



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE
HIDALGO**

Facultad de Biología

**Programa Institucional de Maestría en Ciencias
Biológicas**

**Análisis espacial y temporal de la integridad biótica en el Lago de
Pátzcuaro con base en los atributos de las comunidades de peces
y macroinvertebrados acuáticos.**

PROYECTO DE TESIS

Que presenta:

Miguel Aurelio Piñón Flores

Como requisito parcial para obtener el título profesional de:

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Director de Tesis: Martina Medina Nava

Co-Director de tesis: Juan Pablo Ramírez Herrejón

Morelia Michoacán de Ocampo, marzo 2017



A mis Amores

Marce y Ámbar

“Lo esencial es invisible a los ojos”

Antoine Saint Exhupery

Agradecimientos

Quiero dar las gracias a CONACYT, así como a la tres veces H UMSNH, a la facultad de Biología, a el Laboratorio de Biología Acuática “Javier Alvarado Díaz” (el cual fue mi maestro y excelente), a la UAQ y a la CONAGUA, por todo el apoyo otorgado tanto logístico y presupuestal, para llevar a buen término la presente investigación. Que tuvieron a bien, becar y apoyar a un estudiante reformado, del que se decía que su mochila aprendía más que él.

A todos los involucrados o que involucre en este viaje, desde darles lata con las salidas al campo, preparación de material, colecta, recolecta, metidas de pata y que con palabras como “olvide la electro machín”, ganas de ir al baño a medio del lago o con algunas caídas de la lancha dieron sabor a este bisne. Demostrando el por qué las mujeres están dominando el mundo, ya que nunca se aguitaron por jalar la red (Mayra), ser el punto clave (Arely), dejar hijos mientras van a campo (Yeimi), o tirar la muestra como a todo mundo nos ha pasado (Flor). Aunque lo machines no se quedaron atrás, trabajando con determinación (Vale y Luis) por la emoción o platicar (Piter, Richie), por aprender (Alexis, Robert) o simplemente por hacer paro (Carlos y cabaret). Y que, aunque se hacen llamar teletubies se que quieren ser espartanos. Que, con todos ellos, desde el pequeño cuchitril hasta ese gran lago, se gestaron planes proyectos y un poquito de ciencia para todos. Así como a la jauría de muchachos del servicio que sin ellos esto no habría podido concretarse, además de Omar y Martin de la UAQ, que también le entraron al quite y que como todos los anteriores supieron lo mandón que soy.

Como no agradecer a los pescadores Rubén Quirino y sus hijos que siempre estuvieron a tiempo y nunca se echaron para atrás, a pesar de salir a deshoras de la costumbre de pesca, situación aparentemente sencilla pero que hay que reconocer (eso si sábados y domingos no se trabaja porque hay fiestas).

A Ricardo y Raúl que apoyaron desde sus trincheras para que este trabajo se realizara.

A mi comité sinodal que espero no haberlos cansado con lo latoso que soy, porque creo si les di bastante. Rodrigo que me tuvo que aguantar un mesecillo de arrimado en su cubículo, con el montón de dudas e inquietudes, con platicas amenas y el disfrute de la vida, que tuvo a bien dar forma al presente

trabajo. A Norman, por aguantar mi acelere queriendo demostrar lo que no es demostrable, que me dio dos que tres buenas cátedras, para mejorar este trabajo y a mi persona. A Omar, que me quería cobrar 50c por goodeido identificado, y con sus comentarios de “yo ni se de eso” pero que cuando preguntaba me ponía a temblar, además de darse el tiempo de leer y hacer comentarios oportunos al trabajo demostrando que, ¡si sabe, pero se hace!

A Juan Pablo que desde el primer momento que se me ocurrió preguntar “Machín puedo hacer la maestría contigo” dijo que si, sin preguntar en que o que quieres. Gracias por darme tan gran apoyo cuando más necesitaba. Tener la apertura para la plática discusión y chascarrillos decentes e indecentes de lo que puede ser la vida en la investigación y en el querido hogar, muchas gracias por ser más que un tutor de tesis y haber abierto el corazón para encontrar un amigo.

A la queridísima Tina que se vio envuelta en el torbellino de la locura, en la cual también he podido encontrar una amiga más que una asesora, no porque no me pueda enseñar mucho de trabajo sino porque puede y ha enseñado más de la vida y lo bonito que es vivirla. Muchas gracias por todos tus consejos y gran apoyo.

Quiero agradecer a mi familia, a mis papas hermanos cuñad@s y sobrin@s, que siempre me apoyan, disfrutan de la buena platica, de las peripecias que es realizar un trabajo como este, en el que no es únicamente ir a campo y recolectar datos. Que están al pendiente de mis avances, aunque entiendan la mitad, pero saben lo importante que es para mí poder concretar este logro, que además de personal es para mejorar la situación familiar y del entorno.

A mi querida hija, que tanto le gusto lo que yo hacía que decidió ser paleontóloga, que aunque parezca difícil, bien me ayudo a contar peces (ella fue la que conto bien) y hacer de capataz en el trabajo “estos peces yo los cuento tú los tuyos”. Pero si te hago saber que tu Ámbar eres el corazón de la pequeña ardilla que recorre mi mente e impulsa la rueda para mejorar y crecer, eres el centro de mis preocupaciones y mis temores, por ti y por tu mamá sigo adelante.

Mortz, sin ti no podría haber avanzado en nada, me sacaste del estancamiento en el que me encontraba, me has dado tanta tanta lata, que cuando no lo haces

te extraño. Disfruto compartir la vida, mi montón de emociones, lo bueno lo malo lo X, todo. Eres mi apoyo, la persona que camina a mi lado buscando el rumbo que nos lleve este sendero que hemos decidido recorrer. Conoces mi real pasión por la investigación (oculta), que siempre trato de compartir contigo te amo.

Y por último a todas las pequeñas latas que comparten nuestro hogar, Atila, Masha, Vivica, Yin-Yin, Trappist, filomena, Lerma, ruskis, puski arcoíris y la jauría, en memoria de sauron y sin nombre.

RESUMEN

Los sistemas lenticos a nivel mundial, muestran cambios ecosistémicos relacionados a la acumulación histórica de efectos climáticos, geológicos, y antrópicos. Los índices de integridad biótica son una herramienta útil para el monitoreo de ecosistemas acuáticos (Karr y Dudley 1981), cuya aplicación ha sido ampliamente documentada. Un sistema lentico que puede servir como modelo de estudio, para la evaluación de la integridad biótica (IIB), es el lago de Pátzcuaro. Para ello, se generaron dos IIB usando a las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos. El índice de peces se construyó con 159 variables y 197 muestras de cinco años de colecta (2009-2012 y 2015), 24 de ellas se separaron para la validación. Se seleccionaron siete variables (ACP 94.67% tercer componente), para conformar el Índice de Integridad Biótica de la Comunidad de Peces del Lago de Pátzcuaro (IIBCP-PATZ). El de Macroinvertebrados, con 139 variables y 139 muestras de cinco años de colecta (2008-2011 y 2015), seleccionando 13 para validación. Se seleccionaron siete variables (ACP 91.6% tercer componente) para conformar el Índice de Integridad Biótica de la Comunidad de Macroinvertebrados Acuáticos de Pátzcuaro (IIBMC-PATZ). La evaluación de las muestras para validación, exhiben que los índices si discriminan entre las distintas categorías, tanto en peces (prueba de Kruskal Wallis H' , $X^2= 18.9388$, $DF= 2$, $p<0.0001$, ANOSIM $R=0.47$, $p< 0.0002$), como en macroinvertebrados (prueba de Kruskal Wallis H' , $X^2= 11$, $DF= 3$, $p=0.0017$, ANOSIM, $R=0.5185$, $p=0.0013$). En los cinco años analizando el IIBCP-PATZ, los sitios con más degradación son el embarcadero de Pátzcuaro y Manantial de Uranden, con la categoría de pobre, los más conservados son el manantial Chapultepec, Isla Pacanda y Ukasanastakua. Los macroinvertebrados, califican como degradado a Santa Fé de la Laguna, Tzocurio y Tzintzuntzan, los sitios excelentes son los manantiales de Uranden y Chapultepec. El IIBCP-PATZ refleja condiciones de la estructura de la comunidad de peces, así como de la estructura trófica. El IIBMC-PATZ indica los cambios en la estructura del hábitat y pérdida de vegetación de la zona litoral.

Palabras clave: sistema lentico, Integridad Biótica, Comunidad, Peces, macroinvertebrados.

ABSTRACT

Lentic systems worldwide show ecosystem changes related to the historical accumulation of climatic, geological, and anthropic effects. The biotic integrity indexes are a useful tool for the monitoring of aquatic ecosystems (Karr and Dudley 1981), whose application has been widely documented. A lentic system that can serve as a model of study, for the evaluation of the biotic integrity (IIB), is the lake of Pátzcuaro. Two IIBs were generated using the fish communities and aquatic macroinvertebrates. The fish index was constructed with 159 variables and 197 samples of five years of collection (2009-2012 and 2015), 24 of which were separated for validation. Seven variables (ACP 94.67% third component) were selected to form the Biotic Integrity Index of the Pátzcuaro Lake Fish Community (IIBCP-PATZ). Macroinvertebrates, with 139 variables and 139 samples of five years of collection (2008-2011 and 2015), selecting 13 for validation. Seven variables (ACP 91.6% third component) were selected to form the Aquatic Macroinvertebrate Community Index of Biotic Integrity of Pátzcuaro (IIBMC-PATZ). The evaluation of the samples for validation, show that the indexes discriminate between the different categories, both in fish (Kruskal Wallis test H' , $X^2 = 18.9388$, $DF = 2$, $p < 0.0001$, ANOSIM $R = 0.47$, $p < 0.0002$), As in macroinvertebrates (Kruskal Wallis test, $X^2 = 11$, $DF = 3$, $p = 0.0017$, ANOSIM, $R = 0.5185$, $p = 0.0013$). In the five years analyzing the IIBCP-PATZ, the most degraded sites are the Embarcadero Pátzcuaro and Uranden spring, with the category of poor, the most conserved are the Chapultepec spring, Pacanda Island and Ukasanastakua. Macroinvertebrates, classified as degraded to Santa Fe de la Laguna, Tzocurio and Tzintzuntzan, the excellent sites are Uranden and Chapultepec springs. The IIBCP-PATZ reflects conditions of the structure of the fish community, as well as the trophic structure. The IIBMC-PATZ indicates changes in habitat structure and loss of vegetation in the coastal zone.

Key words: lentic system, Biotic Integrity, Community, Fish, macroinvertebrates

Contenido

1.- DESCRIPCIÓN GENERAL Y ANTECEDENTES DEL TRABAJO	2
1.1-INTRODUCCIÓN.....	2
1.2.-JUSTIFICACIÓN	6
1.3.-PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN:.....	7
1.4.- HIPOTESIS.....	7
1.5.-OBJETIVOS.....	7
1.6.-METODOLOGÍA GENERAL	8
1.6.1 Área de estudio	8
2.- CAPITULO 1	10
INTEGRIDAD BIOTICA DEL LAGO DE PATZCUARO CON BASE EN LA COMUNIDAD DE PECES IIBCP-PATZ.....	10
2.1 Introducción	11
2.2 Método.....	12
2.3. Resultados comunidad de peces.....	19
2.4. Discusión comunidad de peces	27
3. CAPITULO 2.....	38
INTEGRIDAD BIOTICA DEL LAGO DE PÁTZCUARO CON BASE EN LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS IIBMC-PATZ.....	38
3.1. Introducción	39
3.2. Materiales y métodos	40
3.3. Resultados comunidad de macroinvertebrados	47
3.4. Discusión	55
4.-DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL DE LA INTEGRIDAD EVALUADA CON EL IIBCP-PATZ Y EL IIBMC-PATZ.....	63
5.- LIMITANTES Y FORTALEZAS.....	65
6.- RECOMENDACIONES.....	66
7.-REFERENCIAS.....	69

1.- DESCRIPCIÓN GENERAL Y ANTECEDENTES DEL TRABAJO

1.1-INTRODUCCIÓN

Desde que la humanidad comenzó a asentarse en las orillas de los lagos, ha contribuido a la modificación de la dinámica estructural, ambiental y ecosistémica de estos. En México, las modificaciones que se han detectado son: el consumo excesivo de agua, introducción de especies exóticas como estrategia en la producción de alimento para consumo humano, modificación en las riberas por desarrollos urbanos, uso como cuerpos receptores de aguas residuales y sedimentos entre otros (Linding y Zambrano, 2007; Cervantes, 2007).

Como caso particular, el Lago de Pátzcuaro muestra cambios geológicos, ecosistémicos y antrópicos (Chacón-Torres 1993, Bernal, 2002, Israde-Alcantara, *et al.*, 2005; Garduño-Monroy *et al.*, 2009). Entre los efectos geológicos recientes que han afectado al lago se encuentra el colapso y deslizamiento asociado del Volcán El Estribo que ocasionó al menos dos flujos sedimentarios en la cuenca del lago, los cuales habían sido interpretados anteriormente como eventos erosivos. De manera que las secuencias lacustres presentan evidencias de deformación por levantamiento, en el que los eventos sísmicos actualmente continúan causando una deformación de importancia. Lo anterior significa que estos factores diferentes a las fluctuaciones climáticas y antrópicas que impactan en el ambiente han afectado las secuencias de los depósitos lacustres en la región (Istrate-Alcántara, *et al.*, 2005; Garduño-Monroy *et al.*, 2009). De acuerdo a los análisis realizados por García de León *et al.* (2014), los impactos físicos y ambientales que se han observado son: “la pérdida de superficie de más de 30 km² desde 1970; pérdida de la columna de agua de más de 5m; pérdida de más de 150Mm³ de agua; pérdida de transparencia de más de 3m. Estos mismos autores discuten, que con respecto a las poblaciones de peces la captura total de las pesquerías comerciales y de supervivencia han cambiado de ~250 toneladas en 1988 a <50 toneladas en 2007, además, la introducción de especies exóticas ha alcanzado el 46% de la comunidad de peces en la última década. Ambos aspectos han contribuido al colapso de poblaciones de

peces carnívoras tanto nativas (*Chirostoma estor*) como exóticas (*Micropterus salmoides*); aumentando la proporción de especies omnívoras (*Oreochromis spp.*), perdiendo además a las especies intolerantes a la degradación ambiental e incrementándose las tolerantes hasta un 61%” (Ramírez-Herrejón *et al.*, 2014b).

De forma adicional las acciones por parte de las autoridades como la Comisión de Pesca del Estado de Michoacán (COMPESCA) están dirigidas a continuar introduciendo especies exóticas al lago, como es la Tilapia (*Oreochromis niloticus*) y la pretensión de sembrar bagre (*Ictalurus punctatus*) como estrategia de producción pesquera (COMPESCA 2013).

Antes de proponer acciones o estrategias de manejo, es de vital importancia analizar el estado actual en que se encuentran los diferentes componentes, tanto biológicos, físicos, químicos y ambientales que integran el lago de Pátzcuaro. Para así poder enfocar los esfuerzos en el manejo de este, de una manera integrada, la cual pueda contemplar los diferentes componentes (elementos biológicos y físicos que se encuentran en lago y su área de influencia), así como los procesos y funciones ecosistémicas que se desarrollan en él, tales como la asimilación y transformación de la energía, aspectos reproductivos de las especies o procesos de sedimentación entre otros.

A pesar de lo anterior, no existen estudios de la estimación de la condición integrada del ecosistema para evaluar el efecto producido por todos los impactos en los elementos y procesos ecosistémicos en relación con los cambios en las características del hábitat en el Lago de Pátzcuaro.

Un principio útil para determinar la condición de los lagos es el análisis de la integridad biótica desarrollado por Karr y Dudley (1981), la cual definen como “*la capacidad de un ambiente de soportar y mantener una comunidad adaptada, balanceada e integrada de organismos, que tienen una composición específica, diversidad y organización funcional comparable con la de un hábitat natural de la misma región geográfica*”.

Este concepto ha generado interés entre investigadores e instituciones, que posteriormente, han desarrollado índices de integridad biótica en distintos

continentes, utilizando diferentes comunidades biológicas como son diatomeas, vegetación acuática, aves y macroinvertebrados (Karr *et al.* 1986). En la región central de México se han generado diversos índices utilizando a peces y macroinvertebrados acuáticos principalmente. Lyons *et al.* (1995) diseñaron un Índice de Integridad Biótica (IIB) para ríos y arroyos de la zona Centro Oeste de México. Este IIB ha sido validado para su uso en cinco cuencas en la región de Centro-Oeste de México por (Mercado-Silva *et al.*, 2003). De la misma forma Lyons *et al.* (2000), desarrollaron un IIB para lagos de la zona central de México basándose en datos históricos de pesquerías principalmente, incluido el Lago de Pátzcuaro. Ramírez-Herrejón *et al.* (2012a) validaron para la cuenca del Río Angulo ambos índices, sugiriendo modificaciones en algunos atributos, observando que las especies de peces catalogadas como intolerantes a la contaminación orgánica se muestran resistentes a ella. Moncayo-Estrada *et al.* (2012), aplicaron un IIB en el Lago de Chapala, en el que lo evaluaron con datos de pesquerías desde los años 70s a 2010, denotando una notable pérdida de la integridad en este intervalo de tiempo concluyendo que la categoría actual del lago es de pobre.

En el caso de índices de integridad biótica que usan a los macroinvertebrados acuáticos, Pérez-Munguía y Pineda-López (2005) generaron el Índice de Integridad Biótica para las Asociaciones de Macroinvertebrados Acuáticos, para ríos y arroyos de la zona central de México, el cual ha sido probado en distintas cuencas del centro de México (Pérez-Munguía *et al.*, 2006; Piñón-Flores *et al.*, 2014). Los mismos autores (Pérez-Munguía y Pineda-López, 2007), desarrollaron el Índice de Integridad Biótica para las Asociaciones de Coleópteros Acuáticos, para manantiales cársticos de la Huasteca Mexicana. Así mismo Peralta-Peláez (2007), desarrollo un índice para lagos interdunarios en Veracruz, utilizando a las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. A pesar de que se cuenta con un IIB diseñado para lagos desde el año 2000, la integridad biótica del Lago de Pátzcuaro no ha sido evaluada utilizando esta herramienta.

Sin embargo, actualmente el cálculo del IIB se puede dificultar, ya que de acuerdo al estudio realizado por Ramirez-Herrejon *et al.* (2014b), algunas especies de peces nativos no fueron capturadas (*Allotoca diazi*, *Allotoca*

dugesii y *Skiffia lermae*) o poseen distribución restringida a ciertas zonas del lago como lo es *Allophorus robustus*. Aunado a que los peces del género *Chirostoma* ya no pueden ser identificados a nivel específico con certeza (García-de León *et al.*, 2014, Vital-Rodriguez *et al.*, 2017). Esto es importante ya que tanto la abundancia, biomasa y riqueza de peces nativos, son considerados atributos que se utilizan en el cálculo del IIB diseñado por Lyons *et al.* (2000).

Derivado de los distintos problemas por los que ha pasado el Lago de Pátzcuaro es evidente que los procesos ecológicos e hidrológicos han cambiado y sus efectos en la integridad biótica no han sido analizados. En este sentido es posible que la integridad biótica no pueda ser evaluada únicamente con base en la comunidad de peces. Mercado-Silva *et al.* (2006), sugieren que en caso de que las comunidades de peces no aporten la información suficiente para evaluar las condiciones en que se encuentra la integridad biótica del cuerpo de agua, se debe considerar el utilizar otros grupos biológicos. Ejemplo de ello es lo realizado por Harig y Bain (1998), para ríos y arroyos de Estados Unidos, que utilizan tanto a las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos. O lo realizado por Wilcox *et al.* (2002) que utilizaron a los peces, macroinvertebrados y plantas acuáticas en el desarrollo de IIB independientes con cada comunidad, en los grandes lagos entre Estados Unidos y Canadá. De manera que la combinación de las comunidades que habitan en los cuerpos de agua, puede incrementar la confiabilidad en la estimación de la integridad biótica del Lago de Pátzcuaro, aportando información importante de las distintas comunidades, en la ordenación de los niveles de organización funcional.

En el presente trabajo se evaluó la condición de la integridad biótica del Lago de Pátzcuaro, mediante un análisis histórico y actual de los atributos ecológicos de las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos, así como su relación con las características ambientales. Esto servirá como herramienta de orientación para las instituciones correspondientes, en el diseño e implementación de acciones de rehabilitación, restauración y conservación a nivel ecosistémico, así como a los interesados en el conocimiento de los ecosistemas acuáticos.

1.2.-JUSTIFICACIÓN

A partir de que distintos disturbios antropogénicos han propiciado fuertes afectaciones al ecosistema y a la estructura de las comunidades biológicas del Lago de Pátzcuaro, una manera eficaz de abordar esta problemática es haciendo uso del análisis de la integridad biótica de las comunidades de peces y macroinvertebrados, así como de las variaciones fisicoquímicas del agua. Estos métodos usan información integrada de las comunidades y de cambios en la estructura funcional, que proveen un panorama amplio de los cambios en el ecosistema (Karr y Duddley 1981; Barbour *et al.*, 1999; Segnini 2003; Pérez-Munguía *et al.*, 2007).

El lago de Pátzcuaro como modelo de trabajo es útil, ya que ha sido objeto de estudio desde principios del siglo pasado, lo que provee de información histórica robusta para el análisis de los cambios ecosistémicos y de la estructura de sus comunidades biológicas a través del tiempo (Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013).

La degradación del lago de Pátzcuaro se atribuye a la introducción de especies exóticas de peces, el incremento de descargas de aguas residuales y los cambios en las condiciones ambientales (Zambrano *et al.*, 2011). Todas ellas pueden haber mermado a las especies intolerantes e incrementado la proporción de especies tolerantes tanto de peces como de macroinvertebrados. Por lo que el ordenamiento de los grupos funcionales en las comunidades de peces, ha dejado espacios que pueden ser ocupados por las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. De manera que la integridad biótica ha cambiado en su estructura a través del tiempo y ya no puede ser evaluada únicamente por medio de los peces. Por lo tanto, para tener una mejor concepción del estado de conservación e integridad del ecosistema es necesario la implementación de métodos que incluyan atributos de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y peces, que en conjunto pueden tener una mayor confiabilidad en el monitoreo de la integridad biótica del Lago de Pátzcuaro.

1.3.-PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN:

¿Cómo ha variado el estado de la integridad biótica en el lago de Pátzcuaro en el tiempo y espacio?

¿Qué atributos de las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos son los que mejor información aportan para estimar la integridad biótica en el Lago de Pátzcuaro en la actualidad?

