

Diversidad, abundancia y distribución de peces invasores en el lago Petén Itzá, Guatemala

Marcos Ponciano-Nuñez¹, Alejandro Alpuche-Palma², Fernando Vera-Quiñones²
y Jorge Mendiola-Campuzano²

Universidad de San Carlos de Guatemala¹;

División Académica Multidisciplinaria de los Ríos, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco²

Ciudad Antigua de Guatemala, Guatemala¹. Tenosique de Pino Suárez, Tab.; México²

poncianomarcos1995@gmail.com¹, [alejandro.alpuche, fernando.vera]@ujat.mx

*Autor de correspondencia: jorge.mendiola@ujat.mx

Abstract— Introduced alien species negatively impact ecological systems, affecting their biodiversity. In this research determined the diversity, abundance and distribution of invasive fish in Lake Petén Itzá in Guatemala. Scientific catches were made with traditional fishing methods and gear to taxonomically identify individuals and estimate richness, diversity index and relative abundance. Three previously reported species *Oreochromis niloticus*, *Pterygoplichthys pardalis*, *Pterygoplichthys disjunctivus* and two new records *Pterygoplichthys multiradiatus* and *Parachromis managuensis* were identified. The areas with muddy bottoms, aquatic vegetation, anthropogenic activity, low transparency and depth, are used by invasive species. The results suggest that factors such as reproduction, habitat and food determine the occupational areas of invasive species.

Keyword— *Parachromis managuensis*; Central America; *Pterygoplichthys* spp.; Lake; Mayan biosphere.

Resumen— La introducción de especies exóticas impacta negativamente los sistemas ecológicos, afectando su biodiversidad. Este trabajo determinó la diversidad, abundancia y distribución de especies ícticas invasoras del lago Petén Itzá de Guatemala. Se realizaron capturas científicas con métodos y artes de pesca tradicionales para identificar taxonómicamente a los individuos y estimar la riqueza, índice de diversidad y abundancia relativa. Se identificaron tres especies ya reportadas *Oreochromis niloticus*, *Pterygoplichthys pardalis*, *Pterygoplichthys disjunctivus* y dos nuevos registros *Pterygoplichthys multiradiatus* y *Parachromis managuensis*. Se observó que en zonas con fondos lodosos, vegetación acuática, actividad antropogénica, baja transparencia y profundidad, son espacios aprovechados por estas especies. Los resultados sugieren que factores como reproducción, hábitat y alimento, determinan las áreas ocupacionales de las especies invasoras.

Palabras claves— *Parachromis managuensis*; Centroamérica; *Pterygoplichthys* spp.; Biosfera maya.

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas dulceacuícolas ocupan apenas 0.8% de la superficie del planeta, albergando al menos 100,000 especies, lo que representa cerca de 6% de todas las especies descritas a nivel mundial [1]. No obstante, se sabe que las tasas de declinación de la biodiversidad dulceacuícola son mayores que las que ocurren actualmente en los ambientes terrestres y marinos [2]. Lo anterior se debe en parte a la introducción de especies exóticas, dicha situación se encuentra entre los impactos más negativos, menos controlados y casi irreversibles que ocurren en los ecosistemas dulceacuícolas, lo cual afecta directamente su biodiversidad y los usos económicos de los recursos acuáticos en las zonas rurales [3].

En Guatemala, el segundo lago más grande de las tierras bajas es el lago de Petén Itzá, en el cual, se reportan veintidós especies ícticas nativas [4]. La parte norte del lago se encuentra dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Maya (RBM), y es el cuerpo de agua dulceacuícola más grande dentro de la reserva [5], siendo un lugar de máxima importancia para la conservación de especies en el país [6].

Los estudios realizados por diversos científicos en la RBM, la sitúan como uno de los más importantes reservorios de diversidad biológica en Guatemala [7, 8, 9, 10, 11, 12]. Sin embargo, también se han reportado cuatro especies invasoras de peces de agua dulce, entre ellos: *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855), *Pterygoplichthys disjunctivus* (Weber, 1992) [13, 14] y *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818) [15].

La introducción de especies exóticas de peces es muy significativa, ya que estas especies por lo general pueden desequilibrar las funciones del ecosistema al actuar como competidores, depredadores, parásitos o patógenos de las especies endémicas, condicionando así, su supervivencia [16, 17]. Por tanto, la importancia de estudiar las poblaciones de estas especies invasoras radica en que los alcances y costos de las invasiones biológicas repercuten de manera negativa en los ecosistemas acuáticos, tanto en términos ecológicos como económicos, estando el costo ecológico constituido por la pérdida irreparable de especies, así como la degradación de los ecosistemas [18].

Por lo anterior, la finalidad de este estudio fue determinar la diversidad, abundancia y distribución de las especies de peces invasoras en el lago Petén Itzá, Guatemala y conocer los factores que permiten su proliferación en los hábitats acuáticos de este importante cuerpo de agua representativo de Guatemala.

II. MATERIALS Y MÉTODOS

Para el inicio de la investigación se definió el área de estudio, para lo cual, se identificaron catorce sitios de muestreo (Figura 1), los cuales fueron distribuidos en el Lago Petén Itzá, mismo que se encuentra ubicado en el Departamento de Petén, al norte de Guatemala ($16^{\circ} 55' N$ y $89^{\circ} 50' O$), que cuenta con una superficie de 100 km^2 , con una profundidad máxima de 165 m, y una elevación de su superficie de tan solo 110 msnm, lo cual representa que sea el cuerpo de agua más profundo siendo una criptodepresión que se extiende hasta -55 m por debajo del nivel actual del mar.

