



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Campus-Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Genética y hábitat del género *Hypoplectrus* (Perciformes: Serranidae) en los arrecifes del norte de Veracruz.

T E S I S

Que para obtener el título de:

**MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y
COSTEROS**

P R E S E N T A:

BIOL. MAR. ITZAYANA YARENI DUARTE ALMAZO

Director:

DR. CARLOS GONZÁLEZ GÁNDARA

Tuxpan, Veracruz.

2018

En el presente proyecto titulado: "**Genética y hábitat del género *Hypoplectrus* (Perciformes: Serranidae) en los arrecifes del norte de Veracruz.**", realizada por la C. Itzayana Yareni Duarte Almazo, bajo la Dirección del Dr. Carlos González Gándara, ha sido aprobada y aceptada para poder llevar a cabo la solicitud de fecha de examen para obtener el grado de:

MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS



DR. CARLOS GONZÁLEZ GANDARA

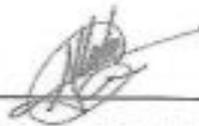
DIRECTOR

Tuxpan de Rodriguez Cano, Ver.; Febrero 2018

El presente proyecto titulado: "**Genética y hábitat del género *Hypoplectrus* (Perciformes: Serranidae) en los arrecifes del norte de Veracruz.**", realizado por la C. Itzayana Yareni Duarte Almazo, bajo la Dirección del Dr. Carlos González Gandara, ha sido aprobado y aceptado para poder llevar a cabo la solicitud de fecha de examen para obtener el grado de:

MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

COMISIÓN LECTORA



DRA. ADRIANA MARTÍNEZ GUEVARA

LECTOR



DR. ADÁN GUILLERMO JORDÁN GARZA

LECTOR



DR. PINDARÓ DÍAZ JAIMES

LECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver., a 28 de Febrero de 2018

DEDICATORIA

A MIS PADRES

José Luis Duarte Miro y Araceli Almazo Marín. Por todo su amor, apoyo y comprensión incondicional que me han brindado durante toda la vida y que han sido mi motor para seguir adelante y poder alcanzar cada una de mis metas, acompañándome y levantándome, enseñándome que todo se puede lograr con esfuerzo y dedicación, sin importar que tan difícil sea el camino.

A MIS HERMANAS

Arely Michelle Duarte Almazo y Grecia Araceli Duarte Almazo. Por estar conmigo en cada paso que doy en las buenas y en las malas, las quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis:

Al Dr. Carlos González Gandara. Por su apoyo brindado durante todo este tiempo, por la confianza que deposito en mí, la paciencia y el tiempo que dedico; así como por los consejos que me brindo y me ayudaron a culminar esta investigación.

A mi comisión lectora:

Dr. Adriana Martínez Guevara, Dr. Guillermo Adán Jordán Garza y Dr. Píndaro Díaz Jaimes, por los aportes significativos en cada etapa del desarrollo de este trabajo y acertados comentarios.

Por el apoyo otorgado...

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgar la beca No. 377374, apoyo que fue utilizado para estudiar la Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros. A la Universidad Veracruzana, por la oportunidad de permitirme crecer académicamente como profesional.

Al proyecto "Bases para el Análisis y Síntesis de la Zona Costera Veracruzana, Golfo de México" a través del programa PRODEP para la Integración de Redes Temáticas de Colaboración Académica, por el finamiento de este trabajo.

A mis compañeros- colegas y amigos:

Al Dr. José Tavera por su confianza y apoyo en mi estancia en la Universidad del Valle (Colombia), al Dr. Luis Fernando del Moral Flores por compartirme de sus conocimientos, al Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz por su apoyo incondicional durante mi formación y ayudarme a cumplir mi meta, así como a la Mtra. Saw Vázquez Jiménez. A mis amigos: David, Luis Alfredo, Roberto, Mayra, Enrique, Ninfa, Juan Edgar, Fernando, Giovanni, Susana y Esmeralda por apoyarme y haber compartido tantos momentos. De manera muy especial al futuro Dr. Jimmy Argüelles Jiménez por ser parte fundamental en mi formación y un buen amigo.

RESUMEN

En el presente trabajo se registran las especies del género *Hypoplectrus*, perteneciente a la familia Serranidae, que forman parte de la diversidad íctica en los arrecifes de coral ubicados en la zona costera norte del estado de Veracruz, debido a que se desconoce la diversidad taxonómica del género en dichos arrecifes. Se analizaron un total de 38 individuos procedentes del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan de los cuales solo 26 pertenecían a los arrecifes Tuxpan y Pantepec. La determinación taxonómica se realizó con base en sus características morfológicas y se obtuvo la proporción respecto a la Longitud Estándar (LS) de 25 medidas morfométricas, propuestas por Del Moral-Flores *et al.* (2011) y Tavera y Acero (2012), a las cuales se les aplicó un análisis discriminante utilizando el programa estadístico R, el cual permitió establecer las variables morfológicas, para la determinación específica del grupo analizado: longitud cefálica (LD1=4.961), longitud preorbital (LD1=4.96), longitud de la mandíbula superior (LD1=-3.727), altura máxima del cuerpo (LD1=-2.624), longitud de la aleta anal (LD2=1.419) y altura del pedúnculo (LD2=-1.416); a partir de ello, se determinó la presencia en el arrecife Tuxpan de cinco especies *H. puella*, *H. floridae*, *H. atlahua*, *H. gemma* y *H. castroaguirrei*; reportando por primera vez las primeras tres especies para el arrecife Pantepec. Se obtuvieron un total de 13 secuencias parciales del fragmento de gen de ADNmt Citocromo Oxidasa Subunidad I (COI), siendo secuenciada por primera vez la especie *H. castroaguirrei*. Los valores de divergencia genética intra e interespecifica se estimaron mediante el modelo de sustitución nucleotídica Kimura

dos parámetros (K2P; K80). Las distancias genéticas entre *H. atlahua*, *H. puella* e *H. floridae* fueron de 0.00%, mientras que entre *H. puella* y *H. castroaguirrei* fue de 1.4%, lo cual sugiere una reciente diversificación genética dentro del grupo. En cuanto a la ictiodiversidad del género *Hypoplectrus*, este resultado fue diferente para un arrecife emergente y uno no emergente, como posible resultado debido a la turbidez del agua. Sin embargo, para ambos arrecifes, Tuxpan y Pantepec, la especie más abundante fue *H. floridae* con 48% y 39% de abundancia respectivamente.

Palabras clave: Serranidos, abundancia, ADNmt, COI, morfología, taxonomía.

ÍNDICE

Resumen	Vi
I. Introducción	1
II. Antecedentes	5
III. Objetivos	10
3.1 Objetivo General	10
3.2 Objetivos Particulares	10
IV. Área De Estudios	11
V. Materiales Y Métodos	13
VI. Resultados	23
VII. Discusión	46
VIII. Conclusión	53
IX. Aplicación Practica	55
VIII. Bibliografía	57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Medidas morfométricas (dadas en milímetros) de las cuatro especies identificadas del genero <i>Hypoplectrus</i>	27
Cuadro 2. Características merísticas de cada especie.	29
Cuadro 3. Variables morfológicas con mayor relevancia en la determinación de especies mediante un análisis discriminante, para los individuos del SALT	24
Cuadro 4. Variables morfológicas con mayor relevancia en la determinación de especies mediante un análisis discriminante para individuos de los arrecifes Tuxpan y Pantepec	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT).	12
Figura 2. Esquema del género <i>Hypoplectrus</i> en el cual se muestran las medidas que se tomaran en cuenta.	15
Figura 3. <i>Hypoplectrus gemma</i> Goode y Bean, 1882	23
Figura 4. Análisis discriminante de proporciones respecto a la LS para el total de individuos colectados en el SALT.	24
Figura 5.- Análisis discriminante con las proporciones respecto a la LS de cada especie, para los arrecifes Tuxpan y Pantepec.	26
Figura 6. Dendograma, análisis genético.	31
Figura 7. Abundancia relativa de cada especie de <i>Hypoplectrus</i> para el arrecife Tuxpan y Pantepec.	32
Figura 8. Individuo identificado como <i>H. floridae</i> .	36
Figura 9. Individuo identificado como <i>H. castroaguirrei</i> .	39
Figura 10. Individuo identificado como <i>H. atlahua</i> .	42
Figura 11. Individuo identificado como <i>H. puella</i> .	45

I. INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral son ecosistemas que albergan una gran diversidad de especies, considerándose uno de los ambientes más complejos y diversos donde habitan diferentes grupos taxonómicos, entre ellos: esponjas, corales, moluscos, equinodermos y peces (Hoegh-Guldberg, 1999; Vargas-Hernández y Román-Vives, 2002). Este último grupo en particular es uno de los más atractivos para estudios en ecología, taxonomía y estructuras de población, debido a su diversidad de formas y colores (Ferguson y Danzmann, 1998; Espinosa-Pérez, 2014), así como por su abundancia. De manera general, en los sistemas arrecifales de Veracruz se ha registrado una riqueza íctica de más de 500 especies, agrupadas en 106 familias (Lara-Domínguez *et al.*, 2011; Abarca-Arenas *et al.*, 2012; González Gándara *et al.*, 2012).

Dentro de las familias presentes en los arrecifes de Veracruz, se reconoce a la Serranidae como una de las más diversas (Lara-Domínguez *et al.*, 2011; Abarca-Arenas *et al.*, 2012), conformada por peces predominantemente tropicales o subtropicales de hábitos a menudo demersales (Navarro, 2000). Los serránidos se caracterizan por la presencia de tres espinas planas en el borde posterior del opérculo (Carpenter, 2002; FAO, 2002), así como por la ausencia del uroneural posterior, espina recurrente y tercer cartílago radial pleural (Sensu-Rojas y Pequeño, 2001).

Esta familia se encuentra representada por 37 especies en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) (Del Moral-Flores *et al.*, 2013) y en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) por 24 (González-Gándara *et al.*, 2013).

El género *Hypoplectrus* Gill, 1861, se encuentra clasificado dentro de la familia Serranidae, es un grupo típico de arrecifes coralinos, y, cuya distribución se limita al Atlántico Occidental, Golfo de México, incluyendo el sur de Florida y el Mar Caribe (Domeier, 1994; Aguilar-Perera y González-Salas, 2010); donde la distribución geográfica de las especies de *Hypoplectrus* es variable (Heemstra *et al.*, 2002; Aguilar-Perera y Tuz-Sulub, 2010); es tal, el grado de variación, que *Hypoplectrus gemma* Goode y Bean, 1882, presumiblemente endémica del sur de Florida (Dry Tortugas y Marquesas), ha sido observada en el arrecife Alacranes al norte de la península de Yucatán (González-Gándara y Arias-González, 2001; Aguilar-Perera y Tuz-Sulub, 2010).

Las especies clasificadas dentro de este género se distinguen por los patrones de coloración y las marcas en el cuerpo que presentan (Humann y Deloach, 2013; Victor, 2015).

Sin embargo, la determinación específica *in situ* de este grupo presenta cierto grado de incertidumbre debido a que algunas características de coloración pueden variar a nivel intraespecífico y estas mismas características resultan ser muy similares a nivel interespecífico, lo que también se puede observar en la determinación de

ejemplares capturados, por lo que en este grupo existe incertidumbre como resultado de los patrones de coloración, aunado al deterioro en las marcas que se presenta en organismos fijados

Dichas características son consideradas de gran relevancia, ya que con ellas se lleva a cabo la identificación de organismos en estudios ecológicos de arrecifes coralinos, por medio de censos visuales, método por el cual se ha registrado la presencia de tres especies de *Hypoplectrus* para los arrecifes del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan *H. nigricans* (Poey, 1852), *H. puella* (Cuvier, 1828) e *H. unicolor* (Walbaum, 1792) (González-Gándara, 2003; 2010; De la Cruz, 2006; González-Gándara *et al.*, 2012; 2013; Argüelles-Jiménez *et al.*, 2013).

Por otra parte, durante los últimos años, el género ha sido objeto de estudio desde un punto de vista evolutivo (e.g. Randall y Randall, 1960; De la Trilladora, 1978; Puebla, 2007 y Holt *et al.*, 2011), esto debido al proceso de diversificación que presentan, el cual aparentemente ha ocurrido de forma reciente, lo que ha permitido el descubrimiento de dos nuevas especies en las costas veracruzanas: *Hypoplectrus atlahua* (Tavera y Acero, 2013) la cual se reconoce a partir de análisis genéticos y morfológicos e *Hypoplectrus castroaguirrei* (Del Moral *et al.*, 2011) identificada a partir de características morfológicas; cabe resaltar que ambas entidades son catalogadas como especies endémicas del estado de Veracruz (Del Moral-Flores *et al.*, 2011; Tavera y Acero, 2013).

Es importante mencionar, que el conocimiento biológico de las especies del género *Hypoplectrus* es escaso, particularmente en los arrecifes del norte de Veracruz, donde el desconocimiento en la diversidad taxonómica del género es considerable.

Con base en lo anterior, en la presente investigación se realiza el estudio en dos arrecifes del norte Veracruz para observar cómo se comporta la comunidad de *Hypoplectrus* en un arrecife emergente representado por el arrecife Tuxpan y uno sumergido, el arrecife Pantepec. Los dos sistemas presentan características diferentes, siendo la profundidad la más contrastante, para el arrecife Tuxpan oscila entre 3 y 27 m y para el arrecife Pantepec presenta de 15 a 25 m. Además, la cobertura coralina de 28% en promedio para el arrecife Tuxpan (Cruz, 2017) y para el arrecife Pantepec menor a 10% a pesar de que Gonzales-Cobos (2010), Cortes (2014) citan alrededor de 22%.

Lo anterior, conduce a las siguientes preguntas ¿Cuáles son las especies de *Hypoplectrus* que se encuentran en los arrecifes coralinos del norte de Veracruz? ¿La riqueza y abundancia del género *Hypoplectrus* es similar en arrecifes emergentes y sumergidos?

Por lo cual, este trabajo propone analizar muestras de organismos procedentes de estos sistemas arrecifales utilizando un marcador molecular (Citocromo Oxidasa Subunidad I COI), apoyado por un análisis de características morfológicas; para precisar su riqueza, de igual forma se pretende aportar información sobre la abundancia y hábitat.

II. ANTECEDENTES

Los estudios realizados en el Golfo de México indican la presencia de 1,541 especies de peces (McEachran, 2009), de las cuales 449 pertenecen a la familia Serranidae.

Este género *Hypoplectrus* está clasificado dentro de esta familia y fue referido por Gill en 1861, donde la especie *H. unicolor* Walbaum, 1792 fue la primera en ser descrita. Posteriormente en los años 60's, Bohlke y Chaplin (1968) y Randall (1968) distinguieron un total de seis y ocho especies respectivamente, sin considerar los patrones de coloración. Poco después Robinset *et al.* (1980; 1986) y Graves y Roseblatt (1980) mencionaron que no había especies verdaderas como tal, es decir, que los grupos representantes de este género solo eran variaciones de *H. unicolor* e incluyeron todos los morfotipos dentro de esa misma especie.