1.4.- HIPOTESIS

La integridad biótica del Lago de Pátzcuaro se ha deteriorado a través del tiempo y espacio, de manera que las comunidades de macroinvertebrados acuáticos están ocupando los espacios en los gremios tróficos que han dejado vacíos las comunidades de peces. Por lo que para la evaluación de forma confiable de la integridad biótica es necesario el uso de ambas comunidades.

1.5.-OBJETIVOS

1.5.1 General

Evaluar de forma temporal y espacial la integridad biótica en el Lago de Pátzcuaro utilizando a las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos.

1.5.2 Particulares

1 Caracterizar la estructura funcional histórica y reciente de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en el Lago de Pátzcuaro.

2 Caracterizar la estructura funcional histórica y reciente de la comunidad de peces en el Lago de Pátzcuaro.

3 Seleccionar los atributos de la comunidad de peces y macroinvertebrados acuáticos que permitan la evaluación de la integridad biótica actual.

4 Evaluar la integridad biótica del Lago de Pátzcuaro con los índices generados.

1.6.-METODOLOGÍA GENERAL

1.6.1 Área de estudio

La cuenca del lago de Pátzcuaro cuya superficie aproximada es de 934 km² (Bernal-Brooks, 1998), se localiza en la zona central norte del estado de Michoacán dentro de la faja volcánica transmexicana o eje neovolcanico mexicano, cuya formación aproximada es de hace 12.5 Ma, durante el Neogeno. Surge en una zona de importante actividad volcánica durante el Holoceno, donde la mayoría del vulcanismo fue de tipo monogenético (construidos en una sola erupción), conos de ceniza, domos, volcanes escudo y semiescudo (Israde, *et al.*, 2005). El Lago de Pátzcuaro forma parte de una cuenca endorreica cuyo espejo de agua posee una superficie aproximada de 116.5km², con un volumen aproximado de 500 Mm³ y se encuentra entre los 19°32'N-19°42'N y 101°32'W-101°42'W a 2,035 m.s.n.m. (Figura 1), (Chacón-Torres, 1993; Bernal-Brooks, 1998).

Por sus características físicas y el régimen de temperaturas es considerado como un lago tropical, de acuerdo a la tipología establecida por Lewis (1983), con una temperatura promedio de 17.3 a 16.5°C y una precipitación de 1124.5mm y 922.5mm, para la estación Pátzcuaro y Santa Fe respectivamente (O'Hara, 1991; Chacón Torres 1993; Bernal-Brooks, 2002). Este lago ha perdido profundidad y volumen de agua rápidamente en el paso del tiempo, de 1940 a 1990 ha pasado de una profundidad de 15 m en su punto más profundo a 12m en la misma zona (Chacón-Torres, 1993). De acuerdo al primer registro del mes de enero de la cota de nivel ubicada en el muelle principal de Pátzcuaro, en 1950 se ubicó a 2037.36msnm, en 1960 a 2038msnm, en 1971 a 2039.03msnm, en 1980 a 2039.06msnm, en 1990 a 2036.82 msnm, en el 2000 a 2035.93 msnm, en 2010 a 2035.58 msnm y en 2015 a 2035.96msnm (CONAGUA 2015 com. pers.).

Se considera que el lago se encuentra dividido en tres secciones (norte, media, sur) por las características fisicoquímicas y se caracteriza de manera general como un lago eutrófico (Bernal-Brooks 1998, Bernal- Brooks, 2002; Bravo, *et al.* 2012; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2015).

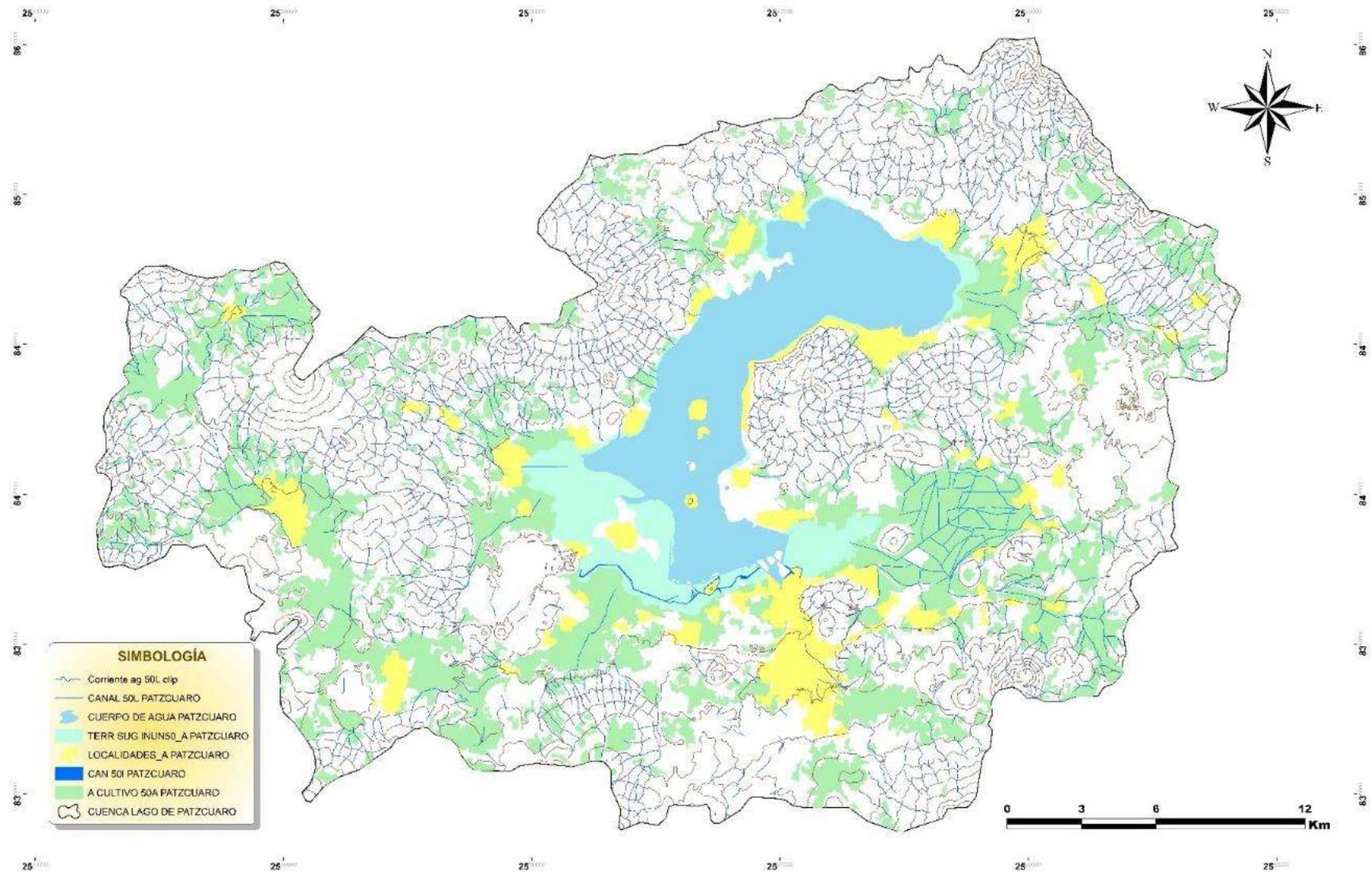


Figura 1.- Cuenca del Lago de Pátzcuaro

2.- CAPITULO 1

INTEGRIDAD BIOTICA DEL LAGO DE PATZCUARO CON BASE EN LA COMUNIDAD DE PECES IIBCP- PATZ

2.1 Introducción

Los métodos que utilizan las instituciones gubernamentales en México para evaluar el impacto ecológico en los ecosistemas acuáticos, no proveen de información suficiente para entenderlos, debido a que manejan criterios de tipo fisicoquímico y de calidad del agua con fines antrópicos. De manera que los índices de integridad biótica pueden ser una alternativa, ya que consideran distintos tipos de afectaciones antrópicas que se ven reflejadas en las comunidades bióticas (Pérez-Munguía *et al.*, 2007; Beck y Hach 2008; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2014).

Con el uso de la integridad biótica como herramienta de biomonitoreo, se ha observado que provee de una fuerte base de información que puede ser usada para identificar la condición en que se encuentran los ecosistemas, y su grado de deterioro. De manera que con su aplicación es posible enfocar estrategias de protección, restauración o rehabilitación, de acuerdo a los impactos que puedan ser detectados (Pérez *et al.*, 2007).

Entre las comunidades biológicas que pueden ser utilizadas se encuentra la de los peces, debido a que este grupo presenta distintas ventajas en su manejo, algunas de ellas son: las especies se encuentran relativamente bien estudiadas en comparación de otras comunidades, se encuentra abundante información básica, son sensibles a diferentes fuentes de degradación y su distribución se puede delimitar de manera sencilla (Karr *et al.*, 1981; Barbour *et al.*, 1999; Pérez-Munguía *et al.*, 2007).

Un ecosistema acuático que puede servir de modelo de estudio para el desarrollo de un índice de integridad biótica y su posterior aplicación es el Lago de Pátzcuaro, debido a que ha sido objeto de estudio desde principios del siglo pasado por diversos investigadores e instituciones (Matsui y Yamasita 1936; De-Buen 1941, 1942, 1943; Osorio-Taffal, 1941, Ancona *et al.*, 1941, Rosas *et al.*, 1976; Rosas *et al.* 1985; Chacon-Torres, 1989, 1993; Berlanga *et al.*, 1997; Bernal-Brooks *et al.*, 1998; Lyons *et al.*, 2000; Zambrano *et al.*, 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2012, 2013, 2014, 2015). Favoreciendo el registro de datos históricos relacionados con la comunidad de peces y variables ambientales, así como de datos actuales de publicaciones

científicas, datos de pesquerías, literatura gris, base de datos de instituciones federales, estatales, municipales y académicas.

2.2 Método

2.2.1 Trabajo de Campo y laboratorio.

Se llevó a cabo una jornada de muestreo durante el mes de mayo 2015 (máximo estiaje) y una segunda durante los meses de octubre-noviembre 2015, (período acumulado de lluvias), con el propósito de registrar las fluctuaciones en las comunidades ante disturbios naturales anuales. Se ubicaron once sitios de muestreo de acuerdo a la información histórica existente, con la finalidad de dar seguimiento a los datos de colecta de peces realizado por Zambrano *et al.* (2011) y Ramírez-Herrejón *et al.* (2015). Para de esta forma comparar con las comunidades presentes en la escala temporal y espacial, con diferentes muestreos que se han realizado en el lago.

Los sitios se definieron como someros (<2 m) y sitios profundos (>2 m) y por su ubicación en las zonas del lago, como litoral (<25 m de la orilla) así como limnético (>200 m de la orilla). A partir de lo anterior, los sitios que se encuentran al norte son: San Jerónimo (SJ) y su recolecta fue en la zona litoral somero, Santa Fé (STF) se encuentra en el litoral somero de orilla y Tzocurio (TZ) en el litoral somero de orilla. Los sitios que se encuentran en el centro del lago son: Isla Pacanda (PAC) y es de carácter litoral profundo, Ukasanastacua (UKA) caracterizado como litoral somero. En la zona sur se encuentran los sitios Napizaro (NAP) con características somero limnéticas, Napizaro orilla (NAPO) que es somero litoral de orilla, Ihuatzio (IHU) es un sitio somero en la sección litoral, El Embarcadero (EMB) de carácter litoral somero y el manantial de Uranden (MUR) de carácter litoral somero de orilla. Como sitio de referencia se recolecto en el manantial Chapultepec siendo este de carácter litoral somero de orilla (Figura 2).

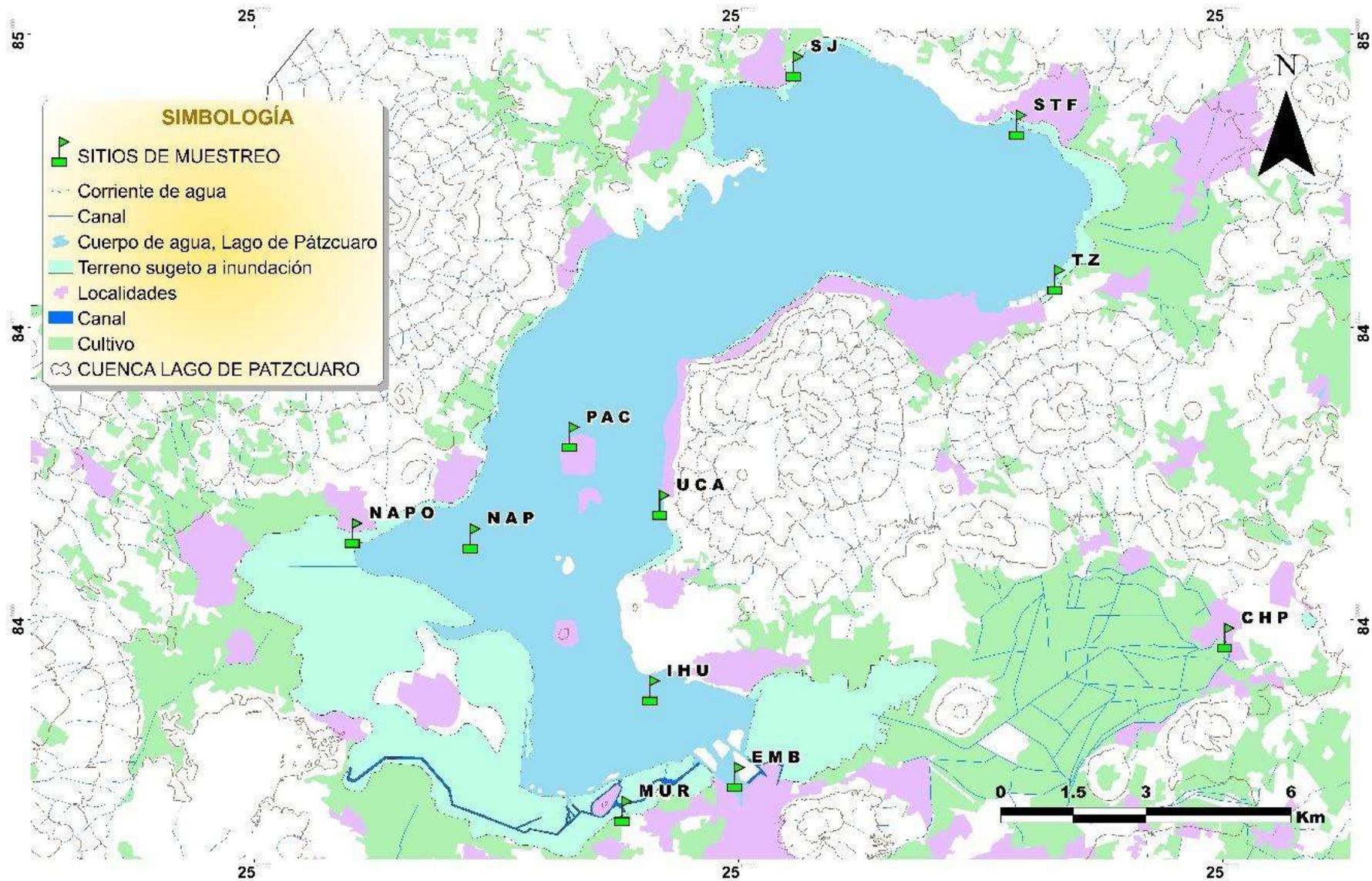


Figura2.- Mapa de localización de los sitios de muestreo en el lago de Pátzcuaro durante el 2015.

Para llevar a cabo la captura de peces en los sitios limnéticos y litorales se utilizó una red tipo chinchorro, para charales de 75 X 2.3m con una abertura de malla de 0.5cm y una red tipo chinchorro para carpas de 127.5 X 5.40m y abertura de malla de 5.5cm. En cada sitio se realizaron tres arrastres (replicas) con cada red en cada sitio de muestreo (Zambrano *et al* 2011; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2015). Cada arrastre consistió en fijar un punto de anclaje mediante una “balanca” (bordón de cedro de aprox. 5m de largo), del cual se sujetó uno de los extremos de la red, una vez anclados se procedió a deslizar en la lancha trazando un círculo, a la par de que se arrojaba la red para el despliegue de la bolsa y llegar nuevamente a la balanca. Posterior al despliegue de la bolsa, se tomaron los extremos de esta y se recogió la bolsa de manera simultánea para evitar el escape de los peces. Este método es uno de los artes de pesca utilizado por los pescadores del Lago de Pátzcuaro.

En lo que respecta a sitios litorales someros de orilla, el muestreo se realizó mediante un chinchorro de 5 X 1.5m y abertura de malla de 0.5 cm, haciendo tres arrastres en diferentes hábitats. Para ello dos personas sujetaron los extremos, uno de ellos arrastro la red extendiéndola, posterior a ello se unieron ambos extremos formando un círculo, una vez unidos se sujetaron los extremos del fondo y cerrando la red a manera de bolsa y se concentraron los peces en el fondo de la red para su recolecta.

Para cada uno de los métodos, los peces colectados se fijaron en una solución de alcohol al 80% con los datos de colecta convencionales. Para el caso de ejemplares grandes (>100mm de longitud patrón), estos se pesaron y midieron en campo, además se observó si tenían parásitos externos a simple vista.

Los peces obtenidos se identificaron a nivel taxonómico de especie o género, utilizando los criterios de Arredondo y Guzmán (1986) y Miller *et al.* (2005), Es posible que la identificación de las especies del género *Chirostoma* pueda resultar sesgada, debido a que actualmente se ha observado una combinación en los caracteres diagnóstico de las especies, principalmente en las tallas pequeñas, por lo que este grupo solo se consideró a nivel de género. Algunos de los ejemplares representativos del lago se depositaron en la colección de peces de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (CPUM).

Se caracterizó la composición y estructura funcional de la comunidad de peces usando los criterios de Barbour *et al.* (1999), Lyons *et al.* (2000), Ramírez-Herrejón *et al.* (2014).

2.2.2.- Análisis estadístico

El manejo de la información para el desarrollo del Índice de Integridad Biótica de la Comunidad de Peces del Lago de Pátzcuaro (IIBCP-PATZ), proviene de 14 sitios estudiados durante los años, 2009, 2010, 2011, 2012 y 2015. Con lo que se elaboró una matriz de datos con la información de las colectas y se procedió a calcular la densidad y biomasa para la comparación entre muestras. De esta manera se estandarizó la unidad de trabajo, entre zonas limnéticas y litorales, además de prevenir los cambios en tamaño de los chinchorros que en el futuro se puedan utilizar, para el cálculo del IIB. Una muestra de peces para este análisis está integrada en zonas limnéticas por el arrastre de un lanzamiento de red charalera, más la suma de lo procedente de un arrastre de red carpera. En lo que corresponde a sitios de orilla, una muestra está integrada por un arrastre de chinchorro. Por lo que casi todos los sitios por año, posee de dos a tres muestras obteniendo así un total de 197 muestras, entre ambas condiciones.

Para el desarrollo del IIB se propusieron 159 variables de respuesta de acuerdo a los trabajos de Karr y Dudley (1981), Harig y Bain (1998), Barbour *et al.* (1999), Lyons *et al.* (1995), Lyons *et al.* (2000), Beck y Hatch (2009), Ramírez-Herrejón *et al.* (2012), Moncayo-Estrada *et al.* (2012). Estas variables fueron sometidas a la exploración, ordenación y clasificación con estadística multivariada, utilizando los paquetes estadísticos JMP v. 8.0 (SAS Institute 2008) y PAST v. 3.07 (PAleontological STatistics).

Las variables propuestas integran atributos de la comunidad, de acuerdo a la densidad y biomasa, ya sea por especie, grupo funcional, tipo de reproducción, tolerancia, hábito de vida y origen, así como las proporciones de estas diferentes variables. Además de considerar la riqueza de peces que integran a la familia Goodeidae como los que no y la riqueza de los tipos de reproducción que existen en el lago, así como la riqueza de acuerdo a su origen nativo o exótico (Karr y Dudley, 1981; Barbour *et al.*, 1999) (Tabla 1).

Para la validación del índice, se seleccionaron 24 muestras (SJNOV09M2, PACON15M3, UKAFM10M2, CHPON15M2, SJON15M3, PACON15M2, UKAON15M2, UKAON15M3, NAPMY15M2, NAPMY15M3, NAPOON15M2, SJAB12M1, SJON15M2, SFON15M2, SFON15M3, TZO15M2, TZO15M3, PACMY15M1, UKANOV09M1, UKAMY15M3, NAPOON15M3, EMBFM10M3, EMBON15M2, EMBON15M3), utilizando la función de números aleatorios de Microsoft Excel ®. Estas muestras se excluyeron del diseño del IIB, para así tener muestras con las cuales validar el índice, tal como proponen Barbour *et al.*, (1999) y Segnini (2003). A diferencia de estos autores, las muestras no corresponden a sitios de referencia, dado que el lago actualmente carece de sitios prístinos y el único sitio que puede considerarse como tal, se utilizó para dar peso al diseño del índice. Finalmente, la matriz utilizada para el desarrollo del IIB se integró por 173 muestras y 159 variables.

Tabla 1.-Atributos de la comunidad propuestos para el desarrollo del Índice de Integridad Biótica de la Comunidad de Peces del Lago de Pátzcuaro. Densidad (D), Biomasa (B), Riqueza (R), Nativo (N), Exótico (E), Omnívoro (OM), Carnívoro (C), Zooplánctófago (Z), Ictiófago (IC), Insectívoro (IN), Herbívoro (H), Vivíparo (V), Ovíparo (OV), Tolerante (Tol), Medianamente tolerante (MTOL), Intolerante (INT), Bentónico (BE), Nectónico (NE), Goodeidae (GOO).