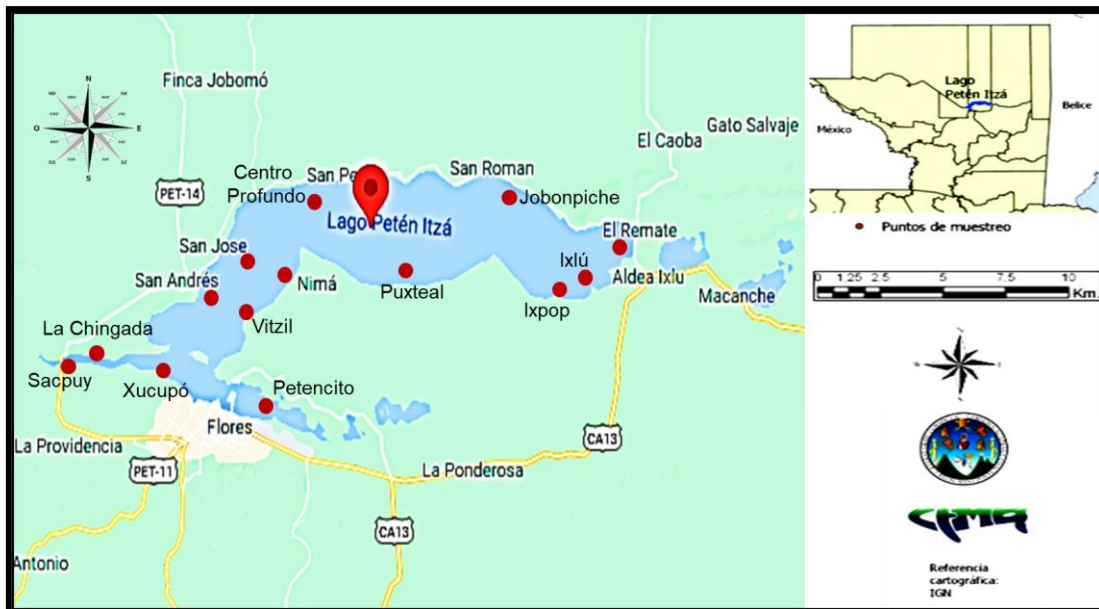


Figura 1. Área de estudio y ubicación de los sitios de muestreo.

El lago está ubicado en una región sensible al clima donde la lluvia es estacional. El agua del lago tiene un pH alto (8.0) y una concentración iónica dominada por calcio (Ca), magnesio (Mg), sulfatos y bicarbonatos; además, está saturado de carbonato de calcio [19]. El lago está localizado en un área de alta pluviosidad, 1730 mm/año (rango de 970 – 2,600 mm/año). Debido a la alta temperatura promedio

en el área durante todo el año, la cual es 24.3°C (15-37°C), la evaporación alcanza un valor similar a la precipitación. La humedad relativa es del 78% con un rango entre 55 y 91% [20]. En la parte suroriental de la cuenca, se encuentran los únicos dos ríos permanentes identificados como Ixpop e Ixlú, los cuales drenan de sur a norte y desembocan en el lago [21].

Una vez descrito lo anterior, se procedió a caracterizar los sitios de muestreo, correspondiente a la fase de trabajo de campo (Tabla 1). Tomando en cuenta los factores que pueden influir en la diversidad de especies, entre ellas: la presencia de plantas acuáticas (también llamadas macrófitas o hidrófitas), mismas que cumplen un rol en el ecosistema que es destacable, ya que no sólo sirven de sustrato o hábitat para comunidades de crustáceos, insectos y gusanos de vida acuática, sino que también intervienen en la alimentación, reproducción y refugio de peces, aves y animales [22].

También se caracterizó el tipo y uso de suelo, ya que es considerado uno de los principales cambios globales, que modifica la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, impactando fuertemente sobre su biodiversidad [23]; por ejemplo, el cambio de uso de suelo puede alterar dichos ecosistemas, afectando la carga de sedimentos suspendidos, la concentración de nutrientes y de materia orgánica [24].

Tabla 1. Descrip. de los sitios de muestreo según el uso de suelo asociado al tipo de fondo y presencia de macrófitas.

Sitio	Presencia de macrófitas	Uso del suelo asociado al sitio	Tipo de fondo	Factor de selección del sitio
Puxteal	Si	Bosque	Arenoso-rocoso	Menor presencia antropogénica
Centro Profundo	No	Bosque	Rocoso	Menor presencia antropogénica
La chingada	Si	Ganadería	Lodoso	Menor presencia antropogénica
Cruce Sacpuy	Si	Ganadería	Lodoso	Menor presencia antropogénica
Ixlú	No	Bosque	Lodoso	Desembocaduras de arroyo
Ixpop	Si	Bosque	Lodoso	Desembocadura de arroyo
Jobonpiche	No	Poblado	Rocoso	Mayor presencia antropogénica
Nimá	Si	Bosque	Arenoso-rocoso	Menor presencia antropogénica
Petencito	Si	Bosque	Arenoso-rocoso	Mayor presencia antropogénica
Remate	No	Poblado	Rocoso	Mayor presencia antropogénica
San Andrés	No	Poblado	Rocoso	Mayor presencia antropogénica
San José	No	Poblado	Rocoso	Mayor presencia antropogénica
Vitzil	Si	Bosque	Arenoso-rocoso	Menor presencia antropogénica
Xucupó	Si	Poblado	Lodoso	Desembocadura de arroyo

Se pudo observar que el tipo de fondo que presenta este lago es un fondo areno-rocoso, con abundante hojarasca, grandes troncos sumergidos y piedras, que determinan una mayor complejidad de microhábitats disponibles para los peces [25]. Los fondos blandos son utilizados por las especies con fines de protección, alimentación y crianza [26]. Los sitios con fondos rocosos sirven a los organismos para permanecer cortos periodo de tiempo solamente para alimentarse.

Posteriormente, se inició con la fase de campo; para ello, la recolección de datos se realizó a través de muestreos de especímenes de peces mediante método de pesca científica, la cual se realizó durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre del año 2019, para lo cual se gestionó un permiso de pesca científica con número PPC-2019-003, extendido por la Dirección de Normatividad de la Pesca y Acuicultura (DIPESCA), una licencia de investigación No. DRP07-2019 y una licencia de colecta Serie A No. 004591 ambas extendidas por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP).

El diseño del muestreo se basó en la metodología utilizada por diversos autores con un enfoque para sentar las bases de un monitoreo [27, 28]. Se colocaron cinco redes agalleras número tres (7cm) por cada punto de muestreo, de manera paralela a la orilla del lago [29]. Cada red agallera se mantuvo colocada durante 1 hora.

El área cubierta fue de 1500 m². Los especímenes colectados fueron preservados en formol al 10%, para posteriormente ser identificados y depositados en la colección del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA). Para la identificación taxonómica de los individuos capturados, se emplearon las claves de peces dulceacuícolas [30, 31, 32, 33, 34, 35].

Una vez que se terminó el periodo de muestreo, se inició el análisis de los datos obtenidos. Para estimar la riqueza esperada, se utilizó el estimador Chao1, mismo que ya ha sido revisado y estandarizado en otros estudios similares [36, 37]. El análisis se realizó mediante el programa EstimateS [38].