Dentro de este contexto, desde hace más de 30 años, la determinación, clasificación y validez de las especies que integran el género *Hypoplectrus* ha sido controversial, debido a la incertidumbre que plantea la gran variedad de patrones de coloración existente, lo que ha llevado a considerar hasta 16 especies con base en variaciones en la coloración (Puebla *et al.*, 2007; Holt *et al.*, 2010; Lobel, 2011; Tavera y Acero, 2013).

Por su parte, Victor (2016) refiere que el género *Hypoplectrus* es un ejemplo de fenovariantes, analizó un set de 13 morfoespecies que comparten secuencias de DNA mitocondrial frecuentemente híbridas.

Considerando lo anterior, se han sugerido tres hipótesis:

- 1) La presencia de varios morfos que han evolucionado a través del mimetismo agresivo, donde el patrón de coloración se asemeja a la de una especie no depredadora o agresiva (e.g. *Chaetodon capistratus*) con el fin poder de acercarse a su presa fácilmente (Randall y Randall 1960; De la Trilladora 1978; Puebla *et al.*, 2007).
- 2) Debido a una reciente diversificación de las especies de este género, y a que pueden ocurrir hasta siete morfotipos diferentes en un mismo arrecife dentro del cual comparten el mismo microhabitat, se sugiere la presencia de un proceso de hibridación dentro del grupo (Randall, 1968; Serviss, 1982; Chevalier y González-Sansón, 2005; Puebla *et al.*, 2007); tal sospecha, condujo a Domeier (1994) a mantener en cautiverio organismos de distintas especies, para constatar que se reproducían con un morfotipo de coloración parecida, obteniendo como resultado una segunda generación, sin embargo, reconocer a los híbridos en campo es muy difícil.
- 3) Dentro del género *Hypoplectrus* existe un proceso de especiación en curso y es por ello que en los últimos años se han registrado seis nuevas especies: *H. maya* Lobel, 2011, *H. randallorum* Lobel, 2011, *H. castroaguirrei* Del Moral-Flores *et*

al., 2011, *H. ecosur* Victor, 2012, *H. floridae* Victor, 2012 e *H. atlahua* Tavera y Acero, 2013.

La reciente designación de nuevas especies del género *Hypoplectrus* catalogadas como endémicas en el estado de Veracruz y la presencia de una gran variación en los patrones de coloración, ha generado incertidumbre respecto a la diversidad taxonómica en dicho género. Esto a su vez, ha conducido a plantear la necesidad de usar diferentes métodos para la determinación de las especies, siendo el primero el análisis de características morfométricas, el cual permite comparar los caracteres morfológicos en proporción a cada variable con relación a la longitud estándar (*e.g.* Del Moral-Flores *et al.*, 2011; Tavera y Acero, 2013); y en segundo lugar, la utilización de análisis genéticos (*e.g.* Victor, 2012).

En cuanto a la distribución de peces arrecifales, Escobar-Briones (2004) menciona que la variación de especies de peces coralinas, se relaciona con las características del hábitat, ya sea por su estructura, la cobertura coralina del arrecife, tipo de alimentación o por factores fisicoquímicos, entre los cuales se destaca el grado de turbidez del agua. Este último factor es relevante para la diversidad, abundancia y distribución de muchas especies de peces coralinos (Amesbury, 1981; Fabricius *et al.*, 2005; Mallela *et al.*, 2007), en donde a mayor turbidez, existe una menor abundancia y diversidad de especies en un sistema coralino (Bejarano y Appeldoorn, 2013).

La riqueza de especies para el género *Hypoplectrus* en los sistemas costeros de Veracruz, se conoce a partir de listados taxonómicos, donde se han estimado la presencia de ocho especies para los arrecifes coralinos del PNSAV, de las cuales *H. castroaguirrei* se considera endémica para estos sistemas arrecifales (Martínez-Hernández y Camacho-Olivares, 2007 y Del Moral-Flores *et al.*, 2013), mientras que, para el SALT, González-Gándara (2003; 2010), De la Cruz (2006), Bautista (2008), González-Gándara *et al.* (2012; 2013) y Argüelles-Jiménez *et al.* (2013) indican la presencia de solo tres entidades distintas (*H. nigricans* (Poey, 1852), *H. puella* (Cuvier, 1828) e *H. unicolor* (Walbaum, 1792)); las cuales se registran para el arrecife Tuxpan, mientras que en el arrecife Pantepec solo se menciona a *H. puella* (Cortes-Useche *et al.*, 2015).

Es importante mencionar que, el único trabajo enfocado al género para los arrecifes del norte de Veracruz es el realizado por Tavera y Acero (2013) en donde se describe por primera vez a *Hypoplectrus atlahua* con base en un análisis molecular utilizando el gen mitocondrial Citocromo Oxidasa I.

Por tal motivo, en el presente trabajo se hará una revisión que permita definir con precisión el número de especies del género *Hypoplectrus* en los arrecifes de la zona costera del norte de Veracruz, con base en análisis genéticos y morfológicos e incluyendo notas sobre su abundancia y características del hábitat en dos sistemas

arrecifales, el arrecife Tuxpan de tipo emergente y el arrecife Pantepec de tipo no emergente.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Caracterizar genéticamente a los representantes del género *Hypoplectrus* presentes en dos arrecifes de la zona costera del norte de Veracruz, apoyado por una evaluación morfológica, así mismo generar información sobre la abundancia y riqueza del género en cada arrecife y notas del hábitat.

3.2 Objetivos particulares

- Determinar los organismos del género *Hypoplectrus* procedentes de los arrecifes Tuxpan y Pantepec, por medio de características morfológicas.
- Caracterizar genéticamente a los miembros del género *Hypoplectrus* procedentes de los arrecifes Tuxpan y Pantepec mediante el marcador molecular COI.
- Determinar la abundancia del género *Hypoplectrus* en los arrecifes Tuxpan y Pantepec.
- Describir el hábitat de cada especie determinada.
- Elaborar una diagnosis de cada especie.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

En el suroeste del Golfo de México se encuentra ubicado el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), localizado al norte del estado de Veracruz entre los paralelos: 20°45' y 21°35' N, y entre los meridianos: 96°55' y 97°20' W (González-Gándara, 2010; CONANP, 2014; Cortés-Useche, 2014).

Este sistema está constituido por seis arrecifes de tipo plataforma emergente: Blanquilla, Medio, Lobos, Tanhuijo, Enmedio y Tuxpan (Tunnell *et al.*, 2007; de la Cruz-Francisco, 2013), y en donde también se ha reportado la presencia de arrecifes tipo no emergente como el Blake y Pantepec (Martos, 2007; 2010; González-Cobos, 2010; DOF, 2014) (Figura 1).

El arrecife Tuxpan se ubica frente al municipio de Tuxpan, Ver., a 12.34 kilómetros de la desembocadura del río que lleva el mismo nombre, entre los paralelos 20°59'37" y 21°00'19" N, y entre los meridianos 97°11'16" y 97°12'03" W, se considera un arrecife de tipo plataforma emergente con 1,500 m de largo y 800 m de ancho (Martos, 2004), la estructura arrecifal se desarrolla a partir de los 3m de profundidad hasta los 27 m (CONANP, 2014). Este arrecife presenta una cobertura coralina promedio del 64% (Calle-Triviño, 2014).

El arrecife Pantepec es de tipo plataforma no emergente, ubicado a 11.5 kilómetros frente a la desembocadura del río Tuxpan, con coordenadas 21°02'43" N y 97°14'34"

W. Es una estructura coralina con una superficie de 80 hectáreas, localizada desde los 15 m de profundidad hasta los 25 m (Gonzales-Cobos, 2010), con una cobertura coralina promedio de 22% (Maruri, 2012; CONANP, 2014).