UNIDAD	ESPECIE	GRUPO FUNCIONAL		REPRODUCCIÓN		TOLERANCIA		HABITO		ORIGEN	
DENSIDAD	<i>A. lacustris</i>	DOM	%DOM	DV	%DV	DTOL	%DINT	DBE	%DBE	DNA	%DNA
	<i>C. carpio</i>	DOMN	%DOMN								
	Cyprinidae	DOME	%DOME								
	<i>A. robustus</i>	DC	%DC	DVN	%DVN	DINT	%DMTOL	DNEC	%DNEC	DEX	%DEX
	<i>G. atripinnis</i>	DCN	%DCN								
	<i>S. lermiae</i>	DCE	%DCE	DOVN	%DOVN	DMTOL	%DTOL	DNEC	%DNEC	DEX	%DEX
	<i>A. diazi</i>	DCZ	%DCZ								
	<i>A. dugesii</i>	DCIC	%DCIC	DOVN	%DOVN	DMTOL	%DTOL	DNEC	%DNEC	DEX	%DEX
	<i>Allotoca spp.</i>	DCICN	%DCICN								
	Goodeidae	DCICEX	%DCICE	DOVN	%DOVN	DMTOL	%DTOL	DNEC	%DNEC	DEX	%DEX
	<i>Chirostoma spp.</i>	DCIN	%DCIN								
	<i>P. inffans</i>	DCINN	%DCINN	DOVE	%DOVE	DMTOL	%DTOL	DNEC	%DNEC	DEX	%DEX
	<i>M. salmoides</i>	DCINE	%DCINE								
<i>Oreochromis spp.</i>	DHOMN	%DHOMN	DOVE	%DOVE	DMTOL	%DTOL	DNEC	%DNEC	DEX	%DEX	
DTOT	DHOMN	%DHOMN									
		DHOME	%DHOME								
BIOMASA	<i>A. lacustris</i>	BOM	%BOM	BV	%BV	BTOL	%BTOL	BBE	%BBE	BNA	%BNA
	<i>C. carpio</i>	BOMN	%BOMN								
	Cyprinidae	BOME	%BOME								
	<i>A. robustus</i>	BC	%BC	BVE	%BVE	BINT	%BINT	BNEC	%BNEC	BEX	%BEX
	<i>G. atripinnis</i>	BCN	%BCN								
	<i>S. lermiae</i>	BCE	%BCE	BOVN	%BOVN	BMTOL	%BMTOL	BNEC	%BNEC	BEX	%BEX
	<i>A. diazi</i>	BCZ	%BCZ								
	<i>A. dugesii</i>	BCIC	%BCIC	BOVN	%BOVN	BMTOL	%BMTOL	BNEC	%BNEC	BEX	%BEX
	<i>Allotoca spp.</i>	BCICN	%BCICN								
	Goodeidae	BCICE	%BCICE	BOVN	%BOVN	BMTOL	%BMTOL	BNEC	%BNEC	BEX	%BEX
	<i>Chirostoma spp.</i>	BCIN	%BCIN								
	<i>P. inffans</i>	BCINN	%BCINN	BOVE	%BOVE	BMTOL	%BMTOL	BNEC	%BNEC	BEX	%BEX
	<i>M. salmoides</i>	BCINE	%BCINE								
<i>Oreochromis spp.</i>	BHO	%BHOMN	BOVE	%BOVE	BMTOL	%BMTOL	BNEC	%BNEC	BEX	%BEX	
BTOT	BHON	%BHOMN									
		BHOE	%BHOME								
RIQUEZA	RGOO, RNGO			RV	ROV					RN	RE
				RVN	ROVN						
				RVE	ROVE						

El primer análisis exploratorio realizado, fue una prueba de correlación de Spearman dado que los datos no siguen una distribución normal, con el fin de observar variables altamente correlacionadas ($p > 0.9$) y por lo tanto redundantes, obteniendo todas las posibles combinaciones entre variables. Así mismo se aplicó un análisis de componentes principales para conocer el aporte a la variación de los distintos atributos y la dirección del vector de la variable. Se revisó cada variable de acuerdo a la distribución de sus datos expresados en percentiles ya que de acuerdo a Barbour *et al.* (1999), variables con un alto número de ceros en la distribución observada en los percentiles, son no deseables en la construcción del índice por no presentar suficiente variación.

Con la información resultante de estas tres herramientas, se fueron seleccionando las variables que más aportaban a la variación, que no se encontraban altamente correlacionadas con otras variables y que su distribución abarcara mínimo desde el percentil 25 al 100. Denotando que el análisis de componentes principales se realizó en varias ocasiones, conforme se fueron depurando variables, hasta obtener la mayor variación con la menor cantidad de variables.

Con las variables seleccionadas, se establecieron intervalos de confianza para cada una de ellas de acuerdo a su distribución. Estos se construyeron tomando desde el primer percentil hasta el 95 y seccionando en cuatro intervalos (cuadrisección), tomando este como 100%. Ya que del percentil 95 al 100 se encuentran los datos extremos tal como establece Barbour *et al.*, (1999).

Posterior a ello se construyó la tabla de calificación y categorías del IIB, de acuerdo a la puntuación mínima (1) y máxima (4) que se puede obtener por variable. Donde la suma del valor más alto de calificaciones es el límite máximo y el mínimo posible de la suma de calificaciones es el límite inferior. Con los valores entre estos dos límites se construyeron cuatro categorías, formando cuatro intervalos de la misma amplitud, y se categorizaron de acuerdo a los criterios de Pérez-Munguía y Pineda-López (2005).

Para la validación del IIB se evaluaron las 24 muestras que se habían seleccionado y apartado de la matriz, siendo calificadas y categorizadas de acuerdo a los intervalos propuestos. Posteriormente se aplicaron pruebas de

Kruskal-Wallis para saber si las categorías otorgadas por el IIBCP-PATZ eran diferentes o iguales. Para ello se utilizaron las muestras para validación, usando el conjunto de datos de cada variable propuesta sin calificar, con respecto a las categorías obtenidas por el IIBCP-PATZ (Segnini 2003).

Con el índice validado se evaluaron todas las muestras obtenidas para conocer la variación temporal de la integridad en cada sitio de muestreo, además de conocer el valor promedio de la condición de la integridad biótica.

2.3. Resultados comunidad de peces

De acuerdo a la toma de muestras en el 2015 se encontraron a los cinco representantes de la familia Goodeidae reportados para el lago (*Allophorus robustus*, *Goodea atripinnis*, *Allotoca diazi*, *Allotoca dugesii* y *Skiffia lermae*).

Particularmente, las especies de goodeidos *A. diazi*, *A. dugesii* y *S. lermae*, además del sitio de referencia (Manantial Chapultepec), se encontraron, en el sitio Napizaro orilla. *Goodea atripinnis* se encontró distribuida en las tres secciones del lago y en todos los sitios del lago, empero no se encontró en el manantial Chapultepec. En lo que respecta al género *Chirostoma spp.* se encuentra distribuido en todo el lago, pero ausente en los manantiales de Uranden y Chapultepec. Como especie translocada se encontró a *Poeciliopsis infans* que para el contexto de este trabajo se manejó como exótica, y se encontró distribuida en las tres secciones del lago en todos los sitios, principalmente en las zonas litorales, pero ausente del manantial Chapultepec. En lo que respecta a las otras especies exóticas, se encontró a *Micropterus salmoides* únicamente en la sección sur, en el embarcadero, Ihuatzio y principalmente en el manantial del embarcadero de Uranden. *Cyprinus carpio* se encontró en las tres secciones del lago con poca abundancia, y no se encontró en el manantial Chapultepec. *Oreochromis spp.* se encontró en las tres secciones del lago en todos los sitios del lago, pero no en el manantial Chapultepec y es la especie con la abundancia más alta de las especies exóticas a excepción de la última colecta en el sitio el embarcadero en la que *Poeciliopsis infans* fue la especie dominante (Tabla 2).

Tabla 2.- Distribución de las especies de peces en los sitios de muestreo. San Jerónimo (SJ), Pacanda (PAC), Ucasanastacua (UCA), Napizaro (NAP), Ihuatzio (IHU), Embarcadero (EMB), Manantial Chapultepec (CHP), Tzocurio (TZ), Santa Fe de la Laguna (STF), Napizaro orilla (NAPO), Manantial Uranden (MUR). Litoral somero (Lit S), Litoral profundo (Lit P), Litoral Orilla (Lit O).

SITIO	SJ	PAC	UCA	NAP	IHU	EMB	CHP	TZ	STF	NAPO	MUR
Zona	Lit S	Lit P	Lit S	Lim S	Lit S	Lit S	Lit O				
<i>A. robustus</i>	X							X	X	X	
<i>G. atripinnis</i>	X		X	X			X	X	X	X	X
<i>S. Lermae</i>							X			X	
<i>A. diazi</i>							X			X	
<i>A. dugesii</i>							X			X	
<i>Chirostoma spp.</i>	X	X	X	X	X	X		X	X	X	
<i>P. infans</i>	X		X		X	X		X	X	X	X
<i>C. carpio</i>	X			X	X	X		X		X	X
<i>M. salmoides</i>											X
<i>Oreochromis spp.</i>	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X

Desarrollo del índice de integridad biótica para las comunidades de peces del Lago de Pátzcuaro (IIBCP-PATZ).

De la aplicación del ACP a las 173 muestras y 159 variables, se obtuvo que la variación hasta el tercer componente es de 56.47, por lo que se procedió a analizar las variables que contenían una correlación de Spearman mayor a 0.9 eliminando las que menos información biológica aportaban.

Siguiendo el proceso de depuración, se obtuvieron siete variables, de las cuales cinco de ellas se incrementan conforme a la degradación siendo: Biomasa total (BTOT), proporción de la densidad de especies nativas (%DNA), la proporción de la biomasa de especies nativas (%BNA), la proporción de la biomasa de especies carnívoras zooplanctófagas (%BCZ), la proporción de la biomasa de especies nectónicas (%BNEC). Dos de ellas decrecen conforme la degradación y son: la proporción de la biomasa de especies exóticas (%BEX) y la proporción de la biomasa de especies ovíparas exóticas (%BOVE). Entre las siete variables aportan el 94.6787 de la variación en el tercer eigen vector (Figura 3).

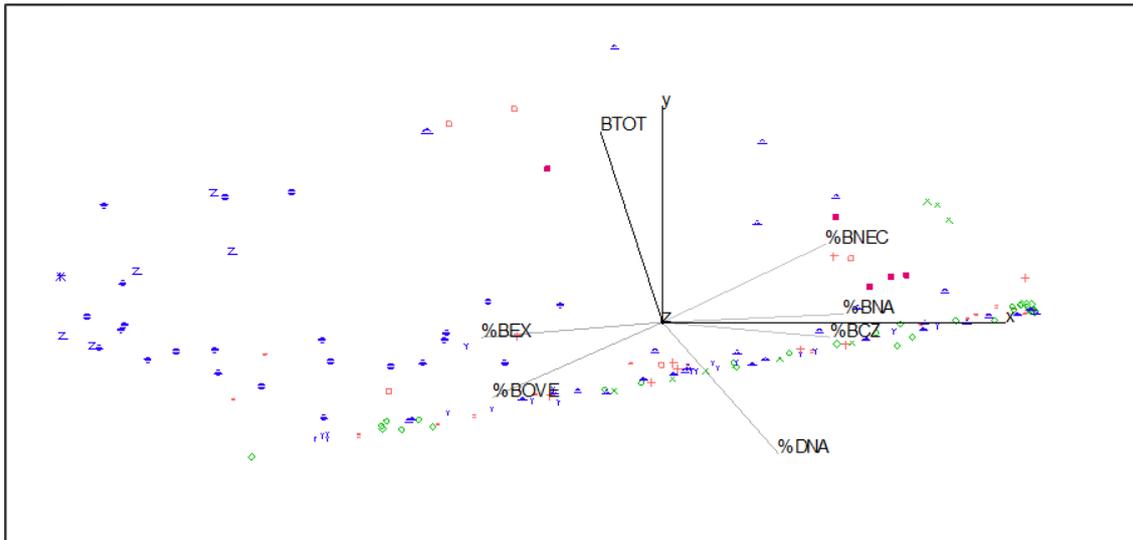


Figura 3.- Análisis de Componentes Principales de la distribución de la comunidad de peces en los cinco años de recolecta de acuerdo a las variables seleccionadas. Biomasa total BTOT, proporción de la densidad de especies nativas %DNA, proporción de la biomasa de especies nativas %BNA, la proporción de la biomasa de especies carnívoras zooplanctófagas %BCZ, proporción de la biomasa de especies nectónicas %BNEC, Biomasa de especies exóticas, proporción de la biomasa de especies ovíparas exóticas %BOVE. Azul= zona sur, verde= zona media, rojo= zona norte.

Se establecieron intervalos de confianza para cada variable de acuerdo a la distribución de sus datos, asignando valores de 1 a 4, de manera que las variables positivas, el valor de 1 se encuentra entre el cero y el percentil 25, el 2 del 25 al 50, el 3 del 50 al 75 y el 4 del 75 al cien. En contraparte a las variables negativas se le asignó el 1 al intervalo que se encuentra entre el 100 y 75, el 2 de 75 a 50, el 3 de 50 a 25 y el 4 de 25 a 0 (Tabla 3).

Tabla 3.- Intervalos de confianza para la calificación de las variables del IIBCP-PATZ, donde se establecen los límites para la asignación de puntajes. Biomasa total BTOT, proporción de la densidad de especies nativas %DNA, proporción de la biomasa de especies nativas %BNA, la proporción de la biomasa de especies carnívoras zooplanctófagas %BCZ, proporción de la biomasa de especies nectónicas %BNEC, Biomasa de especies exóticas, proporción de la biomasa de especies ovíparas exóticas %BOVE.

VARIABLES	Y>75	50 ≤ Y < 75	25 ≤ Y < 50	Y < 25
<i>BTOT</i>	Y > 4	2.3 ≤ Y < 4	1.2 ≤ Y < 2.3	Y < 1.2
<i>%DNA</i>	Y > 99.5	98.5 ≤ Y < 99.5	63.6 ≤ Y < 98.5	Y < 63.6
<i>%BNA</i>	Y > 93.3	60.2 ≤ Y < 93.3	27.1 ≤ Y < 60.2	Y < 27.175
<i>%BCZ</i>	Y > 84.4	50.1 ≤ Y < 84.4	20.5 ≤ Y < 50.1	Y < 20.5
<i>%BNEC</i>	Y > 96.5	64.4 ≤ Y < 96.5	36.4 ≤ Y < 64.4	Y < 36.4
<i>%BEX</i>	Y > 68.8	36.5 ≤ Y < 68.5	4.7 ≤ Y < 36.5	Y < 4.7
<i>%BOVE</i>	Y > 58.3	34.1 ≤ Y < 58.3	0.45 ≤ Y < 34.1	Y < 0.45
CALIFICACIÓN	Y>75	50 ≤ Y < 75	25 ≤ Y < 50	Y < 25
<i>BTOT</i>	4	3	2	1
<i>%DNA</i>	4	3	2	1
<i>%BNA</i>	4	3	2	1
<i>%BCZ</i>	4	3	2	1
<i>%BNEC</i>	4	3	2	1
<i>%BEX</i>	1	2	3	4
<i>%BOVE</i>	1	2	3	4

De acuerdo a la suma máxima posible de puntaje se construyeron cuatro intervalos de confianza para la calificación y categorización del IIBCP-PATZ, que van desde siete, siendo este la calificación más baja que se puede obtener, hasta 28 como máxima calificación. Los intervalos se categorizaron como excelente, bueno, pobre y marginal (Tabla 4).

Tabla 4.- Intervalos de confianza para las categorías del Índice de Integridad Biótica de la Comunidad de Peces de Pátzcuaro.

IIBCP-PATZ

INTERVALOS CATEGORIA

Y > 21	EXCELENTE
14 < Y ≤ 21	BUENO
7 < Y ≤ 14	POBRE
Y ≤ 7	MARGINAL

Se aplicó el IIBCP-PATZ, a las 24 muestras que se habían reservado de los análisis para la construcción del índice de integridad, encontrando que cuatro muestras se categorizaron como excelentes, una de las muestras pertenece al Manantial Chapultepec y las otras se encuentran en la zona media y norte del lago. Siete muestras se categorizaron como buenas y se encuentran principalmente en la zona media, una en la norte y una en la sur. Las otras 13 se categorizaron como pobres y se encuentran en las tres zonas del lago.

La prueba de Kruskal Wallis (H' , $X^2= 18.9388$, $DF= 2$, $p<0.0001$), corroboró que los intervalos no se traslapan entre ellos al calificar cada uno de los sitios, de igual manera la prueba de Tukey-Kramer demuestra que los intervalos son diferentes (alfa 0.05).

Al calificar las 197 muestras con el IIBCP-PATZ y con la aplicación de las pruebas de Kruskal Wallis a cada uno de los atributos y a la categorización final, se encontró que en todas las variables las categorías eran diferentes con una $p<0.0001$. Al aplicar la prueba de ANOSIM se encontró que existen diferencias entre las categorías excelente, bueno y pobre ($p=0.0001$).

Se categorizó a los sitios de muestreo de acuerdo al valor promedio de cada sitio, encontrando que los sitios Manantial Chapultepec y Pacanda son los mejor calificados y se categorizan como excelente. San Jerónimo, Santa Fé, Tzocurio, Cuello, Ukasanastakua, Napizaro orilla y Limnético e Ihuatzio se categorizaron como buenos. Mientras que el Manantial Urandén y el embarcadero fueron los sitios con la categoría de pobre (Figura 4 y Tabla 4).

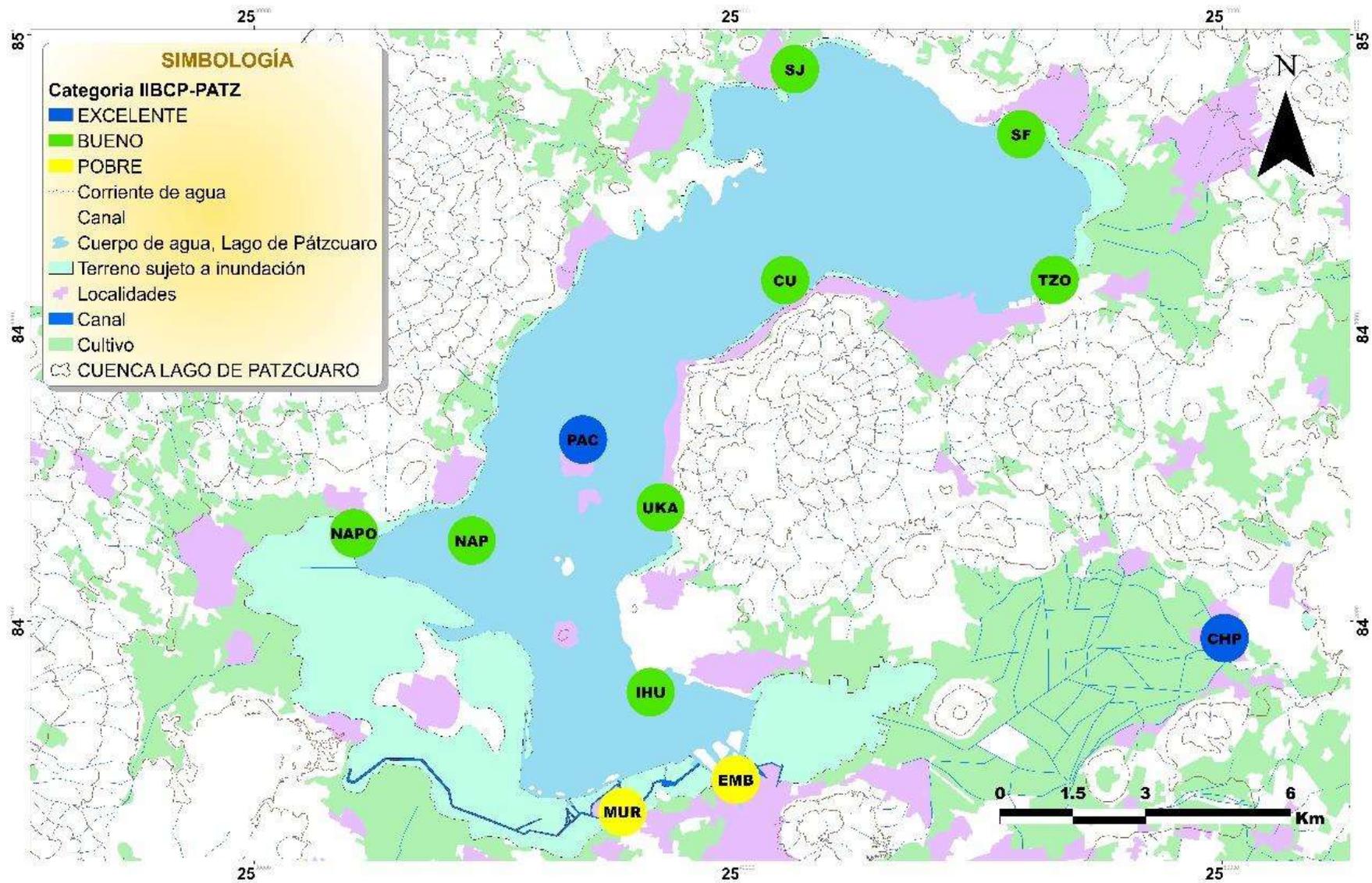


Figura 4.- Integridad biótica del lago de Pátzcuaro utilizando el valor promedio de los cinco años de muestreo 2009-2012, 2015.

Tabla 4.- Evaluación de la integridad biótica utilizando a la comunidad de peces en los sitios de colecta en el lago de Pátzcuaro.

CLAVE	PROMEDIO	CATEGORIA PROMEDIO	MEDIANA	CATEGORIA MEDIANA	DESVIACIÓN ESTANDAR
SJ	18.96	BUENO	21.00	BUENO	6.02
SF	17.75	BUENO	16.50	BUENO	4.75
TZ-TZO	15.75	BUENO	14.50	BUENO	3.20
CU	20.13	BUENO	21.00	BUENO	2.23
PAC	22.23	EXCELENTE	25.00	EXCELENTE	5.29
UKA	18.78	BUENO	19.50	BUENO	5.26
NAP	18.38	BUENO	18.50	BUENO	3.46
NAPO	17.50	BUENO	18.00	BUENO	3.94
IHU	15.33	BUENO	15.00	BUENO	3.45
EMB	11.28	POBRE	10.00	POBRE	2.21
MUR	11.00	POBRE	10.50	POBRE	1.41
CHP	23.83	EXCELENTE	25.00	EXCELENTE	2.93

Se construyó una tabla con los atributos seleccionados, donde se hace referencia a la interpretación biológica de cada una de las variables. De manera que al aplicar el IIBCP-PATZ, no solo se tiene una calificación y categoría, sino que se cuenta con una herramienta que sirve como orientación para la elaboración del diagnóstico del sitio evaluado (Tabla 5).

Tabla 5.-Atributos del IIBCP-PATZ y su interpretación biológica del ecosistema.