Para el análisis de riqueza, se utilizó el índice de riqueza específica [39], mientras que para los índices de Margalef, Simpson y Shannon-Wiener, éstos fueron calculados a través del programa PAST versión 3.24 [40].

La abundancia relativa se calculó mediante la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) que es la cantidad de capturas que se logran por unidad de arte de pesca. La CPUE puede utilizarse como medida de la eficiencia económica de un tipo de arte, pero normalmente se utiliza como índice de abundancia; es decir, se espera que una variación proporcional en la CPUE represente la misma variación proporcional en la abundancia [41].

Luego de lo anteriormente descrito, la información recolectada fue procesada por medio de un análisis estadístico descriptivo, para presentar el conjunto de datos obtenidos de las variables. Para la descripción gráfica del conjunto de datos, se elaboraron tablas y gráficos.

Con respecto a la distribución espacial, se empleó el Sistema de Información Geográfica (SIG), mediante el software QGIS versión 3.8, el cual es de código abierto, por lo que se generaron los mapas con la distribución de las capturas por unidad de esfuerzo y la biomasa de las especies invasoras capturadas en cada estación de muestreo.

III. RESULTADOS

Con respecto a la riqueza específica de peces, se capturaron un total de 166 individuos, pertenecientes a cuatro familias, 11 géneros y 14 especies, de las cuales, cinco especies son invasoras, destacando por primera vez el reporte del cíclido *Parachromis managuensis* y el locárido *Pterygoplichthys multiradiatus*, además del cíclido *O. niloticus* y los loricaridos *P. pardalis* y *P. disjuntivus*, mismos que ya han sido reportados en otros estudios (Tabla 2).

Tabla 2. Riqueza de especies peces en el lago Petén Itzá.

Especie	Número de individuos
PERCIFORMES:	
Cichlidae	
<i>Parachromis managuensis</i>	10
<i>Petenia splendida</i>	39
<i>Vieja melanura</i>	44
<i>Mayaheros urophthalmus</i>	7
<i>Rocio octofasciata</i>	4
<i>Cribroheros robertsoni</i>	2
<i>Torichthy saffinis</i>	1
<i>Oreochromis niloticus</i>	2
SILURIFORMES:	
Loricariidae	
<i>Pterygoplichthys multiradiatus</i>	5
<i>Pterygoplichthys pardalis</i>	7
<i>Pterygoplichthys disjunctivus</i>	7
Heptapteridae	
<i>Rhamdia guatemalensis</i>	1
CHARACIFORMES:	
Characidae	
<i>Astyanax mexicanus</i>	37
Número total de individuos	166
Número total de especies	13

De acuerdo con los resultados obtenidos, la distribución de tallas de especies invasoras mostró que la talla mínima capturada de *P. managuensis* es de 22 cm y la talla máxima fue de 26 cm, mientras que la talla mínima de captura de *P. disjunctivus* fue de 32 cm y la máxima de 42 cm. La talla mínima de captura de *P. pardalis* fue de 32 cm y la máxima de 40 cm y en el caso de *P. multiradiatus*, la talla mínima capturada estuvo entre los 44 cm y la máxima de 46 cm, siendo esta la especie de locárido que presenta una mayor talla. Por último, *O. niloticus* mostró una talla mínima de captura de 30 cm y una talla máxima de 38 cm (Figura 2).

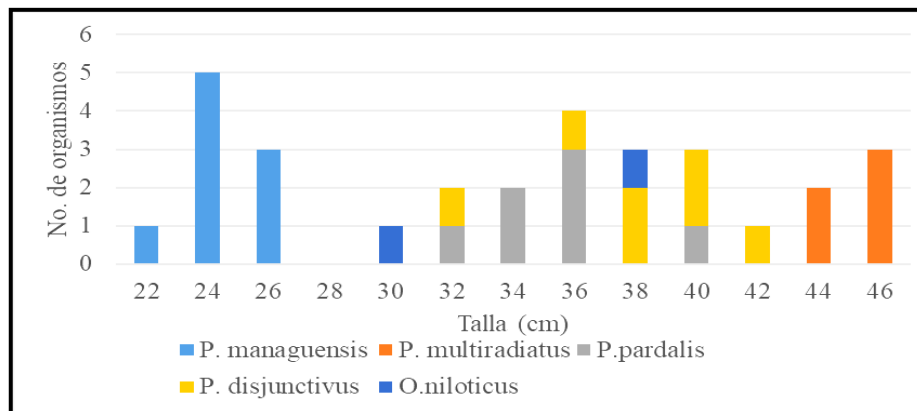


Figura 2. Distribución de tallas de especies invasoras encontradas lago Petén Itzá.

Posteriormente, se determinó la curva de acumulación de especies invasoras, para ello, fueron consideradas las cinco especies ícticas exóticas invasoras colectadas, en un esfuerzo de ocho muestreos, lo cual supera la asíntota establecida por las cuatro especies invasoras (Figura 3), las cuales fueron: *O. niloticus*, *P. pardalis*, *P. disjunctivus* [42, 43], así como por la especie *Piaractus brachypomus*, la cual está documentada como especie exótica para el lago Petén Itzá [44]. Por su parte, el estimador de diversidad Chao1, no mostró diferencias significativas con respecto a los valores de riqueza observados en los sitios de muestreo.

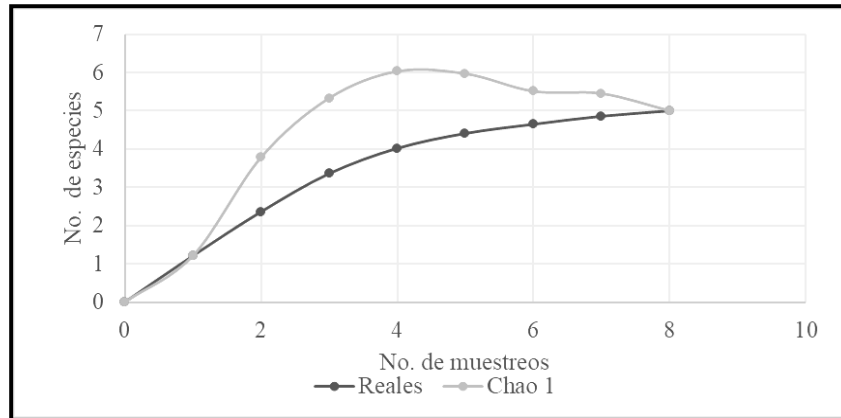


Figura 3. Número de especies invasoras acumuladas en función del esfuerzo de muestreo en el lago Petén Itzá.