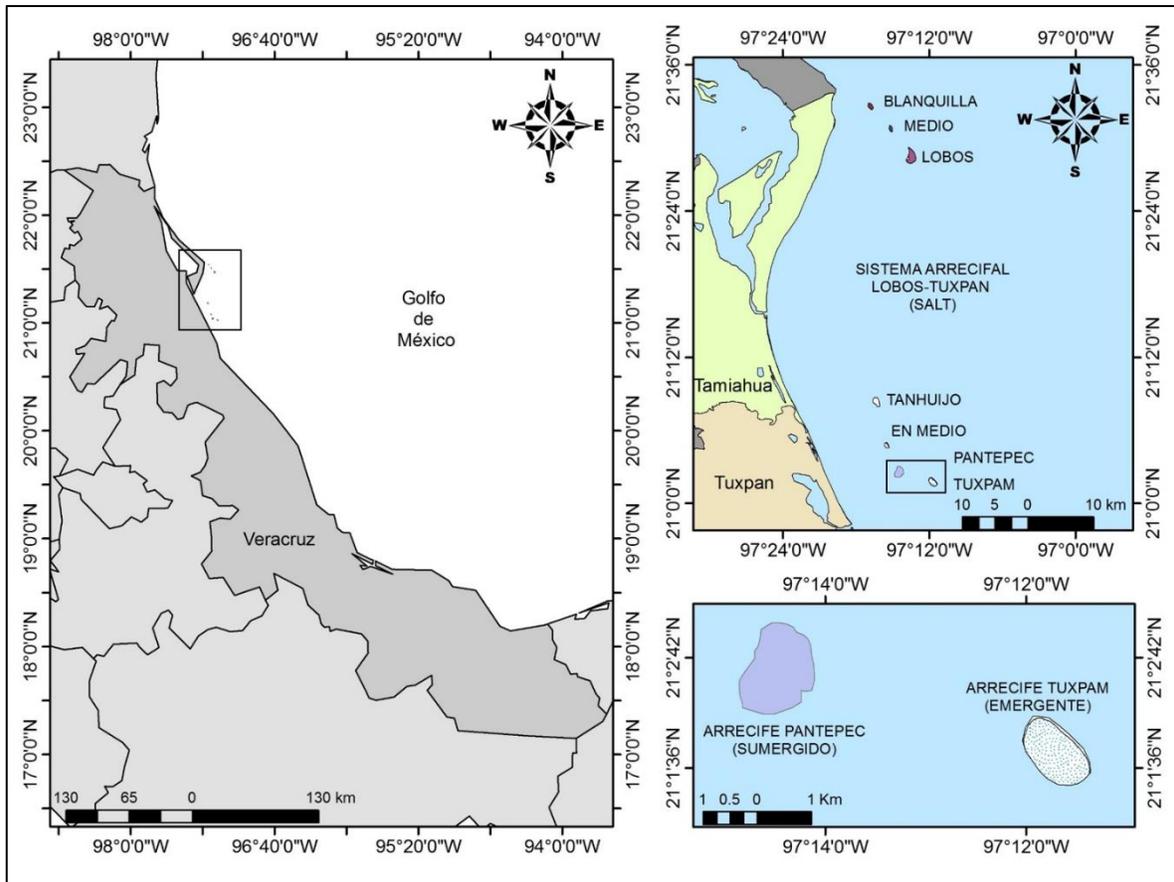


Figura 1. Localización del arrecife Tuxpan y arrecife Pantepec en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Toma de muestras

Para cumplir con los objetivos de la presente investigación, se revisaron 38 especímenes adultos que forman parte de la colección científica VER-PEC-202-03-08 de la Facultad de Ciencia Biológicas y Agropecuarias, Campus Poza Rica-Tuxpan de la Universidad Veracruzana, de los cuales, 26 fueron extraídos de los arrecifes Tuxpan y Pantepec (arrecifes seleccionados por presentar características físicas diferentes).

Los organismos se capturaron con ayuda de un arpón casero hecho con puntas de acero inoxidable de 1m de largo; a una profundidad entre 10 y 30 metros, en diversos arrecifes del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, de mayo de 2012 a mayo del 2013. Todos los organismos fueron fotografiados y posteriormente se fijaron en alcohol al 96% para su preservación e integración a la colección científica anteriormente mencionada.

Determinación taxonómica

Los organismos recolectados se determinaron mediante métodos tradicionales a través de la morfología de cada individuo, para lo cual fueron medidos usando un vernier digital marca AutoTec, con aproximación de 0.01 cm, considerando 25

medidas morfométricas, propuestas por Del Moral-Flores *et al.* (2011) y Tavera y Acero (2012). Dichas medidas fueron: longitud total (LT), longitud estándar (LS), longitud predorsal (LPD), longitud cefálica (LC), longitud del rostro (LR), longitud de la mandíbula superior (LMS), longitud preorbital (LPO), altura máxima del cuerpo (AMC), ancho del cuerpo (AC), longitud de la aleta pectoral (LAP), altura de la aleta caudal (AAC), longitud del pedúnculo caudal (LPC), altura del pedúnculo caudal (AP), longitud de la base de la aleta dorsal (LAD), longitud de la primer espina dorsal (LPED), longitud de la última espina dorsal (LUED), longitud de la parte blanda de la aleta dorsal (LBAD), longitud de la base de la aleta anal (LBAA), longitud de la primer espina de la aleta anal (LPEA), longitud de la segunda espina de la aleta anal (LSEA), longitud de la tercer espina de la aleta anal (LTEA), longitud de la aleta pélvica (LAPv), longitud de la espina pélvica (LEPv), diámetro ocular (DO), distancia preanal (DPA) (Figura 2). De manera adicional se consideró la propuesta de Del Moral (2011) y de Victor (2012) de incluir atributos merísticos como: el número de espinas de la aleta dorsal y el número de radios de la aleta (caudal, pélvica y pectoral).

Estas medidas permitieron la elaboración de una base de datos con el programa Excel 2016, con el cual se estimaron las proporciones de cada variable con respecto a la longitud estándar (LS), utilizando la siguiente formula:

$$\text{variable/LS*100}$$

Donde la variable representa el atributo morfométrico de interés, por ejemplo: altura máxima del cuerpo (AMC)/LS*100.