CLAVE	ATRIBUTO DE LA VARIABLE	INTERPRETACIÓN
BTOT	Suma de la biomasa de todos los peces encontrados en la muestra	Se refiere al peso medido en gramos por m ² procedente de la comunidad de peces, y que se hace alusión a la cantidad de recurso energético aprovechado por esta comunidad asociado al sitio de muestreo. Entre mayor sea la biomasa, mayor es el uso que se está dando al recurso energético que se encuentra disponible en el ambiente.
% DNA	Proporción de la densidad que corresponde a peces nativos	Se refiere a la proporción de organismos en un área de 1m ² y que son de origen nativo, considerando que el 100% es la condición que debería prevalecer y que su decremento ayuda a conocer el decremento de la comunidad de peces nativas frente a las exóticas.
% BNA	Proporción de la biomasa que corresponde a las especies nativas	Se refiere a la proporción de biomasa de organismos en un área de 1m ² , procedente de la comunidad de peces nativos, indicándonos la proporción de la energía alimenticia transformada en biomasa que es utilizada por especies nativas. Esperando que el 100% sea el ideal y que su decremento ayuda a saber cómo se están repartiendo los recursos entre especies nativas y exóticas.
% BCZ	Proporción de la biomasa de peces carnívoros-zooplancetofagos.	Se refiere a la proporción de la biomasa de organismos cuyo hábito alimenticio es carnívoro zooplantófago. A este grupo funcional pertenecen los peces del género <i>Chirostoma</i> que son el grupo dominante en el lago, por lo que su decremento indicaría una fuerte alteración de la red trófica del lago.
% BNEC	Proporción de la biomasa de peces de habito nectónico	Se refiere a la proporción de peces que puede habitar en toda la columna de agua, ya sea durante el día o noche y que no se encuentra restringido al bentos. Los cuales pueden aprovechar los recursos energéticos de toda la columna de agua, y su decremento indica deterioro en el ecosistema.
% BEX	Proporción de la biomasa de peces de origen exótico	Se refiere a la proporción de la biomasa en un área de 1m ² de peces de origen exótico. Es una variable que se evalúa de manera inversa considerando que el incremento en la biomasa de estas especies nos indica el decremento del ecosistema, al estar reemplazando a las especies nativas y consecuentemente modificando las rutas tróficas del lago.
% BOVE	Proporción de la biomasa de peces exóticos cuya estrategia reproductiva es de tipo ovípara	Se refiere a la proporción de la biomasa en un área de 1m ² de organismos de origen exótico, cuya estrategia reproductiva es ovípara. Estas pertenecen al género <i>Oreochromis spp.</i> y <i>Cyprinus carpio</i> los cuales, actualmente poseen las mayores tallas en el lago y son omnívoras. Es una variable que se evalúa de manera inversa asumiendo que el incremento en la biomasa de estas especies se encuentra altamente correlacionada con el decremento de las especies nativas por competencia de recursos, de manera que el incremento de la suma de la biomasa de estas especies nos habla del potencial de crecimiento y adaptación que han tenido en el lago.

A pesar de la magnitud de información histórica acerca de la comunidad de peces en el Lago de Pátzcuaro, la aplicación del IIBCP-PATZ en años anteriores a los usados en el diseño de este se dificulta. Debido a que al no encontrar trabajos que describan el arte de pesca con el que realizaron las colectas a la par del reporte completo de todas las especies encontradas el cálculo del presente IIB no es posible. Entre la revisión histórica se revisaron las bases de datos procedentes de la Colección Ictiológica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Instituto Politécnico Nacional (IPN), de la colección personal del Dr. John Lyons de la Universidad de Wisconsin-Madison, de la Colección Nacional de Referencia de la Universidad Autónoma de México (UNAM), de la información del Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA), además de la revisión de 44 documentos históricos.

2.4. Discusión comunidad de peces

La integridad biótica de un sistema léntico como lo es el Lago de Pátzcuaro con una superficie mayor a los 90 km², debe ser evaluado con información de distintos sitios de colecta, distribuidos de manera que integren información acorde al mosaico de condiciones que posee (De Buen, 1940; Roldan y Ramírez 2008; Beck y Hach 2008). Distintos autores han argumentado que el lago presenta heterogeneidad en las condiciones ambientales y morfológicas (De Buen, 1940; Rosas 1976; Telles y Motte 1980). Mientras que Chacón-Torres (1993), Bernal Brooks (2002) y Zambrano *et al.* (2011), hacen referencia a tres zonas dejando claro que no es un lago homogéneo como plantea Barbour (1973).

De ahí que durante el presente trabajo se establecieran sitios de monitoreo tratando de abarcar las tres distintas zonas del lago, para así poder generar una herramienta como el Índice de Integridad Biótica de la Comunidad de Peces del Lago de Pátzcuaro (IIBCP-PATZ) que informa de la condición ambiental de manera espacial y no de una sola sección del lago.

A pesar de encontrarse el Lago de Pátzcuaro dentro del grupo de lagos para los cuales Lyons *et al.* (2000), diseñaron un IIB, su aplicación en este no era clara. En primer término, la dificultad para identificar a las especies que integran al género *Chirostoma* por los efectos de hibridación (Berlanga *et al.*,

1997, Ramírez-Herrejón *et al.*, 2014, Vital-Rodríguez *et al.*, 2017), descarta por el momento a la variable “Número de especies nativas del género *Chirostoma*” para su aplicación. Carece además de un método de colecta con el cual evaluar y aplicar este índice, al estar construido con información de pesquerías y colecciones científicas. Además, no establece el manejo de la información que debe realizar el usuario para su aplicación, lo cual puede llevar a sesgos en su uso.

Otra de las variables del IIB desarrollado por Lyons *et al.* (2000), que puede verse afectada es el “Número de especies nativas de la familia Goodeidae” ya que Berlanga *et al.* (1997), consideró extintas en el lago a *Skifia lermae* y *Allotoca dugesii*, y que autores como Zambrano *et al.*, (2011) y Ramírez-Herrejón *et al.* (2014), dentro de sus trabajos no enfocados a evaluar la integridad biótica, solo encontraron dos taxa de la familia Goodeidae. Esto pudo deberse a que sus colectas se realizaron en la zona limnética del lago y estas especies prefieren las zonas litorales. Por lo que, al plantear el objetivo de evaluar la integridad biótica, en la campaña de muestreo del 2015 se encontraron los cinco taxa de esta familia que se habían reportado para el lago por De Buen (1943) donde se incluyen a estas dos especies. Esto fue posible a que se incluyeron sitios de la zona litoral, denotando que para la evaluación correcta de un sistema léntico como es el Lago de Pátzcuaro, es necesario tomar en cuenta la distribución espacial y biología de las especies ícticas que habitan en él. Por lo que para efectos de la integridad biótica es necesario considerar las diferencias de hábitat, así como la variación temporal. En el caso de sistemas lénticos es necesario la toma de sub-muestras para poder representar la variación que pueden presentar las distintas condiciones espaciales, morfológicas y del estado de conservación (Karr y Chu, 1999; Barbour *et al.*, 1999, Pérez-Munguía y Pineda-López, 2005, Beck y Hatch, 2008).

Otra consideración importante es el número de variables seleccionadas para la evaluación de IIB, ya que algunos de ellos como son los generados por Lyons *et al.* 1995, 2000), utilizan diez variables, Karr y Dudley (1981) y Lewis *et al.* (2001), utilizan 12, mientras que Gasner *et al.* (2003) usa nueve y Jennings *et al.* (1999) solo ocho. Al respecto Bonada *et al.* (2006), plantea

que para el desarrollo de un IIB el número de variables ideal son ocho, lo que para nuestro caso se encuentra cerca de este número al haber propuesto siete. La herramienta generada se fundamenta en el uso de densidad y biomasa, lo que permite la comparación sin que el cambio en el tamaño de red (en términos de longitud y altura de la red), ejerza un cambio significativo en la calificación del índice (Berlanga *et al.*, 1997), sin embargo, convendría realizar pruebas de sesgo para ajustar cada vez más el índice. Por lo que sugerimos para su aplicación, el uso combinado del chinchorro para captura de carpa y el de charales, dado que este arte de pesca además de ser de uso común en el Lago de Pátzcuaro, fue el utilizado para generar esta herramienta. Por lo que si se usara otro arte de pesca como lo es la red agallera (de uso común en el lago), esta podría no responder de manera similar al ser esta una red fija que se mide por unidad de tiempo, mientras que el chinchorro es de arrastre y se mide por área, sin embargo, podría llevarse a cabo la calibración para la red agallera u otro arte de pesca.

Al aplicar el IIBCP-PATZ se observan pulsos de variación en el tiempo en cada uno de los sitios, lo que puede estar reflejando los efectos producidos por la remoción de la vegetación del hábitat de ribera (Wilcox *et al.*, 2002). Por ejemplo, en San Jerónimo los pescadores realizan la práctica de limpieza y extracción de vegetación litoral para poner sus redes. Este hecho puede estar afectando los hábitats donde las diferentes especies de peces llevan a cabo funciones biológicas como el apareamiento, zona de ovoposición, o es utilizado como refugio de algunas especies o tallas pequeñas de otros (Wilcox *et al.*, 2002). Por esta razón, la extracción de la vegetación litoral puede causar el decremento de la reproducción de los peces, por lo cual, dichas zonas en el lago son clave para el mantenimiento de la comunidad de peces (Berlanga *et al.*, 1997; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2012).

De acuerdo a la calificación promedio del IIBCP-PATZ en los cinco años de trabajo en San Jerónimo lo categoriza como bueno. Donde la puntuación de seis variables oscila entre los dos y tres puntos y únicamente la variable que refiere a la proporción de la biomasa de las especies nativas, supera los tres puntos. Derivado de que en este sitio se encontró a *Goodea atripinnis* *Allophorus robustus* y los representantes del genero *Chirostoma spp.* estos

últimos en gran proporción, que en conjunto aportan para obtener buena calificación de las variables que involucran a las especies nativas. Encontrando también en este sitio degradación de la zona litoral que sirve de resguardo de las especies nativas (Berlanga *et al.*, 1997), además de encontrar en casi todas las recolectas individuos de *Oreochromis spp.* y *Cyprinus carpio*, los cuales pueden estar compitiendo por los recursos con las especies nativas.

Santa Fé de la Laguna obtuvo la categoría de bueno. En este sitio se han realizado campañas para la extracción de carpa, sin embargo, aún se encontraron individuos de esta especie (Sr. Baltazar, pescador de la población de Santa Fé de la Laguna, com. pers.). Resaltando, que también se encontraron los goodeidos *Allophorus. robustus* y *Goodea. atripinnis*, con tallas mayores a 10cm, y que en el momento del muestreo pescadores locales recolectaron un *Chirostoma estor* de 18cm de longitud patrón. Lo que nos habla de los distintos procesos de adaptación, en el que coexisten las especies nativas con las exóticas como estipula Berlanga *et al.* (1997). Siendo así que los problemas por los que atraviesa esta zona no solo se debe a la introducción de especies exóticas como lo es *Cyprinus carpio* y la competencia en el traslape de dieta que representa esta con respecto a las especies nativas como con *Goodea atripinnis*, siendo más preocupante la reducción trófica de la red alimenticia (Ramírez-Herrejón *et al.*, 2014). Por lo que se sugiere dentro de las acciones de conservación no solo extraer las especies exóticas, sino mantener la zona litoral y reducir o eliminar las descargas de aguas residuales puntuales que existen en los alrededores (Berlanga *et al.*, 1997; Zambrano *et al.*, 2014; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2014).

El sitio Tzocurio corresponde a la categoría de bueno. En el que la biomasa total fue la variable mejor calificada con 4 puntos, lo cual nos habla de la energía del sistema disponible y que está siendo aprovechada por la comunidad íctica en esta zona. Sin embargo, esta se encuentra contenida principalmente en las especies exóticas, lo cual puede estar afectando la densidad y biomasa de las especies nativas tal como reporta Castaldelli *et al.* (2013), para el río Po en Italia.

Para el caso del sitio ubicado en el cuello del Lago de Pátzcuaro, este obtuvo la categoría de bueno pero muy cercano a la categoría de excelente. En el que la variable con la calificación más baja fue la biomasa total y la más alta fue la proporción de la biomasa de peces carnívoros zooplanctofagos, la cual refiere a los peces del género *Chirostoma* los cuales son el grupo dominante en esta sección del lago tal como plantea Ramírez-Herrejón *et al.* (2014). Esta dominancia puede deberse a que este género se alimenta en toda la columna de agua, aprovechando así los recursos que en la zona se encuentran (García de León *et al.*, 2014). Aunado a que es el único depredador de las zonas limnéticas del lago, alimentándose principalmente de copépodos y cladóceros, siendo el depredador tope del lago (Vital-Rodríguez *et al.*, 2017). Encontrando también en la zona el grupo funcional de los omnívoros, denotando una red trófica más compleja, lo cual nos habla de un mejor estado de conservación (Ramírez-Herrejón *et al.* 2014) y que sustenta lo planteado por Zambrano *et al.* (2011; 2014), de que la zona centro es la mejor conservada del lago.

En la misma zona se encuentra el sitio ubicado en la isla Pacanda, que obtuvo la categoría de excelente. Es el sitio más profundo de las zonas de trabajo y las especies nativas dominan, ya que en los años 2009 a 2011 fue muy poca la concurrencia de las especies exóticas representadas por *Cyprinus carpio* y *Poeciliopsis infans* en el que solo se encontraron pocos individuos de *Oreochromis spp.* (Zambrano *et al.*, 2011, 2014; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2015). Sin embargo, en las muestras tomadas en 2015 tanto en temporada seca como en lluvia se obtuvieron numerosos individuos de *Oreochromis spp.* con una talla promedio de 16.5cm en la temporada de estiaje de 2015. Aunque sigue dominando esta zona el género *Chirostoma* en densidad (2.36 vs 0.001 en mayo y 6.74 vs 0.03 en octubre noviembre), el género *Oreochromis* empieza a dar muestra de incremento. En biomasa (0.26 vs 2.38 en mayo y 2.03 vs 1.27 en octubre noviembre) ya supero en una de las temporadas a *Chirostoma*, mostrando así que se ha incrementado su población en este sitio con respecto a años anteriores, denotando así el potencial invasivo discutido por Esselman, *et al.* (2013).

En lo que respecta al sitio ubicado en Ukasanastakua, la proporción de carnívoros zooplanctófagos obtuvo la mayor calificación promedio del sitio y nuevamente el género *Chirostoma spp.* fue dominante. Sin embargo, se observa de manera similar el incremento de la población de peces del género *Oreochromis spp.* El cual había tenido baja o nula densidad en algunos muestreos, empero en el 2015 su crecimiento fue significativamente alto, además de ser el sitio con mayor número de individuos (84, en tres muestras) con talla mayor a 6.5 cm. siendo el 2010 su muestreo homólogo donde no se registró un solo individuo de este género. Lo que nuevamente pone en consideración lo propuesto por Esselman *et al.* (2013), con respecto al alto potencial invasivo de *Oreochromis spp.*

El sitio Napizaro se categoriza con integridad buena, debido a que obtiene calificaciones entre dos y tres puntos, siendo la proporción de carnívoros zooplanctófagos la variable con mejor calificación. De manera que nuevamente el género *Chirostoma spp.* se encuentra bien representado en este sitio, haciendo notar que los individuos de este género, las tallas oscilaban entre 5 y 12 cm de L.P. y se colectó un individuo de *Chirostoma estor* de 18 cm de L.P. que, aunque a mediados del siglo pasado se encontraban individuos del género *Chirostoma spp.* de tallas mayores a 30 cm (Matsui y Yamasita 1936; De-Buen 1941; Osorio-Taffal *et al.*, 1941) actualmente es raro encontrar alguno que supere los 15 cm de L.P. (Zambrano *et al.*, 2014; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2015). Sin embargo, las especies exóticas aquí se han hecho presentes desde el inicio del muestreo en 2009, con individuos de *Cyprinus carpio*, *Oreochromis spp.* y *Poeciliopsis infans*. De los cuales *C. carpio* con 26 individuos el peso obtenido es de 2777.5gr mientras que *Chirostoma spp.* con 2593 individuos el peso obtenido fue de 1549.4gr. de manera que se observa la distinta proporción de tamaño y peso por especies exóticas, haciendo notar que este sitio es uno de los tres en que se registró a la especie *Algansea lacustris* durante el muestreo de 2010.

Cerca de la zona litoral en el sitio denominado Napizaro Orilla, solo fue muestreado durante el 2015 y obtuvo la categoría de Bueno, siendo un sitio con alto potencial energético al obtener un valor de cuatro en biomasa total y que, a pesar de contar con una baja densidad de especies nativas, estas

presentan una alta biomasa. Este sitio alberga individuos de distintos grupos funcionales desde omnívoros hasta insectívoros y zooplanctófagos. Encontrando en este sitio individuos de las especies *Allotoca dugesii* y *Skiffia lermae*, reportados extintos en el lago por Berlanga *et al.* (1997), así como de *Allotoca diazi* considerada en riesgo, ya que los últimos reportes de esta especie en el lago son de 1997, por el grupo de colecta de peces de la UMSNH y por Berlanga *et al.* (1997). Es posible que el hallazgo de estas especies en el lago, no estén hablando del estado de conservación del sitio, sino de los requerimientos de hábitat de estos peces para su reproducción (Ramírez-Herrejón *et al.*, 2012). Ya que esta zona se encuentra dentro del área de humedal ubicada al sur-oeste del lago, en la cual, la cobertura vegetal es casi del 90% integrada por vegetación sumergida, emergente y flotante, lo que confiere una disponibilidad de hábitats mayor a otras zonas del lago (Wilcox *et al.*, 2002). Esto posibilita que por su alta cobertura vegetal la colecta de estas especies se allá dificultado, por las limitaciones que representa el uso del chinchorro. Empero el que habiten estas especies en este sitio no es suficiente para otorgar la categoría de excelente, debido a que también se encuentran las especies de *Cyprinus carpio*, *Oreochromis spp.* y *Poeciliopsis infans*, este último con una gran densidad de hasta 303 individuos por m², determinando al parecer su capacidad de resistir los efectos antrópicos en el ecosistema (Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013).

El sitio ubicado en Ihuatzio demuestra ser no muy productivo en cuanto a biomasa total, con una proporción de carácter medio en todas las variables evaluadas. La proporción de biomasa de especies nativas y exóticas se encuentra equilibrada al encontrarse ambas cercanas al 50%. En lo que respecta a las especies nativas se encontraron *Chirostoma spp.* y *Goodea atripinis* en todas las campañas de muestreo y solo en el año 2009 se registró *Algansea lacustris*. Cabe mencionar que este sitio se encuentra cubierto en distintas áreas por lirio acuático y es zona de paso de las lanchas turísticas que van del muelle de Pátzcuaro a Janitzio, por lo que se puede observar lo señalado por Zambrano *et al.* (2014), con respecto al incremento de sólidos suspendidos por la acción de los motores de las lanchas, así como el incremento de materia orgánica por el exceso de vegetación, en la zona limnética.

El sitio del embarcadero de Pátzcuaro se encuentra en la categoría de pobre, esto se debe al decremento de las especies nativas, ya que al igual que en Ihuatzio solo se encuentran *Chirostoma spp.*, *Goodea atripinis* y *Algansea lacustris*. Aunado a que se encontró la mayor riqueza de especies exóticas con las pertenecientes al género *Oreochromis spp.*, las especies *Cyprinus carpio*, *Poeciliopsis infans* y *Micropterus salmoides*, de la cual solo se capturaron dos individuos juveniles (<10cm de L.P.), colectados en junio de 2010 y reportados en el trabajo de Ramírez-Herrejón *et al.* (2015). Notando que esta especie solo se reportó para dos sitios de muestreo en este estudio. Con el afán de hacer notar la disparidad de estas especies, se determinó que *Chirostoma spp.* (que es el grupo dominante en todos los sitios de estudio dentro del lago), su densidad fue de 1.8 ind/m², mientras que, para las especies exóticas como *Oreochromis spp.* fue de 10.79 ind/m² y *Poeciliopsis infans* de 48.67 ind/m². Sin embargo, resulta alarmante el crecimiento en la población de esta última especie, ya que en el inicio de este trabajo el reporte del número de individuos es de 0.28 a 0.11 ind/m² en septiembre de 2009, mientras que en octubre noviembre de 2015 se reportó una densidad de promedio de 42.74 ind/m². Esto nos habla del crecimiento poblacional de la especie y su tolerancia ante los disturbios antropogénicos, ya que este sitio es rico en materia orgánica y se ve afectada por degradaciones físicas constantes, como lo es la alteración del hábitat por el constante dragado de la vegetación. Hábitat en el que esta especie ha podido establecerse de manera exitosa, denotando su alta tolerancia a cambios en el hábitat y su capacidad de resistir alteraciones en la red trófica (Ramírez-Herrejón *et al.*, 2013). *Poeciliopsis infans* es una especie nativa de cuencas aledañas a la cuenca del Lago de Pátzcuaro considerada como translocada por Ramírez-Herrejón *et al.* (2013), empero con los resultados obtenidos es muy probable que se encuentre en un proceso de invasión en el lago.

En el Manantial Chapultepec, habitan seis de las especies nativas que habitan en el lago (*Allotoca diazi*, *Allotoca dugesii*, *Skiffia lermae*, *Goodea atripinnis*, *Allophorus robustus* y *Algansea lacustris*) y únicamente las cuatro pertenecientes al género *Chirostoma spp.* se encuentran ausentes de este sitio. Siendo que al aplicar el IIBCP-PATZ es un sitio excelente. Lo cual es acorde con lo esperado ya que este fue tomado como referencia, en el que seis de las

siete variables obtuvieron la calificación de cuatro y únicamente la variable de la proporción de la biomasa de carnívoros zooplanctófagos obtuvo la calificación de uno al no encontrar individuos del género *Chirostoma spp.* En el presente trabajo no se capturo la especie *Algansea lacustris*, esto puede deberse a que es una especie que se alimenta cerca del fondo (De Buen 1943), aunado a que los artes de pesca empleados (chinchorro y electropesca) no pueden usarse en zonas con profundidad mayor a 2m. Pero los pescadores locales aseguran que *Algansea lacustris* a quien ellos conocen como Acúmara si habita en el Manantial Chapultepec y que es de hábitos nocturnos, por lo que no se descarta el que se encuentre actualmente habitando en el manantial. En contraste, el manantial del embarcadero de Uranden se ubica en la categoría de pobre. Este sitio es el único dentro del vaso del lago en el que la transparencia del agua supera 1m ($1\pm 0.5m$) y puede llegar a los 2m ($\pm 0.5m$). Además, que en él se desarrolla vegetación sumergida, emergente y flotante, lo que de acuerdo a Wilcox *et al.* (2002), favorece el establecimiento de las comunidades biológicas. Por lo que presenta además alta disponibilidad de recursos alimenticios para los peces, como lo es la comunidad de macroinvertebrados siendo uno de los sitios en los que se encuentran la mayor disponibilidad de ellos. Sin embargo, la baja calificación es conferida por la ausencia de especies nativas, ya que en este sitio solo se encontraron dos individuos de *Goodea atripinnis*, las restantes eran especies exóticas. Lo que resalta es que se encontraba *Micropterus salmoides* con una densidad de 1 ind/m² en todas las muestras. Observando que este manantial representa una zona de resguardo que ha encontrado esta especie para habitar. Al ser un depredador ictiófago, necesita de una mayor visibilidad para poder cazar y depende de la transparencia del agua (Osorio-Taffal *et al.*, 1941; Rosas 1976). Este hecho puede remarcar las hipótesis propuestas por Matsui y Yamasita (1936); De Buen (1943); Del Campo (1940), Rosas (1976) y Berlanga *et al.* (1997); de que el decremento en las poblaciones de *Chirostoma estor* puede ser atribuido a que los juveniles de esta especie fueron depredados por la lobina.

