y la conservación de los recursos hídricos. Los diagnósticos y propuestas surgidas desde los hacedores de políticas públicas primeras han adolecido de ser excesivamente tecnológicas, con una fuerte orientación disciplinaria hacia las ingenierías y las ciencias naturales,

lo cual los lleva a examinar con detenimiento al agua en sí, mas no a analizar con la debida profundidad las fuerzas sociales que nos han llevado a esta crisis mundial del agua, como ya ha sido definida en los foros internacionales.

En el otro extremo también se ha caído en la reducción de la complejidad, al representar al agua como un recurso politizado, sumergida en la dinámica del capital y dependiente pasiva de las fuerzas sociales, sociologizando con esto los problemas sociotécnicos de su gestión; el equilibrio entre la dinámica hidrológica y la social implica una perspectiva interdisciplinaria que aún falta por desarrollar.

En la cumbre de Río de 1992 se realizó la Declaración de Dublín, la cual cimenta una nueva visión en el manejo y gestión del agua, que a la fecha se ha convertido en dominante en el ámbito gubernamental y de agencias internacionales: la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, GIRH, luego de décadas de numerosos cuestionamientos y de esfuerzos fallidos para acordar acciones a nivel global. Basada en el principio de desarrollo sostenible, la GIRH propone una aproximación integrada técnica, social y política desterrando visiones previas basadas principalmente en el desarrollo de infraestructura. Posterior a la cumbre se conforma la red institucional para el impulso del nuevo paradigma: asociaciones y organismos de escala mundial especializados en atender la problemática del recurso hídrico desde una perspectiva técnica, social y política. En 1992 se forman el Consejo Mundial del Agua, organizador de los foros mundiales del agua, y el Banco Mundial, el PNUD y la Agencia de Cooperación Sueca forman el Global Water Partnership (GWP) con el fin de promover la GIRH en todas las regiones del mundo.

Los trabajos aquí presentados son evidencia del esfuerzo sistemático que hay que llevar a cabo. La problemática de la cuenca es una mixtura

muy concreta, pero al mismo tiempo comparte muchas similitudes con otras regiones hidrológicas del país y del mundo, no sólo en aspectos biofísicos, sino institucionales y organizativos. El objetivo es llegar a definir un modelo de buena gobernanza para el manejo y planeación del agua en la cuenca que pueda ser utilizado en cuencas con problemáticas similares. Los problemas son compartidos en términos generales con las de otras partes del país, como es el de la calidad del agua, la pérdida de cobertura vegetal original para ser sustituida por vegetación inducida para fines agropecuarios, así como el uso ineficiente del agua de riego.

Visto así, esto ya implica un mapeo complejo de intereses, condiciones socioeconómicas, presiones sobre la distribución del agua y competencia entre usos, para lo cual también es fundamental encontrar las alternativas de intervención y construcción de acciones colectivas que posibiliten la adopción de las mejores prácticas de manejo sustentable de la cuenca. Esto lleva necesariamente a la vinculación con organizaciones civiles, empresas y organismos gubernamentales, la producción de espacios de diálogo y concertación, así como a la difusión de los resultados de la investigación que de básica deviene en aplicada, al encontrar en este caso en concreto, los puntales sobre los cuales construir una nueva gobernanza del agua.

La política y las políticas públicas son entidades diferentes, las cuales indudablemente se influyen de manera recíproca. Tanto la política como las políticas tienen que ver con el poder social, pero mientras la política es un concepto amplio, relativo al poder en general, las políticas públicas corresponden a soluciones específicas de cómo manejar los asuntos públicos. Las políticas públicas son un factor común de la política y de las decisiones del gobierno y de la oposición. Así, la política puede ser analizada como la búsqueda de establecer o de bloquear políticas públicas sobre determinados temas, o

de influir en ellas. A su vez, parte fundamental del quehacer del gobierno se refiere al diseño, gestión y evaluación de políticas públicas (Medellín, 2006). El principal aspecto de integración de la gestión del agua por cuenca es de carácter plenamente político, ya que existe una negociación entre actores sociales y gubernamentales. La influencia que ejercen grupos de presión o grupos de interés en torno a la política del agua, así como la burocracia hidráulica que también está conformada por distintos grupos compiten entre sí por el control de la política del agua.

