

**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

**Trabajo de graduación**

**Diversidad, abundancia y distribución de las especies de peces  
invasoras en el lago Petén Itzá, Guatemala**

**Presentado por:**

**T. A. Marcos Estuardo Ponciano Nuñez**

**Para otorgarle el título de  
Licenciado en Acuicultura**

**Guatemala, marzo de 2020**

**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

**Trabajo de graduación**

**Diversidad, abundancia y distribución de las especies de peces  
invasoras en el lago Petén Itzá, Guatemala**

**Presentado por:**

**T. A. Marcos Estuardo Ponciano Núñez**

**Para otorgarle el título de  
Licenciado en Acuicultura**

**Asesor: M. Sc. Gerson Renato Gabriel Ochaeta Constanza**

**Guatemala, marzo de 2020**

**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Centro de Estudios del Mar y Acuicultura**

**Consejo Directivo**

Presidenta

Dra. Juana Lorena Boix Morán

Secretario

Dr. Pedro Julio García Chacón

Representante Docente

M. Sc. Erick Roderico Villagrán Colón

Representante del Colegio de Médicos

Licda. Liliana Maricruz Maldonado Noriega

Veterinarios y Zootecnistas

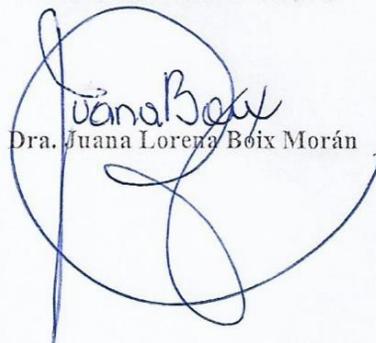
Representantes Estudiantiles

T. A. Karol Rubí Rivas Díaz

T. A. Alejandra Raquel Contreras Perdomo

La Directora del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura -CEMA-, después de conocer el dictamen favorable del M.Sc. Erick Roderico Villagrán Colón, Coordinador Académico, sobre el trabajo de graduación del estudiante universitario Marcos Estuardo Ponciano Nuñez,, titulado “Diversidad, abundancia y distribución de las especies de peces invasoras en el lago Petén Itzá, Guatemala”, da por este medio su aprobación a dicho trabajo. IMPRIMASE.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



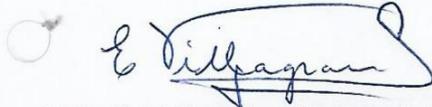
Dra. Juana Lorena Boix Morán



Guatemala, abril 2020

El Coordinador Académico del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura –CEMA-, después de conocer el dictamen de la asesora M.Sc. Vanesa Dávila, al trabajo de graduación del estudiante universitario, Marcos Estuardo Ponciano Nuñez,, titulado “Diversidad, abundancia y distribución de las especies de peces invasoras en el lago Petén Itzá, Guatemala” da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.Sc. Erick Roderico Villagrán Colón



Guatemala, abril del 2020

## **Agradecimientos**

A Dios, por llenar mi vida de luz, por llenarme de sabiduría cuando más lo he necesitado, por protegerme de todo mal y peligro y por permitir que mis sueños se hagan realidad.

A mis padres, Leonel Estuardo Ponciano Rodríguez y Maira Alcira Nuñez porque siempre han estado a mi lado, porque mis logros son su orgullo y son mi apoyo en mis fracasos, por hacerme saber con sus actos que no importa lo que yo decida, ellos siempre estarán allí para respaldarme.

A mis hermanos Pedro Danilo Ponciano Nuñez y Juan Ignacio Ponciano Nuñez porque no importa que tan lejos estemos el uno del otro, siempre nos apoyaremos incondicionalmente.

A Andrea Godoy, porque su apoyo incondicional y sus consejos ayudaron que esto fuera posible.

A mis amigos, por todos los momentos compartidos y por ayudarme a descubrir que soy capaz de superar cualquier obstáculo que se me atravesase.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC-, por ser la institución que me ha dado la oportunidad de seguir creciendo profesionalmente.

Al Centro de estudios del Mar y Acuicultura –CEMA-, por ser el establecimiento académico el cual me ha formado como profesional.

A la Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del lago Petén Itzá, por darme el apoyo para realizar mi investigación.

A Gerson Ochaeta y Anaite Méndez, por su asesoramiento y su amistad durante la realización de la investigación.

## **Acto que dedico**

A Dios, por guiar cada uno de mis pasos a lo largo de mi vida para poder llegar a este gran logro, por ayudarme a superar cada obstáculo llenando mi corazón de sabiduría y valentía.

A mis padres, Leonel Estuardo Ponciano Rodríguez y Maira Alcira Nuñez, por darme su apoyo, amor y comprensión incondicional, por estar conmigo en los buenos y malos momentos, por vivir conmigo las alegrías y las tristezas, por nunca dejarme caer.

A mi hermano, Pedro Danilo Ponciano Nuñez, por ser mi ejemplo a seguir mostrándome que, aunque el camino este lleno de dificultades se debe recorrer con perseverancia y buena actitud.

A mi hermano, Juan Ignacio Ponciano Nuñez porque aspirar a ser un buen ejemplo para él me ha dado fuerza en los momentos más difíciles.

## Resumen

La introducción de especies exóticas se encuentra entre los impactos más importantes, menos controlados y menos reversibles que ocurren en los ecosistemas y que afectan gravemente su biodiversidad y usos económicos. La importancia de estudiar las poblaciones de estas especies invasoras radica en que los alcances y costos de las invasiones biológicas son enormes, tanto en términos ecológicos como económicos. Se determinó la diversidad, abundancia y distribución de las especies de peces invasoras del lago Petén Itzá, ubicado en el departamento de Petén, Guatemala. Para la recolección de datos se realizaron faenas de pesca científica durante los meses de junio, julio y agosto. De un total de 166 se identificaron 13 especies correspondientes a 3 familias de peces de las cuales cinco especies se consideran invasoras, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855), *Pterygoplichthys disjunctivus* (Weber, 1992) y los nuevos registros de los peces invasores *Pterygoplichthys multiradiatus* (Hancock, 1828) *Parachromis managuensis* (Günther 1867).

La mayor abundancia relativa la presentó *P. multiradiatus* con 3,04 g/h/m<sup>2</sup>, seguido de *P. pardalis* con 2,03 g/h/m<sup>2</sup>, *P. disjunctivus* con 2,41 g/h/m<sup>2</sup>, *P. managuensis* con 1,95 g/h/m<sup>2</sup> y por último *O. niloticus* con 0,68 g/h/m<sup>2</sup>. Se observó, que las zonas asociadas a fondos lodosos, vegetación acuática, actividad antropogénica, poca transparencia y baja profundidad fueron donde se encontraron especies de peces invasoras. Por el contrario, las zonas asociadas a fondos rocosos, mayor profundidad, mayor transparencia y poca actividad antropogénica no presentaron especies de peces invasoras. Estos resultados podrían sugerir que los factores como reproducción, disponibilidad de hábitat y alimento son los que determinan las zonas en las cuales se establecen las especies invasoras.

## Abstract

The introduction of exotic species is among the most important; least controlled and least reversible impacts that occur in ecosystems and that seriously affect their biodiversity and economic uses. The importance of studying the populations of these invasive species is that the scope and costs of biological invasions are enormous, both in ecological and economic terms. The diversity, abundance and distribution of invasive fish species of lake Petén Itzá, located in the department of Petén, Guatemala, was determined. For the collection of data, scientific fishing operations were carried out during the months of June, July and August. From 166, 13 species corresponding to 3 families of fish were identified, of which five species are considered invasive. *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855), *Pterygoplichthys disjunctivus* (Weber, 1992) and the new records of the invading fish *Pterygoplichthys multiradiatus* (Hancock, 1828) *Parachromis managuensis* (Güntherheris, 1867).

The greatest relative abundance was presented by *P. multiradiatus* with 3.04 g / h / m<sup>2</sup>, followed by *P. pardalis* with 2.03 g / h / m<sup>2</sup>, *P. disjunctivus* with 2.41 g / h / m<sup>2</sup>, *P. managuensis* with 1.95 g / h / m<sup>2</sup> and finally *O. niloticus* with 0.68 g / h / m<sup>2</sup>. It was observed that the areas associated with muddy bottoms, aquatic vegetation, anthropogenic activity, poor transparency and low depth were where invasive fish species were found. On the contrary, the areas associated with rocky bottoms, greater depth, greater transparency and little anthropogenic activity did not present invasive fish species. These results could suggest that factors such as reproduction, habitat availability and food are what determine the areas in which invasive species are established.

# Índice de contenido

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Introducción</b>  | 1  |
| <b>2. Marco teórico y estado del arte</b>   | 3  |
| 2.1 Marco teórico   | 3  |
| 2.1.1 Lago Petén Itzá   | 3  |
| 2.1.2 Ictiofauna del lago Petén Itzá  | 4  |
| 2.1.3 Especie exótica   | 6  |
| 2.1.4 Especie invasora  | 6  |
| 2.1.5 Mecanismos de colonización de especies invasoras en un cuerpo de agua         | 7  |
| 2.1.6 Impactos al ecosistema  | 8  |
| 2.1.7 Especies invasoras en el lago Petén Itzá                                      | 9  |
| 2.1.7.1 <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)                               | 9  |
| 2.1.7.2 <i>P. pardalis</i> (Castelnau, 1855) y <i>P. disjunctivus</i> (Weber, 1991) | 9  |
| 2.1.7.3 <i>Pterygoplichthys multiradiatus</i> (Hancock, 1828)                       | 10 |
| 2.1.7.4 <i>Parachromis managuensis</i> (Günther, 1867)                              | 11 |
| 2.2 Estado del arte   | 11 |
| <b>3. Objetivos</b>   | 15 |
| 3.1 Objetivo general  | 15 |
| 3.2 Objetivos específicos   | 15 |
| <b>4. Materiales y métodos</b>  | 16 |
| 4.1 Área de estudios  | 16 |
| 4.1.1 Delimitación espacial   | 16 |
| 4.1.2 Delimitación temporal   | 20 |
| 4.2 Tipo de investigación   | 20 |
| 4.3 Definición de variables   | 20 |
| 4.4 Muestreo y selección de la muestra  | 21 |
| 4.5 Procedimiento   | 21 |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.6 Procesamiento y análisis de la información         | 21        |
| 4.6.1 Riqueza  | 22        |
| 4.6.2 Diversidad y abundancia relativa                 | 23        |
| <b>5. Resultados y discusión</b>                       | <b>25</b> |
| 5.1 Riqueza en el lago Petén Itzá                      | 25        |
| 5.2 Distribución de tallas de especies invasoras       | 26        |
| 5.3 Curva de acumulación de especies                   | 27        |
| 5.4 Diversidad de especies de peces exóticas invasoras | 29        |
| 5.5 Abundancia relativa                                | 31        |
| 5.6 Distribución                                       | 33        |
| <b>6. Conclusiones</b>                                 | <b>35</b> |
| <b>7. Recomendaciones</b>                              | <b>36</b> |
| <b>8. Referencias bibliográficas</b>                   | <b>37</b> |
| <b>9. Anexo</b>  | <b>52</b> |

## Índice de figuras

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>Figura 1</b> | Consecuencias ecológicas derivadas de la introducción de especies invasoras                       | 8  |
| <b>Figura 2</b> | Mapa de ubicación de los puntos de muestreo   | 17 |
| <b>Figura 3</b> | Distribución de tallas de especies invasoras encontradas lago Petén Itzá                          | 27 |
| <b>Figura 4</b> | Número de especies acumuladas en función del esfuerzo de muestreo en el lago Petén Itzá           | 27 |
| <b>Figura 5</b> | Número de especies invasoras acumuladas en función del esfuerzo de muestreo en el lago Petén Itzá | 28 |
| <b>Figura 6</b> | Distribución de especies invasoras en el lago peten Itzá  | 34 |

## Índice de tablas

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| <b>Tabla 1</b> | <i>Comunidad íctica del lago Petén Itzá</i>  | 5  |
| <b>Tabla 2</b> | <i>Descripción de los sitios de muestreo según su profundidad, transparencia, uso de suelo asociado al sitio y el tipo de fondo</i>  | 19 |
| <b>Tabla 3</b> | <i>Variables biológicas</i>  | 20 |
| <b>Tabla 4</b> | <i>Riqueza de especies peces en el lago Petén Itzá</i>   | 25 |
| <b>Tabla 5</b> | <i>Variación de los atributos de diversidad para los sitios de muestreo en el lago Petén Itzá (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)</i>                                | 29 |
| <b>Tabla 6</b> | <i>Abundancia relativa de las especies ícticas en cada sitio de muestreo y abundancia relativa total para el lago peten Itzá (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)</i> | 32 |

## 1. 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 (Abell, et al., 2008). Por lo que los ecosistemas dulceacuícolas sostienen una proporción importante de la biodiversidad global. 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 (Dudgeon, et al., 2006). Lo anterior se debe en parte a la introducción de especies exóticas, dicha situación se encuentra entre los impactos más negativos, menos controlados y menos reversibles que ocurren en los ecosistemas y que afectan directamente su biodiversidad y usos económicos (Strayer, 2010).