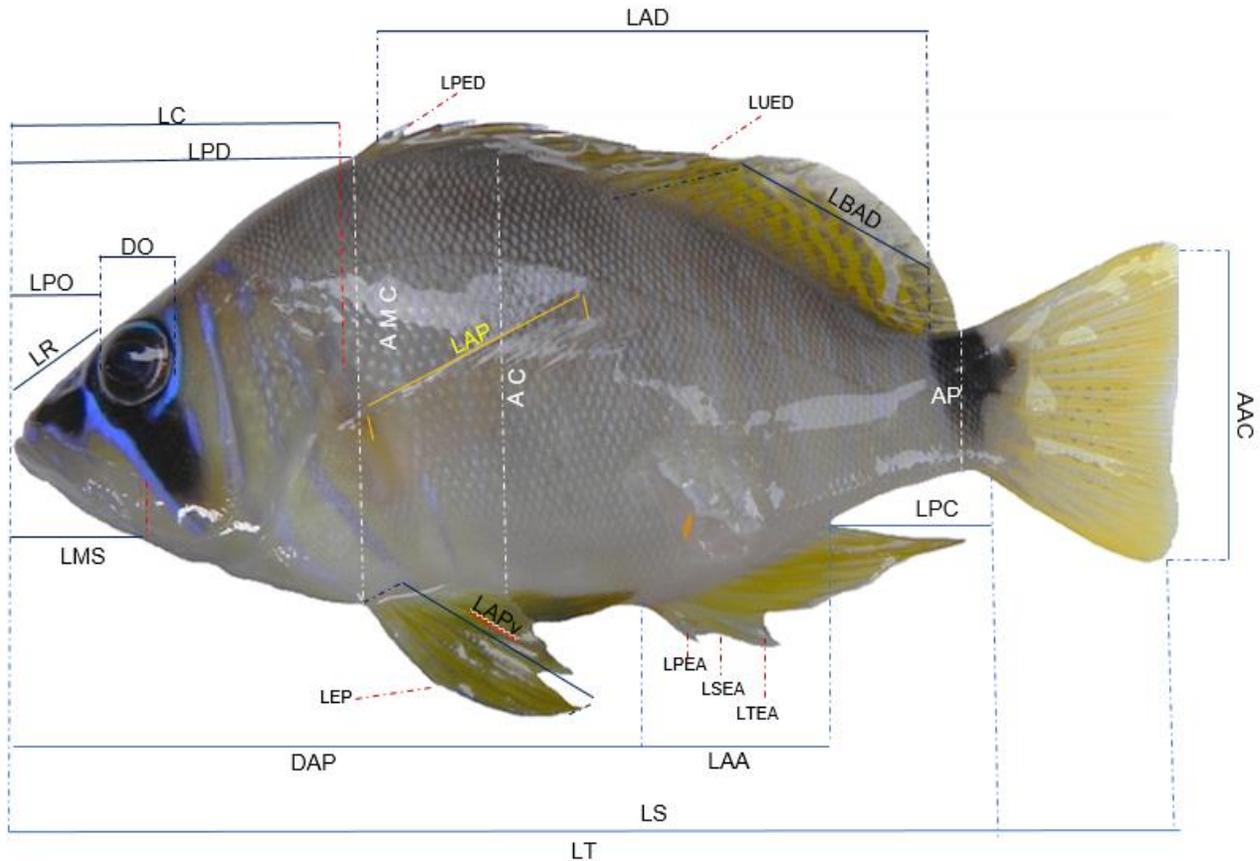


Figura 2.- Esquema del género *Hypoplectrus* en el cual se muestran las medidas morfométricas que se tomaron en cuenta.

La determinación taxonómica también se llevó a cabo con base en los patrones de coloración sugeridos por Del Moral *et al.* (2011), la cual fue elaborada a partir del índice de Domier (1994), también se usó la guía de identificación de Humann y Deloach (2013) y las publicaciones de Carpenter (2002), Aguilar-Perera (2004), Puebla *et al.* (2007), Victor (2012) y Tavera y Acero (2013).

Análisis morfológico

Las proporciones de cada variable se sometieron a un análisis discriminante en el programa estadístico R (R Core Team, 2015), con el fin de seleccionar aquellas variables que fueran significativas para la determinación de las especies.

Análisis genético

Se obtuvieron un total de 13 secuencias parciales del fragmento COI de las cuales cinco corresponden a *H. castroaguirrei*, tres a *H. floridae*, tres a *H. atlahua* y dos a *H. puella*, mismas que fueron determinadas previamente a partir de las características morfológicas.

Para este análisis se utilizaron muestras de un fragmento de tejido muscular obtenido del pedúnculo caudal del lado izquierdo de cada organismo, las muestras de tejido fueron preservadas en alcohol al 95% en tubos “eppendorf” previamente etiquetados con una clave la cual indicaba la procedencia, especie, profundidad y fecha de recolecta. El material biológico se trasladó al Laboratorio de Genética de Organismos Acuáticos, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Autónoma de México (UNAM, D.F.) y al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) del Instituto Politécnico Nacional (La Paz, B.C.S.) en donde se realizó la extracción de ADN.

Extracción de ADN

Para la extracción de ADN realizada en el Laboratorio de Genética de Organismos Acuáticos, se colocó una parte de cada muestra en tubos *ependorf* previamente etiquetados a los cuales se le adicionó una solución de lisis nuclear (500 μ l) y ácido Etilendiaminotetraacético (EDTA) (100 μ l); posteriormente se enfrió el material biológico en hielo y se agregaron 18 μ l de proteinasa K, para después incubar durante 14 horas a 56 °C. Transcurrido el tiempo y una vez desintegrado el tejido, los tubos se centrifugaron a 13,000 rpm durante 10 minutos y el sobrenadante se vertió en nuevos tubos *ependorf* (previamente marcados con la clave correspondiente). En los tubos donde no se presentó una desintegración total del tejido, se les agregaron nuevamente 18 μ l de proteinasa K 3 y se colocaron en la incubadora por dos horas a 56 °C; una vez que todas las muestras estuvieron completamente desintegradas, se colocaron en tubos donde se les adicionaron 3 μ l de RNasa A, y se volvieron a someter a la incubadora (37 °C) durante dos horas.

Una vez concluido el tiempo de incubación se adicionaron 200 μ l de *Protein Precipitation Solution* y se mezclaron durante 20 segundos, posterior a ello se dejaron reposar en hielo por cinco minutos para después centrifugar por cuatro minutos a 13,000 rpm. En nuevos tubos previamente marcados se agregaron 600 μ l de isopropanol, así como el sobrenadante de DNA para después someterlos a centrifugación por un minuto a 13,000 rpm. Posteriormente, cada muestra se decantó dejando el DNA solo para adicionarles 600 μ l de etanol al 70% y se

volvieron a centrifugar por un minuto a 13,000 rpm, al término del cual, decantó el etanol y los tubos se colocaron dentro de una secadora a 20°C por un minuto. Para finalizar la extracción de DNAm se adicionaron 50 µl de DNA *Rehydration Solution* a cada muestra.

En el caso de las muestras llevadas al CICIMAR-IPN, la extracción del ADN se llevó a cabo con un kit comercial (QUIAGEN) siguiendo el protocolo recomendado por los fabricantes.

Amplificación de ADNm

Una vez extraído el ADN total, se procedió a amplificar el marcador COI mediante una reacción en cadena de la polimerasa (PCR) utilizando los primers universales (forward y reverse) FishF1 y FishR1 (Ward *et al.*, 2005). Las amplificaciones de cada muestra se efectuaron a partir de un volumen de 15 µl conteniendo lo siguiente: 1.5 µl PCR Buffer, 0.03 µl dNTP mix, 0.75 µl MgCl, 0.045 µl de cada primer (*forward y reverse*) FhisF1 y FishR1, 0.15 µl de ADN Taq polimerasa y 15 µl de ADN total de cada muestra.

El protocolo general del termociclador (denominado Manta COI) fue el siguiente: desnaturalización inicial a 95°C por 2 min, seguido de 35 ciclos, cada uno a 94°C

por 30 seg, 54°C por 1 min y 72°C por 1 min; y una extensión final a 72°C por 10 min.

Para la visualización de los productos del PCR se utilizaron geles de agarosa al 1% (0.3 g de agar, 30 ml Buffer de carga y 1.5 µl Gel red), los cuales fueron sometidos a electroforesis por 30 minutos (100 V y a 400 mA). En cada casilla del gel se colocaron 3 µl de la mezcla de PCR más 1 µl de Buffer. Para confirmar el tamaño del fragmento esperado se utilizó un marcador molecular (*Ladder*) de tamaño conocido. La visualización de los fragmentos se llevó a cabo mediante luz ultravioleta en un transiluminador, donde se determinó la calidad del ADN obtenido, seleccionándose aquellas muestras amplificadas de manera exitosa para su posterior secuenciación.

Secuenciación

Los fragmentos de DNA obtenidos del PCR fueron enviados al laboratorio High Throughput Sequencing (htSEQ) en Seattle, WA. EUA; en donde se obtuvo la secuencia de cada muestra. También se enviaron amplificaciones al laboratorio Macrogen en Corea, para su secuenciación.