Los espacios para la participación sólo han tenido un carácter consultivo, lo cual limita el interés de la sociedad en participar en ellos, estando la mayoría de los casos sólo los intereses económicos y políticos más organizados. La propuesta de gestión integrada no ha transformado todavía la gestión en el ámbito local, que es en el que cotidianamente vive, percibe, y expresa sus problemas y preocupaciones la mayoría de la población, y en el que realmente es capaz de participar la sociedad. Esto explica la poca información y comunicación que existe todavía respecto al agua a este nivel, el que persista entre muchos usuarios del agua la idea de que los problemas del agua los debe resolver sólo el gobierno, y que el abastecimiento y saneamiento del agua debe ser parte de los servicios bajo responsabilidad económica de las entidades gubernamentales.

Por otro lado, existe la percepción entre las organizaciones gubernamentales de que es más fácil tomar decisiones de política del agua mientras sea menor el número de personas que participan; también perciben que la autoridad del agua se diluye cuando se involucran a más actores sociales, y que el actual arreglo institucional es incapaz de resolver todos los problemas y conflictos por el agua porque no reconoce realmente el valor de las decisiones técnicas. Esta percepción también restringe los alcances del modelo de gestión integrada del agua por cuenca.

## Conclusiones para una política pública para la restauración del ecosistema lacustre desde la perspectiva de la justicia ambiental

Esto refuerza el análisis de Medellín (2006) aplicado a la gestión del agua en nuestro país, ya que con base en la tipología de regímenes políticos que elabora, ubica a México en el 'tipo' de *régimen de obediencia endeble*, en los que las estructuras y prácticas institucionales de poder político y acción estatal dependen del momento que atraviesan de los intereses privados o grupos de interés corporativo.

Otro punto que se puede documentar es el del desfase que existe entre las reglas del juego y la posibilidad de los actores gubernamentales de hacer cumplir las reglas, esto es, de aplicar de manera eficiente la política del agua a través de acuerdos y negociaciones. Esto se logrará cuando el paisaje de la cuenca y sus recursos sean vistos como un patrimonio al cual hay que conservar y cuidar.

### Patrimonialización de la cuenca del lago de Pátzcuaro y su paisaje

En este entorno natural se han llevado a cabo importantes transformaciones de origen humano (antrópico), las cuales han alterado de forma sucesiva el paisaje original. Los diferentes grupos humanos habitantes de la región se lo han apropiado de distintas maneras. La primera de ellas se refiere a la ubicación de los asentamientos de población en localidades bajo un primer patrón que reconocía la distribución natural de los recursos; activos ambientales ya transformados en activos productivos. Después se han ido rompiendo las limitaciones ambientales con base al desarrollo tecnológico y el conocimiento de los recursos disponibles. Con el desarrollo de la tecnología, los grupos humanos incrementaron su control sobre los procesos naturales y en consecuencia amplificaron la artificialización del paisaje bajo una visión de sociedad contra naturaleza en el último siglo. Estas tecnologías

pueden ser sutiles o más agresivas, como es la mecanización agrícola, el alambrado de potreros, el riego y la introducción de especies foráneas o manipulación de las locales.

La segunda forma de apropiación es a través de su percepción particular del paisaje. Esto implica una connotación subjetiva con base en la construcción de una mirada que lo reorganiza, y construye significados en cada cultura. En los grupos tradicionales y campesinos, esta mirada no separa a la naturaleza de lo humano, al paisaje natural del paisaje cultural. Los seres humanos son vistos como parte del mundo natural, o viceversa, la naturaleza aparece humanizada a través de ritos, relaciones simbólicas y éticas. En cambio, en la cultura occidental se establece desde una etapa muy temprana la dicotomía naturaleza-sociedad, en la que el ser humano y la naturaleza son componentes opuestos (Descola, 2001). En el paisaje existen recursos que se pueden aprovechar e incorporar a la producción de bienes para satisfacer las necesidades humanas que, desde una economía extractiva y de ampliación de la frontera agrícola, que pasa ahora a la necesidad de revalorizar el paisaje y sus elementos, para incorporarlo como patrimonio que hay que conservar. La patrimonialización del paisaje resulta entonces una nueva forma de apropiación y reconstrucción de aquello que consideramos valioso y deseamos heredar a las futuras generaciones (Magaña y Rojas, 2008).