En Guatemala, el segundo lago más grande de las tierras bajas, es el Lago Petén Itzá, en el cual se reportan veintidós especies de peces nativos (Brenner, et al., 2002). 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) (Barrientos, 2015; Amador, et al, 2009) y *Piaractus brachypomus* (Cuvier, 1818) (Elías, et al., 2018). La introducción de especies exóticas de peces, como el pez diablo (*Pterygoplichthys pardalis*) y la tilapia (*Oreochromis niloticus*), es muy significativa porque estas especies pueden desequilibrar las funciones del ecosistema al actuar como competidores, depredadores, parásitos o patógenos de las especies nativas y endémicas, condicionando su supervivencia (Vitousek, et al., 1996; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2009).

La importancia de estudiar las poblaciones de estas especies invasoras radica en que los alcances y costos de las invasiones biológicas son enormes, tanto en términos ecológicos como económicos. El costo ecológico lo constituye la pérdida irrecuperable de especies y la degradación de los ecosistemas (Rajeev, Prasad, Anvar, & Pereira, 2008). Por lo tanto, es indispensable conocer actualmente cuales son las especies invasoras presentes en el lago Petén Itzá, su distribución y en qué densidad se encuentran para poder implementar un manejo adecuado sobre ellas.

Por lo anterior los objetivos de este estudio fueron determinar la diversidad, abundancia y distribución de las especies de peces invasoras en el lago Peten Itzá, Guatemala. Se espera que los resultados y recomendaciones de la presente investigación puedan ser utilizados como una base científica para tomar decisiones informadas sobre la gestión de este importante cuerpo de agua, así como para diseñar e implementar planes de manejo adecuados para lograr la disminución de las poblaciones de especies invasoras en el lago Petén Itzá y disminuir sus impactos.

## 2. Marco teórico y estado del arte

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 Lago Petén Itzá

La cuenca del lago Petén Itzá, posee una extensión de 1,300 km<sup>2</sup> (Curtis, *et al.*, 1998) se encuentra dentro de la Plataforma de Yucatán, la cual es una capa tectónica estable y de topografía baja que comprende la península de Yucatán, y la parte central y norte del departamento de Petén. En su parte sur, la plataforma presenta un amplio pliegue en dirección este-oeste denominada Arco de la Libertad. En el borde norte del área afloran carbonatos, rocas cársticas y evaporitas de los periodos terciario y cuaternario, que constituyen un suelo semipermeable que dificulta la circulación del agua subterránea hacia el norte. En la orilla noreste del lago existen abundantes tobas finas de color café claro, que son las rocas de origen calcáreo constituidas por carbonatos de calcio, sobre la formación de un tipo de suelo impermeable por la presencia de la falla geológica de Petén Itzá. En el borde sur no se encuentra afloramiento de rocas de ningún tipo, lo que apoyaría la hipótesis del desagüe subterráneo del lago (Pape, 2002).

El lago Petén Itzá es el segundo lago más grande de las tierras bajas de Guatemala, con un área de 100 km<sup>2</sup> y una profundidad máxima de >160m. Su registro de sedimentos parece abarcar 200,000 años (Pérez, et al., 2010), lo que lo convierte en uno de los pocos lagos antiguos existentes en el mundo. El lago se originó a partir del tectonismo y la disolución de la piedra caliza. La superficie del lago se encuentra a unos 110 m.s.n.m. La cuenca norte es profunda y tiene pendientes pronunciadas. La cuenca sur es menos profunda y la extensión de área de sus costas pantanosas estacionales está relacionada con la variación del nivel del lago. La termoclina del lago se encuentra entre 20 y 40 metros de profundidad, y el cuerpo de agua está estratificado térmicamente durante la mayor parte del año (Brezonik, & Fox, 1974). La temperatura del aire ambiente varía de 22.3 ° C (enero) a 29.8 ° C (mayo). El presupuesto hidrológico del lago está controlado principalmente por evaporación y precipitación. Hay una pequeña corriente de entrada, el Río Ixlú, pero el Lago Petén Itzá carece de una salida por tierra y es una cuenca efectivamente cerrada (Anselmetti, et al., 2006; Müller, et al., 2009).

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 más grande dentro de la reserva (Pape, 2002). El lago Petén Itzá es un refugio de fauna acuática endémica regional, de aves y ricas asociaciones de vegetación en sus orillas. Los márgenes del lago sirven de asentamiento a sectores poblacionales heterogéneos de rápido crecimiento, que habitan fundamentalmente en el territorio de Flores, San Benito, San José y San Andrés (Pape, 2002).

### 2.1.2 Ictiofauna del lago Petén Itzá

La RBM es un lugar de máxima importancia para la conservación de especies en el país (WCS 2013). Los estudios realizados por diversos científicos en la RBM la sitúan como uno de los más importantes reservorios de diversidad biológica en Guatemala (MacVean, 1995, Schulze, & Whitacre, 1999, Schlesinger, 2001, Szejner, 2005, Véliz, 2008, Reyes, et al., 2009). En cuanto a ictiofauna los números también resaltan el valor de la RBM por su riqueza biológica pues se han reportado al menos 41 especies de peces (López-Selva, et al., 2008).

El sistema hídrico lagunar contempla todos los lagos, lagunas, lagunetas, aguadas y cenotes con agua presentes en la RBM, así como el bosque ribereño asociado a sus márgenes. Este sistema es fundamental para la conservación de la gran riqueza de especies de peces que habitan en la RBM (Baldizón, 2004). Este sistema contiene tres sitios de principal relevancia para conservación de ictiofauna como lo son la Laguna El Morgan, Laguna Yaxhá y el lago Petén Itzá (CONAP, 2001).

Las primeras muestras de ictiofauna del lago Petén Itzá se realizaron según Kihn (2007) por Bocourt en 1846. Posteriormente Carl Hubbs, en 1935 hizo una colecta completa de la ictiofauna del lago, en base a los cuales Rosen y Bailey (1978) realizaron una nómina con anotaciones de los peces nativos del lago (Basterrechea, 1988). Por aparte, Kihn (2001) citado por Basterrechea (1988) desarrolló un estudio de la ictiología de las aguas del lago Petén Itzá que colindan con el Biotopo Cerro Cahuí. En este estudio encontró 10 especies de peces pertenecientes a cinco familias.

Kihn (2007) actualizó la nómina de los peces que se encuentran presentes en el lago a partir de colectas y revisiones en distintos museos. Esta nómina resume un total de 19 especies, agrupadas en 7 familias (Cano, 2008). Recientemente, dentro de la ictiofauna del lago, se documentan las siguientes especies (Barrientos, & Quintana, 2012), (Tabla 1).

Tabla 1

*Comunidad íctica del lago Petén Itzá*

| <i>Familia</i> | <i>Especies</i>   | <i>Nombre vernáculo</i> |
|----------------|---|-------------------------|
| Cichlidae      | <i>Petenia splendida</i> , (Günther, 1862)                | Pez blanco              |
| Synbranchidae  | <i>Ophisternon aenigmaticum</i> (Rosen & Greenwood, 1976) | Anguila de lodo         |
| Cichlidae      | <i>Vieja melanura</i> (Günther, 1862)                     | Copetona                |
| Cichlidae      | <i>Thorichthys meeki</i> (Brind, 1918)                    | Torito                  |
| Cichlidae      | <i>Cichlasoma urophthalmum</i> (Günther 1862)             | Bul                     |
| Clupeidae      | <i>Dorosoma petenense</i> (Günther, 1867)                 | Sardina                 |
| Poeciliidae    | <i>Carlhubbsia stuarti</i> (Rosen, & Bailey 1959)         | Pupo                    |
| Poeciliidae    | <i>Hyphessobry concompressus</i> (Meek, 1904)             | Sardina Plateada        |
| Poeciliidae    | <i>Poecilia mexicana</i> (Steindachner, 1863)             | Bute tripón             |
| Poeciliidae    | <i>Poecilia petenensis</i> (Günther, 1866)                | Moli del Petén          |
| Poeciliidae    | <i>Belonesox belizanus</i> (Kner, 1860)                   | Moli de manglar         |
| Atherinopsidae | <i>Atherinella sp.</i>                                    | Sardina de leche        |
| Cichlidae      | <i>Cichlasoma salvini</i> (Günther., 1862)                | Mojarra                 |
| Cichlidae      | <i>Amphilophus robertsoni</i> (Regan 1905)                | Mojarra                 |
| Poeciliidae    | <i>Gambusia sp.</i>                                       | Pez mosquito            |
| Cichlidae      | <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)             | Tilapia                 |
| Loricariidae   | <i>Pterygoplichthys pardalis</i> (Castelnau, 1855)        | Pez diablo              |

Fuente: Barrientos, & Quintana, 2012.

### 2.1.3 Especie exótica

Cualquier especie que a través de la intervención humana es transportada a un área que no corresponde a su área de origen natural, puede considerarse una especie exótica (Vilà, et al. 2008). El transporte de una especie debido a las actividades humanas puede ocurrir tanto de forma voluntaria como involuntaria. Las especies son transportadas voluntariamente por varias razones: pueden constituir una fuente de recursos (alimenticios, experimentales, económicos) o ser de interés ornamental (acuafilia).

Las formas involuntarias en que las especies son llevadas de una región a otra, pueden ir asociadas al producto de los cambios topográficos que realiza el hombre en el paisaje, por ejemplo, al ocurrir la apertura de un canal como ocurrió en Panamá, se permitió el paso involuntario de ciertas especies marinas entre el Océano Pacífico y Atlántico (Jiménez, et al. 2008). Cuando las especies exóticas llegan a un nuevo sitio pueden potencialmente asentarse y reproducirse, a veces de forma muy acelerada, llegando a constituir una invasión biológica. Muchas especies exóticas no llegan a transformarse necesariamente en una invasión, ya que están limitadas de reproducirse debido a las condiciones fisicoquímicas desfavorables del agua como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto o estas mismas condiciones no son favorables para su asentamiento en el ecosistema (Carvallo, 2009).

### 2.1.4 Especie invasora

La Convención sobre la Diversidad Biológica – CDB -, el Programa Global sobre Especies Invasoras – GISP - y el Acta de Prevención y Control de Amenazas Acuáticas No Nativas - NIANPCA – (1990), EUA, ha adoptado la siguiente definición sobre el término de especie invasora: “Se trata de una especie exótica o translocada (cualquier especie, subespecie, o categoría infra-específica) introducida fuera de su distribución natural (actual o en el pasado) y potencial de distribución (fuera del área que ocupa naturalmente o que no pudiera ocupar sin introducción directa o cuidado por parte del hombre); incluye cualquier parte, gametos, semillas, huevos o propágulos de esa especie con capacidad de colonizar, invadir y persistir, y cuya introducción y dispersión amenace a la diversidad biológica causando daños al ambiente, a la economía o a la salud humana” (Convention on Biological Diversity, 2002).

### 2.1.5 Mecanismos de colonización de especies invasoras en un cuerpo de agua

Comprender las razones que determinan el éxito o el fracaso de una especie invasora es uno de los temas centrales en este campo, puesto que poder estimar el riesgo de una invasión constituiría una herramienta básica para la prevención (Leung, et al., 2004; Lookwood, et al., 2005). La literatura muestra que no hay una explicación única para justificar el éxito de las invasiones, sino que éste depende de varios factores existiendo numerosas hipótesis que podrían contribuir a explicar el éxito de las especies exóticas.

Las más debatidas incluyen: a) la existencia de un nicho vacío que una especie exótica pueda ocupar en el ecosistema utilizando unos recursos no explotados y cumpliendo unas funciones en la comunidad distintas a las de las especies nativas (hipótesis del nicho vacío) (Elton, 1958; MacArthur, 1970); b) la ausencia de enemigos naturales (depredadores, parásitos, enfermedades) en el lugar de introducción (hipótesis del escape de enemigos naturales) (Elton, 1958; Keane, & Crawley, 2002); c) una menor resistencia a las invasiones de las comunidades con baja riqueza de especies (hipótesis de la resistencia biótica) (Elton, 1958; Lonsdale, 1999) que volvería las islas más vulnerables a las invasiones (hipótesis de la susceptibilidad de las islas) (Elton, 1958; Simberloff, 1995); d) la presencia en el ecosistema de otras especies invasoras que facilitaría la supervivencia de nuevas especies introducidas (hipótesis del colapso por invasión) (Simberloff, & Von Holle, 1999); y e) estar dotados de un rasgo biológico de ataque o de defensa novedoso en el ecosistema invadido (hipótesis de las nuevas armas) (Callaway & Ridenour, (2004). Muchas investigaciones aportan argumentos a favor de una u otra hipótesis.

Por otro lado, las especies invasoras poseen ciertas características que les ofrecen ventajas respecto a las especies nativas. Algunas especies presentan una elevada tasa de crecimiento y reproducción, dos caracteres que facilitan una eficaz monopolización de recursos con el consiguiente desplazamiento de las especies nativas por exclusión competitiva (Capdevila, Zilletti, & Suárez, 2013). Otras presentan una mayor capacidad para aclimatarse en condiciones ambientales nuevas o cambiantes, ya sea por una elevada plasticidad fenotípica, o bien por una alta flexibilidad funcional; es decir, el fenotipo puede variar en respuesta a las oscilaciones ambientales.