Edición y alineamiento de secuencias

Las secuencias obtenidas fueron revisadas, arregladas y editadas con el programa Geneious R10 (Biomatters, 2016). Posteriormente se realizó un Blast (búsqueda especializada) en bases de datos de secuencias en línea (GenBank y BoldSystem) con el fin de corroborar que la secuencia obtenida perteneciera al grupo objetivo de estudio, así como que el fragmento correspondiera al gen que se pretendía amplificar.

El alineamiento múltiple se llevó a cabo aplicando el algoritmo Muscle (Edgar, 2004) implementado en el programa MEGA® v7 (Kumar *et al.*, 2016).

Distancias genéticas

Las distancias genéticas intra e inter específicas se estimaron con las secuencias parciales del fragmento mitocondrial COI mediante la aplicación del modelo de sustitución nucleotídica Kimura dos parámetros (K2P; K80) (Kimura, 1980). Para eliminar el efecto de la variabilidad intraespecífica se estimó la distancia genética neta, la cual estima la distancia entre dos grupos sin tomar en cuenta la diversidad nucleotídica al interior de cada uno (Tamura *et al.*, 2011). Con base en las distancias genéticas estimadas (K2P), se generaron dendrogramas mediante el método del vecino más cercano o *Neighbour-joining* (NJ) (Saitou y Nei, 1987) con el fin de proporcionar una representación gráfica de la divergencia genética específica. La

robustez de las ramas internas en cada árbol fue soportada por una prueba de remuestreo *Bootstrap* empleando 1,000 réplicas (Felsenstein, 1985). Estos análisis se realizaron con el programa MEGA® v7 (Kumar *et al.*, 2016).

Abundancia del género *Hypoplectrus* en los arrecifes Tuxpan y Pantepec

Para estimar la abundancia de las especies del género *Hypoplectrus* se realizaron 95 censos visuales, contabilizando los individuos sobre transectos de 25 m durante el periodo 2015-2016. Con estos datos, se obtuvo la similitud utilizando el índice de Bray-Curtis, para detectar el grado de semejanza de las comunidades de *Hypoplectrus* de los arrecifes Tuxpan y Pantepec. Estos cálculos fueron efectuados con el programa BioDiversity Pro (Scottish Association for Marine Science, 2017).

Atributos del hábitat

Para obtener los datos de las características del hábitat, se utilizaron las fotografías tomadas en los fototransectos asociados a las estimaciones de abundancia de peces y la base de datos de los proyectos EJO02 y F124 de CONABIO (2012-2013). Los atributos incluyen: estructura coralina y profundidad, así como una descripción general del hábitat.

Elaboración de diagnóstico por especie

Por último, considerando los datos obtenidos para las características morfológicas y el análisis de los mismos, las pruebas genéticas efectuadas y atributos del hábitat, se elaboró una descripción para cada especie.

VI. RESULTADOS

Análisis morfológico

Con base en las características morfométricas (Cuadro 1) y merísticas (Cuadro 2), se determinó la presencia de cuatro especies: *Hypoplectrus floridae* Victor, 2012, *Hypoplectrus atlahua* Tavera y Acero, 2013, *Hypoplectrus castroaguirrei* Del Moral-Flores *et al.*, 2011 e *Hypoplectrus puella* (Cuvier, 1828), de manera general para el SALT y para los arrecifes Tuxpan y Pantepec.

Cabe resaltar que por medio de censos visuales efectuados en el arrecife Tuxpan se registró por primera vez la presencia de *Hypoplectrus gemma* Goode y Bean, 1882 (Figura 3). Sin embargo, no se capturó ningún individuo de esta especie para llevar a cabo análisis genéticos y morfológicos, debido a que solo fue observado un organismo.



Figura 3. *Hypoplectrus gemma* (tomada de FishBase)

El análisis discriminante de las variables morfométricas indicó la separación de cuatro agrupaciones, donde cada conjunto representó a una especie (Figura 4).

Las variables que representan la diferenciación de especies se muestran en el cuadro 3, donde destacan la altura máxima del cuerpo (LD1=-2.6248) y la longitud cefálica (LD1=1.4843).

Cuadro 3. Variables morfológicas con mayor relevancia en la determinación de especies mediante un análisis discriminante, para los 38 individuos del SALT.

Variable	LD1	LD2
Altura máxima del cuerpo	-2.6248	-0.3889
Longitud cefálica	1.4843	0.9414
Longitud de la aleta anal	1.2447	1.4195
Altura del pedúnculo	1.4038	-1.4167
porcentaje de varianza	67.09	20.93
porcentaje de varianza acumulado	67.09	88.02

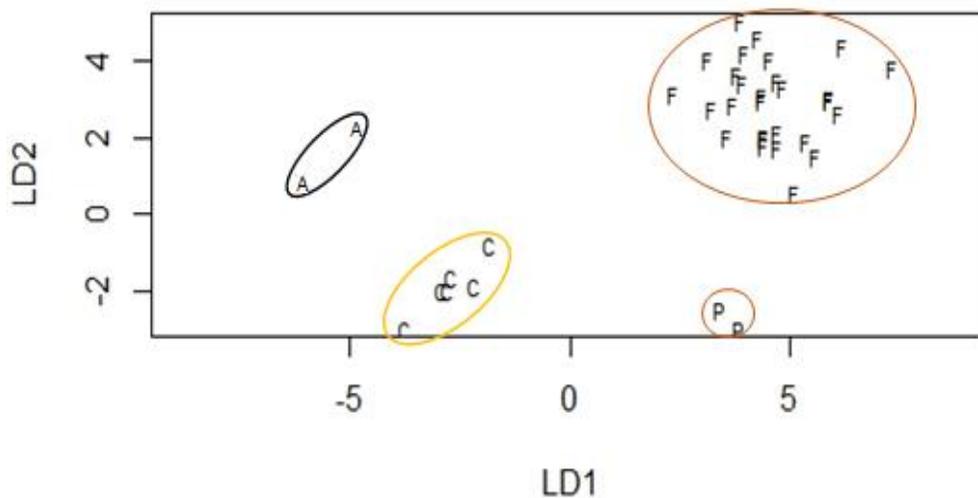


Figura 4. Análisis discriminante de proporciones respecto a la LS para el total de individuos colectados en el SALT. C=*H. castroaguirrei*, F=*H. floridae*, A=*H. atlahua* y P=*H. puella*.

El análisis estadístico para los 26 ejemplares procedentes de los arrecifes Tuxpan y Pantepec, muestra la formación de cuatro grupos bien definidos que corresponden a las especies previamente determinadas (Figura 5) y las variables que mejor definen a las especies se presentan en el cuadro 4, de las cuales destaca la longitud preorbital (LD1=4.9614) y la longitud cefálica (LD1=3.9968).

Cuadro 4. Variables morfológicas con mejor discrepancia para la determinación de especies de *Hypoplectrus* en los arrecifes Tuxpan y Pantepec.