Actualmente los desequilibrios territoriales nos han hecho volver poco a poco hacia una visión que reintroduce a la sociedad en la naturaleza, reinterpreta la manera en que se complementan, estableciendo una relación simbiótica y de co-evolución. Surge así un nuevo paradigma, en el cual predomina una visión holística del territorio, expresado como un sistema complejo adaptativo. Bajo esta nueva perspectiva tenemos que volver a mirar y trabajar sobre lo que ya habíamos observado en el paisaje, para poderlo explicar de una nueva manera, como

paisaje cultural. Cuando nos referimos a éste, estamos hablando de cómo los seres humanos entendemos, nos relacionamos, aprovechamos y transformamos el entorno. De esta manera, no se puede decir que existan maneras universales de relaciones de los grupos sociales con la naturaleza, sino por el contrario, partimos de la existencia de múltiples culturas y grupos sociales, y del encuentro de algunos de ellos en espacios comunes o, al menos, frente a recursos que se comparten y, la mayor parte de las veces, se disputan entre sí, de acuerdo con las visiones, intereses y posibilidades que cada uno de ellos tenga.

Esto nos da pauta para plantear que las actividades con respecto al ambiente y sus recursos que en un espacio determinado se llevan a cabo, cambian constantemente, reflejándose en mutaciones permanentes del paisaje, lo que a su vez transforma las potencialidades y posibilidades de uso de los recursos, por ejemplo, el acceso a éstos puede verse limitada, y obliga a nuevas formas de uso, actividades o incluso modificaciones radicales que tiendan hacia erosiones que impidan, de alguna manera, dicho uso.

El paisaje se construye en la apropiación de recursos económicos y simbólicos (Lezama, 2004; Hannigan, 1995). El paisaje cultural se articula a partir de un primer sustrato de información evidenciado en los distintos tipos de uso del suelo –urbano, rural, natural-. A partir de dicho sustrato es que se configura aquello atendible como cualidades del paisaje. Sobre esta base se deben establecer algunos vínculos de éste con componentes de memoria e identidad de los grupos humanos (Aponte, 2003). Es así, como desde la antropología, la sociología, la geografía y otras se concibe que las relaciones naturaleza-sociedad se encuentran definidas y recreadas por los grupos sociales a partir de los conocimientos, elaborados simbólicamente dentro de una cultura en particular y llevados a procesos sociales de asignación de significados, lo que da

pie para la definición de maneras concretas de aprovechamiento, conservación y explotación de los recursos, esto es, actividades productivas, extractivas o de diversos géneros por los diferentes actores involucrados con ellos.

El paisaje cultural se puede estudiar de varias maneras. Una de ellas es a través del registro de las actividades humanas sobre el territorio, examinando e interpretando la génesis y los procesos que determinan la reconfiguración territorial. Esto implica revisar procesos sociales vinculados a la distribución física y actividades de los grupos humanos, en particular aquellos vinculados con el manejo de recursos, las relaciones de poder en torno a su acceso y uso, los procesos económicos y factores culturales asociados a formas productivas.

## Conclusiones y recomendaciones relevantes

En cuanto a las conclusiones y recomendaciones más importantes definidas durante esta fase del estudio, presentadas en este segundo Volumen, tenemos:

### Procesos Naturales

Con relación al escurrimiento superficial en la Subcuenca del dren Tzurumútaró, al interior de las cuencas la vegetación juega un papel fundamental, al mantener la calidad del agua, regular la cantidad y periodicidad de los cauces, mantener la estabilidad ambiental cuenca arriba-cuenca abajo, infiltrar agua para recargar los acuíferos, proteger al suelo, capturar CO<sub>2</sub>, controlar las inundaciones y ser refugio y proveedor de recursos para la fauna, por mencionar algunas de sus funciones más importantes.