Por último, algunas especies poseen gran facilidad para hibridar con otras, incrementando su variabilidad genética y pudiendo, en ocasiones, constituir poblaciones estables en las áreas de introducción a partir de unos pocos ejemplares (Castro-Díez, et al., 2004).

### 2.1.6 Impactos de las especies invasoras en los ecosistemas y en las especies nativas

Las especies invasoras pueden afectar a la diversidad biológica de diferentes formas repercutiendo a menudo sobre más de un nivel organizativo del ecosistema simultáneamente (Figura 1).



Figura 1. Consecuencias ecológicas derivadas de la introducción de especies invasoras (Capdevila, Zilletti, & Suárez, 2013).

Un ejemplo en Guatemala de las consecuencias ecológicas de las especies invasoras, es el caso del lago de Atitlán, la lobina negra (*Micropterus salmoides*), fue introducida hace más de 50 años, por haberse considerado que el potencial pesquero del lago estaba desperdiciado con especies de peces que no superaban los 10 cm de largo total (Meek, 1908; Holloway, 1950; Kihn, et al., 2006). La lobina negra fue introducida junto con otras especies de la familia Centrarchidae, siendo un predador agresivo (Allen, y Tugend, 2002), algunos impactos atribuidos a este pez alcanzan, incluso, la extinción de vertebrados mayores (aves), como es el caso del pato poc (Labastille, 1974).

## 2.1.7 Especies invasoras en el Lago Petén Itzá

### 2.1.7.1 *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758)

Tiene morfología fusiforme y talla media que puede alcanzar hasta 50 cm de longitud total y superar 1kg de peso (Amador, *et al.*, 2009). Las tilapias como se les conoce comúnmente son originarias de gran parte de África tropical y de la vertiente sudoriental de la cuenca mediterránea.

La tilapia es el pez alóctono más ampliamente utilizado como una alternativa alimenticia y se ha extendido por todo el mundo, sobre todo en las zonas templadas y tropicales de América y Asia a partir de las prácticas de cultivo.

En la actualidad, se conoce la existencia de cultivos comerciales en 100 países, la mayoría de ellos situados en áreas tropicales y subtropicales (Froese, & Pauly, 2009). La tilapia del Nilo altera la estructura de las cadenas tróficas por competencia con otros peces y depredación de juveniles de otros peces, principalmente cíclidos nativos (Morgan, *et al.*, 2004).

### 2.1.7.2 *Pterygoplichthys pardalis* (Castelnau, 1855) y *Pterygoplichthys disjunctivus* (Weber, 1991)

Los plecos como se les conoce comúnmente son un grupo de peces que presentan una boca en forma de chupón, lo que les permite fijarse en los sustratos y resistir corrientes rápidas. Su cuerpo presenta una coraza de placas óseas duras a modo de armadura, posee un estómago vascularizado que le permite respirar aire atmosférico en condiciones de hipoxia, por lo que aún fuera del agua puede sobrevivir en lugares húmedos (Hoover, *et al.*, 2004). Estas especies pueden encontrarse en una amplia diversidad de ambientes que van desde corrientes en tierras altas, frescas, rápidas y ricas en oxígeno, hasta ríos cálidos de corriente lenta en tierras bajas y estanques pobres de oxígeno (Mendoza, *et al.*, 2009).

Los plecos son organismos bentónicos que se alimentan de detritos del fondo y algas bentónicas, aunque también comen gusanos, larvas de insectos y varios animales acuáticos que viven en el fondo (Gestring, Shafland, & Stanford, 2006); además muestran una alta tasa de digestibilidad de materia orgánica (Yossa, & Araujo, 1998).

En la actualidad los plecos *P. pardalis* y *P. disjunctivus* se distribuyen de forma natural en Sudamérica en las cuencas baja, media y alta del río Amazonas y en la cuenca del río Madeira, respectivamente (Amador-del Ángel, *et al.*, 2010). *P. disjunctivus* y *P. pardalis* poseen un patrón dorsal de manchas oscuras fusionadas sobre un fondo claro. Ambas especies *P. disjunctivus* difiere de *P. pardalis* en que tiene manchas oscuras en el respiradero combinada para formar un patrón vermiculado, en *P. pardalis*, el respirador está cubierto de puntos discretos (Page, & Robins, 2006).

Los plecos son muy apreciados por los aficionados a los acuarios debido a su apariencia distintiva, resistencia y propensión a consumir las algas en toda superficie sumergida. Sin embargo, varias especies alcanzan un gran tamaño, por lo que aparentemente son liberadas por sus propietarios en aguas de los alrededores. Se infiere que estas introducciones constituyen uno de los mecanismos responsables de las poblaciones actualmente establecidas en algunas partes de México (Mendoza, *et al.*, 2010).

#### 2.1.7.3 *Pterygoplichthys multiradiatus* (Hancock, 1828)

El pleco *P. multiradiatus* al igual que las otras dos especies está establecido naturalmente américa del sur, específicamente en la cuenca del río Orinoco, reportado desde Argentina (Froese & Pauly, 2017). Recientemente también se han establecido poblaciones crecientes de *P. anisitsi*, *P. disjunctivus*, *P. multiradiatus* y *P. pardalis* en la cuenca del Grijalva y el Usumacinta (Mendoza, *et al.*, 2009), esta última cuenca compartida con Guatemala, por lo tanto *P. multiradiatus* es una especie que ya se encuentra establecida en la región.

*P. multiradiatus* puede alterar y reducir significativamente la alimentación y la ecología de los insectos acuáticos y otros artrópodos, afectando posteriormente negativamente a muchos peces nativos que dependen de estas fuentes de alimentos (Kottelat, *et al.*, 1993), en el caso del Lago Petén Itzá puede afectar directamente a la especie nativa *R. guatemalensis* ya que puede estar sujeta a competencia espaciotemporal y trófica debido a que aprovechan recursos similares por ser ambos al orden de los siluriformes como sucede en Colombia con *C. patiae* la cual es endémica de la cuenca del río Patía (Maldonado-Ocampo, *et al.*, 2008).

Otro ejemplo del daño ambiental que podría causar *P. multiradiatus* en el Lago Petén Itzá es el que se da en Hawái, donde las actividades de excavación que realizan los machos adultos *P. multiradiatus* han causado problemas de sedimentación en embalses y arroyos (Devick, 1989).

#### 2.1.7.4 *Parachromis managuensis* (Günther, 1867)

Los organismos fueron identificados utilizando la clave dicotómica para la identificación de las especies de peces de la reserva de la biosfera selva El Ocote, Chiapas, México (Anzueto, et al., 2013). *P. managuensis* es originario de América Central, nativo de Honduras y Costa Rica, donde alcanza una longitud máxima de 65 cm (Conkel, 1993). Los individuos de esta especie muestran coloración atractiva, por lo que son una buena alternativa como ornato (Sakurai, et al., 1990) además de ser muy valiosa para la alimentación humana (Marsh, et al., 1989). Su establecimiento en el Lago Petén Itzá se puede deber a su liberación accidental de un proyecto piscícola o la descarga de acuarios (França, et al., 2017).

Como atributos invasivos se resalta que es un piscívoro altamente agresivo, esto le convierte en el más depredador de todos los guapotes. Habita en aguas turbias y empobrecidas en oxígeno y fondos de lodo de lagos altamente eutróficos. Es anfitrión de diferentes trematodos lo cual es una amenaza sanitaria para los peces nativos. En la reproducción la hembra deposita hasta 5000 huevos los cuales tienen un cuidado biparental antes de la eclosión (Mendoza, Luna, & Aguilera, 2015).

## 2.2 Estado del arte

Para conocer el estado del conocimiento sobre las especies invasoras presentes en el Lago Petén Itzá, se puede tomar como referencia los estudios realizados en México, ya que es el país vecino con el que se comparten cuencas transfronterizas y la problemática con especies exóticas similares. En México se han realizado diversos estudios enfocados en las especies invasoras en los sistemas lagunares Chinal, Susil y río San Pedro, Balancán, Tabasco (Macías, & Cano, 2014).

En el año 2008, se realizó un censo de las poblaciones de peces, donde encontraron un total de 1,917 individuos, pertenecientes a 19 especies y 17 géneros de 12 familias de peces, registrándose la mayor biomasa y la mayor densidad para la especie *P. pardalis*. En cuanto a la dominancia de especies, *P. pardalis* dominó en ambas lagunas, El Chinal (33.6%) y Susil (100%), así mismo, en los humedales de Tabasco, se presentaron nuevos registros del plecos *P. pardalis* (Macías, & Cano, 2014).

En el año 2014, en otro estudio sobre la ictiofauna de los humedales de las cuencas del río Grijalva y río Tonalá, el municipio de Tacotalpa presentó la mayor densidad de *P. pardalis*, seguido por los municipios de Teapa, Centro y Cárdenas. Según los resultados la zona ribereña presentó mayor frecuencia y densidad de individuos de plecos seguido por la zona lacustre, y por último la zona estuarina. Este estudio amplía los registros de los plecos en humedales de las cuencas del río Grijalva y río Tonalá, en el estado de Tabasco (Barba, Juárez, & Magaña, 2014).

En el año 2009, mediante una caracterización de especies de peces invasoras, se estableció la presencia de diversas especies de peces exóticos en los sistemas fluvio-lagunares y áreas de confluencia de la Laguna de Términos, Campeche, producto de su introducción en programas de producción acuícola, su utilización en acuarios o como control biológico. Entre estas especies destacan la carpa herbívora (*Ctenopharynx godonidella*), la tilapia (*O. niloticus*), la mojarra pinta (*Parachromis managuensis* (Günther, 1867)) y los plecos (*P. pardalis* y *P. disjunctivus*) (Amador, *et al.*, 2009).

En Guatemala existen diversos reportes de especies invasoras alrededor del país. Uno de ellos fue en la Laguna Lachuá, la cual está ubicada en el Parque Nacional Laguna Lachuá, donde se han registrado 36 diferentes especies nativas de peces, se realizó el primer reporte de pez diablo (*Pterygoplichthys sp.*) (Ariano, Gelera, Rivera, Bolaños, & Juárez, 2017). Otro caso en el Lago de Izabal los pescadores de la región de pesca IV reportaron la presencia de la especie invasora *P. managuensis* (Wer, *et al.* 2003).

En el caso del lago de Atitlán, Sololá, recientemente los pescadores de San Pablo La Laguna localizaron un ejemplar de pez diablo (*Pterygoplichthys sp.*), lo que tiene en alerta a vecinos, ya que temen que existan más peces de ese tipo en el manto acuífero y dañe el ecosistema acuático y a los recursos de los pescadores artesanales del lugar (García, 2017). Otra especie invasora en el lago de Atitlán es la lobina negra (*M. salmoides*), la cual fue introducida hace más de 50 años, por haberse considerado que el potencial pesquero del lago estaba desperdiciado con especies de peces que no superaban los 10 cm de largo total (Meek, 1908; Holloway, 1950; Kihn, et al., 2006).

En el noreste de Guatemala, la ictiofauna nativa de la cuenca del río Usumacinta se documentó para conocer la composición de los peces nativos y su importancia en la pesca artesanal. El estudio incluyó recolecta de las especies con diversas artes de pesca, evaluación de abundancia de las especies mediante muestreos en transectos e identificación de las mismas en los mercados de venta, y en entrevistas con pescadores. Se identificó un total de 54 especies, 38 géneros, 18 familias y 8 órdenes. Se registraron 7 especies exóticas como tilapias, carpa común (*C. carpio*), carpa herbívora (*C. idella*), guapote (*P. managuensis*) y peces diablo (*P. pardalis* y *P. disjunctivus*) (Barrientos, Quintana, Elías, & Rodiles-Hernández, 2018).

Otro estudio reciente en el lago Petén Itzá estuvo orientado en aportar datos de especies de pez diablo que están actualmente establecidas, así como información biométrica y la distribución de los mismos. Los sitios de colecta, se ubicaron en los lugares donde los pescadores realizan su actividad pesquera regularmente (Penados, 2014). La colecta se realizó durante la época lluviosa del año 2013 y se determinó la presencia de especies de pez diablo entre ellas *P. pardalis*, *P. disjunctivus* y un posible híbrido entre estas dos especies, ya que presentan patrones de coloración ventrales, con características similares a las especies reportadas (Penados, 2014).

Otro estudio reciente se enfocó en la evaluación del impacto de especies no nativas en los lagos Atitlán, Izabal y Peten Itzá. Las colectas las realizaron con redes de encierro y de arrastre, trasmallos y transectos de electrificación. Para el Lago Petén Itzá se reportaron dos

especies exóticas invasoras, la tilapia nilótica (*O. niloticus*) y el pez diablo o pleco (*P. pardalis*.) (Barrientos, & Quintana, 2012).