Por su parte, para la diversidad de especies de peces exóticas invasoras, los tres índices de diversidad que se utilizaron para analizar la diversidad en los sitios de muestreo evidenciaron que los sitios con mayor diversidad fueron Xucupó con un índice de Margalef de 2.1, un índice de Simpson de 1 y un índice de Shannon-Wiener de 2, seguido de Nimá con un índice de Margalef de 2, un índice de Simpson de 0.8 y un índice de Shannon-Wiener de 1.7 (Tabla 3).

Hola

Tabla 3. Variación de los atributos de diversidad para los sitios de muestreo en el lago Petén Itzá.

Índices de diversidad	Sitios de muestreo													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Índice Margalef	0	0	0.6	0	0	1.4	2	0	0	1.2	0.6	1.4	0.9	2.1
Índice Shannon-Wiener	0	0	0.6	0	0	0.7	1.7	0	0	1	0.7	1	1.2	2
Índice Simpson	0	0	0.4	0	0	0.5	0.8	0	0	0.6	0.5	0.6	0.7	1

Código de sitios: 1. C. Profundo; 2. Chingada; 3. Cruce Sacpuy; 4. Ixlú; 5. Ixpop; 6. Jobonpiche; 7. Nimá; 8. Petencito; 9. Puxteal; 10. Remate; 11. San Andrés; 12. San José; 13. Vitzfíl; 14. Xucupó.

Por su parte, las especies invasoras que presentaron una mayor abundancia relativa en base al CPUE como biomasa, fueron *P. multiradiatus*, *P. pardalis*, *P. disjunctivus* y por último *P. managuensis* (Tabla 4). La única especie nativa que supera en abundancia relativa a todas las especies invasoras es *P. splendida*. Los valores mínimos estuvieron representados por la especie invasora *O. niloticus* y las especies nativas *M. urophthalmus*, *R. octofasciata*, *C. robertsoni* y *R. guatemalensis* (Tabla 4).

Tabla 4. Abundancia relativa de especies ícticas en los sitios de muestreo y abundancia relativa total para el lago Peten Itzá.

Especie	Abundancia relativa de las especies en cada sitio de muestreo (CPUE = g/h/m2)														Abundancia Relativa total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
<i>P. splendida</i>	0.46		0.47			0.15	0.27		0.39	0.19	0.19	0.21	1.39	2.65	6.37
<i>P. multiradiatus</i>														3.04	3.04
<i>V. melanura</i>			0.21	0.09	0.08	0.08	0.21	0.99			0.31	0.08	0.10	0.47	2.62
<i>P. disjunctivus</i>														2.41	2.41
<i>P. pardalis</i>														2.03	2.03
<i>P. managuensis</i>							0.33					0.45	1.17		1.95
<i>M. urophtalmus</i>							0.11			0.26				0.06	0.42
<i>O. niloticus</i>														0.68	0.68
<i>C. robertsoni</i>														0.33	0.33
<i>R. guatemalensis</i>														0.16	0.16
<i>R. octofasciata</i>							0.07							0.03	0.11

Código de sitios: 1. C. Profundo; 2. Chingada; 3. Cruce Sacpuy; 4. Ixlú; 5. Ixpop; 6. Jobonpiche; 7. Nimá; 8. Petencito; 9. Puxteal; 10. Remate; 11. San Andrés; 12. San José; 13. Vitzíl; 14. Xucupó.

En lo referente a la distribución, se ubicaron tres sitios con presencia de especies invasoras los cuales son Xucupó, Vitzíl y Nimá (Figura 4). Xucupó es un arroyo tributario permanente por el cual ingresa materia orgánica, lo que ocasiona que se tenga poca transparencia, un fondo lodoso y poca visibilidad en el cual se capturaron las especies invasoras *P. managuensis*, *P. multiradiatus*, *P. disjunctivus*, *P. pardalis* y *O. niloticus*. En las zonas de Vitzíl y Nimá solo se encontró la presencia de *P. managuensis*.

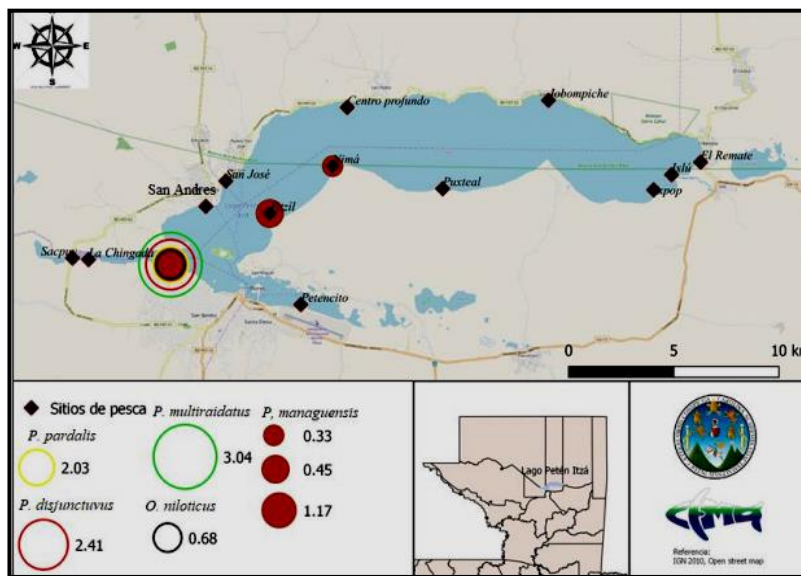


Figura 4. Distribución y abundancia relativa de especies de peces invasoras en el lago Petén Itzá.

IV. DISCUSIÓN

Para el lago Peten Itzá, solo existía el reporte de cuatro especies exóticas invasoras, dos de ellas perteneciente a la familia Locaridae *P. pardalis*, *P. disyunctivus*, una de la familia Cichidae, la cual corresponde a la tilapia nilótica *O. niloticus* [45] y una especie más de la familia Characidae *Piaractus brachypomus*, recientemente documentada [46]. De las especies invasoras anteriormente reportadas, durante el desarrollo de la presente investigación, se encontraron las dos especies de plecostomus y de la

tilapia nilótica. Un hallazgo relevante, fue el hallazgo de las especies *P. multiradiatus* y el guapote jaguar *P. managuensis*, lo cual constituye el primer reporte de estas especies para el área de estudio.