En estos trabajos se menciona que la subcuenca cuenta con más del 50% con uso agrícola, deno-

## Conclusiones para una política pública para la restauración del ecosistema lacustre desde la perspectiva de la justicia ambiental

tando la importante relación que tiene el tipo de suelo con el escurrimiento; ya que en ciertas partes de la subcuenca existen suelos con alta permeabilidad contribuyendo a la recarga de los acuíferos, que de otra forma se perdería por escurrimiento superficial, esto debido al cambio de la vegetación para su uso en la agricultura. La implementación del manejo integral de cuencas debe partir del supuesto de la cooperación y coordinación entre instituciones, implicando el compromiso entre el gobierno y una sociedad organizada.

En particular, en la subcuenca de Tzurumútaró es muy importante que se atiendan los distintos esquemas para mejorar las prácticas y manejo de sus recursos hidrológicos, ya que es una de las más extensas que derivan sus aguas al Lago de Pátzcuaro y en esta área toman lugar importantes procesos de erosión y cambio de uso de suelo y vegetación que afecta directamente los coeficientes de escurrimiento superficial. Si bien un incremento en el escurrimiento superficial beneficiaría al mantenimiento del nivel de agua en el lago de Pátzcuaro también es muy probable que dicho incremento eleve el arrastre de sedimentos a dicho cuerpo de agua.

Relacionado con lo anterior, la medición del transporte de sedimentos en suspensión por el mismo dren indicó que las variaciones de caudal muestran una marcada diferencia entre el periodo de estiaje y el de la temporada lluviosa. Sin embargo, algunos cambios en los registros del caudal se relacionan muy probablemente a las labores de remoción de hidrófilas y dragado. También durante el estiaje se presenta un abundante uso de agua del dren para labores agropecuarias, que es la actividad y uso principal del suelo en la subcuenca.

Dichos caudales del dren, reducidos durante el estiaje por bombeo para las zonas agrícolas adyacentes reducen durante 6 meses el valor mínimo de concentración de sólidos sedimentables

en términos absolutos por concepto de disminución del gasto del dren.

Las fluctuaciones de los parámetros son una función de los sedimentos del margen, el fondo y la velocidad del caudal. La asociación más evidente es por el arrastre de los sedimentos del fondo y las paredes del dren, conforme se incrementa el caudal se incrementan los valores de los parámetros y la turbidez.

Las observaciones en situaciones puntuales de la marcha de la descarga en eventos de precipitación y la carga de sedimentos asociada, mostraron valores muy altos de carga de sedimentos, que de acuerdo con los modelos empíricos desarrollados, demuestran la cifra más alta fue de 1.2 g/l en el periodo de estiaje, y de 0.3 g/l en condiciones de un caudal aproximado de 2.5 m<sup>3</sup>/s, en tanto que el valor mínimo fue de 0.1g/l en condiciones de caudal de menos de 1m<sup>3</sup>/s.

Asimismo se estima que la carga de sedimentos con dichos modelos reportan para el mes de septiembre, valores diarios promedio de 20 ton, en tanto que para los restantes meses de 2010 la cifra no alcanza los 5 ton diarias. Por su parte la extrapolación del método para los años 2007 a 2010 muestra un promedio de 10 mil ton anuales de sedimentos que entran al lago por el dren Tzurumútaró, lo cual parece aceptable con valores de 2,500 ton estimados para tan solo los 3 últimos meses de 2010, obtenidos con la extrapolación de valores usando los datos de nivel del dren.

Conforme a la espacialización de los parámetros de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo se realizó un análisis para obtener los valores del movimiento de sedimentos dentro de la misma. La cantidad y velocidad con que se mueven los sedimentos en la subcuenca se relacionan estrechamente con el uso del suelo y la vegetación, es decir, la cobertura vegetal tiene una fuerte influencia en estos aspectos tanto como los fac-

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

tores morfométricos y físicos así como los de naturaleza climatológica relacionados con la intensidad de la lluvia en la región.