### **3. Objetivos**

#### 3.1 Objetivo general

Determinar la diversidad, abundancia y distribución de las especies de peces invasoras en el lago Peten Itzá, Guatemala.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Determinar la riqueza de especies de peces invasoras en el lago Petén Itzá.
- Establecer la abundancia relativa de las especies de peces invasoras en el lago Petén Itzá.
- Determinar las zonas con presencia de especies de peces invasoras en el lago Peten Itzá.

## 4. Materiales y métodos

### 4.1 Área de estudio

#### 4.1.1 Delimitación espacial

El Lago Petén Itzá está ubicado en las coordenadas ~ 16 ° 55 'N', 89 ° 50'O, en el Departamento de Petén, al norte de Guatemala (Figura 2), y tiene una superficie de 100 km<sup>2</sup>. La profundidad máxima es de 165 m, y la elevación de la superficie es de solo 110 metros sobre el nivel del mar. Esto significa que la cuenca más profunda es una criptodepresión que se extiende hasta -55 m por debajo del nivel actual del mar. 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, magnesio, sulfato y bicarbonato, y está saturada para carbonato de calcio. Durante el período glacial tardío, el volumen del lago se redujo en un 87% y el agua se saturó con yeso (Hillesheim, *et al.*, 2005).

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 durante todo el año, que 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% (Basterrechea-Díaz, 1988). Dentro de la cuenca, también existen otros cuerpos de agua de menor tamaño. En la parte suroriental de la cuenca se encuentran los únicos dos ríos permanentes identificados como Ixpop e Ixlú. Estos drenan de sur a norte y desembocan en el lago (Méndez, & Pinelo, 2008).

Dentro de la cuenca se localizan los municipios de Flores, San Benito, San José, San Andrés, San Francisco y Santa Ana; en estos municipios se concentra la mayor parte de la administración y servicios públicos, infraestructura turística, etc.

Se identificaron catorce sitios de muestreo distribuidos en lago (Figura 2), ubicados en las siguientes localidades: El Remate, Ixlú, San José, San Andrés, Cruce Sacpuy, La Chingada, Petencito, Centro profundo, Ixpop, Jobonpiche, Nimá, Xucupó, Puxteal, Vitzíl.

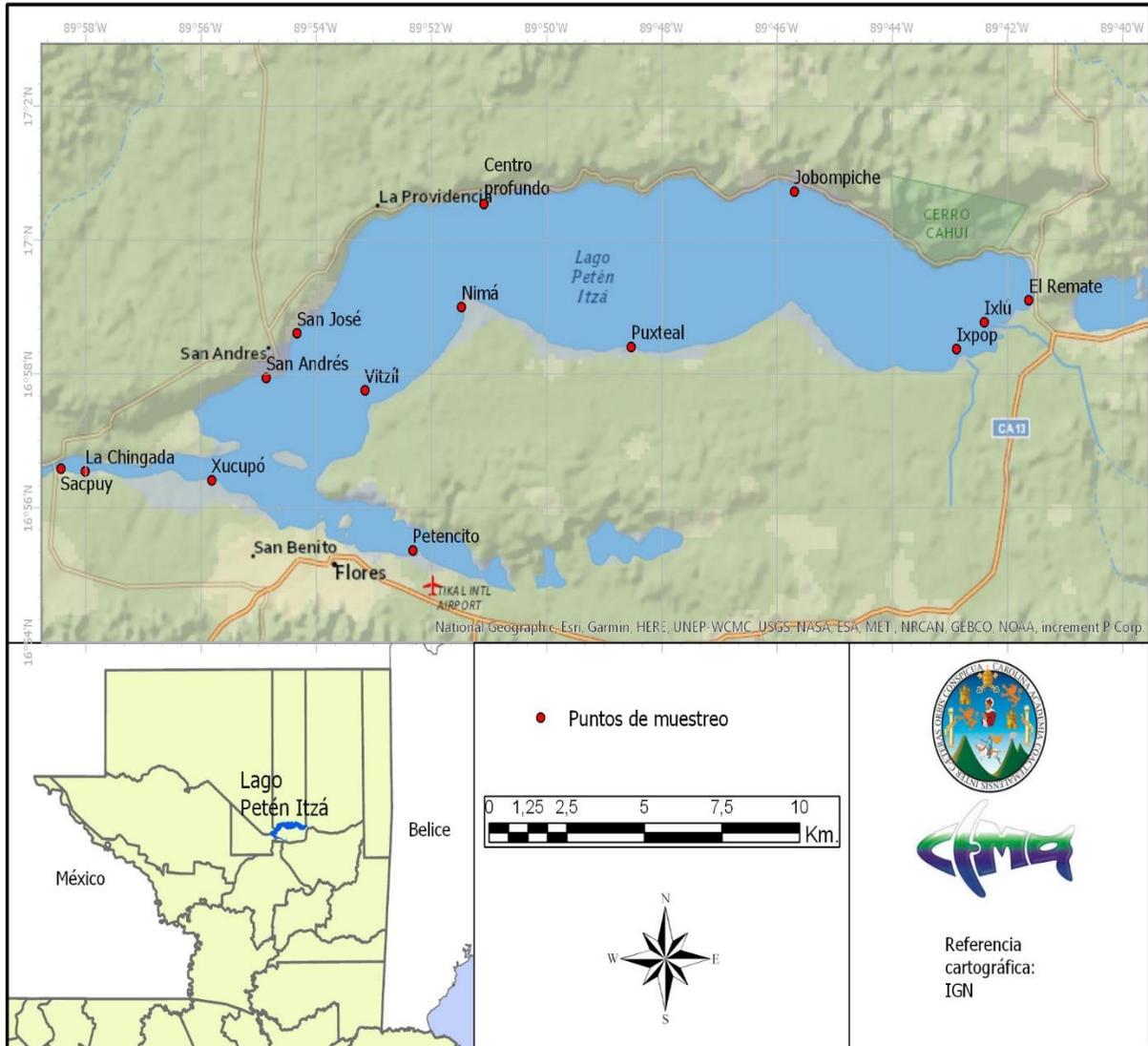


Figura 2. Mapa del área de estudio y ubicación de los puntos de muestreo

Se realizó una descripción de las características observadas de los sitios de muestreo durante la fase de trabajo de campo (Tabla 2). Tomando en cuenta factores que pueden influir en la diversidad de especies. Entre ellas:

Presencia de plantas acuáticas o macrófitas:

Las plantas acuáticas, también llamadas macrófitas o hidrófitas, 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 (Lallana, 1997).

Tipo de uso de suelo:

El uso del 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 (Vitousek, et al., 1997), 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 (Granitto, Rosso, Boveri, & Rennella, 2016).

Tipo de fondo:

Un fondo areno-rocoso, con abundante hojarasca, grandes troncos sumergidos y piedras, que determinan una mayor complejidad de microhábitats disponibles para los peces (Lasso, Lasso-Alcalá, Meri, & Suárez, 2002). Los fondos blandos son utilizados por las especies con fines de protección, alimentación y crianza (Vasconcelos, et al., 2011). Los sitios con fondos rocosos sirven a los organismos para permanecen cortos periodo de tiempo solamente para alimentarse.

Tabla 2

*Descripción de los sitios de muestreo según su uso de suelo asociado al sitio, el tipo de fondo y presencia de macrófitas*

| <b>Sitio</b>    | <b>Presencia de macrófitas</b> | <b>Uso del suelo asociado al sitio</b> | <b>Tipo de fondo</b> | <b>Factor de selección del sitio</b> |
|-----------------|--------------------------------|--|----------------------|--------------------------------------|
| 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        |
| Vitzíl          | Si                             | Bosque                                 | Arenoso-rocoso       | Menor presencia antropogénica        |
| Xucupó          | Si                             | Poblado                                | Lodoso               | Desembocadura de arroyo              |

#### 4.1.2 Delimitación temporal

La recolección de los datos se realizó durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre del año 2019.

#### 4.2 Tipo de investigación.

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo de tipo exploratorio, esto se debe a que se determinó la diversidad, abundancia y distribución de las especies de peces invasoras en el lago Petén Itzá.

#### 4.3 Definición de variables.

Las variables evaluadas en los sitios de muestreo fueron de tipo biológicas (Tabla 3).

Tabla 3

*Variables biológicas*

| Tipo de variable       | Variable                       | Indicador             |
|------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Variables respuesta    | Riqueza                        | Número de especies    |
|                        | Abundancia relativa            | Número de organismos  |
|                        | Diversidad                     | Índice de Margalef    |
|                        |                                | Índice de Shannon     |
| Variables explicativas | Captura por unidad de esfuerzo | Índice de Simpson     |
|                        |                                | g/hora/m <sup>2</sup> |

#### 4.4 Muestreo y selección de la muestra.

El diseño del muestreo se basó en la metodología utilizada por diversos autores con un enfoque para sentar las bases de un monitoreo (Quirós, & Baigún, 1984; Prenski, & Baigún, 1986). La misma consistió en la identificación taxonómica y en el conteo de los individuos de la población en un tiempo y espacio determinado, con lo que se estableció la riqueza y la abundancia relativa de las especies invasoras en el lago Petén Itzá.

#### 4.5 Procedimiento

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 y agosto del año 2019, para lo que 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). Se colocaron cinco redes agalleras número tres (7cm) por cada punto de muestreo, de manera paralela a la orilla del lago (Miranda-Chumacero, & Barrera, 2005). Cada red agallera se mantuvo colocada durante 1 hora. El área cubierta fue de 1500 m<sup>2</sup>. 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 se utilizaron las claves de peces dulceacuícolas (Froese & Pauly, 2017; Miller, 2009; Armbruster, & Page, 2006; Page, & Robins, 2006; Anzueto, et al., 2013).

#### 4.6 Análisis de la información

La información recolectada fue procesada por medio de estadísticas descriptiva, para presentar el conjunto de datos obtenidos de las variables, se elaboraron bases de datos en hojas electrónicas en el software Excel. La descripción grafica del conjunto de datos se realizó mediante tablas y gráficas. Para la distribución espacial se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG) con 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 capturadas en cada estación de muestreo.

Los análisis estadísticos de la información se realizaron a través del paquete estadístico Past. Past es un software libre para análisis de datos, manipulación de datos, análisis descriptivo, análisis inferencial, análisis multivariado y análisis especializado para ecología.

#### 4.6.1 Riqueza

- Riqueza específica (S)

Los análisis de riqueza se realizaron utilizando el índice de riqueza específica. La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, ya que se basa únicamente en el número de especies presentes, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas (Moreno, 2001).

- Curva de acumulación de especies

Uno de los métodos que se utiliza con más frecuencia para determinar si la riqueza de especies está siendo correctamente evaluada son las curvas de acumulación de especies. Estas curvas muestran el número de especies acumuladas conforme va aumentando el esfuerzo de muestro en un sitio, de tal manera que la riqueza aumentará hasta que llegue un momento en el cual el número de especies se estabilizará en una asíntota, el valor de la asíntota puede ser empleado en sustitución del número total de especies observado anteriormente. En el caso del lago Petén Itzá han sido reportadas veintidós especies nativas (Brenner, et al., 2002).

- Métodos no Paramétricos para la estimación de riqueza de especies

La estimación de la riqueza utilizando métodos no paramétricos proviene de la adaptación de los métodos de captura-recaptura, ya que la probabilidad de captura varía entre individuos en una población, así como la abundancia de las especies varía en un ensamble de especies. Los estimadores no paramétricos utilizan datos de presencia-ausencia o datos de abundancia de especies y se enfocan en las especies poco abundantes o raras, o sea las que se presentan solamente en una o dos muestras, o que tienen uno o dos individuos en el conjunto de muestras (Colwell, & Coddington, 1994; Moreno, 2001). El estimador utilizado fue Chao1 revisado por Colwell, & Coddington (1994) y Chazdon, et al., (1998).

#### 4.6.2 Diversidad y abundancia relativa

- Índice de Margalef

El Índice de Margalef, o índice de biodiversidad de Margalef, es una medida utilizada en ecología para estimar la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada. Valores inferiores a 2,0 son considerados como relacionados con zonas de baja biodiversidad (en general resultado de efectos antropogénicos). Valores superiores a 5,0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad. El índice se basa en la siguiente ecuación:

$$R_1 = \frac{S - 1}{\ln(n)}$$

- Índice de Simpson

Este índice manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes. Este índice se basa en la siguiente ecuación:

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Dónde:  $p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra (Peet, 1974).

- Índice de Shannon-Wiener

Este índice expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Se interpreta que valores menores a 2 son ecosistemas con una diversidad de especies relativamente baja, mientras que los mayores a 3 son altos (Magurran, 1988). Este índice se basa en la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Dónde:  $\hat{H}$  = diversidad estimada y  $p_i$  = número de individuos en la  $i$ -ésima especie /  $\sum n_i$  total de individuos en todas las especies.

- Captura por Unidad de Esfuerzo

La cantidad de capturas que se logran por unidad de arte de pesca; por ejemplo, el número de peces por anzuelo de palangre-mes es una forma de expresar la CPUE. 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 (Zamora, Soteto, & Hernández, 1994).