Con las evaluaciones realizadas se observó que el Lago de Pátzcuaro ha tenido una serie de impactos que se han documentado a través del tiempo y que en

los últimos años estos se han incrementado (Ramírez-Herrejón *et al.*, 2012). En este contexto, la comunidad de peces, se encuentra en un periodo de resiliencia del ensamblaje donde interaccionan tanto especies nativas como exóticas (Berlanga *et al* 1997). Particularmente, las especies del género *Chirostoma spp.* son las que dominan el ecosistema. Sin embargo, no habitan en el manantial de Urandén y se observa su desplazamiento de la zona sur, entre Ihuatzio y el Embarcadero. Denotando que esta zona se encuentra ampliamente dominada por peces omnívoros, a pesar de que los charales pueden alimentarse de diferentes niveles tróficos, así como distintas ligas tróficas, por lo que demuestran ser tan resistentes como los omnívoros a cambios en la disponibilidad del alimento. Además de que tienen la capacidad de usar diferentes objetos como substrato reproductivo (redes agalleras, lanchas abandonadas, residuos sólidos, tuberías, vegetación acuática, etc.) (Vital-Rodríguez *et al.*, 2017). Este desplazamiento puede deberse al incremento en las poblaciones de *Poeciliopsis infans* que es ahora la dominante en estos sitios, encontrando un hábitat y condiciones propicias para su desarrollo. Denotando así la necesidad de evaluar el potencial de invasión de *Poeciliopsis infans*, con el fin de conocer de qué manera está compitiendo con las especies nativas.

La zona centro del lago presenta un mejor estado de conservación, ya que los individuos que la habitan se encuentran dominados por especies nativas con tallas y pesos mayores, lo que puede apoyar la tesis de Zambrano *et al.* (2014) de proponer conservar esta zona. No obstante, en el 2015 se registró un aumento considerable en la población de las especies exóticas en la cual *Oreochromis spp.* ha incrementado, mientras que *G. atripinnis* ha disminuido, lo cual pone en alerta ante el buen establecimiento de esta especie exótica (Esselman *et al.*, 2013).

En lo que respecta a la zona norte, tiene una integridad en promedio buena, se observa que las poblaciones de especies nativas es mayor que las exóticas y se encuentra integrada no solo por carnívoros zooplanctófagos sino por carnívoros insectívoros y hasta ictiófagos nativos como lo es el *Alloophorus robustus*. Indicando así un número mayor de interacciones tróficas que

proveen de un mejor estado de conservación de los procesos ecosistémicos del lago.

A pesar de que la integridad biótica, provee de información útil para explicar los fenómenos que suceden en los ecosistemas acuáticos (Pérez-Munguía *et al.*, 2006), el presente trabajo considera el carácter regional para el que fueron diseñados, ya que las características intrínsecas de cada región delimitarán el espacio de acción de cada índice (Karr 1986; Segnini 2003; Mercado-Silva *et al.*, 2003). Que para el caso del índice generado por Lyons *et al.* (2000), en las condiciones actuales no se puede aplicar para el lago de Pátzcuaro, dado que este, tuvo un acomodo en el ensamble de la comunidad de peces durante el periodo de generación del índice, por lo que la evaluación puede ya no ser eficiente.

Con la propuesta del IIBCP-PATZ para el monitoreo del lago de Pátzcuaro se pretende de inicio de manera recurrente al monitoreo de este ecosistema, con el fin de poder brindar una perspectiva amplia de lo que está sucediendo en la comunidad íctica del lago. Además de poder proponer estrategias de conservación con un enfoque integral, teniendo el registro en el tiempo y espacio del deterioro o recuperación del lago con un punto de comparación específico (Beck y Hatch 2009).

Si bien este trabajo, puede servir de referencia, para el monitoreo de la condición ecológica y ambiental en que se encuentra el Lago de Pátzcuaro en los diferentes sitios de trabajo, se espera seguir incrementando el acervo de conocimiento periódico del comportamiento de la comunidad de peces y su ensamblaje. Ya que para poder implementar un modelo de monitoreo es necesario la observación periódica de la condición a evaluar (Springer, 2010). Es imperante no solo observar los cambios en la calidad del agua con el enfoque fisicoquímico antrópico, sino que el monitoreo debe realizarse a la par con el enfoque de ecosistema, para poder comprender de mejor manera los fenómenos que se producen en los ecosistemas lénticos, tomando como premisa la integridad biótica (Karr y Dudley 1981; Harig y Bain 1998; Belpaire *et al.*, 2000; Lyons *et al.*, 2000; Beck y Hatch 2009)

3. CAPITULO 2

INTEGRIDAD BIOTICA DEL LAGO DE PÁTZCUARO CON BASE EN LA COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS ACUÁTICOS IIBMC-PATZ

3.1. Introducción

El uso de los macroinvertebrados como herramientas de monitoreo de los ecosistemas acuáticos ha sido usado ampliamente desde mediados del siglo pasado, utilizando distintos enfoques que han cambiado con el tiempo y el incremento del conocimiento de este grupo biológico (Dolédec y Statzner, 2010, Segnini 2003).

De manera que actualmente existen distintos enfoques para evaluar los ecosistemas acuáticos usando a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos. Uno de ellos es el de integridad biótica, desarrollado por Karr y Dudley (1981), en el que refiere a la estabilidad de los atributos de esta comunidad biológica, como elemento de respuesta para conocer el grado de deterioro en el ecosistema. El principio o concepto de la integridad biótica ha sido ampliamente extendido en la comunidad científica de distintos países, algunos de los cuales lo han incluido en su normativa (Karr 1986, Barbour *et al.*, 1999, Segnini 2003). Sin embargo, para poder aplicar un índice de integridad biótica de manera que refleje la condición de una zona en particular, es necesario desarrollar el índice para esa región, debido a la variación intrínseca de cada zona (Karr y Chu 1999). Por lo cual se han desarrollado múltiples índices con variables distintas y con métodos de colecta específicos.

En México el primer índice de integridad biótica (IIB), que utiliza a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos fue desarrollado por Weigel *et al.* (2002), para ríos de la región centro oeste del país. Posterior a ello se desarrolló el índice de integridad biótica para las asociaciones de macroinvertebrados acuáticos para ríos y arroyos del centro de México (Pérez-Munguía y Pineda-López 2004), entre otros IIB generados para ríos. Sin embargo, los IIB de sistemas lénticos, han sido menos desarrollados, de manera que en México solo se cuenta con el generado por Peralta-Peláez (2007), para lagos interdunarios de Veracruz. Por lo que actualmente no se ha construido un IIB para los grandes lagos del centro del país, tarea que no es sencilla dada la magnitud de información necesaria para ello. Empero un lago que puede servir como modelo para el desarrollo de un índice de integridad biótica, que utilice a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos es el

Lago de Pátzcuaro. Dado que en la actualidad ha sido objeto del monitoreo de sus comunidades biológicas, entre las cuales se encuentran los macroinvertebrados acuáticos. Por lo que la información es suficiente para el desarrollo de un IIB, que permita evaluar de manera integral la variación en este ecosistema, además de servir de cimiento para el desarrollo de índices de integridad biótica en los lagos de México.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Recopilación documental de información histórica y actual de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

Se realizó una revisión de documentos relacionados a la colecta de macroinvertebrados acuáticos, incluyendo informes de trabajo, tesis, publicaciones científicas y capítulos de libro. Capturando el método de colecta, riqueza y abundancia, con el fin de revisar sitios de colecta y establecer puntos de comparación de la integridad biótica en el tiempo. Cabe señalar que en Lago de Pátzcuaro, el estudio de los macroinvertebrados acuáticos ha sido bajo al solo encontrar los publicados por Osorio Taffal *et al.*, (1941), Rosas *et al.*, (1985) y la tesis de licenciatura de Pérez-Munguía (1986). Denotando que entre la información que presenta Osorio-Taffal *et al.* (1941), hace referencia a trabajos procedentes de principios de siglo en los que enlistan a diferentes taxa, sin embargo, no señalan, tipo de colecta o abundancia, al igual que el señalado autor. Por lo anterior solo se poseen dos trabajos que describen el método de recolecta, la riqueza y abundancia, uno de ellos es el realizado por Rosas *et al.*, (1985) que recolectaron durante 1979 mediante el uso de Draga tipo Eckman y el de Pérez-Munguía (1986), que recolecto durante 1984 y uso una red de arrastre, en un área de 1m².

La información reciente (<10 años de su colecta) sobre macroinvertebrados acuáticos, se obtuvo del estudio hecho por Eguía-Lis *et al.* (2011), que recolecto del 2008 a 2011, en 13 estaciones alrededor del lago, con una red de arrastre en una superficie de 1m². Utilizando para el presente trabajo la riqueza y abundancia de cada sitio, así como de cada temporada. Esta información fue complementada por jornadas de muestreo durante el mes de mayo 2015 (máximo estiaje) y una segunda durante los meses de octubre-

noviembre 2015 (período acumulado de lluvias), para registrar las fluctuaciones en las comunidades ante procesos naturales anuales en cinco estaciones de muestreo.

3.2.2. Trabajo de Campo y laboratorio.

Se ubicaron cinco sitios de muestreo de acuerdo a la información histórica existente, con la finalidad de comparar con las comunidades presentes en la escala temporal y espacial en el lago.

Los cinco sitios son de carácter litoral de orilla (<15m de la orilla) y someros (<1.5m). En la porción norte se ubicaron dos sitios, uno en Santa Fé de la Laguna (STF) y otro en Tzocurio (TZO). En Napizaro (NAPO) también se ubicó un sitio de carácter litoral somero en la porción sur. Un sitio se ubicó la salida del manantial del embarcadero frente a la isla de Uranden (MUR), en la porción sur del lago. Un último sitio con estas características se ubicó en el Manantial Chapultepec (CHP), considerado como zona de resguardo de las especies de peces que habitaban el Lago de Pátzcuaro y que aún conserva su conectividad con el ecosistema (Figura 2).

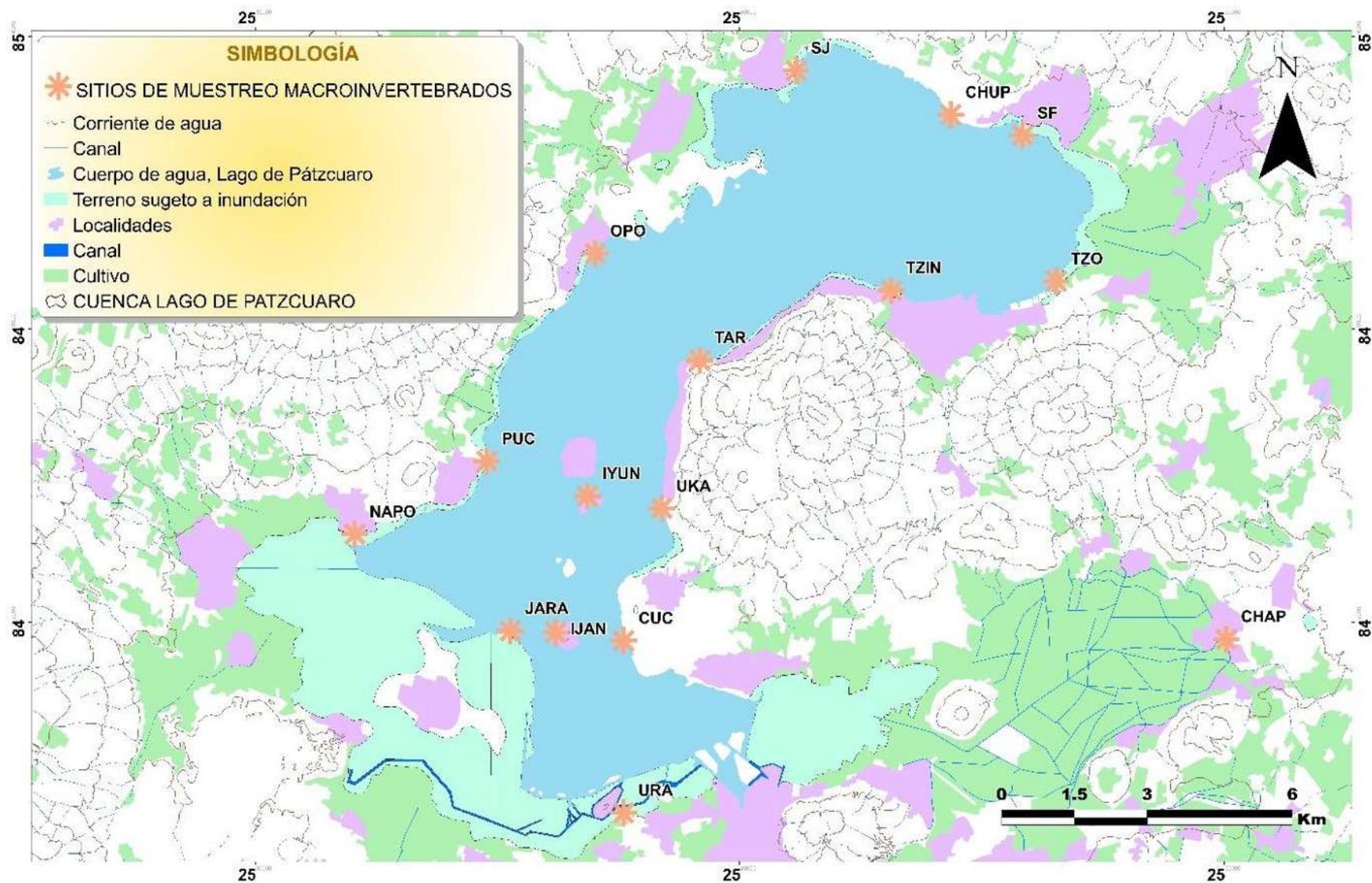


Figura2.- Mapa de localización de los sitios de muestreo de macroinvertebrados acuáticos en el Lago de Pátzcuaro, 2008-2011 y 2015.

En los sitios de litoral somero de orilla, se utilizó una red tipo “D” de 33 X 30cm y abertura de malla de 250 μ m, realizando ocho arrastres, raspado de vegetación y remoción del fondo. Cada uno de los arrastres fue de 30 X 30cm, cubriendo un área aproximada de 1.2m² y tratando de seleccionar la mayor variedad de hábitats posibles (Pérez-Munguía y Pineda-López, 2005). Todas las muestras se fijaron en alcohol al 80% y se etiquetaron con los datos de colecta convencionales.

Los macroinvertebrados acuáticos fueron separados en laboratorio con el uso de un microscopio estereoscópico, e identificados de acuerdo a los criterios de Merrit *et al.* (2008) a nivel taxonómico de familia, que es suficiente para caracterizar a la integridad biótica (Barbour *et al.*, 1999, Pérez-Munguía y Pineda-López 2005, Pérez-Munguía *et al.*, 2006). Los individuos se depositaron en la colección de Entomología Sócrates Cisneros Paz de la UMSNH y en la Colección del Centro Referencia Especializado en Bioindicadores (CREBIO), localizado en el Organismo de Cuenca Balsas de la Comisión Nacional del Agua, en la ciudad de Cuernavaca Morelos, así como en la Colección del laboratorio de integridad biótica de la Universidad Autónoma de Querétaro. La caracterización de los grupos funcionales de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos se realizó siguiendo los criterios de Barbour *et al.* (1999) y Merrit *et al.* (2008).

3.2.3. Análisis estadístico

Para la construcción del IIBMC-PATZ se elaboró una matriz con la información procedente de muestreos realizados durante el 2008, 2009, 2010, 2011 y 2015 con un total de 139 muestras de 16 sitios con al menos dos muestras durante estos años. Al usar dos redes con diferentes superficies de recolecta (red de arrastre=1m² y red “D” =1.2m²), se estandarizó la abundancia de los organismos encontrados a 1.5m² para su comparación.

Se definieron 139 variables, las cuales se encuentran integradas por la abundancia de los distintos taxa encontrados, así como atributos ecológicos y estructura funcional de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos siguiendo los criterios propuestos para la comunidad de macroinvertebrados acuáticos propuestos por Barbour *et al.* (1999), Burton, *et al.* (1999), Lewis,

et al. (2001), Blocksom, *et al.* (2001), Heatherly *et al.* (2005), Pérez-Munguía *et al.* (2007), Merrit *et al.* (2008).

Para la validación del índice se seleccionaron 13 muestras (PUREFEB11, SANFEJUL09, UKASDIC08, UKASFEB11, ISYUNSEP10, ISYUNMAY11, MURMY15, ISJANSEP08, ISJANSEP10, CHPOC15, TZINOJOFEB10, SANFEFEB11 e ISJANMAR09), utilizando la función de números aleatorios de Microsoft Excel ®. Estas muestras se excluyeron del diseño del IIB, para así tener muestras con las cuales validar y evitar redundancias en los análisis (Barbour *et al.*, 1999; Segnini com. pers 2012 y 2016). A diferencia de estos autores, las muestras no corresponden a sitios de referencia, dado que el lago actualmente carece de sitios prístinos, y el único sitio que puede considerarse como tal, se utilizó para dar peso al diseño del índice. Finalmente, la matriz utilizada para el desarrollo del IIB se integró por 126 muestras y 139 variables (Tabla 5).

Como primer paso, se aplicaron análisis de distribución a cada una de las variables, ya que de acuerdo a Barbour *et al.* (1999), variables con un alto número de ceros en la distribución observada en los percentiles, son no deseables en la construcción del índice por no presentar suficiente variación. Posterior a ello se aplicaron análisis de correlación de Spearman, dado que los datos no siguen una distribución normal, con el fin de observar variables altamente correlacionadas ($p > 0.9$) y por lo tanto redundantes, obteniendo todas las posibles combinaciones entre variables. Para la selección entre variables con una correlación mayor a 0.9, se dio prioridad a aquellas que proporcionaban una mayor información biológica del ecosistema o su sencillez para la posterior evaluación. Así mismo se aplicó un análisis de componentes principales para conocer el aporte a la variación de los distintos atributos y la dirección del vector. Usando las variables anteriormente depuradas, y con este análisis se consideraron las que mayor información aportaban a la variación hasta el tercer componente.

Con el cruce de la información resultante del manejo de estas tres herramientas, se fueron seleccionando las variables que más aportaban a la variación, que no se encontraban altamente correlacionadas con otras variables y que su distribución abarcara mínimo desde el percentil 25 al 100.

Denotando que el análisis de componentes principales se realizó en varias ocasiones, conforme se fueron depurando variables, hasta obtener la mayor variación con la menor cantidad de variables.

Con las variables seleccionadas, se establecieron intervalos de confianza para cada una de ellas de acuerdo a su distribución. Estos se construyeron tomando desde el primer percentil hasta el 95 y seccionando en cuatro intervalos (cuadrisección), tomando este como 100%. Ya que del percentil 95 al 100 se encuentran los datos extremos tal como establece Barbour *et al.*, (1999).

Posterior a ello se construyó la tabla de calificación y categorías del IIB, de acuerdo a la puntuación mínima (0) y máxima (4) que se puede obtener por variable. Donde la suma del valor más alto de calificaciones es el límite máximo y el mínimo posible de la suma de calificaciones es el límite inferior. Con los valores entre estos dos límites se construyeron cuatro categorías, formando cuatro intervalos de la misma amplitud, y se categorizaron de acuerdo a los criterios de Pérez-Munguía y Pineda-López (2005).

Para la validación del IIB, se evaluaron las 13 muestras que se habían seleccionado y apartado de la matriz con el índice de integridad biótica de macroinvertebrados acuáticos del Lago de Pátzcuaro (IIBMC-PATZ), las cuales se calificaron y categorizaron de acuerdo a los intervalos propuestos por esta herramienta.

Posteriormente se aplicaron pruebas de Kruskal-Wallis para saber si las categorías otorgadas por el IIBMC-PATZ eran diferentes o iguales. Para ello se utilizaron las muestras reservadas para la validación, usando el conjunto de datos de cada variable propuesta sin calificar, con respecto a las categorías obtenidas por el IIBMC-PATZ (Segnini 2003).

Con el índice validado, se evaluaron todas las muestras obtenidas para conocer la variación temporal de la integridad en cada sitio de muestreo, además de conocer el valor promedio de la condición de la integridad biótica.

Tabla 5.- Atributos de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos considerados para la construcción del IIBMC-PATZ. Taxa= abundancia de cada familia encontrada, ordenada de manera filogenética. A=abundancia, R=riqueza, dep=depredador, rasp=raspador, rec_col= recolector colector, filtcol=filtrador colector, desg=desgarrador, omn=omnívoro, exc=excavador, desl=deslizador, nad=nadador, buc=buceador, trep=trepador, pat=patinador, moll=Mollusca, gas= Gasteropoda, cruz=Crustacea, ephe=ephemeroptera, odo=Odonata, hem=hemiptera, col=coleóptera, ins=insecta, nins=no Insecta, trich= Trichoptera, dip=Diptera, int=intolerante, tol=tolerante.