Por otra parte, el aumento de la presencia de especies invasoras exóticas se puede atribuir en parte a la liberación de estos organismos acuáticos en el medio natural por parte de los aficionados a la acuarofilia, ya que se tienen reportes de que esta es una de las principales vías de introducción de las especies ícticas no nativas, pues en diversas ocasiones, los acuaristas liberan sus peces ornamentales por falta de espacio, perder sus cualidades atractivas o simplemente por aburrición [47, 48, 49].

Con respecto a lo anterior, basta saber que alrededor del lago, existen tres tiendas de mascotas, las cuales venden peces ornamentales [50]. Los individuos de *P. managuensis* muestran coloración atractiva, por lo que son una buena alternativa para el mercado de ornatos [51]; por su parte, los plecostomus son muy apreciados por los aficionados acuaristas, debido a su apariencia distintiva, resistencia y propensión a consumir las algas en toda superficie sumergida [52].

En referencia a la distribución de tallas, la talla mínima capturada de *P. managuensis* supera la talla de primera madurez para la especie, la cual corresponde a 18.1 cm [53], siendo la talla promedio de captura para esta especie [54]. Esto último, concuerda con los resultados observados en el lago de Nicaragua, hábitat nativo de la especie, donde la mayoría de los individuos se ubicaron en el rango de talla que va de 20 a 25 cm [55].

La talla mínima de captura de las especies de locáridos fue de 32 cm, misma que supera también la talla de primera madurez sexual con 28 cm [56], las tallas observadas en el trabajo concuerdan con las reportadas en la cuenca del río La Reventazón, Costa Rica, donde la talla media de captura fue de 35 cm, ya que los plecostomus más grandes prefieren habitar en sistemas acuáticos lenticos [57].

En el caso de *O. niloticus*, se obtuvo una talla mínima de captura de 44 cm, misma que supera la primera talla mínima de madurez sexual, la cual oscila en los 15 cm, y que está definida en la literatura [58] en la presa Emiliano Zapata, ubicada en el estado de Morelos, México.

Lo anterior permite deducir que las especies exóticas invasoras estudiadas, podrían tener una elevada tasa de crecimiento y reproducción, dos factores que facilitan una eficaz monopolización de los recursos acuáticos con el consiguiente desplazamiento de las especies nativas por exclusión competitiva [59].

En cuanto a la diversidad, en la localidad de Xucupó fueron encontradas las cinco especies invasoras y ocho especies nativas, esto se puede deber a que Xucupó es un arroyo tributario permanente por el cual ingresa la materia prima para crear los refugios, sustratos y sitios de desove, además de que proveen y almacenan los nutrientes que sustentan a las plantas y los animales [60].

Por otro lado, Nimá es una zona con abundante vegetación, la cual le sirve a los peces como sitio de refugio, sobre todo a los juveniles, así como de brindar sitios de alimentación para los adultos [61]; en este sitio, se encontró únicamente *P. managuensis* como especie invasora y se encontraron especies nativas como *Petenia splendida* y *Vieja melanura*, las tres comparten nicho ecológico al ser del grupo de los Perciformes de la familia de Cichlidae, lo cual podría ser un indicio de que esta especie invasoras por ser un depredador natural, está compitiendo por el alimento con las especies nativas, sumado a la agresividad que muestran por preservar su hábitat.

Otro de los sitios con mayor diversidad, según el índice de Shannon y el índice de Simpson, fue la localidad de Vitzíl, donde también está presente *P. managuensis* y al igual que Nimá, es un sitio ribereño con gran abundancia de plantas acuáticas, las cuales funcionan como hábitat para la alimentación, anidación o como refugio [62].

En el resto de los sitios, no se encontró presencia de especies invasoras, lo cual se puede atribuir a la mayor profundidad que existe en ellos, así como por la presencia de sustratos rocosos, los cuales, en lo particular, no son los sitios preferidos para las especies de plecostomus [63]. En estos sitios, los

organismos por lo general permanecen cortos periodo de tiempo y solamente permanecen en ellos para alimentarse. También, estas zonas cuentan con una buena calidad de agua y una alta transparencia, la cual no es una característica de preferencial para la especie *P. managuensis* [64].

La abundancia relativa de las especies de los plecostomus *P. pardalis* y *P. disjunctivus*, en la zona de Xucupó, fue mayor a la reportada anteriormente en el 2014, lo cual fue atribuido a que en esta se presentan elevados índices de contaminación, así como mayor abundancia de alimento para esta clase de peces exóticos invasores [65]. El incremento en abundancia relativa se debe a que los organismos tienen las condiciones ambientales adecuadas para crecer, desarrollarse y reproducirse con éxito, desplazando a las especies endémicas del lago.

En el caso de *P. managuensis*, no existe un estudio previo con el cual comparar la abundancia relativa encontrada, debido a que es el primer reporte que se realiza de esta especie en el lago Peten Itzá, pero es mayor comparada con la diversidad encontrada el río Usumacinta, que al igual que el lago Peten Itzá se encuentra en el norte de Guatemala [66], donde también se reportó esta especie exótica invasora con una densidad relativa de 0.854 g/h/m² [67].

Con respecto a la distribución, en la zona de Xucupó los plecostomus se localizan más, lo cual se debe a que éstos son organismos bentónicos que se alimentan de detritos del fondo [68], por lo que muestran una alta tasa de digestibilidad de materia orgánica [69].

Por su parte, el guapote jaguar puede ser una especie que también habite en esta zona, ya que esta especie íctica prefiere aguas turbias con fondos lodosos de los lagos altamente eutrofizados [70]; en su hábitat natural, se encuentran en arroyos y estanques con altas cantidades de detritus y con fondos arenosos [71]. Por tanto, es importante mencionar que el hábitat que se crea en esta desembocadura es muy similar a las anteriormente descritas; es decir, ambientes turbios y fangosos, en donde este tipo de especies, se pueden alimentar principalmente de fitoplancton o algas bentónicas, al igual que de larvas de insectos y detritus [72].

En las zonas de Vitzil y Nimá, presentan una mayor transparencia en el agua en comparación con la observada en Xucupó, lo cual puede deberse a que no se le ha dado un cambio al uso de suelo, mismo que pudiese añadir una carga de sedimentos al agua por escorrenterías, provocando una mayor concentración de nutrientes y materia orgánica en el cuerpo de agua y alterando el equilibrio ecológico [73]. Por ello, la presencia de guapote jaguar *Parachromis managuensis* en estas zonas, es común que suceda, debido a su abundante vegetación acuática, donde estos peces buscan sitios para la reproducción y alimentación [74]. Otra característica de estos, es su fondo areno-rocoso, sumergidos, es que determinan una mayor complejidad de microhábitats disponibles para los peces [75] y puede ser un atributo que también atraiga a *P. managuensis*; como consecuencia, se pueden establecer poblaciones de esta especie íctica invasora.