## 5 Resultados y discusión

### 5.1 Riqueza específica de peces

Se capturaron un total de 166 individuos, pertenecientes a 4 familias, 11 géneros y 13 especies, de las cuales 5 especies son invasoras, los cíclidos *P. managuensis*, *O. niloticus* y los loricaridos *P. pardalis*, *P. disjunctivus*, *P. multiradiatus* (Tabla 4).

Tabla 4

*Riqueza de especies peces en el lago Petén Itzá*

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

Para el lago Peten Itzá solo existía el reporte de tres especies exóticas invasoras, dos de ellas de plecos, *Pterygoplichthys pardalis*, *Pterygoplichthys disyunctivus*, la tilapia *Oreochromis niloticus* (Barrientos & Quintana, 2012) y la especie *P. brachypomus* recientemente (Elías, et al., 2018).

De las especies invasoras anteriormente reportadas, durante la investigación, solo fueron encontradas las dos especies de pez diablo y la tilapia. Un hallazgo relevante fue el reporte de las especies del pleco (*P. multiradiatus*), y el guapote jaguar (*P. managuensis*), lo cual constituye el primer reporte de estas especies para el área de estudio.

## 5.2 Distribución de tallas de especies invasoras

En la distribución de tallas se puede observar que la talla mínima capturada de *P. managuensis* es de 22 cm (Figura 3), la cual supera la talla de primera madurez para la especie que es de 18.1 cm (Programa regional de pesca y acuicultura, 2006) y es la talla promedio de captura para esta especie (Orellana, & José, 2010). Esto 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 centímetros (Hernández-Portocarrero, & Saborido-Rey, 2008).

La talla mínima de captura de las especies de pleco fue de 32 cm la cual también supera la talla de primera madurez sexual de 28 cm (Wakida-Kusunoki, & Amador-del Ángel, 2011). Estas tallas concuerdan con las encontradas en la cuenca del río La Reventazón en Costa Rica, donde la talla media de captura fue de 35 cm, ya que los plecos más grandes prefieren habitar en sistemas lenticos (Solano, & Arias, 2011) *O. niloticus* con una talla mínima de captura de 44 cm supera la primera talla mínima de madurez sexual de 15 cm definida por Peña-Mendoza, et al., (2005) en la presa Emiliano Zapata, ubicada en el estado de Morelos, México.

Lo anterior puede indicar que las especies exóticas invasoras podrían tener una elevada tasa de crecimiento y reproducción, dos caracteres que facilitan una eficaz monopolización de recursos con el consiguiente desplazamiento de las especies nativas por exclusión competitiva (Capdevila, Zilletti, & Suárez, 2013).

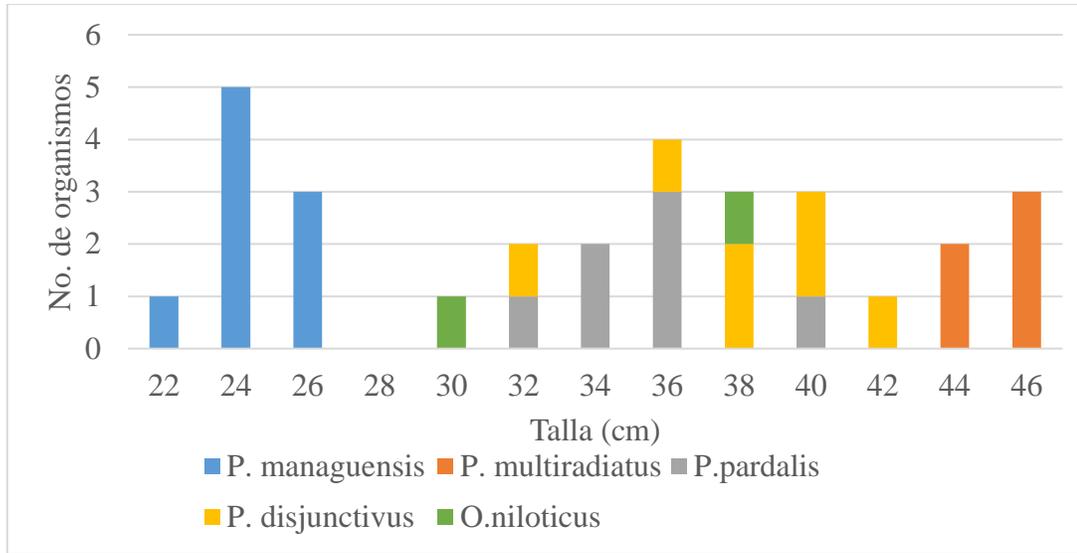


Figura 3. Distribución de tallas de especies invasoras encontradas lago Petén Itzá

### 5.3 Curva de acumulación de especies

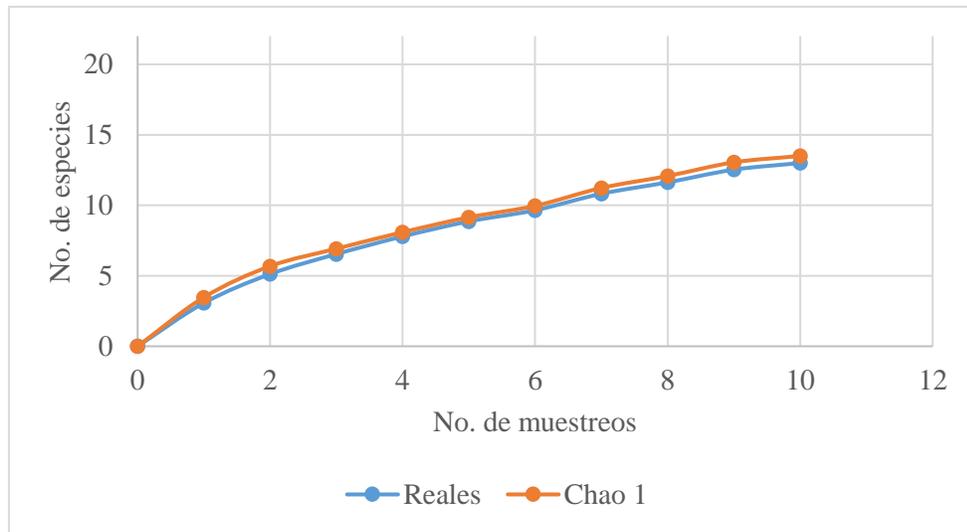


Figura 4. Número de especies acumuladas en función del esfuerzo de muestreo en el lago Petén Itzá

Para las 10 unidades de muestros que se realizaron, la riqueza total estimada por Chao1 fue de 14 especies (Figura 4), mientras que la riqueza observada a través de muestreos fue de 13 especies. La riqueza observada a partir de muestreos es menor a la estimada por Chao1 debido a que es una subestimación de la riqueza verdadera, pues siempre hay especies que no se registran en el inventario (Palmer, 1990).

No se alcanzó la asíntota de las veintidós especies reportadas para el lago. Esto se puede deber a varias razones. Las especies que pueden faltar aún por encontrar serán probablemente especies localmente raras, o individuos errantes en fase de dispersión, procedentes de poblaciones estables externas a la unidad del territorio estudiada (Moreno, & Halffter, 2000). Otra razón por la que faltan especies por colectar es que no se empleó el esfuerzo de pesca adecuado para un inventario más amplio y no se utilizaron artes de pesca específicos para algunas especies como de la familia Poeciliidae que requieren de un arte de pesca como la atarraya y una luz de malla más pequeña. También se debe tomar en cuenta que el inventario de especies de peces fue realizado hace dieciocho años (Brenner, et al., 2002) y durante ese tiempo, probablemente el ecosistema ha sufrido modificaciones en el hábitat y en su diversidad inducidos por amenazas como las especies invasoras (Rajeev, Prasad, Anvar, & Pereira, 2008).

Se colectaron 5 especies exóticas invasoras en un esfuerzo de ocho muestreos, lo cual supera la asíntota establecida por las 3 especies invasoras *O. niloticus*, *P. pardalis*, *P. disjunctivus* (Barrientos, 2015; Amador, et al., 2009) y por la especie *P. brachypomus* documentada como especie exótica para el lago Petén Itzá (Elías, et al., 2018) (Figura 5), comparado con el estimador Chao1 se encontraron todas las especies invasoras que se podían haber encontrado.

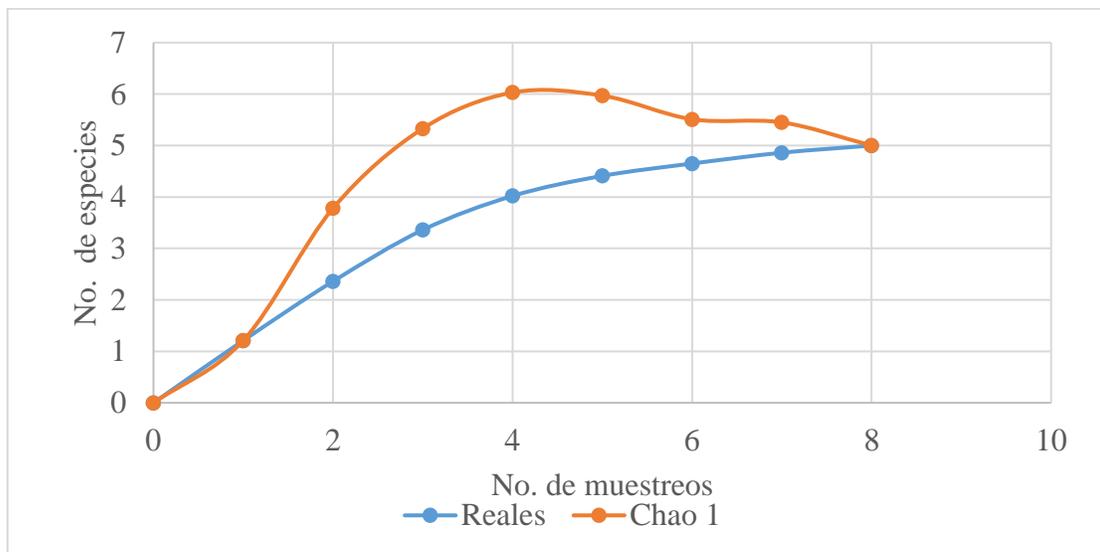


Figura 5. Número de especies invasoras acumuladas en función del esfuerzo de muestreo en el lago Petén Itzá

El aumento de la presencia de especies invasoras exóticas se puede deber a su liberación en el medio natural por aficionados a la acuarofilia. Una de las principales fuentes de introducción reportadas para especies no nativas es la liberación de peces ornamentales (Duggan, et al., 2006; Cagauan, 2007; Nico, et. al., 2017). Alrededor del lago existen tres tiendas de mascotas que venden peces ornamentales (Elias, Mochel, Chakrabarty, & McMahan, 2018). Los individuos de *P. managuensis* muestran coloración atractiva, por lo que son una buena alternativa para el ornato (Riehl, & Baensch, 1991) y los plecos son muy apreciados por los aficionados a los acuarios debido a su apariencia distintiva, resistencia y propensión a consumir las algas en toda superficie sumergida (Mendoza, et al., 2009).

#### 5.4 Diversidad de especies de peces exóticas invasoras

Los tres índices de diversidad que se utilizaron para analizar la diversidad en los sitios de muestreo coinciden en 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 5).

Tabla 5

*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. Vitzíl; 14. Xucupó).

En Xucupó fueron encontradas las cinco especies invasoras y las 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, los sustratos y los sitios de desove, además de que proveen y almacenan los nutrientes que sustentan a las plantas y los animales (Gestring, *et al.*, 2006).

Por otro lado, Nimá es una zona con abundante vegetación la cual le sirve a los peces como sitio de refugio a los juveniles y sitio de alimentación para los adultos (Lallana, 1997), en este sitio se encontró únicamente *P. managuensis* como especie invasora y se encontraron especies nativas como *P. splendida* y *V. melanura*, las tres comparten nicho ecológico por ser del grupo de los perciformes de la familia de los cíclidos, 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.

El tercer sitio con mayor diversidad según el índice de Shannon y el índice de Simpson es Vitzíl, donde también está presente *P. managuensis* y al igual que Nimá es un sitio ribereño con una gran abundancia de plantas acuáticas que funcionan como hábitat para la alimentación, anidación o refugio (Lallana, 1997).

En el resto de sitios no se encontró presencia de especies invasoras lo cual se puede deber a que son sitios más profundos con sustratos rocosos, los cuales no son de preferencia para las especies de pleco (Hoover, *et al.*, 2004). En estos sitios los organismos permanecen cortos periodo de tiempo solamente para alimentarse. También cuentan con una buena calidad de agua, con alta transparencia, la cual no es de preferencial para el *P. managuensis* (Conkel, 1993).

## 5.5 Abundancia relativa

Las especies que presentaron mayor abundancia relativa en base al CPUE como biomasa, fueron *P. splendida*, *P. multiradiatus*, *P. pardalis*, *P. disjunctivus*, *V. melanura* y por ultimo *P. managuensis* (Tabla 6). Los valores mínimos estuvieron representados por *O. niloticus*, *M. urophthalmus*, *R. octofasciata*, *C. robertsoni* y *R. guatemalensis* (Tabla 6).