Es conveniente completar el análisis conjunto de carga de sedimentos y fuentes difusas en la microcuenca y desde luego continuar realizando obras de conservación de suelo y promover para el uso agrícola diferentes prácticas que impacten de manera positiva en el factor correspondiente de la EUPS como son: la labranza de conservación y el uso de cultivos de cobertura, las terrazas y los surcos a nivel entre otras posibles acciones.

En cuanto a los resultados de las poblaciones de peces del lago en esta etapa final de estudio se definió, con base en las características diferenciales de las tres zonas del lago, y con el objetivo de reducir las densidades de las especies exóticas y favorecer la recuperación de las poblaciones de especies nativas, que se aplique un programa de extracción de carpa y tilapia. Para las zonas norte y centro se sugiere el uso de redes tipo chinchorro (luz de malla de 4 cm) para la captura de carpas adultas, y para la zona sur se sugiere el uso de chinchorros con luz de malla de 1cm para la extracción de tilapias y carpas juveniles. La extracción de lirio puede contribuir a eliminar sitios de crianza para las especies exóticas. El tratamiento adecuado de aguas residuales es fundamental para disminuir el grado de perturbación de las tres zonas del lago.

Muy importante resultó la posibilidad de establecer a la zona centro como sitio de conservación y refugio de especies nativas. Debido a que la probabilidad de confundir la pesca de charal con la pesca de ejemplares juveniles de pez blanco es alta se sugiere proponer una calendarización de pesca que permita la recuperación de las poblaciones de charales y la posible protección de poblaciones remanentes de pez blanco. Para lograr un manejo adecuado del recurso pesquero del lago de Pátzcuaro y una recuperación

efectiva de las poblaciones de especies nativas es necesario el compromiso a largo plazo y el monitoreo continuo de la comunidad íctica.

Del estudio del indicador biológico *Cambarellus patzcuarensis* se desprende que existe poca información poblacional sobre la especie endémica del Lago de Pátzcuaro y en general de las especies de Michoacán. No así en poblaciones del Centro y Sur del país y sólo se encuentra literatura sobre aspectos fisiológicos y nutrimentales principalmente, así como trabajos relativos a su manejo y producción en otras especies de *Cambarellus*.

Según los indicadores fisicoquímicos el lago presenta poca fluctuación de temperatura, oxígeno y pH. Se presenta un descenso de la salinidad y la conductividad en a la temporada de lluvias. El amonio registrado presenta su mayor presencia con 42.05 mg/l al norte del Lago de Pátzcuaro en la localidad de Chupícuaro, seguidos por las zonas de Cucuchucho, Pared-Tarero y Oponguio. La alta presencia de amonio indica una eutrofización del sistema. El sedimento está compuesto por un alto porcentaje de arcillas y arenas finas en tamaños que van desde .062 a 0.42 mm con presencia de zonas de áreas rocosas y los porcentajes de materia orgánica registrada fueron del 6% al 16%.

Los indicadores poblacionales obtenidos indicaron que la población de *Cambarellus patzcuarensis* se encuentra estable y en aumento, así como que las zonas con mayor densidad por área son: Isla Yunuen e Isla Janitzio. Puácuaro, Isla Yunuen e Isla Janitzio, se establecieron como zonas de reproducción por su fondo rocoso y alta presencia de organismos.

### Procesos sociales

El capítulo concerniente la estrategia para apoyar la recuperación de peces nativos en el lago de Pátzcuaro a través del manejo de especies



## Conclusiones para una política pública para la restauración del ecosistema lacustre desde la perspectiva de la justicia ambiental

exóticas y las propuestas para el manejo de la carpa resultó un estudio y un ejercicio único derivado de toda la información desarrollada durante este proyecto, desde sus primeras etapas de análisis, desde la dinámica de crecimiento de la vegetación acuática, los sedimentos, la calidad del agua, los estudios ecológicos de poblaciones de peces nativos y exóticos y un gran número adicional de temas tratados de forma exhaustiva y sistematizada.