V. CONCLUSIÓN

En base a todo lo anteriormente expuesto, se concluyó que los datos generados en la presente investigación pueden ser utilizados como una base científica para la toma de decisiones informadas acerca de las gestiones más adecuadas y pertinentes que incidan de manera positiva en la preservación y conservación de este importante cuerpo de agua, así como de sus recursos naturales acuáticos.

De igual forma, es necesario el diseño de planes de manejo adecuados que estén basados en la sustentabilidad, a fin de mitigar o evitar la propagación de más especies invasoras al ecosistema, así como la disminución de las poblaciones endémicas existentes en el lago Petén Itzá, para disminuir sus impactos negativos. Por último, es importante la creación de alternativas que permitan el

aprovechamiento sustentable de las especies invasoras, con la finalidad de incentivar y fortalecer la economía, sobre todo en zonas rurales donde la pesca es una actividad primordial.

RECONOCIMIENTOS

Este proyecto fue realizado con el apoyo de la Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del lago Petén Itzá (AMPI), el Consejo Nacional de áreas Protegidas (CONAP) y la Dirección de Normatividad de la Pesca y Acuicultura (DIPESCA) de Guatemala. Además, se agradece la participación de J. Chang, D. Gonzáles, A. Godoy, A. Méndez, V. Dávila y G. Ochaeta.

REFERENCIAS

- [1] Abell, R., Thieme, M.L., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Contreras, B.S., Bussing, W., Stiassny, M.L.J., Skelton, P., Allen, G.R., Unmack, P., Naseka, A., Ng, R., Sindorf, N., Robertson, J., Armijo, E., Higgins, J.V., Heibel, T.J., Wikramanayake, E., Olson, D., López, H. L., Reis, R.E., Lundberg, J.G., Sabaj, P.M.H. & Petry, P. (2008). Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience*, 58 (5), 403-414.
- [2] Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z., Knowler, D.J., Lévêque, C., Naiman, R.J., Prieur-Richard, A., Soto, D., Stiassny, M.L.J. & Sullivan, C.A. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biology Review*, 81, 163-182.
- [3] Strayer, D.L. (2010). Alien species in fresh waters: Ecological effects, interactions with other stressors and prospects for the future. *Freshwater Biology*, 55 (1), 152-174.
- [4] Brenner, M., Rosenmeier, M.F., Hodell, D.A., Curtis, J.H., Anselmetti, F. y Ariztegui, D. (2002). Limnología y paleolimnología de Petén, Guatemala. *Revista Universidad del Valle de Guatemala*, 12, 2-9.
- [5] Pape, E. (2002). Valor económico del lago Petén Itzá: Problemas y oportunidades. Guatemala, Guatemala: Editorial de Ciencias Sociales.
- [6] Wildlife Conservation Society [WCS] (2013). Estado de la reserva de la Biósfera Maya [en prensa]. Guatemala: Prensa Libre.
- [7] MacVean, A. (1995). Diversidad y densidad de plantas con potencial de uso sustentable en el bosque húmedo tropical, Petén, Guatemala. *Tesis Licenciatura en Biología*. Guatemala, Guatemala: Departamento de Biología de la Universidad del Valle de Guatemala.
- [8] Schulze, M. & Whitacre, D. (1999). A classification and ordination of the tree community of Tikal National Park, Petén, Guatemala. United States: Florida Museum of Natural History, y University of Florida.
- [9] Schlesinger, V. (2001). Animals y plants of the ancient Maya: A guide. Texas, USA: University of Texas Press.
- [10] Szejner, M. (2005). Caracterización ecológica y botánica de 100 especies de árboles amenazados en Guatemala, con fines de conservación. *Tesis Licenciatura en Biología*. Guatemala, Guatemala: Departamento de Biología de la Universidad del Valle de Guatemala.
- [11] Véliz, M. (2008). Diversidad florística de Guatemala (261-298). En Azurdia, C., García, F., y Ríos, M. (Eds.), Guatemala y su diversidad biológica: Un enfoque histórico, cultural, biológico y económico. Guatemala, Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas, y Oficina Técnica de Diversidad Biológica.
- [12] Reyes, F., Morales, J., Bustamante, M., Ruano, G. y Monzón, V. (2009). Los cuerpos de agua de la región Maya Tikal Yaxhá: Importancia de la vegetación acuática asociada, su conservación y el valor desde el uso humano. *Informe Final Proyecto FODECYT No. 25-2008*. Guatemala, Guatemala: CONCYT, SENACYT, FONACYT, y USAC.
- [13] Amador del Á.L.E., Wakida, K.A.T., Guevara, E., Brito, R. y Rodríguez, P.C. (2009). Peces invasores de agua dulce en la región de la laguna de Términos, Campeche. *U. Tecnociencia*, 3 (2), 11-28.
- [14] Barrientos, C.A. (2015). Life history variation and artisanal fishery assessment of the giant cichlid (*Petenia splendida* Günther 1862) in Guatemalan lakes. *PhD Dissertation*. Gainesville, USA: University of Florida.