Taxa	Nematoda	Thiaridae	Isotomidae	Saldidae	Noteridae	Hydroptilidae	Tabanidae
	Oligochaeta	Corbiculidae	Baetidae	Nepidae	Haliplidae	Helicopsychidae	Ephydriidae
	Naididae	Sphaeriidae	Leptohyphidae	Belostomatidae	Curculionidae	Leptoceridae	Phoridae
	Erpobdellidae	Bivalvia	Caenidae	Naucoridae	Elmidae	Crambidae	Sciomyzidae
	Glossiphoniidae	Hyalellidae	Aeshnidae	Corixidae	Psephenidae	Ceratopogonidae	Syrphidae
	Hirudinea	Asellidae	Gomphidae	Notonectidae	Hydrophilidae	Chironomidae	Sarcophagidae
	Planariidae	Argulidae	Libellulidae	Hebridae	Scirtidae	Dixidae	Muscidae
	Lancidae	Cambaridae	Protoneuridae	Mesoveliidae	Heteroceridae	Culicidae	
	Ancylidae	Candonidae	Coenagrionidae	Macroveliidae	Lampyridae	Psychodidae	
	Lymnaeidae	Hydrachnidae	Lestidae	Pleidae	Staphylinidae	Tipulidae	
	Physidae	Acari	Tridactylidae	Carabidae	Polycentropodidae	Dolichopodidae	
	Planorbidae	Hypogastruridae	Veliidae	Dytiscidae	Hydropsychidae	Empididae	
	Hydrobiidae	Entomobryidae	Gerridae	Gyrinidae	Calamoceratidae	Stratiomyidae	
Grupos funcionales	<i>Gremio trofico</i>	<i>Habito de vida</i>	<i>Agrupamiento taxa</i>		<i>Tolerancia</i>	<i>Estructura</i>	
Abundancia grupos funcionales	Adep	Aexc	Amoll	Ains		Abundancia total	
	Arasp	Adesl	Agas				
	Arec_col	Anad	Acrus		Aint		
	Afiltcol	Abuc	Aephe	Anins			
	Adesg	Afijo	Aodo	Atrich	Atol		
	Aomn	Atrep	Ahem	Adip			
Riqueza Estructura comunidad Taxa	Rdep	Rexc	Rmoll	Rins		Riqueza total	
	Rrasp	Rdes	Rgas		Rint		
	Rrec_col	Rnad	Rcrus				
	Rfiltcol	Rbuc	Rephe	Rnins			
	Rdesg	Rfijo	Rodo	Rtrich	Rtol		
	Romn	Rtrep	Rhem	Rdip			
		Rpat	Rcol				

3.3. Resultados comunidad de macroinvertebrados

Durante la recolecta realizada en el 2015 con la red D se obtuvo una riqueza de 60 familias, 15 subórdenes, 18 órdenes, cuatro subclases, nueve clases, seis subphylum y cinco phylum. Con una abundancia de 19647 organismos, entre las dos temporadas en los diez sitios de muestreo (Tabla 8).

Desarrollo del índice de integridad biótica para las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del Lago de Pátzcuaro (IIBMC-PATZ).

Como resultado de la depuración de las variables se obtuvieron siete, que de acuerdo al análisis de componentes principales (ACP), estas aportan a la variación, el 51.71% en el primer componente, 67.74% en el segundo y 83.05% en el tercer componente. Las variables seleccionadas son: abundancia total (AB), Abundancia de Chironomidae (Achir), abundancia de Gasteropoda (Agas), riqueza total (S), riqueza de raspadores (Rrasp), riqueza de recolectores colectores (Rrecol), riqueza de trepadores (Rtrep), riqueza de taxa no insecta (Rnins) (Figura 9).

Tabla 8- Elenco sistemático de macroinvertebrados acuáticos del Lago de Pátzcuaro, mediante el uso de Red D.

Phylum	Subphylum	Clase	Subclase	Orden	Suborden	Familia										
Nematoda				Nematoda		Nematoda										
Annelida	Clitellata	Oligochaeta		Tubificidae		Naididae										
		Hirudinea	Hirudinea	Arhynchobdellida Rhynchobdellida	Erpobdelliformes	Erpobdellidae Glossiphoniidae										
Platyhelminthes	Rhabditophora	Trepaxonemata		Neophora		Planariidae										
Mollusca		Gastropoda		Basommatophora		Ancylidae Lymnaeidae Physidae Planorbidae Hydrobiidae Thiaridae										
				Neotaenioglossa												
		Bivalvia														
Arthropoda	Crustacea	Malacostraca	Eumalacostraca	Amphipoda	Gammaridea	Hyalellidae										
				Isopoda	Asellota	Asellidae										
				Decapoda	Pleocyemata	Cambaridae										
	Chelicerata	Arachnida	Acari													
	Hexapoda	Collembola			Collembola	Poduromorpha	Hypogastruridae									
						Entomobryomorpha	Entomobryidae Isotomidae									
					Ephemeroptera	Pisciforma	Baetidae									
						Furcatergalia	Leptohiphidae Caenidae Aeshnidae Gomphidae Libellulidae									
					Odonata	Anisoptera	Coenagrionidae Lestidae									
						Zygoptera										
					Hemiptera	Heteroptera				Veliidae Gerridae Saldidae Nepidae Belostomatidae Naucoridae Corixidae Notonectidae Hebridae Mesoveliidae Macroveliidae Pleidae						
										Coleoptera	Adephaga	Dytiscidae Gyrinidae Noteridae Haliplidae				
												Polyphaga	Curculionidae Elmidae Hydrophilidae Scirtidae Heteroceridae Staphylinidae			
											Trichoptera			Calamoceratidae Hydroptilidae		
											Lepidoptera		Crambidae			
										Diptera	Nematocera				Ceratopogonidae Chironomidae Culicidae	
															Brachycera	Dolichopodidae Stratiomyidae Tabanidae Ephydriidae Sciomyzidae Sarcophagidae Muscidae

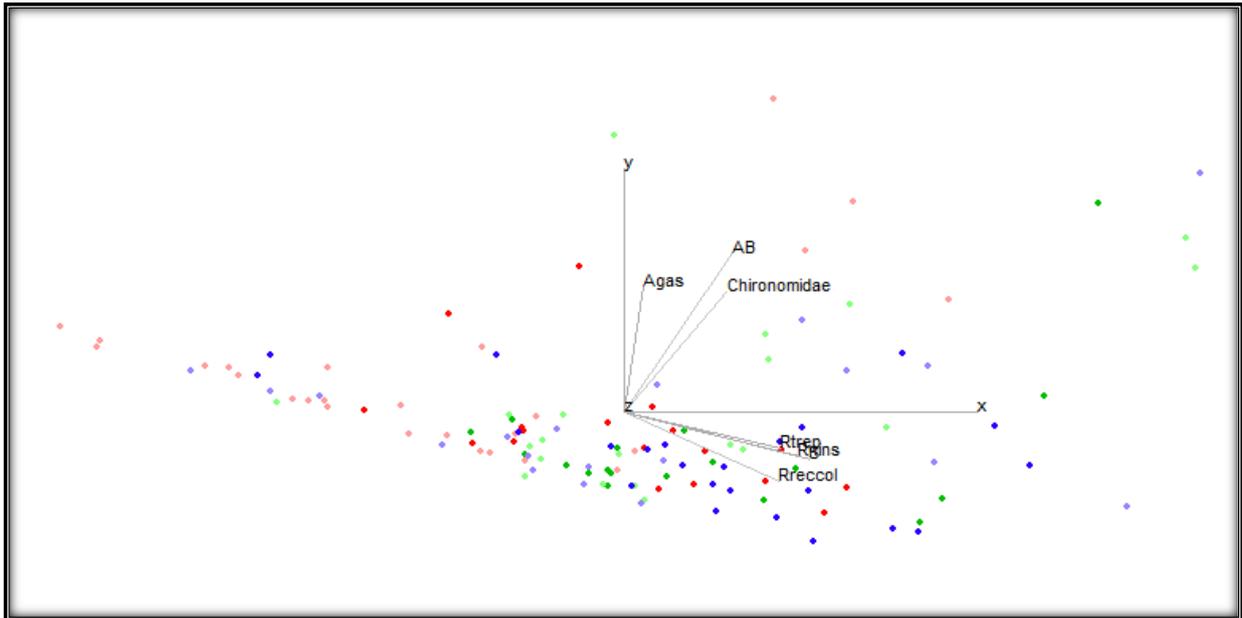


Figura 9.- Análisis de Componentes Principales con las siete variables seleccionadas las cuales aportan el 83.05% de variación en el tercer componente. Abundancia total (AB), abundancia de Chironomidae (Chironomidae), abundancia de Gasteropoda (Agas), riqueza total (S), riqueza de raspadores (Rrasp), riqueza de recolectores colectores (Rreccol), riqueza de trepadores (Rtrep), riqueza de taxa no insecta (Rnins). Sitios zona sur (Azul), cuello (verde), norte (rojo).

Se construyeron cuatro intervalos de confianza para cada variable asignando valores de 0 a 4 (Tabla 9). Los intervalos se categorizaron como excelente, bueno, pobre y marginal (Tabla 10).

Tabla 9.- Intervalos de calificación para las variables seleccionadas

Percentiles	Abundancia total	Abundancia Chironomidae	Abundancia Gasteropoda	Riqueza Total	Riqueza Trepador	Riqueza Rec-col	Riqueza no Insecta	Calificación
Y > 75	Y > 1719	Y > 246	Y > 55.5	Y > 17	Y > 6	Y > 5	Y > 8	4
75 ≥ Y > 50	1719 ≥ Y > 486	246 ≥ Y > 79.5	55.5 ≥ Y > 16.5	17 ≥ Y > 14	6 ≥ Y > 5	5 ≥ Y > 4	8 ≥ Y > 6	3
50 ≥ Y > 25	486 ≥ Y > 187.5	79.5 ≥ Y > 24	16.5 ≥ Y > 3	14 ≥ Y > 11	5 ≥ Y > 4	4 ≥ Y > 3	6 ≥ Y > 4	2
25 ≥ Y > 0	187.5 ≥ Y > 0	24 ≥ Y > 0	3 ≥ Y > 0	11 ≥ Y > 0	4 ≥ Y > 0	3 ≥ Y > 0	4 ≥ Y > 0	1
Y = 0	Y = 0	Y = 0	Y = 0	Y = 0	Y = 0	Y = 0	Y = 0	0

Tabla 10.- Intervalos de confianza para las categorías del Índice de Integridad Biótica de la Comunidad de macroinvertebrados de Pátzcuaro (IIBMAC-PATZ).

IIBMAC-PATZ	
INTERVALO	CATEGORIA
$Y > 21$	EXCELENTE
$21 \geq Y > 14$	BUENO
$14 \geq Y > 7$	POBRE
$7 \geq Y$	MARGINAL

De la aplicación del IIBMC-PATZ a las 13 muestras que se habían separado de los análisis de construcción del índice de integridad, se obtuvo que cuatro de estas muestras fueron calificadas como excelentes, cinco como buenas, dos pobres y dos marginales.

La prueba de Kruskal Wallis (H' , $X^2= 11$, $DF= 3$, $p=0.0017$), corroboró que los intervalos no se traslapan entre ellos al calificar cada uno de los sitios, de igual manera la prueba de Tukey demuestra que los intervalos son diferentes (alfa 0.05).

Se calificaron las 139 muestras con el IIBMC-PATZ y se aplicaron las pruebas de Kruskal Wallis y Tukey-Kramer a cada uno de los atributos, así como a la categorización final, encontrando que en la abundancia total las categorías de excelente y bueno son independientes, mientras que las categorías de pobre y marginal se traslapan (H' , $X^2= 77.33$, $DF= 3$, $p<0.0001$; alfa 0.05). De igual manera en la variable de abundancia de Chironomidae las categorías de excelente y bueno son independientes y las de pobre y marginal se traslapan (H' , $X^2= 54.33$, $DF= 3$, $p<0.0001$; alfa 0.05). En la abundancia de Gasteropoda las categorías de excelente y marginal son independientes, mientras que las categorías de bueno y pobre se traslapan (H' , $X^2= 53.11$, $DF= 3$, $p<0.0001$; alfa 0.05). En la riqueza total la categoría de excelente y bueno son independientes y las categorías de pobre y marginal se traslapan (H' , $X^2= 105.64$, $DF= 3$, $p<0.0001$; alfa 0.05). La riqueza de trepadores es la variable que más traslape presenta al encontrar únicamente la categoría excelente como independiente (H' , $X^2= 75.07$, $DF= 3$, $p<0.0001$; alfa 0.05). La riqueza de recolectores-colectores muestra a todas las categorías independientes (H' , $X^2= 54.16$, $DF= 3$, $p<0.0001$; alfa 0.05). De la misma manera en la riqueza de taxa no insecta se separan todas las categorías (H' ,

$X^2= 88.43$, $DF= 3$, $p<0.0001$; alfa 0.05) así como en la calificación final (H' , $X^2= 123.97$, $DF= 3$, $p<0.0001$; alfa 0.05).

Integridad biótica del Lago de Pátzcuaro con base en la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

Al calificar los 139 sitios durante los cinco años de monitoreo se encontró que 43 muestras se categorizaron como excelentes, 56 como buenas, 29 como pobres y 11 marginales. En la zona norte el valor promedio de integridad de los cinco años de análisis fue de 15 puntos y corresponde la categoría de Bueno. La zona centro la integridad fue de 17 puntos y corresponde a la categoría de Bueno. En la zona sur la integridad promedio fue de 18 y corresponde a la categoría de Bueno. La calificación promedio de todo el lago y de los cinco años de colecta fue de 17.3 ± 6 y corresponde a la categoría de Bueno.

Los sitios que se encuentran dentro de la categoría de excelente de acuerdo a su categoría promedio son el manantial Chapultepec, Puacuaró y Napizaro orilla. Los sitios con la categoría de bueno son San Jerónimo, Chupicuaró, Oponguio, Tarerio, Isla Yunuen, Ukasanastakua, Isla Janitizio, Cucuchucho y el manantial de Uranden. Los sitios con la categoría de pobre son Santa Fé, Tzocurio, Tzintzuntzan y Jaracuaró (Figura 10 y Tabla 11).

Se construyó una tabla, con la posible explicación biológica de las distintas variables seleccionadas para el cálculo del IIBMC-PATZ, y de esta manera tener una noción no solo de calificación y categoría, sino también que es lo que explica cada variable, obteniendo así un diagnóstico más extenso y completo (Tabla 12).

Tabla 11.- Evaluación del índice de integridad biótica de la comunidad usando a la comunidad de macroinvertebrados acuáticos, en cada sitio de colecta en el lago de Pátzcuaro.

CLAVE	PROMEDIO	CATEGORIA PROMEDIO	MEDIANA	CATEGORIA MEDIANA	DESVEST
SJ	15.85	BUENO	15	BUENO	4.59
TZIN	13.66	POBRE	15	BUENO	6.53
TZO	13.77	POBRE	14	POBRE	4.02
SF	10.76	POBRE	8	POBRE	6.33
CHUP	18.90	BUENO	20	BUENO	4.82
TAR	18.09	BUENO	17	BUENO	4.06
UKA	15.54	BUENO	16	BUENO	4.69
IYUN	20.63	BUENO	21	BUENO	5.00
OPO	19.88	BUENO	21	BUENO	5.41
NAPO	23.33	EXCELENTE	25	EXCELENTE	7.37
PUC	23.00	EXCELENTE	24	EXCELENTE	2.94
URA	19.53	BUENO	21	BUENO	6.46
IJAN	18.70	BUENO	20	BUENO	5.20
JARA	12.50	POBRE	12.5	POBRE	2.12
CUC	16.45	BUENO	16	BUENO	6.05
CHP	24.00	EXCELENTE	24	EXCELENTE	2.82

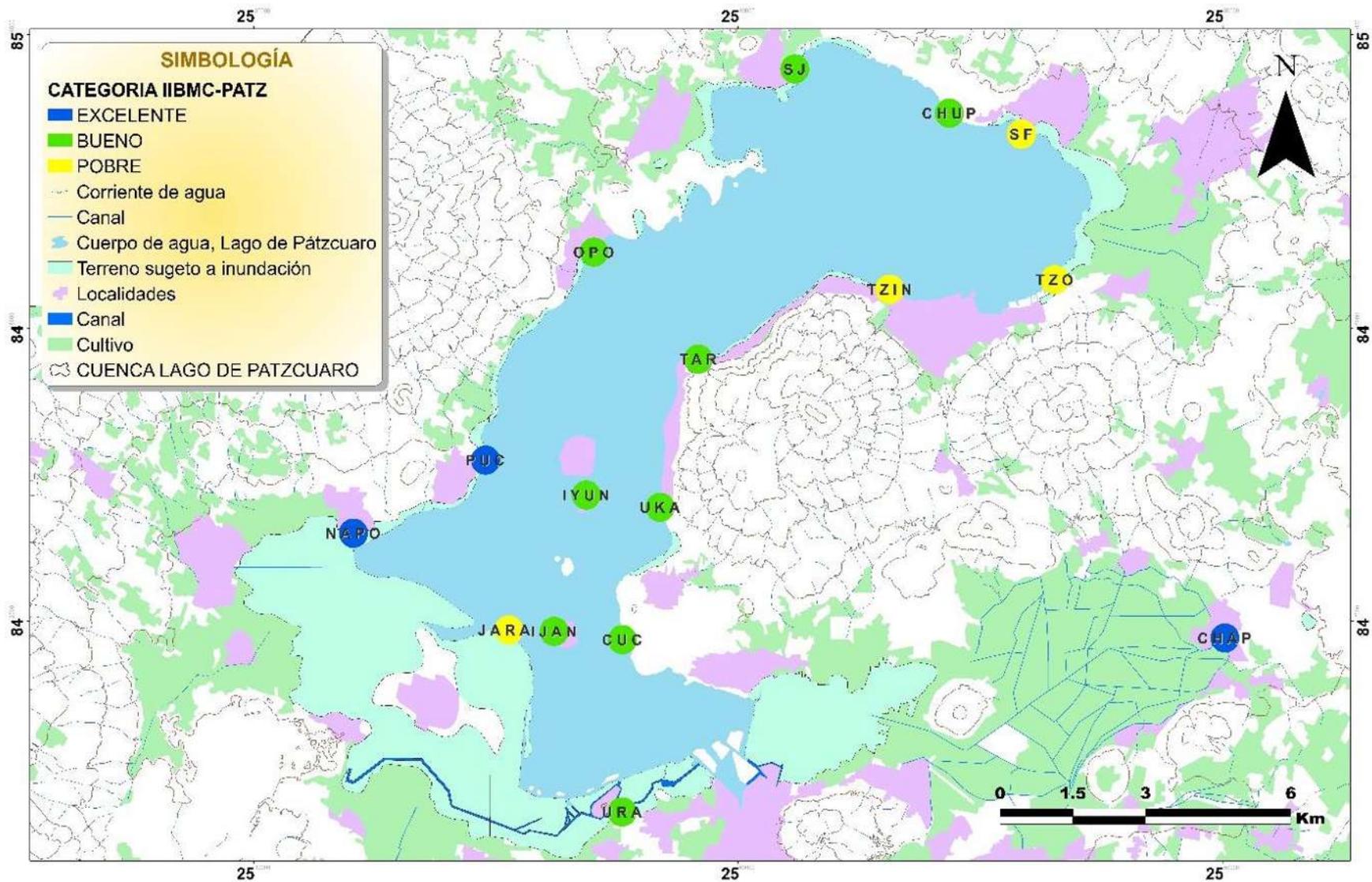


Figura 10.-Mapa de la evaluación del IIBMC-PATZ en el lago de Patzcuaro utilizando el valor promedio de los cinco años de muestreo, 2008-2011, y 2015.

Tabla 12.-Atributos del IIBMC-PATZ y su interpretación biológica.

CLAVE	ATRIBUTO DE LA VARIABLE	INTERPRETACIÓN
AB	Abundancia total	Se refiere a la cantidad de organismos que se encuentran en un área de 1.5m ² , en cuyo caso entre más organismos se encuentren en esta área representa una mejor condición del ecosistema. Ya que estos son alimento para la comunidad de peces y se encargan de la degradación de la materia orgánica, autóctona y alóctona, sirviendo, como elementos depuradores del medio.
AB Chiro	Abundancia de la familia <i>Chironomidae</i>	Se refiere a la cantidad de organismos de la familia <i>Chironomidae</i> que en encuentran en un área de 1.5m ² , ya que estos se encuentran entre los principales recolectores-colectores del lago y representan el 15% de la abundancia total, además que son aprovechados por la comunidad íctica y macroinvertebrados depredadores como recurso alimenticio, el cual lleva cabo sus funciones en toda la columna de agua.
A Gas	Abundancia de Gasteropoda	Se refiere a la cantidad de organismos del orden Gasteropoda en un área de 1.5m ² , estos son principalmente raspadores y es el grupo funcional principal en el lago, tanto en la vegetación como en el sedimento, los cuales al ser de habito fijo y trepador, pueden habitar en zonas altamente embebidas. Por lo que con números altos de este grupo la asimilación de la energía del lago es mejor.
R	Riqueza	Se refiere a la cantidad de diferentes taxa que se encuentran en un área de 1.5m ² , lo que muestra que tan diferentes organismos están poblando el espacio, y que estos pueden presentar diferentes grupos funcionales y hábitos, que, aunque pueden realizar funciones similares, entre más diferentes haya, demuestra diferentes estrategias de los organismos, que se relaciona con una mejor condición de hábitat y de distribución de la energía
R Trep	Riqueza de trepadores	Se refiere a la cantidad de diferentes taxa en un área de 1.5m ² , cuyo habito de vida se desarrolla trepando. Este atributo se relaciona con hábitats en los que existe vegetación o rocas en la zona litoral, propiciando diferentes condiciones de hábitat, por lo que el incremento de este hábito de vida nos muestra el estado de conservación del hábitat.
R rec-col	Riqueza de recolectores-colectores	Se refiere a la cantidad de diferentes taxa cuyo grupo funcional es el de recolectores-colectores y que se encuentran en un área de 1.5m ² , este grupo en conjunto representa el 77% de la abundancia total de macroinvertebrados del lago y sus mayores representantes son Hyalellidae con el 54 % y Chironomidae con el 15%. Lo que se relaciona con la cantidad de materia orgánica que se encuentra disponible en el lago y que está siendo aprovechad por este grupo funcional. Por lo que el incremento de estos, favorece en el tratamiento y asimilación de la materia orgánica como recurso energético, disminuyendo los procesos de eutroficación.
Rnins	Riqueza de taxa no insecta	Se refiere a la cantidad de diferentes taxa que no pertenecen a la Clase Insecta y que se encuentran en un área de 1.5m ² . Los organismos que principalmente determinan las diferencias de los estados de conservación son los no insectos y representan el 69.9% de la abundancia, ya que los organismos dominantes en el lago pertenecen a los crustáceos (55%) seguido de los gasterópodos y crustáceos (8%). Por lo que entre más organismos que no pertenecen a este grupo nos demuestra sitios con mejor estado de conservación.

3.4. Discusión

La evaluación de la integridad biótica del Lago de Pátzcuaro utilizando la herramienta diseñada (IIBMC-PATZ), muestra que existen sitios con distinto grado de conservación. Si bien la comunidad de macroinvertebrados ofrece información del ecosistema relacionado con modificaciones morfológicas o de degradación del hábitat, principalmente en la zona litoral que es donde predominantemente se les encuentra (Beck y Hatch 2009; Christian *et al.*, 2013). En el lago se han establecido distintas categorías a cada sitio y en cada una de las temporadas de muestreo, denotado ser un mosaico ambiental tal como lo plantearon De Buen (1940), Tellez y Motte (1980), Chacón-Torres (1993), Bernal-Brooks (1998), Ramírez-Herrejón *et al.* (2015). Esto no solo incluye la distribución espacial, involucra también los cambios a través del tiempo. De manera que al analizar cada uno de los sitios de estudio con el valor promedio de las distintas colectas, se estimó el estado de conservación en que se encuentran.