Particularmente se logró que los intereses concurrentes y discrepantes de los distintos sectores con relación a las especies nativas más emblemáticas y culturalmente relevantes del lago como lo son el pescado blanco, la acúmara y el achoque, fueran revelados, debatidos, comparados y en algunos casos hasta conciliados.

Con base en la metodología empleada, sin excepción, todos los sectores entrevistados coinciden en la necesidad de realizar acciones en favor de las especies nativas del lago, de la recuperación de la actividad pesquera, de la calidad del agua y de la reivindicación del oficio de pescador. Al recuperar especies nativas y las condiciones de la cuenca mediante el manejo adecuado de las especies exóticas se estarían haciendo partícipes tanto a los diferentes sectores gubernamentales como a las comunidades ribereñas para que las relaciones rotas se recuperen y mejoren. La resolución definitiva de puntos de vista antagónicos con relación a los asuntos pesqueros es una expectativa social añeja.

La preocupación central de todos los sectores de la sociedad, los pescadores, las entidades de gobierno, los académicos, los operadores turísticos y otros proveedores de servicios y el público en general es el restablecimiento, en el plazo más corto posible, de las poblaciones de las especies nativas. Otra lectura, no explícita de ello, pero consecuente y realista es la prioridad de combatir y conseguir el control de las poblaciones de carpa, si no su exterminio. El reto,

por encima de ello es conseguir que, en esta oportunidad no se pase por alto, como ocurrió hace una década la dimensión social y cultural implícita en la aplicación de cualquier medida de conservación. No sobra subrayar que los ámbitos ecológico, económico, político, técnico y legal, de manera integral, deben por supuesto ser tomados en cuenta.

Por primera vez se dispone de unos lineamientos de estrategia para incidir sobre las poblaciones de las especies exóticas y nativas en cuya formulación se consultó a todos los sectores de la sociedad.

Dicha estrategia identificó actividades que pueden realizarse en el corto plazo y que pueden incidir en la mejoría de las condiciones para el florecimiento o recuperación de las especies nativas, en tanto que ya fueron evaluadas contra el sistema de calificación comparativa del grado de sustentabilidad.

El proceso para conseguir la participación de los pescadores ya no en la formulación de estos lineamientos de estrategia como fue posible hasta aquí, sino en la construcción de la estrategia y plan a detalle que vayan a ponerse en marcha será el principio de una reconstrucción franca de los puentes de comunicación rotos entre los pescadores y las autoridades, será el principio del fin del ostracismo y la opacidad que ha caracterizado a esta última década. La reconsideración de las implicaciones sociales y culturales de cualquiera de las intervenciones sugeridas propiciará el involucramiento y activa participación de los actores, puede dar lugar a que surja un profundo y auténtico compromiso a favor de las especies nativas, que como ha sido reiteradamente manifiesto si es uno de los intereses prioritarios enarbolados por todos. Ello permitirá además su formal adopción, la toma de decisiones informadas y a conciencia, el seguimiento y vigilancia social y esperamos también: su éxito.

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

Una conclusión general de todo el estudio es que es muy importante retomar, desarrollar y aplicar, como se planteó (Amador y Huerto, 2011; Huerto *et al.*, 2010), un Modelo de Gestión de Procesos, en el que una vez que ya se han identificado los procesos de deterioro que afectan al lago, tanto en los aspectos físicos, químicos, biológicos y en general del manejo de la cuenca, se definan claramente las instituciones y organizaciones Municipales, Federales y Estatales que pueden o deben incidir a partir de toda esta información generada en las acciones de restauración del lago. Que el esfuerzo no se quede truncado.

Finalmente, en relación con el capítulo de gobernanza, la principal conclusión, es que no existe ninguna regulación coherente a la escala del lago, entre el nivel local en el cual actúan de forma exhaustiva los pescadores, a diferencia de las múltiples entidades gubernamentales y ONG's que tienen una perspectiva de cuenca o regional, con objetivos fragmentados de acuerdo a funciones, intereses o recursos, sin una visión clara de los efectos concretos en los pueblos, en las estrategias de los actores sociales o de otros actores gubernamentales.