La abundancia relativa de las especies de pleco (*P. pardalis*, *P. disjunctivus*) en la zona de Xucupó es mayor a presentada por Penados (2014), donde se le atribuyo la presencia de estas especies que esta es una zona con alto índice de contaminación y mayor abundancia de alimento para los peces diablo (Penados, 2014). El incremento en abundancia relativa se puede deber a que los organismos tienen las condiciones ambientales adecuadas para crecer y reproducirse con éxito.

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 rio Usumacinta, que al igual que el lago Peten Itzá se encuentra en el norte de Guatemala (March, y Fernández, 2003), donde también se reportó esta especie exótica invasora con una densidad relativa de 0.854 g/h/m<sup>2</sup> (Macías, & Cano-Salgado, 2014).

Tabla 6.

Abundancia relativa de las especies ícticas en cada sitio 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/m <sup>2</sup> ) |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 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 | 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).

## 5.6 Distribución

Se ubicaron tres sitios con presencia de especies invasoras los cuales son Xucupó, Vitzíl y Nimá (Figura 6). 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. Los peces pueden estar en esta zona porque son organismos bentónicos que se alimentan de detritos del fondo (Gestring, Shafland, & Stanford, 2006) ya que muestran una alta tasa de digestibilidad de materia orgánica (Yossa, & Araujo, 1998). El guapote jaguar puede que habite en esta zona porque prefiere aguas turbias y fondos lodosos de los lagos altamente eutrofizados (Conkel, 1993), en su hábitat se encuentra en arroyos y estanques con detritus y fondos de arena (Page, & Burr, 1991), el hábitat que se crea en esta desembocadura es parecida a los anteriores, creando ambientes fangosos donde este tipo de especies se alimentan principalmente de fitoplancton o algas bentónicas al igual que de larvas de insectos y detritus (Lamboj, 2004).

En las zonas de Vitzíl y Nimá solo se encontró la presencia de *P. managuensis*. En estas zonas se tiene una mayor transparencia en el agua que en Xucupó debido a que no se le ha dado un cambio al uso de suelo que pudiera añadir una carga de sedimentos al agua provocando una mayor concentración de nutrientes y materia orgánica en el agua (Granitto, Rosso, Boveri, & Rennella, 2016). La presencia del guapote jaguar en estas zonas es común que suceda por su abundante vegetación acuática donde estos peces buscan sitios para la reproducción y alimentación (Lallana, 1997). Otra característica de estos es su fondo areno-rocoso, sumergidos, es que determinan una mayor complejidad de micro hábitats disponibles para los peces (Lasso, Lasso-Alcalá, Meri, & Suárez, 2002) y puede que esto también atraiga a *P. managuensis*.

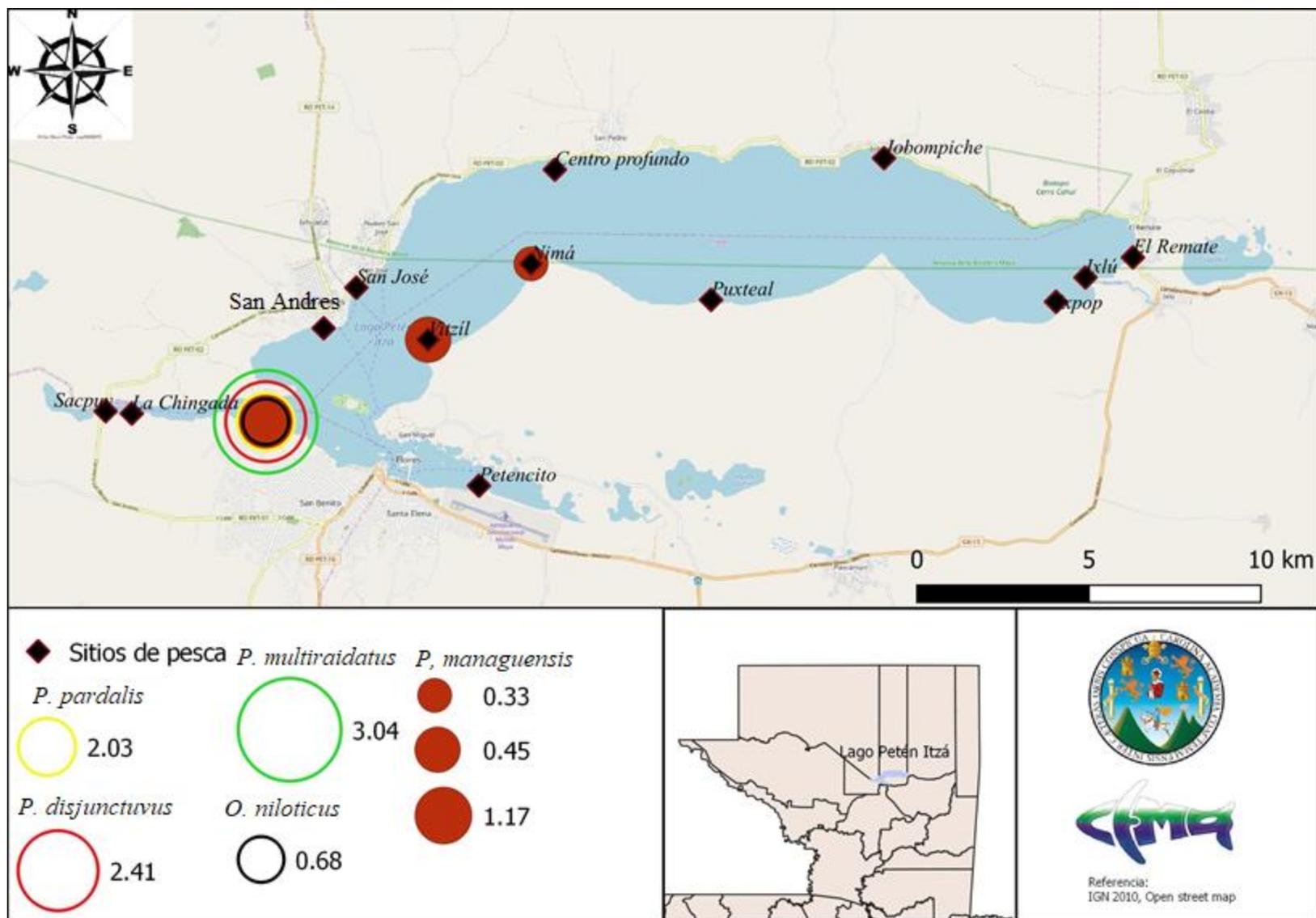


Figura 6. Distribución de especies invasoras en el lago Petén Itzá

## 6 Conclusiones

La riqueza específica de especies de peces encontrada en el lago Petén Itzá fue de 4 familias, 11 géneros y 13 especies, de las cuales 5 especies son invasoras, los ciclidos *P. managuensis*, *O. niloticus* y los loricaridos *P. pardalis*, *P. disjunctivus*, *P. multiradiatus*, correspondientes a 2 familias y 3 géneros.

Las especies con mayor abundancia relativa fueron los pleco, *P. multiradiatus*, *P. pardalis*, *P. disjunctivus*, respectivamente, focalizadas en el sitio de la desembocadura del arroyo Xucupó. Luego, les sigue en abundancia relativa *P. managuensis*, habitando principalmente los sitios asociadas a vegetación acuática y fondos lodosos. Por último, la especie con menor abundancia fue *O. niloticus*, que también se localizó en la zona de la desembocadura del arroyo Xucupó.

En las zonas de Xucupó, Nimá y Vitzíl se encontraron especies exóticas invasoras de peces, lo cual obedece al tipo de hábitat de estas zonas, los cuales tienen características adecuadas para que estas especies encuentren refugio, alimento y se puedan reproducir eficazmente.

Las especies exóticas invasoras encontradas en este estudio, superan las tallas de primera madurez reproductiva y también alcanzan tallas medias de captura. Esto es un indicador de la exitosa adaptación que han tenido estas especies al ecosistema del lago Petén Itzá, esto es un riesgo significativo para las especies autóctonas del lago.

## 7 Recomendaciones

- Recomendaciones de gestión

Se les recomienda a las autoridades involucradas en el manejo de la cuenca del lago Petén Itzá, siendo estas la Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del lago Petén Itzá, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, el Consejo Nacional de áreas Protegidas, la Dirección de Normatividad de la Pesca y Acuicultura y las distintas municipalidades que realicen la creación de un plan interinstitucional para el control de la población de las especies invasoras para minimizar el impacto negativo en el ecosistema.

Para el lago Petén Itzá, se cree que el mecanismo de introducción más probable para los peces diablo y el guapote jaguar es la liberación intencional de acuarios cuando los especímenes sobrepasan el tamaño ideal para el cautiverio en pecera. La introducción de la tilapia al lago se puede atribuir a la liberación accidental de un proyecto piscícola, ya que en Guatemala es la especie exótica más popular para cultivo. Para evitar la propagación de más especies invasoras al ecosistema y los consecuentes efectos negativos, las vías de introducción y dispersión como la acuicultura y la acuarofilia, deben controlarse a fondo.

- Recomendaciones de investigación

Se recomienda realizar investigación sobre la actualización de la ictiofauna presente en el lago Petén Itzá con un mayor esfuerzo de pesca mínimo de 6 horas de faena de pesca por sitio y en la cual se utilice una mayor diversidad de artes de pesca como anzuelo, atarraya, trasmallos de disintáis luces de malla, arpón, fisga y electrofishing, que permiten encontrar la totalidad de las especies que habitan el lago.

Se recomienda realizar investigaciones para determinar la relación talla-peso (L-W), la talla media de madurez sexual (L50%), los parámetros de crecimiento (K,  $L_{\infty}$  y  $t_0$ ), las tasas de mortalidad (M, F y Z) y de explotación (E), épocas de reproducción, con el fin de conocer algunos aspectos de la dinámica poblacional que permitan realizar planes de manejo con las medidas adecuadas para mitigar su impacto.

A partir de los hallazgos realizados en el presente estudio se recomienda realizar investigaciones filogenéticas para lograr establecer con más precisión las especies presentes, tanto nativas como exóticas en el lago Petén Itzá.

## 8 Referencias bibliográficas

- Abell, R., Thieme, M. L., Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Contreras-Balderas, 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 Pérez, 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.
- Aliaga P., C. (2004). *Variabilidad genética de Colossoma macropomum y Piaractus brachypomus en la región del Alto Madera (Amazonía Boliviana) para el análisis del polimorfismo de la longitud de secuencias intrónicas (Epic-Pcr)*. Tesis Licenciado en Biología. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés, & Facultad de Ciencias Puras y Naturales del Instituto de Biología Molecular y Biotecnología.
- Allen, M. S., & Tugend, K. I. (2002). Effects of large-scale habitat enhancement project in habitat quality for age-0 largemouth bass at lake Kissimmee, Florida (pp. 265-276). In D.P. Phillip, D. P., & Ridgway, M. S. (Eds), *Black bass: Ecology, conservation and management*. Bethesda, Maryland: American Fisheries Society.
- Amador-del Ángel, L. E., Wakida-Kusunoki, A. T., Guevara, E., Brito, R., & Rodríguez, P. C. (2009). Peces invasores de agua dulce en la región de la laguna de Términos, Campeche. *U. Tecnociencia*, 3 (2), 11-28.
- Anselmetti, F. S., Ariztegui, D., Hodell, D. A., Hillesheim, M. B., Brenner, M., Gilli, A., McKenzie, J. A., & Mueller, A. D. (2006). Late quaternary climate-induced lake level variations in lake Petén Itzá, Guatemala, inferred from seismic stratigraphic analysis. *Palaeogeogr. Palaeoclimateol. Palaeoecol.*, 230, 52-69.
- Anzueto-Calvo, M. D. J., Velázquez-Velázquez, E., Gómez-González, A. E., Quiñones, R. M., & Joyce-Olson, B. (2013). *Peces de la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote*. Chiapas, México: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

- 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.
- Ariano, D. (2013a). *Listado de especies de anfibios de Guatemala: Documento técnico curso Herpetología*. Universidad del Valle de Guatemala [UVG].
- Ariano, D. (2013b). *Listado de especies de reptiles de Guatemala: Documento técnico curso Herpetología*. Guatemala: UVG.
- Ariano, D., Gelera, R., Rivera, C., Bolaños, A., & Juárez, D. (2017). Primera documentación de pez diablo (Loricariidae, *Pterygoplichthys* sp.) en la laguna Lachuá, Parque Nacional laguna Lachuá, Guatemala. *Revista 34 de la Universidad del Valle de Guatemala*, 89, 88-90.
- Autoridad para el Manejo y Desarrollo Sostenible de la cuenca del lago Petén Itzá [AMPI]. (2011). *Cuenca del lago Petén Itzá*. Guatemala: Autor
- Barba-Macías E, Cano-Salgado MP (2014) Abundancia del plecos (*Pterygoplichthys pardalis*) en sistemas lagunares y ribereños de la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México. In: Low-Pfeng AM, Quijón PA, Peters-Recagno EM (eds), *Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México*, SEMARNAT, INECC, UPEI, Ciudad de México, México, pp 293–311.
- Barba-Macías, E., Juárez-Flores, J., & Magaña-Vázquez, M. (2014). Nuevos registros de plecos (*Pterygoplichthys pardalis*) (Siluriformes: Loricariidae) en las cuencas del río Grijalva y Tonalá, Pajonal-Machona, Tabasco (233-251). In Low Pfeng, A. M., Quijón, P. A., Peters Recagno, E. M. (Eds.), *Especies invasoras acuáticas: Casos de estudio en ecosistemas de México*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- 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: University of Florida.