Santa Fé, se ubicó en la categoría de pobre, lo que se puede deber principalmente a la poca vegetación emergente y flotante que sirve de hábitat para las comunidades biológicas (Rosas *et al.*, 1984), lo que indirectamente propicia la ausencia de gasterópoda (Osorio-Taffal *et al.*, 1941). Ya que hubo colectas en las que no se encontró un solo ejemplar, lo que explica la baja acción del grupo funcional de los raspadores en esta zona del lago, así como del hábito trepador, con lo que se puede inferir el deterioro del hábitat (Berlanga *et al.*, 1997). La vegetación que cubre la orilla y se encuentra en contacto con el agua del vaso conforma la franja de humedal, la cual en este sitio es poca o nula. La orilla se encuentra conformada por grava principalmente en el sedimento, con poca vegetación enraizada, proveyendo playas desnudas, expuestas al movimiento y erosión ocasionadas por los vientos y agua.

En contraparte un sitio cercano ubicado también en la zona norte en Chupícuaro la categoría fue de bueno. Esto puede deberse a una franja mayor de humedal provisto de vegetación arraigada emergente (Rosas *et al.*, 1984; Wilcox *et al.*, 2002), con substrato limoso arcilloso, en el que la mezcla de distintos substratos favorece el asentamiento de organismos trepadores, fijos

y deslizadores (Pérez-Munguía *et al.*, 2006). La abundancia obtuvo una calificación buena, con un incremento en la población de *Chironomidae*, así como de taxa no insecta, entre los cuales se encuentran los crustáceos y gasterópodos, aumentando el número de recolectores colectores y raspadores en el ambiente, promoviendo la asimilación de la energía que se encuentra asociada a la vegetación y en libre suspensión, ayudando a reducir los efectos de eutrofización en el lago.

El sitio ubicado en Tzocurio se categoriza como pobre. Si bien este se encuentra muy cercano del límite con la categoría de bueno, se encontraron pocos organismos trepadores, menor abundancias de organismos, así como riqueza. Al encontrar una franja de humedal pequeña en la zona litoral, y que parte de esta zona se encuentra expuesta a los movimientos de oleaje con altos contenidos de materia orgánica en el sedimento, el establecimiento de la comunidad de macroinvertebrados se ve reducido lo cual nos indica la homogeneización y la poca disponibilidad de hábitat en esta zona (Rosas *et al.*, 1984; Wilcox *et al.*, 2002).

La categoría promedio del sitio ubicado en Tzintzuntzan es pobre. Este sitio muestra características similares de degradación al observar baja riqueza de trepadores, además de una baja abundancia de chironomidos. Que de acuerdo a Wilcox *et al.* (2002), en zonas donde la estructura de vegetación del humedal es baja, se ve reflejado en un deterioro del hábitat disponible para las comunidades biológicas. Por lo que la poca vegetación en la franja de humedal de este sitio, es detectado por el IIBMC-PATZ, que en dos colectas se le categorizó como marginal al no encontrar ejemplares de la familia *Chironomidae* ni del orden *Gasteropoda*, denotando así los pulsos de conservación del sitio hacia categorías bajas (Roldan y Ramírez, 2008).

El sitio en San Jerónimo ubicado al Nor-Oeste del lago se categorizo como bueno. Los organismos no insectos obtuvieron mejor calificación promedio, siendo los nematodos, crustáceos y gasterópodos los grupos predominantes. Las variables relacionadas con la abundancia obtuvieron valores entre dos y tres puntos, lo cual nos habla de estos como recurso alimenticio y energético, no solo para la comunidad de macroinvertebrados sino también para algunos integrantes de la comunidad de peces. Denotando así una conservación del

hábitat de carácter intermedio, en la cual se pudo observar vegetación emergente, lo que favorece el establecimiento de los macroinvertebrados (Rosas *et al.*, 1984; Wilcox *et al.*, 2002).

Para el caso del sitio Pared Tarerio, que se ubica en el cuello del lago en la zona centro, obtuvo la categoría de bueno. La variable con menor calificación fue la abundancia de gasterópoda y riqueza de trepadores, variables que pueden encontrarse relacionadas, observando además baja proporción del grupo funcional de los raspadores. Sin embargo, los recolectores-colectores se encuentran mejor representados, evidenciando la disponibilidad de materia orgánica en distintos grados de descomposición y tamaño (Hanson *et al.*, 2010). Donde la abundancia total es de carácter intermedio, así como la abundancia de chironomidos, reflejando a la par un sistema con la zona litoral en un estado medio de conservación, que se puede deber a la degradación de la zona de humedal tal como explica Wilcox *et al.* (2002).

Ukasanastakua, se ubica en la categoría de bueno. Las variables presentan poca oscilación a través del tiempo manteniéndose entre dos y tres puntos principalmente, únicamente la riqueza de trepadores se encontró con una calificación promedio menor, teniendo así una comunidad balanceada pero no lo suficientemente bien integrada para caracterizarse como excelente. En el sitio se pueden observar manchones grandes de humedal con vegetación emergente y flotante, lo que provee de hábitat para la colonización de los macroinvertebrados (Wilcox *et al.*, 2002). Sin embargo, se encuentra en su mayoría embebida por algas filamentosas, lo que está limitando el crecimiento en las poblaciones de organismos trepadores y fijos (Barbour *et al.*, 1999; Pérez-Munguía *et al.*, 2006).

La Isla Yunuén al encontrarse en el centro del lago, presenta menos influencia antrópica y entra en la categoría de bueno, pero muy cercana a la excelente. Los crustáceos y gasterópodos son los organismos dominantes, los cuales llevan a cabo funciones de raspar, recolectar y coleccionar, así como filtrar la materia orgánica fina (Barbour *et al.*, 1999). Esto contribuye a procesar este tipo de recurso el cual abunda en el lago, que de faltar estas funciones podría llevar a una hipereutroficación, incrementando los sólidos suspendidos y disminuyendo la transparencia, donde la comunidad de macroinvertebrados

se vea representada con baja riqueza y altas abundantes (Roldan y Ramírez 2008). Sin embargo, este sitio presenta una gran profundidad que limita el establecimiento de vegetación por lo cual la zona de humedal es reducida, empero muestra buena calidad en sus distintos hábitats. La alta calificación puede indicar que el índice está respondiendo no solo a las modificaciones hidromorfológicas, sino también a la calidad del agua de la zona (Poikane *et al.*, 2016).

El sitio de Oponguio se ubica en la categoría de bueno. Presenta buena abundancia y riqueza de organismos en general, en el que tanto chironomidos como los no insectos, denotan un buen espacio de hábitat conservado, con vegetación enraizada emergente y flotante. Lo que de acuerdo a Wilcox *et al.* (2002), provee de un buen espacio para el refugio de especies. Sin embargo, las variables más bajas fueron abundancia de gasterópoda y riqueza de trepadores, por lo que se observa una calidad media en cuanto a los principales raspadores que habitan en el lago. Lo anterior puede deberse a la presencia de algas filamentosas adheridas en la vegetación, que limitan el asentamiento de los gasterópodos (Pérez-Munguía *et al.*, 2006).

Puacuaro es un sitio que se encuentra al Nor-Oeste del lago en la zona central, y obtuvo la categoría de excelente. Aquí la riqueza total y la de los no insectos juegan un papel clave, ya que son los de mejor calificación en el sitio, aunado a que la abundancia de organismos es alta (2786 organismos promedio en siete colectas). En él se encontraron a casi todos los representantes de gasterópodos y crustáceos del lago, observando así un buen aprovechamiento por la comunidad de macroinvertebrados de la energía procedente de la materia orgánica en suspensión o adherida a la vegetación (Rosas *et al.*, 1984; Roldan y Ramírez 2008). Por lo que se observa un buen estado de conservación del hábitat.

El sitio ubicado en la orilla de Napízaro solo fue colectado tres veces y obtuvo la categoría promedio de excelente. Este sitio se encuentra en una zona de humedal grande (>50m), con vegetación flotante, enraizada sumergida y emergente, con un substrato limoso arcilloso y poca profundidad (<1m), que de acuerdo a Wilcox *et al.* (2002), estas condiciones proveen de un hábitat diverso para la colonización de las comunidades biológicas. Situación que se

ve reflejada en la comunidad de macroinvertebrados, con una excelente abundancia de gasterópodos, con el grupo funcional de raspadores en buenas condiciones, así como de recolectores-colectores. Además este sitio presentó de las riquezas más altas (28), únicamente superada por el Manantial de Uranden (38), lo que evidencia que la zona litoral está funcionando como zona de amortiguamiento de los efectos erosivos de la ribera, denotando así un buen estado de conservación de esta zona (Poikane *et al.*, 2016; Juan P. Ramírez-Herrejón *et al.*, 2015)

En lo que corresponde a la Isla de Janitzio, la cual es la más poblada del lago, se ubica en la categoría de bueno. En el que los recolectores-colectores son los mejor calificados entre los cuales se encuentran los crustáceos principalmente, que aprovechan la materia orgánica en suspensión y en el sedimento (Thorp y Covich 2001). Sin embargo, las otras variables son de carácter intermedio, con una abundancia de organismos baja, así como de chironómidos y gasterópodos, mostrando baja riqueza y abundancia de trepadores, lo que en conjunto exhibe poca disponibilidad de hábitat, con franjas de humedal menor a 5m (Wilcox *et al.*, 2002).

La zona que corresponde a Jarácuaro frente a la isla de Janitzio se muestreo en dos ocasiones durante el 2010 y se caracterizó como pobre. Este sitio posee una baja riqueza y abundancia de los organismos que ahí habitan, siendo los gasterópodos el grupo dominante, por lo que el grupo funcional principal es el de los raspadores de la vegetación y el sedimento (Barbour *et al.*, 1999). La abundancia de los chironómidos o de crustáceos recolectores-colectores se encuentran poco representados. Por lo cual esta zona denota un bajo estado de conservación, con el hábitat degradado y que como señalan Rosas *et al.* (1984), al degradarse un ambiente litoral somero, su comportamiento de las comunidades tiende a ser como en las zonas limnéticas.

En lo que respecta a Cucuchucho, está en la categoría promedio de bueno. Este sitio se ha ubicado un humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales de la localidad. La zona litoral se encuentra dominada por los grupos de gasterópodos y crustáceos, los cuales desempeñan las funciones de raspadores y recolectores colectores, promoviendo así la transformación y aprovechamiento de la energía (Vannote *et al.*, 1980). Sin embargo, en este

sitio la abundancia es de carácter medio, como en el caso de los chironómidos que no presentan abundancias altas. además de baja riqueza, aportando poco como alimento a la comunidad de peces.

El sitio de Urandén presenta la categoría de bueno. En esta zona hay abundantes manantiales que al nacer desplazan el agua del vaso del lago al menos 50m y que por lo tanto la mezcla entre estas, disminuye la cantidad de materia orgánica suspendida. Por lo que el embebimiento (partículas finas que cubren los substratos, pueden ser solidos o algas filamentosas) de la vegetación es menor, proporcionando recursos energéticos que son aprovechados tanto por la comunidad de macroinvertebrados, como de peces (Barbour *et al.*, 1999; Roldan y Ramírez 2008). En este lugar se encontró la más alta riqueza de todo el estudio, con 38 taxa en el 2015 y abundancia de carácter medio, siendo las familias Leptohyphidae y Hyalellidae los macroinvertebrados dominantes en la zona. Ambas familias pertenecen al grupo de los recolectores colectores, mismos que al estar bien representados se encargan de aprovechar los recursos disponibles. Los no-insectos se encuentran bien representados, aprovechando los nutrientes disponibles, así como los distintos hábitats, ya que en este sitio existe vegetación arraigada, sumergida y emergente (Rosas *et al.*, 1984, Wilcox *et al.*, 2002). Las condiciones físicas observadas en este sitio, que si bien no son excelentes, son similares a las condiciones originales que debían prevalecer en él lago o que eran reportadas por De-Buen (1941) y Ancona *et al.* (1941). Sin embargo, en esta zona la comunidad de peces se encuentra altamente afectada, encontrando pocos representantes de las especies nativas a pesar de contar con un hábitat conservado y que de alguna manera no lo refleja la comunidad de macroinvertebrados, emitiendo ambas comunidades respuestas diferentes (Hach y Beck 2009).

El sitio que se tomó como referencia, por contener a la comunidad de peces de origen nativo (a excepción de *Chirostomas spp.*), y que se encontró alguna vez dentro de lo que es el vaso del lago, es el manantial Chapultepec y se caracterizó como excelente, demostrando por qué es un punto de referencia consistente. En él, se observó alta riqueza tanto de no-insectos como de insectos, llevando a cabo las funciones de recolectores colectores y

raspadores de manera eficiente, promoviendo la buena asimilación de la materia orgánica que se encuentra en el manantial (Vannote *et al.*, 1980). Además, los gasterópodos se encuentran bien representados, así como los organismos trepadores, denotando la variabilidad de hábitats disponibles en el manantial por vegetación (Wilcox *et al.*, 2002). Observando que la vegetación en este manantial si se encuentra impactada al estar siendo colonizada por *Elodea spp.* empero los macroinvertebrados han podido habitar sobre esta, principalmente los gasterópodos.

Por lo que de manera general se observa que, los sitios ubicados al Nor-Este del lago, se encuentran más impactados y de integridad pobre, lo cual puede deberse a que existe una mayor población humana en la zona y que los vientos van orientados en esa dirección, arrastrando los sólidos suspendidos e incrementando la materia orgánica y el embebimiento de la vegetación. Mientras que la sección Nor-Oeste se encuentra mejor conservada, sin embargo, la diferencia no es mucha, al observar la degradación del hábitat por la poda y retiro de la vegetación de la zona litoral con motivos pesqueros, efecto que es detectado por la comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

La zona centro o cuello se encuentra en mejor estado de conservación al estar con menos presión antropogénica, como en el norte o sur del lago, en el que la vegetación y el aporte de nutrientes de la extensa zona litoral del sur, provee de energía para que la comunidad de macroinvertebrados se encuentre en buenas condiciones. Estos resultados coinciden con lo expresado con Zambrano *et al.* (2011) con referencia a la comunidad de peces y propone conservar esta zona del lago.

El humedal que se encuentra en la zona al Sur-Oeste, provee de amortiguamiento y de hábitat para la comunidad de macroinvertebrados, en el cual existe vegetación arraiga sumergida y emergente, así como flotante (Rosas *et al.*, 1984; Berlanga *et al.*, 1997). No obstante, los efectos de eutroficación por incremento de materia orgánica en esta zona, ha hecho su efecto no pudiendo caracterizar a la zona como excelente (Roldan y Ramírez 2008). Lo anterior es evidencia de que, si la amplia zona de humedal se perdiera, entonces las condiciones en el lago podrían ser de tipo hipertrófico en el cual no habría manera rápida de tratar el exceso de nutrientes. Por lo

que se sugiere conservar el humedal de la zona de Erongarícuaro y promover el cuidado de las zonas litorales protegidas por vegetación, ya que estas están siendo ocupadas por cultivos y que al trabajarlas aportan aún más materia orgánica al lago por los efectos erosivos del viento y la lluvia.

4.-DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL DE LA INTEGRIDAD EVALUADA CON EL IIBCP-PATZ Y EL IIBMC-PATZ.

Al usar el enfoque de integridad, se puede establecer el estado de conservación de un sistema léntico como es el Lago de Pátzcuaro, en el que son múltiples las variables que interfieren en su deterioro (Karr & Dudley, 1981; Lyons *et al.*, 2000). Por lo que el monitoreo de su estado de conservación debe centrarse en este tipo de metodologías, con el fin de comprender los procesos del ecosistema (Gibson *et al.*, 1996). De manera que, al analizar las respuestas otorgadas por ambos índices, observamos que el IIBCP-PATZ ayuda a establecer como se encuentra integrada la estructura de la comunidad de peces, así como una aproximación de la condición de la estructura trófica y nutrientes asociados en el lago. Mientras que el IIBMC-PATZ percibe las alteraciones hidromorfológicas de la zona litoral, que sirve de amortiguamiento de los procesos erosivos de la cuenca, así como de refugio para la comunidad íctica, lo que se relaciona con lo expuesto por Heatherly, *et al.* (2005); Wilcox *et al.*, 2002; Poikane *et al.* (2016) y Ramírez-Herrejón *et al.* (2015).

Al aplicar ambos IIBs, se observó que la integridad del lago en los sitios como el manantial Chapultepec y la zona centro se encuentra en un estado de conservación más alto que la zona norte o sur. Dicha conclusión soporta lo expuesto por Zambrano *et al.* (2014), quien mencionó que esta zona presenta la mayor diversidad trófica y posee la mayor cantidad de eslabones del lago. Por lo que se observa que el uso de estas herramientas, están aportando información útil y fundamentada, para establecer zonas de conservación de acuerdo a los procesos ecosistémicos del lago.

Sin embargo, no en todos los sitios coinciden ambas calificaciones, y las combinaciones de ambos índices muestran los efectos de degradación desde distintas escalas y perspectivas, que permiten entender los procesos ecosistémicos que se encuentran con diferente grado de deterioro (Beck y Hatch, 2009). Un ejemplo de ello es el sitio ubicado la zona de Urandén, ya que el IIBMC-PATZ lo califica con 19.5 y se ubica en la categoría de bueno,

mientras el IIBCP-PATZ lo califica con 11 puntos y lo ubica en la categoría de pobre. Estas distintas condiciones se relacionan con las respuestas que ofrecen la comunidad de macroinvertebrados y la comunidad de peces.

En lo que respecta a los macroinvertebrados, estos indican los efectos de degradación del hábitat y los procesos tróficos que se desarrollan en el agua (Beck y Hatch, 2009; Poikane *et al.*, 2016). Este sitio se encuentra con vegetación flotante, arraigada sumergida y emergente, con distintos tamaños de partículas del substrato, y buena mezcla de los materiales disponibles para la colonización de la epifauna, lo que favorece el establecimiento de esta comunidad (Barbour *et al.*, 1999; Beck y Hatch, 2009; Pérez Munguía y Pineda López, 2007; Piñon Flores *et al.*, 2014). Además de contar con agua de excelente calidad en estado oligotrófico o mesotrófico, con pocos sólidos suspendidos y transparencia del agua mayor a 1m, donde la comunidad de macroinvertebrados se ha establecido de mejor manera en términos de integridad biótica.

En contraparte la comunidad de peces, a pesar de contar con un hábitat en condiciones óptimas en términos de calidad del agua, esta refleja el efecto de la contaminación biológica (Beck y Hatch, 2009; Lyons *et al.*, 2000) así como la variabilidad ambiental en diferentes escalas espaciales y temporales. El manantial de Urandén, se encuentra dominado en la comunidad íctica por las especies de origen exótico, en el que solo se encontraron un par de individuos de origen nativo. Esto evidencia el proceso de invasión de la comunidad de peces al introducir especies exóticas al sistema, que es un fenómeno que ha sido descrito por varios autores (Esselman, *et al.*, 2013; Ramírez-Herrejón, *et al.*, 2013; Ramírez-Herrejón *et al.*, 2014). Denotando así lo expuesto por Schmitter-Soto *et al.* (2010) que menciona que la comunidad de peces es más sensible para representar de manera amplia la zona de estudio y no solo el sitio de colecta.

Aunado a lo anterior, fue el único sitio donde se encontró a *M. salmoides*, durante la colecta del 2015, notando la ausencia también de los representantes del género *Chirostoma spp.* que es el grupo dominante en el ecosistema, así como la falta de otras especies nativas. Lo que conlleva a suponer lo establecido por Matsui y Yamasita (1936) y De Buen (1943), respecto a que la introducción de la lobina puede provocar grandes

afectaciones a la comunidad íctica y que ha deteriorado las poblaciones de *Chirostoma estor*. Los resultados presentados soportan la hipótesis de los autores antes mencionados. De manera que la integridad biótica evaluada con la comunidad de peces nos ofrece información valiosa a largo plazo de los efectos de la introducción de especies exóticas en este ecosistema acuático, así como de la integración de la energía al ecosistema (Lyons *et al.*, 2000; Schmitter-Soto *et al.*, 2010). Mientras que los macroinvertebrados acuáticos, denotan los efectos de degradación del hábitat de la zona litoral, en el que la alta variabilidad espacial y temporal que muestran sus variables, pueden ser una manera eficaz de detectar de manera rápida los efectos de deterioro puntuales (Beck y Hatch, 2008). Por lo que las herramientas de integridad generadas proveen de un amplio panorama para el monitoreo del Lago de Pátzcuaro, ofreciendo criterios para la toma de decisiones de manera rápida con la tabla de categorías, lo que puede guiar de manera sencilla donde enfocar los esfuerzos de conservación. A la par, se obtiene y se registra información útil para analizar los distintos componentes que integran estos índices multimétricos, lo que sirve para llegar a respuestas profundas y de carácter especializado del estado de conservación del lago.

5.- LIMITANTES Y FORTALEZAS

Es necesario mencionar no solo las fortalezas de estas herramientas, sino también las diferentes problemáticas que pueden llegar a afectar el desarrollo uso y manejo de esta. Una de las limitantes más importantes, es la carencia de sitios de referencia en el lago, que son puntos importantes para establecer un gradiente de evaluación donde el mejor caso o excelente es el más apegado a la situación natural sin perturbación. La ubicación de este tipo de condiciones, son útiles para considerarlos en la validación de índices integrados, y actualmente el Lago de Pátzcuaro carece de ellos (Karr 1986; Barbour *et al.*, 1999; Segnini *et al.*, 2003.).

Cada uno de los índices generados refleja condiciones diferentes del ecosistema (Beck y Hach 2009), y al generar ambas herramientas se pudo observar el tipo de respuesta de cada uno de ellas y sus limitantes. Debido a que en algunos casos las categorías otorgadas no coincidían entre ambas herramientas, como fue el caso de Uranden, en el que si se evaluara con un solo índice se estaría subestimando o sobreestimando. Por lo que el haber

desarrollado ambos índices, nos ayudó a entender diferentes condiciones del ecosistema, en dos grandes escalas relacionadas con el hábitat como de la comunidad íctica y la circulación de la energía.