La gestión de la pesca debe ser lo más local posible, con base en los arreglos institucionales de los pescadores, pero debe existir una autoridad del lago, la cual sea capaz de ejercer sanciones o promover incentivos a partir de la escala en la que los mismos pescadores ya no son capaces de llevar a cabo acciones colectivas. Su sistema de usos y costumbres los limita a actuar a nivel de comunidad o pueblo, de *ireta juramukua* como se concibe desde su misma matriz cultural (Vargas, 2011). Se requiere un rediseño institucional en el cual se reconozca el pluralismo jurídico (Boelens, Zwarteveen, Roth, 2005) en la pesca del lago y se asignen de manera apropiada responsabilidades y derechos a las uniones y la construcción de una autoridad intercomunitaria en el lago.

No han habido los suficientes acuerdos sobre la gravedad del problema, ni los procedimientos para encarar dicha situación como para producir una respuesta firme de las entidades gubernamentales respecto al curso de acción a seguir. La problemática ambiental no ha sido presentada de manera lo suficientemente dramática para quedar fijada una agenda (Hannigan, 1995), aunque ya es reconocido por todos el deterioro del lago. Los planteamientos respecto al deterioro del ecosistema lacustre, el efecto de las especies introducidas, y las soluciones tampoco son tan contundentes aunque exista un acuerdo desde el ámbito académico hacia la diversidad de actores sociales y gubernamentales. De esa manera, cada institución presente en la región plantea soluciones desde su muy particular lectura de la realidad, respondiendo a situaciones inmediatistas sin atacar la crisis socioambiental de una manera coordinada e integral –ecosistémica–, mucho menos las causas que la originan. La carencia de un debate entre los organismos presentes en la zona para la definición de estrategias de desarrollo también dificulta la existencia de mecanismos claros y ágiles de coordinación interinstitucional entre organizaciones civiles e instancias gubernamentales, que derivan en la agudización creciente del proceso de deterioro socioambiental de la región.

Por otro lado, la participación de los grupos sociales locales, a nivel de pueblos, en la región, es débil y las organizaciones de productores locales no llegan a convertirse en interlocutores de peso que incidan en la formulación y práctica de las estrategias de desarrollo sustentable. Sin embargo esta situación no es exclusiva de los actores sociales de la cuenca del Lago de Pátzcuaro, sino que la problemática de la participación social en la toma de decisiones públicas tiene un origen común a nivel nacional. Ninguna estrategia de rehabilitación ambiental puede lograr el éxito sin la participación social en la toma de decisiones de dicho proceso.

## Conclusiones para una política pública para la restauración del ecosistema lacustre desde la perspectiva de la justicia ambiental

La cuenca y el lago de Pátzcuaro son un bien social, y también un patrimonio. Son un legado que recibimos del pasado, lo que vivimos en el presente y heredamos a las próximas generaciones. Nuestro patrimonio cultural y natural es una fuente irremplazable de sentido e identidad de la vida social, así como de recursos para la subsistencia –tanto conocimientos, prácticas sociales como valores de uso-. El patrimonio puede ser un conjunto de lugares, lengua, costumbres o incluso alimentos a los cuales se les ha asignado un valor especial como parte de la identidad grupal. El patrimonio está habitualmente adscrito a un territorio, entendiendo este último como un conjunto de relaciones sociales ubicadas espacialmente, en las que se han establecido fronteras de inclusión o exclusión.

La cuenca y el lago de Pátzcuaro son elementos centrales de los modos de vida, asentamientos y tradiciones culturales, e influye considerablemente en las sociedades humanas. La disponibilidad natural de agua a través de ríos y otros cuerpos de agua, y su relación con las llanuras, valles y montañas, creó paisajes a los cuales los grupos sociales le han asignado un valor cultural. Las formas en que utilizamos sus recursos pueden constituirse en patrimonio, al vincular el paisaje con la infraestructura y las formas de organización social, con el fin de aprovechar esta vinculación en determinadas prácticas y tecnologías.