- 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: Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Barrientos, C., Quintana, Y., Elías, D. J., & Rodiles-Hernández, R. (2018). Peces nativos y pesca artesanal en la cuenca Usumacinta, Guatemala. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89, 118-130.
- Basterrechea-Díaz, M. (1988). Limnología del lago Petén Itzá, Guatemala. *Revista de Biología Tropical*, 36 (1), 123-127.
- Brenner, M., Rosenmeier, M. F., Hodell, D. A., Curtis, J. H., Anselmetti, F., & Ariztegui, D. (2002). Limnología y paleolimnología de Petén, Guatemala. *Revista Universidad del Valle de Guatemala*, 12, 2-9.
- Brezonik, P. L. & Fox, J. L. (1974). The limnology of selected Guatemalan lakes. *Hydrobiologia*, 45, 467-487.
- Bunkley-Williams, L. E. H., Williams, C., Lilystrom, G., Corujo-Flores, I., Zerbi, A. J., Aliaume, C., & Churchill, T. N. (1994). The South American sailfin armored catfish, *Liposarcus multiradiatus* (Hancock), a new exotic established in Puerto Rican fresh waters. *Caribb. J. Sci.*, 30, 90-94.
- Bussing, W. A. (1998). *Freshwater fishes of Costa Rica* (Vol. 46). Editorial Universidad de Costa Rica.
- Callaway, R. M., & Ridenour, W. M. (2004). Novel weapons: Invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2, 436-443.
- Cagauan, A.G. (2007). Red-bellied Pacu in the Philippines. 2007. *Journal of environmental Science and Management* 10: 42–47.
- Cano, M. (2008). *Tolerancia del estadio juvenil de *Petenia splendida* (Günther, 1862) a diferentes salinidades*. Tesis Licenciado en biología. Guatemala: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala [USAC].

- Capdevila-Argüelles, L., Zilletti, B., & Suárez-Álvarez, V. Á. (2013). *Causas de la pérdida de biodiversidad: Especies exóticas invasoras*. España: Memorias Real Sociedad Española de Historia Natural.
- Carvalho, G. (2009). Especies exóticas e invasiones biológicas. *Ciencia Ahora*, 23, 15-21.
- Castro-Diez, P., Valladares, F. & A. Alonso. (2004). *La creciente amenaza de las invasiones biológicas*. B. Ecosistemas 13 (3): 1-9
- Chao, A. (1984). Non-parametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics*, 11, 265-270.
- Charles, H., & Duke, J. S. (2007). Impacts of invasive species on ecosystem services. In Nentwig, W. (Ed.), *Biological invasions* (pp. 217-237). *Ecological Studies* 193. Berlin: Springer.
- 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., & Comiskey, J. (Eds.), *Forest biodiversity research, monitoring and modeling: Conceptual background and old world case studies*. París: Parthenon Publishing.
- Clavero, M., & García-Berthou, E. (2005). Invasive species are a leading cause of animal extinctions. *Trends in Ecology and Evolution*, 20 (3), 110.
- Clavijo Restrepo, L. C. (2011). *Desarrollo de metodología para la determinación de la digestibilidad de materias primas no convencionales en Cachama blanca Piaractus brachyomus*. Doctoral Dissertation. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Colwell R.K. y Coddington J.A. (1994). Estimating terrestrial bio-diversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*. 345:101-118.
- Convention on Biological Diversity. (2002). Decision VI/23: *Alien species that threaten ecosystems, habitats or species / 6th meeting of the Conference of the Parties of the Convention on Biological Diversity* [en línea]. Recuperado abril 10, 2019, de <http://www.cbd.int/decisions/cop06.shtml?m=COP-06&id=7197&lg=0>

- CONAP [Consejo Nacional de Áreas Protegidas]. (2001). *Plan Maestro de la Reserva de la Biosfera Maya 2001-2006*. Guatemala: Autor, The Nature Conservancy [TNC], & Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional [USAID].
- Conkel, D. (1993). *Cichlids of North and Central America I*. New York: TFH Publications.
- Coward, K., & Little, D. (2001). Culture of the “aquatic chicken”: present concerns and future prospects. *Biologist*, 48, 12–16.
- Crutchfield, J. U. (1995). Establishment and expansion of redbelly tilapia and blue tilapia in a power plant cooling reservoir. *Am. Fish. Soc. Symp.*, 15, 452–461.
- Curtis, J. H., Brenner, M., Hodell, D. A., Balsler, R. A., Islebe, G. A., & Hooghiemstra, H. (1998). A multi-proxy study of Holocene environmental change in the Maya Lowlands of Peten, Guatemala. *Journal of Paleolimnology*, 19 (2), 139-159.
- Dempster, P. W., Beveridge, M. C. M., & Baird, D. J. (1993). Herbivory in the tilapia *Oreochromis niloticus*: A comparison of feeding rates on phytoplankton and periphyton. *J. Fish Biol.*, 43, 385–392.
- Devick, W. S. (1989). Disturbance and fluctuations in the Wahiawa Reservoir ecosystem: Project F-14-R-13, Job4, Study I. Honolulu: Hawaii Department of Land and Natural Resources, & Division of Aquatic Resources.
- 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. *Biol. Rev.*, 81, 163-182.
- 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.
- 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.

- Elton, C. S. (1958). *The ecology of invasions by animals and plants*. London: Methuen & Co.
- Estrada, C. (2006). *Dieta, uso de hábitat y patrones de actividad del puma (Puma concolor) y el jaguar (Panthera onca) en la selva Maya*. Tesis Licenciatura en biología. Guatemala: Escuela de Biología de la USAC.
- 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>
- FAO. (2014). *Contribución de la pesca y la acuicultura a la seguridad alimentaria y el ingreso familiar en Centroamérica*. Roma: Autor.
- Froese, R., & Pauly, D. (Eds.) (2009). *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) Nile tilapia [en línea]. Recuperado marzo 28, 2019, de <http://www.fishbase.org/Summary/speciesSummary.php?id=2&lang=english>
- Froese, R., & Pauly, D. (Eds.) (2017). *Parachromis managuensis* (Günther, 1867) [en línea]. Recuperado octubre 10, 2019, de <http://www.fishbase.org/summary/Parachromis-managuensis.html>
- García, O. (2017). *Pez diablo le hace honor a su nombre* [en línea]. Recuperado octubre 10, 2019, de <https://www.prensalibre.com/ciudades/solola/pez-diablo-le-hace-honor-a-su-nombre/>
- 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.
- Grajeda, L. (2000). *Caracterización de mamíferos del Parque Nacional Sierra del Lacandón, Reserva de la Biósfera Maya, Petén*. Tesis Licenciado en biología. Departamento de Biología de la Universidad del Valle de Guatemala [UVG].
- Granitto, M., Rosso, J. J., Boveri, M. B., & 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.

- Grumbine, R. E. (1994). What is ecosystem management? *Conservation Biology*, 8 (1), 27-38.
- Hernández-Portocarrero, A., & Saborido-Rey, F. (2008). *Abundancia relativa de los peces en la costa oriental del lago de Nicaragua*. Nicaragua: Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales.
- Hilborn, R., Branch, T. A., Ernst, B., Magnusson, A., Minte-Vera, C. V., Scheuerell, M. D., et al. (2003). State of the world's fisheries. *Annual Review of Environment and Resources*, 28, 359.
- 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.
- Hodell, D., Anselmetti, F., Brenner, M., & Ariztegui, D. (2006). The lake Petén Itzá: scientific drilling project. *Scientific Drilling*, 3, 25-29.
- Holloway, A. D. (1950). Recommendations for the development of the fishery resources of Guatemala. *A fish and wildlife survey of Guatemala. US Dept. Int. Spec. Sci. Rept.-Wildlife*, (5), 99-140.
- 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.
- Ixcot, L., Acevedo, M., Cano, E., Castillo, N., Córdoba, M., Flores, M., Pérez, S., Orellana, R., & Villar, L. (2005). *Estudios de diversidad biológica en los biotopos: San Miguel La Palotada-El Zotz y Naachtun-Dos Lagunas, Petén, Guatemala*. Guatemala: Informe final proyecto FODECYT 19-02.
- Jiménez, A., Pauchard, A., Cavieres, L., Marticorena, A., & Bustamante, R. (2008). Do climatically similar regions contain similar alien floras? A comparison between the mediterranean areas of Central Chile and California. *Journal of Biogeography*, 35, 614-624.
- Keane, R. M., & Crawley, M. J. (2002). Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. *Trends in Ecology and Evolution*, 17, 164-170.

- Keller, R. P., Geist, J., Jeschke, J. M., & Kühn, I. (2011). Invasive species in Europe: Ecology, status, and policy. *Environmental Sciences Europe*, 23 (1), 23.
- Kihn, H., Cano, E., & Morales, A. (2006). Peces de las aguas interiores de Guatemala. En Cano, E. (Ed.), *Biodiversidad de Guatemala* (pp. 456-485). Guatemala: UVG.
- Kottelat, M., Whitten, A. J., Kartikasari, S. N., & Wirjoatmodjo, S. (1993). *Freshwater fishes of Western Indonesia and Sulawesi*. Hong Kong: Periplus Editors.
- Krebs, C. J. (1995). *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. New York: Harper Collins Publishers.
- LaBastille, A. (1974). Ecology and management of Atitlan Grebe, lake Atitlan, Guatemala. *Wildlife Monographs*, 37,1–66.
- Lallana, V. (1997). Las plantas acuáticas del río Paraná: Su importancia en el ecosistema (Artículo Técnico de divulgación AT-01). Uruguay: Universidad Nacional de Entre Ríos.
- Lamboj A. 2004. *The cichlid fishes of Western Africa*. Bornheim, Germany: Birgit Schmettkamp Verlag.
- Lasso, C. A., Lasso-Alcalá, O. M., Meri, J., & 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.
- Leung, B., Lodge, D. M., Finnoff, D., Shogren, J. F., Lewis, M. A., & Lamberti, G. (2002). An ounce of prevention or a pound of cure: Bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 269, 2407–2413.
- Leung, B., Drake, J. M., & Lodge, D. M. (2004). Predicting invasions: Propagule pressure and the gravity of allee effects. *Ecology*, 85, 1651-1660.
- Lonsdale, W. M. (1999). Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. *Ecology*, 80, 1522-1536.
- Lookwood, J. L., Cassey, P., & Blackburn, T. (2005). The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 223-228.

- López-Selva, M., M. Jolón, y J. López. 2008. Biodiversidad acuática. En: C. Azurdia, F. García y M. Ríos (Eds.). Guatemala y su biodiversidad: Un enfoque histórico, cultural, biológico y económico. Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Oficina Técnica de Biodiversidad. Guatemala. 650p.
- MacArthur, R. H. (1970). Species packing and competitive equilibrium for many species. *Theoretical Population Biology*, 1, 1–11.
- McCarthy, T., & Pérez, S. (2006). Land and freshwater mammals of Guatemala: Faunal documentation and diversity. En Cano, E. B. (Ed.), *Diversidad biológica de Guatemala*. Guatemala: UVG.
- Mack, R. N., Simberloff, D., Lonsdale, W. M., Evans, H., Clout, M., & Bazzaz, F. A. (2000). Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecol. Appl.*, 10, 689-710.
- Macías, E. B., & Cano-Salgado, M. P. (2014). Abundancia del plecos (*Pterygoplichthys pardalis*) en sistemas lagunares y ribereños de la cuenca del Usumacinta, Balancán, Tabasco, México. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Macías Zamora, R., Vidaurri Soteto, A. L., & Santana Hernández, H. (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.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey: Princeton University Press.
- Maldonado-Ocampo, J. A., Vari, R., & Usma, J. S. (2008). Checklist of the freshwater fishes of Colombia. *Biota Colombiana*, 9 (2), 143-237.
- March, I. J., & 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.
- Margalef, F. (1951). Diversidad de especies es las Comunidades Naturales, Publes. *Institute of Biological Apl. Barcelona*, 6, 57-72.