- [15] Elias, D.J., Mochel, S.F., Chakrabarty, P. & McMahan, C. (2018). First record of the non-native Pacu, *Piaractus brachyomus*, in Lago Petén-Itzá, Guatemala, Central America. *Occasional Papers of the Museum of Natural Science*, 88, 2474-8935.
- [16] Vitousek, P.M., D'Antonio, C.M., Loope, L.L. & Westbrooks, R. (1996). Biological invasions as global environmental change. *American Science*, 84, 468-478.
- [17] Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] (2009). FAO database on introductions of aquatic species DIAS [en línea]. Recuperado marzo 1, 2019, de <http://www.fao.org/fishery/dias/en>.
- [18] Rajeev, R., Prasad, G., Anvar-Ali, P.H. & Pereira, B. (2008). Exotic fish species in a global biodiversity hotspot: Observations from river Chalakudy, part of Western Ghats, Kerala, India. *Biology Conservation*, 10, 37-40.
- [19] Hillesheim, M.B., Hodell, D.A., Leyden, B.W., Brenner, M., Curtis, J.H., Anselmetti, F.S. & Schnurrenberger, D.W. (2005). Climate change in lowland Central America during the late deglacial and early Holocene. *Journal of Quaternary Science: Published for the Quaternary Research Association*, 20(4), 363-376.
- [20] Basterrechea, D.M. (1988). Limnología del lago Petén Itzá, Guatemala. *Revista de Biología Tropical*, 36(1), 123-127.
- [21] Méndez, J. y Pinelo, J. (2008). Desarrollo territorial de la cuenca del Lago Petén Itzá por medio de la metodología de la idoneidad localizativa. *Tesis Licenciatura en Arquitectura*. Guatemala, Guatemala: USAC.
- [22] Lallana, V. (1997). Las plantas acuáticas del río Paraná: Su importancia en el ecosistema (*Artículo Técnico de Divulgación AT-01*). Montevideo, Uruguay: Universidad Nacional de Entre Ríos.
- [23] Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J. & Melillo, J.M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277, 494-499.
- [24] Granitto, M., Rosso, J.J., Boveri, M.B. y Rennella, A.M. (2016). Impacto del uso del suelo sobre la condición de ribera en arroyos pampeanos y su relación con la estructura de la comunidad de peces. *Biología Acuática*, 31, 19-27.
- [25] Lasso, C.A., Lasso, A.O.M., Meri, J. y Suárez, R. (2002). Diversidad y estructura de la comunidad de peces de un río de la Guayana venezolana: Observaciones y censos subacuáticos como metodología alternativa. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 154, 99-115.
- [26] Vasconcelos, R.P., Reis, S.P., Costa, M.J., y Cabral, H.N. (2011). Connectivity between estuaries and marine environment: integrating metrics to assess estuarine nursery function. *Ecological Indicators*, 11(5), 1123-1133.
- [27] Quiros, R., Prenski, B.L. y Baigun, C. (1984). Relación entre resultados de ensayos de captura y factores ambientales en el embalse de Salto Grande. Montevideo, Uruguay: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero.
- [28] Prenski, L.B. y Baigún, C. (1986). Resultados de la prospección pesquera en el embalse de Salto Grande (febrero 1980 – febrero 1981). *Revista de Investigaciones y Desarrollo Pesquero*, 6, 77-102.
- [29] Miranda Ch.G. y Barrera, M. (2005). Riqueza y abundancia de peces en dos lagunas de los Andes tropicales. *Ecología en Bolivia*, 40(2), 41-52.
- [30] Armbruster, J.W. & Page, L. (2006). Redescription of *Pterygoplichthys punctatus* and description of a new species of *Pterygoplichthys* (Siluriformes: Loricariidae). *Neotropical Ichthyology*, 4(4), 401-409.
- [31] Page, L.M. & Robins, R.H. (2006). Identification of sailfin catfishes (Teleostei: Loricariidae) in southeastern Asia. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 54(2), 455-457.
- [32] Froese, R. y Pauly, D. (2009). *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) Nile tilapia [en línea]. Recuperado en marzo 28 de 2019, en: <http://www.fishbase.org/Summary/speciesSummary.php?id=2ylang=English>.
- [33] Miller, R. (2009). Peces dulceacuícolas de México. CDMX, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

- [34] Anzueto, C.M.D.J., Velázquez, V.E., Gómez, G.A.E., Quiñones, R.M. y Joyce, O.B. (2013). Peces de la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote. Chiapas, México: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.
- [35] Froese, R. y Pauly, D. (2017). *Parachromis managuensis* (Günther, 1867) [en línea]. Recuperado octubre 10, 2019, de <http://www.fishbase.org/summary/Parachromis-managuensis.html>.
- [36] Colwell R.K. & Coddington J.A. (1994). Estimating terrestrial bio-diversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, London. 345, 101-118.
- [37] Chazdon, R., Colwell, R., Denslow, J. & Guariguata, M. (1998). Statistical methods for estimating species richness of woody regeneration in primary and secondary rain forests of NE Costa Rica (pp. 285-309). In Dallmeier, F., y Comiskey, J. (Eds.), *Forest biodiversity research, monitoring and modeling: Conceptual background and old world case studies*. París, France: Parthenon Publishing.
- [38] Colwell, R.K. (2006). EstimateS: Biodiversity Estimation Software.
- [39] Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. México: CYTED, ORCYT- UNESCO, & Soc. Entomológica Aragonesa.
- [40] Hammer, Ø. Harper, D. & Ryan, P.D. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontología Electrónica*, 4(1), 1-9.
- [41] Zamora, R.M., Soteto, A.L.V. y Hernández, H.S. (1994). Análisis de la tendencia de captura por unidad de esfuerzo en la pesquería del pez vela en el Pacífico Mexicano. *Ciencias Marinas*, 20(3), 393-408.
- [42] Amador, del Á.L.E., Wakida, K.A.T., Guevara, E., Brito, R. y Rodríguez, P.C. (2009). Peces invasores de agua dulce en la región de la laguna de Términos, Campeche. *U. Tecnociencia*, 3 (2), 11-28.
- [43] Barrientos, C.A. (2015). Life history variation and artisanal fishery assessment of the giant cichlid (*Petenia splendida* Günther 1862) in Guatemalan lakes. *PhD Dissertation*. Gainesville, USA: University of Florida.
- [44] Elias, D.J., Mochel, S.F., Chakrabarty, P. & McMahan, C. (2018). First record of the non-native Pacu, *Piaractus brachypomus*, in Lago Petén-Itzá, Guatemala, Central America. *Occasional Papers of the Museum of Natural Science*, 88, 2474-8935.
- [45] Barrientos, C. & Quintana, Y. (2012). Evaluación del impacto de especies no nativas en los lagos Atitlán, Izabal y Peten Itzá; y caracterización del hábitat de especies nativas y no nativas de peces. Guatemala, Guatemala: Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- [46] Elias, D.J., Mochel, S.F., Chakrabarty, P. & McMahan, C. (2018). First record of the non-native Pacu, *Piaractus brachypomus*, in Lago Petén-Itzá, Guatemala, Central America. *Occasional Papers of the Museum of Natural Science*, 88, 2474-8935.
- [47] Duggan, I.C., Rixon, C.A. & Macisaac, H.J. (2006). Popularity and propagule pressure: Determinants of introduction and establishment of aquarium fish. *Biological Invasions*, 8, 377-382.
- [48] Cagauan, A.G. (2007). Red-bellied Pacu in the Philippines. 2007. *Journal of environmental Science and Management*, 10, 42-47.
- [49] Nico, L., Fuller, P. & Neilson, M. (2017). *Piaractus brachypomus*. USGS Non-indigenous Aquatic Species Database, Gainesville FL. (<https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?speciesID=427>) electronic version accessed 28 January 2020.
- [50] Elias, D.J., Mochel, S.F., Chakrabarty, P. & McMahan, C. (2018). First record of the non-native Pacu, *Piaractus brachypomus*, in Lago Petén-Itzá, Guatemala, Central America. *Occasional Papers of the Museum of Natural Science*, 88, 2474-8935.
- [51] Riehl, R. & Baensch, H. (1991). *Aquarien atlas/Band. 1*. Melle: Mergus. Germany: Verlag für Natur-und Heimtierkunde.
- [52] Mendoza, R., Fisher, J., Courtenay, W., Ramírez, C., Orbe, A., Escalera, C., Álvarez, P., Koleff, P. y Contreras, B.S. (2009). Evaluación trinacional de riesgos de los plecos (Loricariidae) (pp. 25-37). En Cudmore, B., Orr, R., y Koleff, P. (Eds.), *Directrices trinacionales para la evaluación de riesgos de las especies acuáticas exóticas invasoras: Casos de prueba para el pez cabeza de serpiente (Channidae) y el*