Variable	LD1	LD2
Longitud preorbital	4.9614	0.8327
Longitud cefálica	-3.9968	-1.6842
Longitud de la mandíbula superior	-3.7277	5.1298
Longitud de la tercera espina anal	3.7866	2.7309
porcentaje de varianza	97.70	2.01
porcentaje de varianza acumulado	97.70	99.71

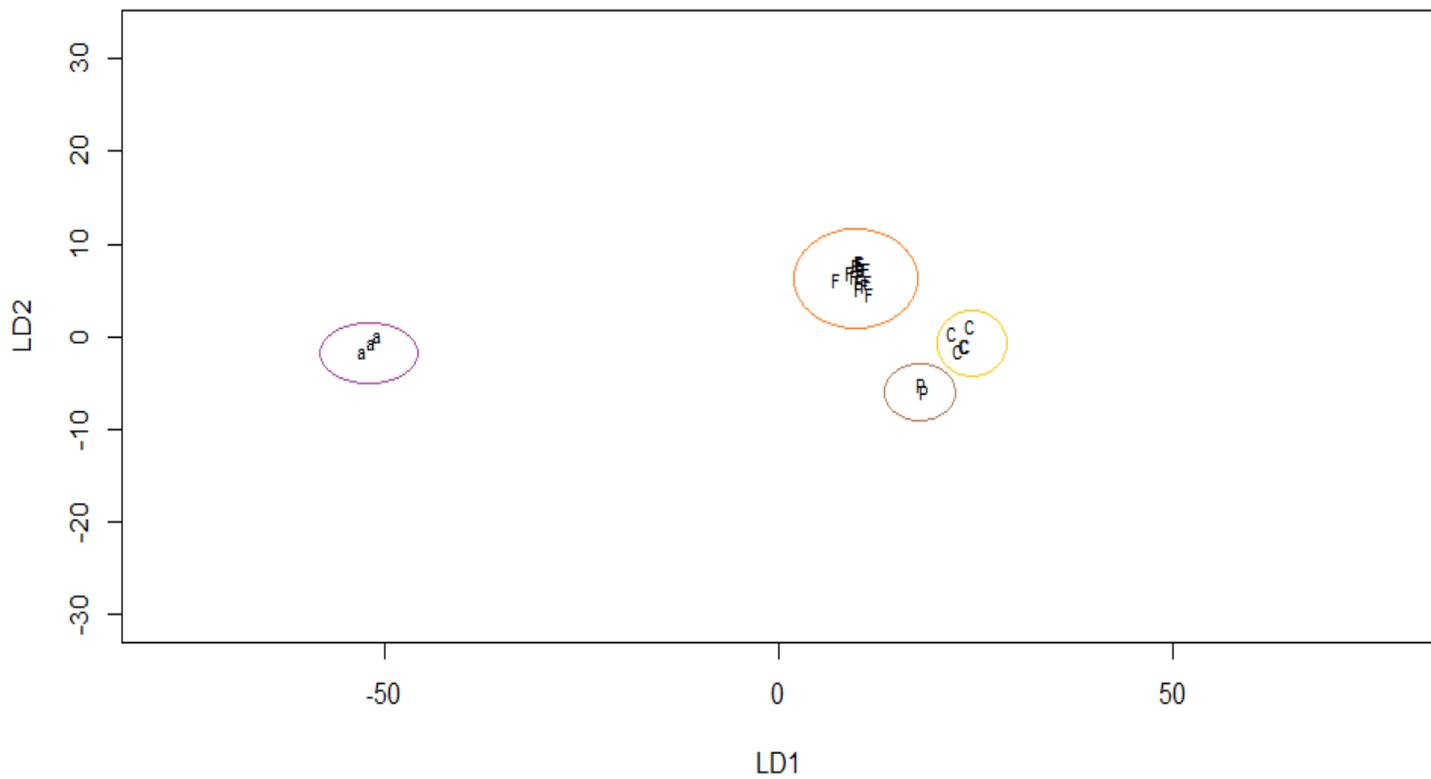


Figura 5.- Análisis discriminante con las proporciones respecto a la LS de cada especie, para los arrecifes Tuxpan y Pantepec; C=*H. castroaguirrei*, F=*H. floridae*, N=*H. atlahua* y P=*H. puella*.

Cuadro 1.- Medidas morfométricas (en mm) de las cuatro especies identificadas del género *Hypoplectrus*, así como la media del porcentaje respecto a la longitud estándar (LS).

MORFOMETRICAS	<i>H. floridae</i>	<i>H. castroaguirrei</i>	<i>H. atlahua</i>	<i>H. puella</i>
	Media y DS (% en base a LS)	Media y DS (% en base a LS)	Media y DS (% en base a LS)	Media y DS (% en base a LS)
Longitud total (LT)	98.58 ± 13.04	103.76 ± 12.81	117.01 ± 4.61	116.73 ± 9.52
Longitud estándar (LS)	79.45 ± 10.99	84.71 ± 10.73	94.68 ± 1.49	95.99 ± 8.47
Longitud predorsal (LPD)	34.43 ± 6.68 (43.21%)	33.84 ± 4.50 (40.11%)	40.40 ± 3.76 (42.64%)	45.17 ± 2.38 (47.13%)
Longitud cefálica (LC)	33.52 ± 5.02 (42.18%)	32.71 ± 3.57 (38.78%)	38.53 ± 2.49(40.68%)	39.72 ± 4.00 (41.35%)
Longitud del rostro (LR)	13.12 ± 3.49 (16.38%)	11.49 ± 1.78 (13.56%)	13.03 ± 0.13 (13.76%)	16.04 ± 2.35 (16.66%)
Longitud de la mandíbula superior (LMS)	15.05 ± 2.01 (18.97%)	14.75 ± 1.88 (17.51%)	17.39 ± 0.56 (18.36%)	16.78 ± 0.56 (17.52%)
Longitud preorbital (LPO)	12.40 ± 3.42 (15.50%)	10.71 ± 0.76 (12.76%)	2.60 ± 0.16 (13.31%)	15.39 ± 4.91 (15.87%)
Altura máxima del cuerpo (AMC)	34.62 ± 5.50 (43.49%)	39.69 ± 6.47 (46.81%)	43.29 ± 1.18 (45.72%)	40.89 ± 3.02 (42.62%)
Ancho del cuerpo (AC)	33.57 ± 5.77 (42.13%)	38.72 ± 8.50 (45.40%)	42.78 ± 2.07 (45.16%)	41.84 ± 5.23 (43.51%)
Longitud de la aleta pectoral (LAP)	24.99 ± 3.50 (31.53%)	27.59 ± 4.53 (32.53%)	30.23 ± 1.87 (31.92%)	29.87 ± 2.65 (31.12%)
Altura de la aleta caudal (AAC)	13.40 ± 7.70 (16.46%)	13.84 ± 3.84 (16.26%)	21.79 ± 15.56 (22.88%)	26.69 ± 9.46 (27.48%)
Longitud del pedúnculo caudal (LPC)	14.69 ± 2.39 (18.49%)	15.60 ± 0.88 (18.64%)	14.87 ± 1.49 (15.71%)	17.33 ± 1.84 (18.04%)
Altura del pedúnculo caudal (AP)	10.05 ± 1.51 (12.65%)	11.46 ± 1.39 (13.56%)	12.20 ± 0.89 (12.88%)	12.30 ± 0.42 (12.84%)
Longitud de la base de la aleta dorsal (LAD)	42.67 ± 5.40 (53.88%)	49.62 ± 7.05 (58.66%)	54.43 ± 0.40 (57.49%)	48.29 ± 3.49 (50.34%)
Longitud de la primera espina dorsal (LPED)	4.78 ± 1.26 (6.09%)	5.18 ± 1.11 (6.10%)	6.40 ± 0.67 (6.76%)	5.39 ± 0.24 (5.64%)
Longitud de la última espina dorsal (LUED)	11.27 ± 2.02 (14.18%)	12.16 ± 1.86 (14.35%)	13.25 ± 3.06 (13.96%)	13.89 ± 0.12 (14.51%)
Longitud de la parte blanda de la aleta dorsal (LBAD)	20.21 ± 3.33 (25.40%)	23.75 ± 4.00 (28.03%)	29.36 ± 0.21 (25.73%)	23.89 ± 1.64 (24.90%)
Longitud de la base de la aleta anal (LAA)	14.67 ± 1.87 (18.50%)	16.41 ± 2.57 (19.42%)	17.73 ± 0.18 (18.72%)	16.38 ± 0.16 (17.13%)
Longitud de la primera espina de la aleta anal (LPEA)	5.18 ± 1.06 (6.62%)	5.44 ± 1.34 (6.41%)	5.28 ± 0.17 (5.57%)	5.33 ± 0.15 (5.57%)
Longitud de la segunda espina de la aleta anal (LSEA)	10.18 ± 1.33 (12.87%)	10.85 ± 1.47 (12.84%)	11.62 ± 0.48 (12.26%)	10.30 ± 0.40 (10.79%)

Continuación del cuadro 1.