- Marsh P. C., Burke, T. A., De Marais, B. D., Douglas, M. E. (1989). First North American record of *Cichlasoma managuense* (Pisces: Cichlidae). *Great Basin Naturalist*, 49 (3), 387-389.
- 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: Departamento de Biología de la UVG.
- Meek, S. E. (1908). The zoology of lake Amatitlán and Atitlán, Guatemala, with special reference to ichthyology. *Field Columbia Museum Publication* 127, 7 (6), 159- 206.
- Méndez, C. 2008. Diversidad faunística de Guatemala (231-259). En Azurdia, C., García, F., Ríos, M. (Eds.), *Guatemala y su diversidad biológica: Un enfoque histórico, cultural, biológico y económico*. Guatemala: CONAP, & Oficina Técnica de Diversidad biológica.
- Méndez, J., & Pinelo, J. (2008). *Desarrollo territorial de la cuenca del Lago Petén Itzá por medio de la metodología de la idoneidad localizativa*. Tesis Licenciado en Arquitectura. Guatemala: USAC.
- Mendoza, R., Fisher, J., Courtenay, W., Ramírez, C., Orbe, A., Escalera, C., Álvarez, P., Koleff, P., & Contreras Balderas, S. (2009). Capítulo 3: Evaluación trinacional de riesgos de los plecos (Loricariidae) (pp. 25-37). En Cudmore, B., Orr, R., & 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*. Canadá: Comisión para la Cooperación Ambiental.
- Mendoza, R., Escalera, C., Contreras, S., Koleff, P., Ramírez, C., Alvarez, P., Arroyo, M., & Orbe, A. (2009). Capítulo 5: Invasión de plecos en la presa El Infiernillo, México / Análisis de efectos socioeconómicos (relato de dos invasores) (pp. 51-59). En Cudmore, B., Orr, R., & 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*. Canadá: Comisión para la Cooperación Ambiental.

- Mendoza, R., Luna, S., & Aguilera, C. (2015). Risk assessment of the ornamental fish trade in Mexico: Analysis of freshwater species and effectiveness of the FISK (Fish Invasiveness Screening Kit). *Biological Invasions*, 17 (12), 3491-3502.
- Miller, R. (2009). *Peces dulceacuícolas de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Miranda Chumacero, G., & Barrera, M. (2005). Riqueza y abundancia de peces en dos lagunas de los Andes tropicales. *Ecología en Bolivia*, 40 (2), 41-52.
- Morgan, D. L., Gill, H. S., Maddern, M. G., & Beatty, S. J. (2004). Distribution and impact of introduced freshwater fishes in Western Australia. *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.*, 38, 511–523.
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. México: CYTED, ORCYT-UNESCO, & Soc. Entomológica Aragonesa.
- Moreno, C., & Halffter, G. (2000). Assessing the completeness of bat biodiversity inventories using species accumulation curves. *J. Appl. Ecol.*, 37, 149-158.
- Müller, A., Islebe, G. A., Hillesheim, M. B., Grzesik, D. A., Anselmetti, F. S., Ariztegui, D., Brenner, M., Curtis, J. H., Hodell, D. A., & Venz, K. A. (2009). Climate drying and associated forest decline in the lowlands of northern Guatemala during the late Holocene. *Quaternary Res.*, 71, 133-141.
- Naylor R. L., Williams, S. L., & Strong, D. R. (2001). Aquaculture a gateway for exotic species. *Science*, 294, 1655-1666.
- Nelson, J. (1998). *Fishes of the world*. (3rd. edition). Canadá: John Wiley & Sons.
- 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.
- Olvera, M. A., Piña, I., Cu, I., & Chávez, E. A. (1994). The impact of natural invasion and an exotic introduction in the ichthyofauna of laguna de Términos, Campeche, México (pp. 279-282). In Philipp, D. P., Epifanio, J. M., Marsden, J. E., Claussen, J. E., & Wolotira,

- J. R. (Eds.), *Protection of aquatic biodiversity: Proceedings of the World Fisheries Congress, Theme 3*. Greece: Science Publishers.
- Orellana, A., & José, J. (2010). Peces, Crustáceos y Moluscos del Istmo Centroamericano. Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano. La Libertad, El Salvador.
- 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.
- 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.
- Pauly, D., Christensen, V., Guénette, S., Pitcher, T. J., Sumaila, U. R., Walters, C. J., et al. (2002). Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418, 689–695.
- Pape, E. (2002). *Valor económico del lago Petén Itzá: Problemas y oportunidades*. Guatemala: Editorial de Ciencias Sociales.
- Peet, R. K. (1974). The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5, 285-307.
- 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: USAC.
- Peña-Mendoza, B., Gómez-Márquez, J. L., Salgado-Ugarte, I. H., & Ramírez-Noguera, D. (2005). Reproductive biology of *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae) at Emiliano Zapata dam, Morelos, Mexico. *Revista de biología tropical*, 53(3-4), 515-522.
- Pimentel, D., Zúñiga, R., & Morrison, D. (2005). Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecol. Econ.*, 52, 273-288.
- Pérez, L., Lorenschat, J., Brenner, M., Scharf, B., & Schwalb, A. (2010). Extant freshwater ostracodes (Crustacea: Ostracoda) from lago Peten Itzá, Guatemala. *Revista de Biología Tropical*, 58 (3), 871-895.
- Prenski, L. B., & Baigún, C. (1986). Resultados de la prospección pesquera en el embalse de Salto Grande (febrero 1980 - febrero1981). *Revista de Investigaciones y Desarrollo Pesquero*, (6), 77-102.

- 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, & PREPAC.
- Quiros, R., Prenski, B. L., & Baigun, C. (1984). *Relación entre resultados de ensayos de captura y factores ambientales en el embalse de Salto Grande*. Uruguay: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero.
- 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. *Biol. Conserv.*, 10, 37-40.
- Restrepo-Santamaría, D., & Álvarez-León, O. (2013). Algunos aspectos sobre la introducción de especies y estado del conocimiento sobre los peces introducidos en el departamento de Caldas, Colombia. *Revista Luna Azul*, (37), 1909-2474.
- Reséndez, A. (1981). Estudio de los peces de la laguna de Términos, Campeche, México. *Biótica*, 6 (3), 239-291.
- Reyes, F., Morales, J., Bustamante, M., Ruano, G., & 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: CONCYT, SENACYT, FONACYT, & USAC.
- Riehl, R., & Baensch, H. (1991). *Aquarien atlas / Band. 1. Melle: Mergus*. Germany: Verlag für Natur-und Heimtierkunde.
- Sakurai, A., Sakamoto, Y., Mori, F. (1990). *Aquarium fish of the world*. United States: Chronicle Books.
- Schlesinger, V. (2001). *Animals & plants of the ancient Maya: A guide*. Texas: University of Texas Press.
- 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, & University of Florida.

- Simberloff, D. (1995). Why do introduced species appear to devastate islands more than mainland areas? *Pacific Science*, 49, 87-97.
- Simberloff, D., & Von Holle, B. (1999). Positive interactions of nonindigenous species: Invasional meltdown? *Biological Invasions*, 1, 21-32.
- Solano, D. H., & Arias, A. M. (2011). Peces Diablo (Teleósteo: Siluiformes: Loricariidae) en la cuenca del río Reventazón, Costa Rica. *Biocenosis*, 25(1-2).
- Solomon, E. P., Berg, L. R., y Martin, D. W. (2013). *Biología*. (9a. ed.). Iztapalapa, México: Edamsa Impresiones.
- Strayer, D. L. (2010). Alien species in fresh waters: Ecological effects, interactions with other stressors and prospects for the future. *Freshw. Biol.*, 55 (1), 152-174.
- Szejner, M. (2005). Caracterización ecológica y botánica de 100 especies de árboles amenazados en Guatemala, con fines de conservación. Tesis Licenciado en biología. Guatemala: Departamento de Biología de la UVG.
- Trewavas, E. (1983). *Tilapiine fishes of the genera Sarotherodon, Oreochromis and Danakilia*. London: British Museum (Natural History), Publication No. 878.
- Vasconcelos, R. P., Reis-Santos, P., Costa, M. J., & Cabral, H. N. (2011). Connectivity between estuaries and marine environment: integrating metrics to assess estuarine nursery function. *Ecological Indicators*, 11(5), 1123-1133.
- Vega, A., Reynaldo, E., Fernández, A., Cruz, J., Ocaña, F., & Córdova, E. (2015). *Abundancia y distribución del pez león Pteroisvolitans (Teleostei: Scorpaeni-dae) en el litoral turístico de Holguín, Cuba*. Cuba: Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales y Tecnológicos de Holguín.
- Véliz, M. (2008). Diversidad florística de Guatemala (261-298). En Azurdia, C., García, F., & Ríos, M. (Eds.), *Guatemala y su diversidad biológica: Un enfoque histórico, cultural, biológico y económico*. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas, & Oficina Técnica de Diversidad biológica.
- Vilà, M., Castro, P., & García-Berthou, E. (2008). *¿Qué son las invasiones biológicas?* Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

- Vilá, M., Valladeres, F., Traveset, A., Santamaría, L., & Castro, P. (Coords). (2008). *Invasiones Biológicas*. Madrid: CSIC.
- Vitousek, P. M., D'Antonio, C. M., Loope, L. L., & Westbrooks, R. (1996). Biological invasions as global environmental change. *Am. Sci.*, 84, 468–478.
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., & Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277, 494-499.
- Wakida-Kusunoki, A. T. (2005). Análisis de la captura incidental en la pesquería ribereña del camarón siete barbas *Xiphopenaeus kroyeri* en las costas de Campeche, México (583-591). In Creswell, R. L. (Ed.), *Proceedings of 56th Annual Meeting of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute*. British Virgin Islands: Tortola.
- Wakida-Kusunoki, A.T., Ruiz-Carus, R., & Amador-del Ángel, L. E. (2007). *The Amazon sailfin catfish Pterygoplichthys pardalis (Castelnau, 1855) (Loricariidae), another exotic species established in Southeastern México*. *The Southwestern Naturalist* 52, (1), 144-147.
- Wakida-Kusunoki, A. T., & Amador-del Ángel, 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.
- Wildlife Conservation Society [WCS]. (2013). *Estado de la reserva de la Biósfera Maya* [en prensa]. Guatemala: Prensa Libre
- Yossa, M. I., & Araujo, L. C. A. (1998). *Detritivory in two Amazonian fish species*. *J. Fish Biol.*, 52, 1141-1153.
- Zambrano, L., Martínez-Meyer, E., Menezes, N. A., & Peterson, A. T. (2006). *Invasive potential of common carp (Cyprinus carpio) and Nile tilapia (Oreochromis niloticus) in American freshwater systems*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 63, 1906-1910.
- Zamora, R. M., Soteto, A. L. V., & 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.

## 9 Anexo



Anexo 1. Faena de pesca en el Centro Profundo



Anexo 2. Faena de pesca en Ixlú



Anexo 3. Faena de pesca en Vitzíl



Anexo 4. Faena de pesca en Nimá



Anexo 5. Muestreo biométrico de los organismos capturados



Anexo 6. Especimen de Pez blanco del Petén (*P. splendida*)



Anexo 7. Espécimen de sardina (*Astyanaxmexicanus*)



Anexo 8. Espécimen de copetona (*Vieja melanura*)



Anexo 9. Especimen de juilín (*R. guatemalensis*)



Anexo 10. Especimen de Bul (*Mayaherosurophthalmus*)



Anexo 11. Faena de pesca nocturna en Xucupó

- 11. Dark spots discrete, never coalescing or forming dark chevrons on posterior half of body .....  
..... *P. multiradiatus* (Hancock, 1828)
- 11'. Dark spots often coalescing to form vermiculations and/or lines on abdomen and head and chevrons on caudal peduncle ..... 12
- 12. Adults with a geometric pattern of light lines on head. Spots on abdomen of adults mostly discrete, usually no more than five spots coalescing to form short vermiculations. Lateral spots coalescing to form chevrons that outline the posterior border of the lateral plates (particularly strong ventrally posteriorly to the pectoral fin). Juveniles with chevrons laterally, abdominal spots separate .....  
..... *P. pardalis* (Castelnau, 1855)
- 12'. Adults with spots and blotches on head and no geometric pattern of light lines. Nearly all spots on abdomen of adults coalescing to form vermiculations (spots may be separate in juveniles). Lateral spots usually separate, not forming chevrons. Juveniles with spots or blotches laterally .....  
..... *P. disjunctivus* (Weber, 1991)

Anexo 12. Sección de guía de identificación para plecos (Armbruster, & Page, 2006)

34a. Dientes de la parte anterior en forma de caninos, más grandes que los posteriores; mandíbula inferior prominente.....35

34. Dientes cónicos o en forma de incisivos, que disminuyen su tamaño de forma gradual hacia la parte posterior de la boca; mandíbulas de tamaño semejante.....37

35a. Mandíbula inferior muy prominente, caninos grandes; una serie 7 de manchas oscuras muy notorias en la mitad del cuerpo, con igual número de barras verticales; numerosas manchas oscuras en todo el cuerpo.....***Parachromis managuensis***

Anexo 13. Sección de guía de identificación taxonómica (Anzueto, 2013)



Anexo 14. Patrones de coloración de *P. disjunctivus* (derecha) y *P. pardalis*(izquierda)



Anexo 15. Patrones de coloración de *P. multiradiatus* encontrados en el lago Petén Itzá



Anexo 16. Especimen de *Parachromis managuensis* colectado en el lago Petén Itzá



Anexo 17. Espécimen de la especie *Parachromis managuensis* colectado en el lago Petén Itzá