- pleco (Loricariidae) en aguas continentales de América del Norte, Capítulo 3. Ottawa, Canadá: Comisión para la Cooperación Ambiental.
- [53] Programa Regional de Pesca y Acuicultura [PREPAC] (2006). Caracterización del lago de Güija con énfasis en la pesca y acuicultura: Informe final. Taiwán: SICA, OSPESCA, OIRSA, y PREPAC.
- [54] Orellana, A. y José, J. (2010). Peces, crustáceos y moluscos del Istmo Centroamericano. Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano. La Libertad, El Salvador.
- [55] Hernández, P.A. y Saborido, R.F. (2008). Abundancia relativa de los peces en la costa oriental del lago de Nicaragua. Managua, Nicaragua: Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales.
- [56] Wakida, K.A.T. & Amador, del Á.L.E. (2011). Aspectos biológicos del pleco invasor *Pterygoplichthys pardalis* (Teleostei: Loricariidae) en el río Palizada, Campeche, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(3), 870-878.
- [57] Solano, D.H. y Arias, A.M. (2011). Peces diablo (Teleosteo: Siluformes: Loricariidae) en la cuenca del río Reventazón, Costa Rica. *Biocenosis*, 25(1-2).
- [58] Peña, M.B., Gómez, M.J.L., Salgado, U.I.H. & Ramírez, N.D. (2005). Reproductive biology of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) at Emiliano Zapata dam, Morelos, Mexico. *Revista De Biología Tropical*, 53(3-4), 515-522.
- [59] Capdevila, A.L., Zilletti, B. y Suárez, Á.V.Á. (2013). Causas de la pérdida de biodiversidad: Especies exóticas invasoras. España: *Memorias Real Sociedad Española de Historia Natural*.
- [60] Gestring, K., Shafland, P.L. & Stanford, M.S. (2006). The status of Loricariid catfishes in Florida with emphasis on Orinoco Sailfin (*Pterygoplichthys multiradiatus*). Boca Raton, Florida. *26th Annual Meeting of the Florida Chapter American Fisheries Society*.
- [61] Lallana, V. (1997). Las plantas acuáticas del río Paraná: Su importancia en el ecosistema (*Artículo Técnico de Divulgación AT-01*). Montevideo, Uruguay: Universidad Nacional de Entre Ríos.
- [62] Lallana, V. (1997). Las plantas acuáticas del río Paraná: Su importancia en el ecosistema (*Artículo Técnico de Divulgación AT-01*). Montevideo, Uruguay: Universidad Nacional de Entre Ríos.
- [63] Hoover, J., Killgore, D. & Cofrancesco, A. (2004). Suckermouth catfishes: Threats to aquatic ecosystems of the United States? *Aqua. Nuis. Sp. Res. Prog. Bull.*, 4, 1-9.
- [64] Conkel, D. (1993). Cichlids of North and Central America I. New York, USA: TFH Publications.
- [65] Penados, M. (2014). Estudio biológico de la captura incidental del pez diablo orden siluriforme en la pesca artesanal de pez blanco en el lago Petén Itzá. *Tesis Licenciada en Acuicultura*. Guatemala, Guatemala: USAC.
- [66] March, I.J. y Fernández, J. C. (2003). La gran cuenca del río Usumacinta: Una contradicción regional. Agua, Medio Ambiente y Desarrollo en el siglo XXI: México desde una perspectiva global y regional, 117-135.
- [67] Macías, E.B. y Cano, S.M.P. (2014). Abundancia del plecos (*Pterygoplichthys pardalis*) en sistemas lagunares y ribereños de la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México. CDMX, México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- [68] Gestring, K., Shafland, P.L. & Stanford, M.S. (2006). The status of Loricariid catfishes in Florida with emphasis on Orinoco sailfin (*Pterygoplichthys multiradiatus*). Boca Raton, Florida: *26th Annual Meeting of the Florida Chapter American Fisheries Society*.
- [69] Yossa, M.I. & Araujo, L.C.A. (1998). Detritivory in two Amazonian fish species. *Journal Fishseries Biology*, 52, 1141-1153.
- [70] Conkel, D. (1993). Cichlids of North and Central America I. New York, USA: TFH Publications.
- [71] Page, L.M. & Burr B.M. (1991). A field guide to freshwater fishes of North America north of Mexico. Houghton Mifflin Company, Boston. 432 p.
- [72] Lamboj A. (2004). The cichlid fishes of western Africa. Bornheim, Germany: Birgit Schmettkamp Verlag.

- [73] Granitto, M., Rosso, J.J., Boveri, M.B. y Rennella, A.M. (2016). Impacto del uso del suelo sobre la condición de ribera en arroyos pampeanos y su relación con la estructura de la comunidad de peces. *Biología Acuática*, 31, 19-27.
- [74] Lallana, V. (1997). Las plantas acuáticas del río Paraná: Su importancia en el ecosistema (*Artículo Técnico de Divulgación AT-01*). Montevideo, Uruguay: Universidad Nacional de Entre Ríos.
- [75] Lasso, C.A., Lasso, A.O.M., Meri, J. y Suárez, R. (2002). Diversidad y estructura de la comunidad de peces de un río de la Guayana venezolana: Observaciones y censos subacuáticos como metodología alternativa. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 154, 99-115.