Esperamos fervientemente que este documento, junto con el anterior (Huerto, R., S. Vargas y Ortiz C. Eds. (2011), sirvan como una base que catapulte esta serie de acciones técnicas, operativas, administrativas y políticas para la recuperación integral del lago y de su cuenca.

## Referencias

- Amador A. y R. Huerto. 2011. Análisis multicriterio de naturalidad de embalse y proyecciones markovianas del cambio de uso del suelo: Elementos para la planeación de obras y acciones de restauración en la cuenca de Pátzcuaro. En: Huerto-Delgadillo, R., Vargas-Velázquez, S. y Ortiz-Paniagua, C.F. (Eds.); Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, ISBN: 978-607-7563-39-6, 308 p.
- Aponte García, Gloria (2003), "Paisaje e Identidad Cultural", *Tabula Rasa*. No.1: 153--164, enero-diciembre, Bogotá, Colombia
- Carabias, J.; Arriaga, V.; Cervantes, V. (2007), "Las políticas públicas de la restauración ambiental en México: limitantes, avances, rezagos y retos". Boletín de la Sociedad Botánica de México, vol. Sup, núm. 80, junio, 2007, pp. 85-100.
- Castilleja González. Aída (2011), "Sistemas de conocimiento en competencia: un estudio en pueblos purépecha", en Argueta Villamar, A.; Corona-M., E.; Hersch, P., coords. (2011), *Saberes colectivos y diálogo de saberes en México*. México: CRIM-UNAM, Universidad Iberoamericana-Puebla Centro INAH-Morelos
- Blaikie, P. (1985), *The Political Economy of Soil Erosion in Developing Countries*, Longman Development Series, London.
- Blaikie, P.M.; Brookfield, H.C. (1987), *Land Degradation and Society*. London and New York.
- Eder, K. (1996), *The Social Construction of Nature*, Londres: Sage Publications.
- Descola, Philippe (2001), "Construyendo naturalezas, ecología simbólica y práctica social", en Descola Philippe y Pálsson Gísli, *Naturaleza y sociedad. Perspectivas antropológicas*, Siglo XXI Editores, México.
- Hannigan, J. (1995), *Environmental Sociology. A So-*

## Estudio ecosistémico del lago de Pátzcuaro

- cial Constructions Perspective*, Londres: Routledge.
- Hajer, M.A. (1995), *The Politics of Environmental Discourse*. Oxford.
- Huerto, R., Alonso, P., Vargas, S., Amador, A., Ortiz, C. y Zambrano, L. 2010. *Manejo integral para el control de malezas acuáticas, especies invasoras y remoción de sedimentos en apoyo a la recuperación de especies emblemáticas y mejora de la calidad del agua del lago, Informe Final*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, México 104 Pp.
- Huerto-Delgado, R., Vargas-Velázquez, S. y Ortiz-Paniagua, C.F. (Eds.) (2011). Estudio ecosistémico del Lago de Pátzcuaro: Aportes en gestión ambiental para el fomento del desarrollo sustentable. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos, ISBN: 978-607-7563-39-6, 308 p.
- Lezama, J.L. (2004), *La construcción social y política del medio ambiente*, México: El Colegio de México.
- Magaña Ochoa, Jorge y Belkis G. Rojas Trejo (2008), “El paisaje cultural como elemento de patrimonialización: el caso de Vega de Pas, Cantabria, España”, en *LiminaR. Estudios sociales y humanísticos*, año 6, vol. VI, núm. 1, junio de 2008, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.
- Medellín, P. (2006), “La política y las políticas públicas en regímenes de ‘obediencias endebles’. Una propuesta para abordar las políticas públicas en América Latina”, en R. Franco y J. Lanzaro, coord. *Política y Políticas Públicas en los procesos de reforma de América Latina*. CEPAL-FLACSO, Buenos Aires, pp. 101-144.