Para el caso del IIBCP-PATZ, por su modelo metodológico, es posible usarlo, tanto en la zona litoral como en la limnética y que con las variables evaluadas que se encuentran fundamentadas en biomasa y densidad, no interfiere con el índice el no encontrar especies de tipo litoral o viceversa. En contraparte el IIBMC-PATZ solo puede ser usado en la zona litoral, ya que el modelo de recolecta de las muestras está enfocado en esta zona. Por lo que su explicación va direccionada principalmente a la estructura del hábitat y de los grupos funcionales que se encuentran asociados a esta zona, no explicando lo que sucede en las zonas limnéticas.

No se cuenta con una curva de acumulación para establecer el número de réplicas en cada zona de trabajo para el IIBCP-PATZ, lo cual puede limitar su aplicación. En el caso del IIBMC-PATZ, el tiempo de separación e identificación de los organismos, limita a que no se tenga una respuesta tan rápida como se espera.

Una debilidad en el trabajo puede ser el no contar con una sola herramienta o índice, lo que conlleva a contratar un especialista que pueda evaluar con ambas comunidades. Sin embargo, al tener las respuestas identificadas de cada uno de los índices, es posible enfocar el objeto del monitoreo. Ya sea para identificar deterioro de hábitat, cambios en la comunidad de peces y posibles alteraciones en la red trófica, IIBCP-PATZ, y si es necesario hacer una evaluación más completa usar ambos, teniendo así herramientas útiles para cada tipo de afectación.

6.- RECOMENDACIONES

Con la propuesta del IIBCP-PATZ y el IIBMC-PATZ, para el monitoreo del lago de Pátzcuaro, se recomienda de inicio de manera recurrente al monitoreo de este ecosistema, con el fin de poder brindar una perspectiva amplia de lo que está sucediendo en el lago, en el transcurso del tiempo y espacio. Con lo que se podrán proponer estrategias de conservación con un enfoque integral, teniendo el registro en el tiempo y espacio del deterioro o recuperación del lago con un punto de comparación específico (Beck y Hatch

2009). El monitoreo se sugiere se realice en los mismos sitios de colecta y en su caso evaluar la ampliación a zonas no evaluadas en este trabajo.

Para la aplicación del IIBCP-PATZ se propone el uso combinado del chinchorro para captura de carpa y el de charales, dado que este arte de pesca además de ser de uso común en el Lago de Pátzcuaro, fue el utilizado para generar esta herramienta, con lo que actualmente se cuenta con cinco años de monitoreo. Recomendando realizar de dos a tres réplicas de la recolecta en el área, esto para poder establecer el mínimo, máximo y su mediana, con la cual evaluar la zona.

Se recomienda llevar a cabo la calibración con otros artes de pesca como son las redes agalleras, para así poder colectar y evaluar en hábitats como son los humedales de la zona de Erongarícuaro, los cuales por la densa vegetación dificultan el uso del chinchorro.

Se considera que para el uso de estos IIB's, es necesario un taller en donde se capacite al personal de las instituciones encargadas del monitoreo de los ecosistemas acuáticos, a las cooperativas pesqueras, a los cabildos y comunidades que infieren en el lago, así como a los interesados en el manejo de esta herramienta.

Es recomendable intentar la combinación de índices, para tener una respuesta más integrada, o en su caso manejar ambos índices, para realizar una evaluación completa del sitio.

Dado el tamaño del Lago de Pátzcuaro no es recomendable realizar diagnósticos con la evaluación de un solo sitio de colecta, es necesario implementar un modelo que integre información en las tres diferentes zonas del lago.

En lo que respecta a la conservación del hábitat, se sugiere conservar el humedal de la zona de Erongarícuaro y promover el cuidado de las zonas litorales protegidas por vegetación. Ya que se observó que zonas con distintos tipos de vegetación, proveen de amortiguamiento y refugio para las comunidades biológicas tanto de macroinvertebrados como de peces. De la misma manera, es recomendable promover la conservación e incremento de zonas de humedal en las zonas litorales, estableciendo zonas prioritarias de resguardo para la reproducción de especies, e integrar en el modelo zonas de ingreso de lanchas y recreativas, para así contemplar las actividades humanas en el desarrollo de estrategias de conservación y que estas no se den de manera desordenada.

Al realizar las actividades de remoción de la vegetación acuática, como es el caso del lirio, destinar la vegetación a sitios alejados del lago, para no incrementar el azolvamiento situación que actualmente se observa al ser depositados en las orillas.

Se recomienda intensificar las labores de extracción de *Elodea sp.* del manantial Chapultepec, ya que, si se permite el buen asentamiento de esta, tendera a disminuir la transparencia, homogenizar el hábitat e incrementar el proceso de eutrofización. Por lo cual se sugiere la constante extracción de esta planta acuática, para el mantenimiento de este sitio el cual se encuentra en excelente estado de conservación.

Es necesario volver a establecer la comunicación institucional con las cooperativas pesqueras, y exponer de manera urgente las necesidades de ambos gremios. Acompañados de ejercicios de educación Ambiental orientados a ambos grupos, ya que es de vital importancia entender que la sobreexplotación de los recursos del lago, puede ser una de las principales causas que han mermado las poblaciones de peces nativos y por consiguiente del sustento de las comunidades, tal como se ha venido exponiendo desde mediados del siglo pasado.

Es importante que se disminuya el esfuerzo pesquero, así como incrementar la abertura de malla de las redes, lo que permitiría el crecimiento de los peces en especial del tan apreciado Pescado Blanco.

Entre los trabajos pendientes que se sugieren realizar son: Evaluar el potencial de invasión de *Poeciliopsis infans*, con el fin de conocer de qué manera está compitiendo con las especies nativas. Evaluar el proceso de invasión de *Oreochromis spp.* Evaluar el estado ecológico de las poblaciones de *Micropterus salmoides* revisando aspectos reproductivos, alimenticios y su interacción con los organismos que integran la comunidad íctica donde se desarrolla. Evaluar los aspectos reproductivos de las especies nativas, ya que no se han abordado de la manera adecuada.

7.-REFERENCIAS

- Aguilar, I. A. (2005). Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua. *Revista Digital Universitaria*, V. 6.8
- Arredondo, J.L. y M.A. Guzmán. (1986). Situación taxonómica actual de la tribu Tilapiini (Pisces: Cichlidae); con énfasis en las especies introducidas en México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 2: 555-572.
- Barbour, C. D. (1973). A biogeographical history of *Chirostoma* (Pisces: Atherinidae): a species flock from the Mexican Plateau *Copeia* 3, 533-556.
- Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Second Edition. US Environmental Protection Agency Office of Water Washington DC, 2nd, 339. http://doi.org/EPA_841-B-99-002
- Beck, M. W., & Hatch, L. K. (2009). A review of research on the development of lake indices of biotic integrity. *Environmental Reviews*, 17, 21–44. <http://doi.org/10.1139/A09-001>
- Belpaire, C., Smolders, R., Auweele, I. Vanden, Ercken, D., Breine, J., Thuyne, G. Van, y Ollevier, F. (2000). An Index of Biotic Integrity characterizing fish populations and the ecological quality of Flandrian water bodies. *Hydrobiologia*, 434(1986), 17–33.
- Bernal, B. F. W. (1998). The lakes of Michoacan (Mexico): A brief history and alternative point of view. *Freshwater Forum*, 10(1907), 20–34.
- Bernal, B. F. W. (2002). La Limnología del Lago de Pátzcuaro una visión alternativa a conceptos fundamentales. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Blocksom, K. A., Kurtenbach, J. P., Klemm, D. J., Fulk, F. A., y Cormier, S. M. (2001). Development and evaluation of the lake New Jersey lakes and reservoirs. *Environmental Monitoring and Assessment*, (Lmii), 311–333.

- Bonada, N., N. Prat, V.H. Resh, y B. Statzner. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology* 51:495–523
- Bravo, I. L., Tomasini, O. A. C., Sánchez, C. J. J., y Moeller, C. G. (2012). Estudio de Eutroficación del Lago de Pátzcuaro, Mich., y su relación con los florecimientos de cianobacterias. XXII Congreso Nacional de Hidráulica. Acapulco Guerrero, México, 2012.
- Burton, T. M., Uzarski, G. D., Ganthman, P. J., Genet, A. J., Keas, E. B., y Stricker, A. C. (1999). Development of a preliminary invertebrate index of biotic integrity for lake Huron coastal wetlands. *The Society of Wetland Scientists*, 19(4), 869–882.
- Castaldelli, G., Pluchinotta, A., Milardi, M., Lanzoni, M., Giari, L., Rossi, R. y Fano, E. A. (2013). Introduction of exotic fish species and decline of native species in the lower Po basin, north-eastern Italy. *Aquatic conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.
- Cervantes M. (2007). Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México. en M. Herzig, E. R. Peters, Ó. Sánchez, L. Zambrano y R. H. Márquez (eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*, México, Instituto Nacional de Ecología, pp 167-188.
- Chacón-Torres. A., (1993). Pátzcuaro un lago amenazado, Bosquejo Limnológico. UMSNH 144 p.
- Chacón-Torres. A. (1993). Lake Patzcuaro, México: Watershed and Water Quality Deterioration in a Tropical High-altitude Latin American Lake. *Lake and Reservoir Management*, 8(1), 37–47. <http://doi.org/10.1080/07438149309354457>
- Christian, A. L., Sebastian, K. F., Geoff, B., Carvalho, L., Morabito, G., Mischke, U., y Willby, N. (2013). Ecological status assessment of European lakes: a comparison of metrics for phytoplankton, macrophytes, benthic invertebrates and fish, 57–74. <http://doi.org/10.1007/s10750-012-1436-y>

- De Buen, F. (1941). Las variaciones físicas y químicas de las aguas del Lago de Pátzcuaro, desde octubre de 1939 a marzo de 1941. Investigaciones de la Estación Limnológica de Pátzcuaro 7, 1-25.
- De Buen, F. (1943a). La muerte de los lagos mexicanos. Revista General de Marina, 3, 30-33.
- De Buen, F. (1944a). La fauna del Lago de Pátzcuaro y el medio en que vive. Revista México Forestal 22, 3-9
- Eguía-Lis, A. P., Gonzales, V. L., Estrada, C. C., y Rocha, M. 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, D. R. I., Vargas, V. S., & Ortiz, P. C. F. (eds), *Estudio Ecosistémico del Lago de Pátzcuaro*. México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, pp 157-190.
- Esselman, P. C., Schmitter-Soto, J. J., y Allan, J. D. (2013). Spatiotemporal dynamics of the spread of African tilapias (Pisces: *Oreochromis spp.*) into rivers of northeastern Mesoamerica. Biological Invasions, 15(7), 1471–1491. <http://doi.org/10.1007/s10530-012-0384-9>
- García De León, J. F., Ramírez, H. J. P., García, O. R. y Hendrickson A. D. (2014) Foraging patterns of four sympatric species of silversides (Atheriniformes: Atherinopsidae) in Lago de Pátzcuaro, Central México. Research Journal of the Costa Rican Distance Education University 6(1): 127-139. ISSN:1659-4266.
- Garduño-Monroy, V. H., Chávez-Hernández, J., Aguirre-González, J., Vázquez-Rosas, R., Arellano, H. M., Israde-Alcántara, I., y López, R. P. (2009). Zonificación de los periodos naturales de oscilación superficial en la ciudad de Pátzcuaro, Mich., México, con base en microtemores y estudios de paleosismología. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 26(3), 623–637.
- Gibson, G. R., M. T. Barbour, J. B. Stribling, J. Gerritsen y J. R. Karr. (1996). Biological Criteria: Technical Guidance for Streams and Small Rivers. Revised Edition. U.S. E.P.A., Office Water, EPA 822-B-96-001. Washington, D.C.

- Harig, A., y Bain, M. (1998). Defining and restoring biological integrity in wilderness lakes. *Ecological applications*. Vol.8. 1. Pp.71-87. DOI: 10.1890/1051-0761(1998)008
- Heatherly, T., Whiles, M. R., Knuth, D., y Garvey, J. E. (2005). Diversity and Community Structure of Littoral Zone Macroinvertebrates in Southern Illinois Reclaimed Surface Mine Lakes Diversity and Community Structure of Littoral Zone Macroinvertebrates in Southern Illinois Reclaimed Surface Mine Lakes.
- <http://www.atiempo.mx/estado/siembra-compesca-4-millones-crias-de-tilapia-en-michoacan/> consultada el día 15/01/2017
- Israde, A. I., Garduño M. V. H., Fisher, C. T., Pollard, H. P., y Rodríguez, P. M. A. (2005). Lake level change, climate, and the impact of natural events: the role of seismic and volcanic events in the formation of the Lake Pátzcuaro Basin, Michoacan, Mexico. *Quaternary International*, 135(1), 35–46. <http://doi.org/10.1016/j.quaint.2004.10.022>
- Karr, J.R., y Dudley D.R. (1981). Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, 5:55-68.
- Karr J.R., Fausch, K. D., Angermeier, P. L., Yant, P. R., y Schlosser, I. J. (1986). Assessing Biological integrity in Running Waters a Method and Its Rationale. *Illinois Natural History Survey*. Special publication (5).
- Linding, C. R., y Zambrano, L (2007). Aplicaciones prácticas para la conservación y restauración de humedales y otros ecosistemas acuáticos. en M. Herzig, E. R. Peters, Ó. Sánchez, L. Zambrano y R. H. Márquez (eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*, México, instituto Nacional de Ecología, pp 167-188.
- Lewis, P. A., Klemm, D. J., y Thoeny, W. T. (2001). Perspectives on use of a multimetric lake bioassessment integrity index using benthic macroinvertebrates lake bioassessment integrity index, 8(2), 233–246.
- Lewis, Jr. W. (1983). A Revised Classification Lakes Based on Mixing. *Can. J. fish. Aquat. Sci.* 40: 1779-1787.
- Lyons, J. S., Navarro, P. P.A., Cochran, E., Santana C., y Guzman A. M. (1995). Index of Biotic Integrity Based on Fish Assemblages for the

conservation of streams and Rivers in West-Central Mexico. *Conservation Biology*, num.9, pp 569-584.

- Lyons, J. S., Gutiérrez H. A., Díaz, P. E., Soto, G. E., Medina, N. M., y Pineda, L. R. (2000). Development of a preliminary index of biotic integrity (IBI) based on fish assemblages to assess ecosystem condition in the lakes of central México. *Hydrobiologia* 418: 57-72.
- Matsui, I., y Yamashita, T. (1936). Informe de los doctores Matsui y Yamashita acerca del lago de Pátzcuaro. Bol. Forestal y de Caza y Pesca. Año I, no. 3.p.175
- Medina-Nava, M. (2003). Utilización del Índice de Integridad Biótica (IIB) para determinar áreas de conservación de peces en la cuenca Lerma-Chapala en Michoacán. Tesis de Maestría Institucional en Ciencias Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich.
- Mercado, S. N., Lyons, J.D., Salgado, M. G., Medina, N. M. (2003). Validation of a fish-based index of biotic integrity for streams and rivers of central Mexico. *Reviews in fish Biology and fisheries*. 12:179-191.
- Mercado, S. N., Lyons, J.D., y Contreras, B. S. (2006) Mexican fish-based indices of biotic integrity, their use in the conservation of freshwater resources. En Ma. L. Lozano V., y A. J. Contreras B. (eds), *Studies of North American desert fishes in honor of E.P. (Phil) Pister, Conservationist*. Universidad Autónoma de Nuevo León. p 138-150. ISBN: 970-694-336-6.
- Merrit, R.W., Cummins, K.W. y Berg, M.B. (2008). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America* (4th Edition). U.S.A: Kendall/Hunt Publishing Company.
- Miller, R.R. 2005. *Freshwater Fishes of México*. University of Chicago, Chicago, EEUU.
- Moncayo, E. R., Lyons, J.D., Escalera, G. C., y Lind, O. (2012). Long-term change in the biotic integrity of a shallow tropical lake: A decadal analysis of the Lake Chapala fish community. *Lake and reservoir management*. 28(1):92-104. DOI: 10.1080/07438141.2012.661029

- O'Hara, L. S. (1991). Late Holocene Environmental Change in the Basin of Pátzcuaro, Michoacán, México. St. Hilda's College, Oxford.
- Osorio-Tafall, B. F. (1941). Materiales para el estudio del microplancton del lago de Pátzcuaro. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 2, 331-382.
- PAST v. 3.07 (PAleontological STatistics).
- Peralta, P. L. A. (2007). Diseño de un índice de integridad biótica para los lagos interdunarios de la región costera central del estado de Veracruz, México. Tesis de Doctorado. Instituto de Ecología. México.
- Pérez, M. R. M. y Pineda, L. R. (2005). Diseño de un Índice de Integridad Biótica, para ríos y arroyos del Centro de México usando las asociaciones de macroinvertebrados, *Entomología Mexicana*, núm. 4, pp. 241-245.
- Pérez, M. R. M. P. Arreola, E. M. R., Madrigal, P. R., Ortiz, M. M., Piñón, F. M. A., Ramírez, M. V. M. y Torres, G. U. (2006). Análisis comparativo del índice de integridad biótica con base en las asociaciones de macroinvertebrados acuáticos (IIBAMA) con el índice biológico global normalizado (IBGN) en arroyos y ríos del centro de México. *Entomología Mexicana* 5 (1).375-380.
- Pérez-Munguía, R. M., Pineda-López, R y Medina, N. M. (2007). Integridad biótica de ambientes acuáticos. en M. Herzig, E. R. Peters, Ó. Sánchez, L. Zambrano & R. H. Márquez (eds.), *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*, México, Instituto Nacional de Ecología, pp 71-11.
- Piñón-Flores, M. A., Pérez-Munguía, R. M., Torres, G. U., y Pineda-López, R. (2014). Integridad biótica de la microcuenca del Río Chiquito, Morelia Michoacán, México, basada en el ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos. *Rev. Bio. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 62 (Suppl. 2): 221-231.
- Poikane, S., Johnson, R. K., Sandin, L., Kristin, A., Solimini, A. G., Urbani, G., y Pusch, M. T. (2016). Science of the Total Environment Benthic macroinvertebrates in lake ecological assessment : A review of methods

- , intercalibration and practical recommendations, 543 (November 2015), 123–134. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.021>
- Ramírez A. Métodos de colecta (2010). *Biología Tropical. Int.J.Trop.Biol.* ISSN-0034-7744. Vol.58 (Sppl 4): 41-50
- Ramírez-Herrejón, J. P., Mercado, S. N., Medina, N. M. y Domínguez, D. O. (2012a). Validación de dos índices biológicos de integridad (IBI) en la subcuenca del río Angulo en el centro de México. *Rev. Biol. Trop.* (Int.J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol.60 (4):1669-1685.
- Ramírez-Herrejón, J. P., Castañeda, S. L. S., Moncayo, E. R., Caraveo, P. J., y Balart, E. F. (2012b). Trophic ecology of the exotic Lerma livebearer *Poeciliopsis infans* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in the Lago de Pátzcuaro, Central México. *Rev. Biol.Trop* (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 61 (3): 1289-1300
- Ramírez-Herrejón, J. P. (2013) Ecología trófica de *Cyprinus carpio* y su relación con la estructura comunitaria de peces del Lago de Pátzcuaro, Michoacán. Tesis De Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Ramírez-Herrejón. J. P., Zambrano, L., Mercado, S. N., Torres, T. A., Pineda, G. F., Caraveo, P. J., y Balart, P. E. F. (2014a) Long term changes in the fish fauna of Lago de Pátzcuaro in Central México. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 42(1): 137-149. DOI: 103856/vol42-issue1-fulltext-11
- Ramírez-Herrejón, J. P., Moncayo, E. R., Balart, E. F., García, C. L. A., Vital, R. B., Alvarado V. R., Ortega, M. R., y Caraveo, P. J. (2014b). Trophic interrelation between introduced common carp, *Cyprinus carpio* (Actinopterygii: Cypriniformes: Cyprinidae), and fish community in a eutrophic shallow lake. *Acta ichthyologica et piscatoria*. 44 (1): 45-58.
- Ramírez-Herrejón J. P., Mercado, S. N., Balart, P. E. F., Moncayo, E. R., Mar, S. V., y Caraveo, P. J. (2015). Environmental degradation in a eutrophic shallow lake is not simply due to abundance of non-native *Cyprinus carpio*. *Environmental Management*. DOI 10.1007/s00267-015-0524-y

- Roldán, G., y Ramírez, J. J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical (2a ed.). Antioquia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Rosas, M. 1976. Datos biológicos de la ictiofauna del lago de Pátzcuaro, con énfasis en la alimentación de sus especies. Memorias del Simposio sobre Pesquerías en Aguas Continentales, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, pp. 299-236.
- Rosas I, Mazari M, Saavedra J, y Báez P (1985) Benthic organisms as indicators of water quality in Lake Patzcuaro, México. Water Air Soil Pollut 25:401–414
- Springer, M. (2010). Capítulo 3 Trichoptera. Biomonitorio acuático Revista de Biología Tropical, vol. 58, núm. 4, diciembre, 2010, pp. 53-59 Universidad de Costa Rica San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica
- SAS. (2005). JMP v.6. Statistical Discovery from SAS Institute. USA.
- Schmitter-Soto, J. J., Ruiz-Cauich, L. E., Herrera, R. L., y González-Solís, D. (2010). An Index of Biotic Integrity for shallow streams of the Hondo River basin, Yucatan Peninsula. Science of the Total Environment, 409(4), 844–852. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.11.017>
- Segnini S. (2003). El uso de los macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. Sociedad Venezolana de Ecología. *ECOTROPICOS* 16(2): 45-63
- Tellez, R. y O. Motte, 1980. Estudio planctológico preliminar del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. Mayo de 1976. Memor. Segun. Simp. Latinoam. Acuacul. Dep. Pesca. México 1: 1797–1836.
- Thorp J. H. y Covich, A. P. (2001). *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates*. Second Edition. Academic Press. USA.
- Vannote, R. L., G. W. Minshall, K. W. Cummins, J. R. Sedell, y C. E. Cushing. (1980). The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37:130–137.
- Wilcox, D.D., Meeker, E. J., Hudson, L.P., Armitage, J. B., Black, M. G., y Uzarski, D.G. (2002). Hydrologic variability and the applications of

index of biotic integrity metrics to wetlands: a great lakes evaluation. *Wetlands*, 22 (3):588-615.

Zambrano, L., Cordova, T. F.; Ramírez, H. J. P; Mar, S. V; Bustamante, L; Camargo, T; y Bustamante, E. (2011). Las especies exóticas en el Lago de Pátzcuaro. En Huerto, D. R. I., Vargas, V. S., y Ortiz, P. C. F. (eds), *Estudio Ecosistémico del Lago de Pátzcuaro*. México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, pp 157-190.

Zambrano, L., Córdova, T. F., y Pacheco-Muñoz, R. (2014). La comunidad de peces del lago de Pátzcuaro. *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. ISBN: 978-607-7563-87-7