MORFOMETRICAS	<i>H. floridae</i>	<i>H. castroaguirrei</i>	<i>H. atlahua</i>	<i>H. puella</i>
	Media y DS (% en base a LS)	Media y DS (% en base a LS)	Media y DS (% en base a LS)	Media y DS (% en base a LS)
Longitud de la tercera espina de la aleta anal (LTEA)	11.50 ± 1.52 (14.52%)	11.52 ± 1.11 (13.69%)	13.00 ± 0.65 (13.72%)	12.16 ± 0.58 (12.69%)
Longitud de la aleta pélvica (LAPv)	19.19 ± 2.92 (24.22%)	22.23 ± 3.96 (26.22%)	22.96 ± 0.72 (24.24%)	22.92 ± 0.57 (23.94%)
Longitud de la espina pélvica (LEPv)	12.01 ± 1.35 (15.22%)	12.63 ± 1.74 (14.97%)	13.22 ± 0.55 (13.95%)	12.78 ± 0.48 (13.38%)
Diámetro ocular (DO)	8.35 ± 0.87 (10.58%)	8.39 ± 0.82 (9.96%)	9.7 ± 0.63 (10.25%)	9.11 ± 1.21 (9.46%)
Distancia preanal (DPA)	51.44 ± 8.23 (64.67%)	52.33 ± 8.08 (61.74%)	58.73 ± 2.71 (62.01%)	61.08 ± 12.14 (63.32%)

Cuadro 2. Características merísticas de cada especie.

MERISTICAS	<i>H. floridae</i>	<i>H. castroaguirrei</i>	<i>H. atlahua</i>	<i>H. puella</i>
Numero de espinas de la aleta dorsal	10	10	10	10
Numero de radios de la aleta dorsal	14	15	14	13
Numero de radios de la aleta caudal	16-18	17-18	17	18
Numero de radios de la aleta pélvica	5	5	5	5
Numero de radios de la aleta pectoral	13	14	13	13
#de branquiespinas del primer arco	16-19	17-18	15	17
# de escamas en la línea lateral	52	55	55	50

Análisis genético

Se obtuvieron un total de 13 secuencia parciales de un fragmento del marcador molecular COI de las especies de *Hypoplectrus*, cuya longitud fue de 673 pares de bases (pb), de los cuales 641 sitios fueron conservados y 32 variables.

La distancia genética intra-específica más alta se observó en *H. castroaguirrei* (COI= 1.9%) y la más baja en *H. puella* (COI=0.15%); mientras que la mayor distancia inter-específica obtenida a partir de COI se presentó entre las especies *H. castroaguirrei* e *H. puella* (1.4%), mientras que para *H. atlahua*, *H. puella* y *H. floridae* fue de 0.000%. Así mismo, para el género *Hypoplectrus* del norte de Veracruz, la distancia genética corregida promedio es de 1.5 %.

El dendrograma generado a partir del método de NJ para el COI permitió distinguir la presencia de tres grupos (Figura 6), uno de ellos representando a la especie *H. castroaguirrei*, otro grupo el cual incluía un ejemplar determinado como *H. floridae* y otro de *H. atlahua*, y un tercer grupo representado por organismos de *H. floridae*, *H. atlahua* y un ejemplar previamente determinado como *H. castroaguirrei* procedente del arrecife Tuxpan.

Estos grupos contrastan con los resultados obtenidos con los criterios morfológicos y el análisis discriminante, los cuales indican la presencia de cuatro grupos morfológicos diferentes.

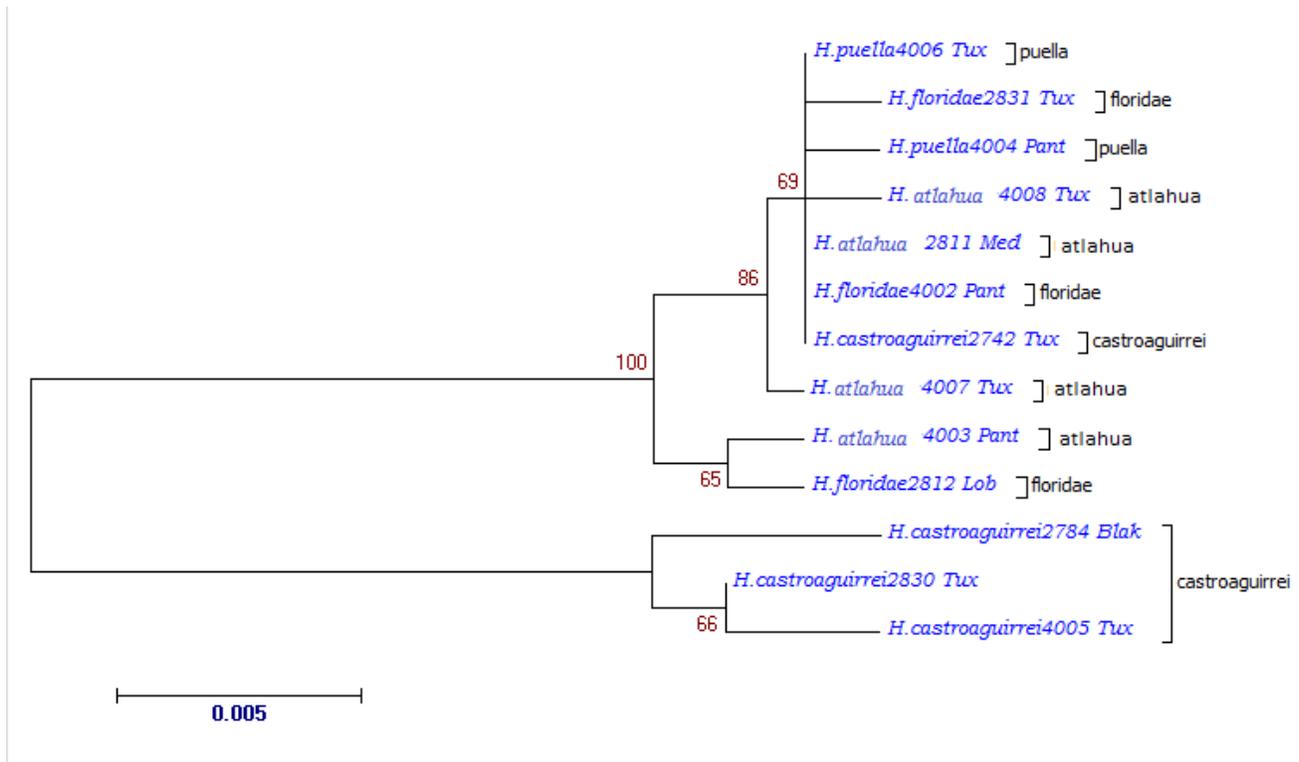


Figura 6. Dendrograma obtenido a partir del método Neighbor-Joining utilizando secuencias parciales de COI de las especies del género *Hypoplectrus*. El número debajo de la rama indica el valor bootstrap >50% obtenido de la prueba de remuestreo de 1,000 repeticiones. La escala está dada acorde al índice de la distancia genética de Kimura dos parámetros.

Abundancia del género *Hypoplectrus*

Se censaron un total de 65 individuos para el arrecife Tuxpan y 61 individuos para el arrecife Pantepec, donde *H. floridae* fue la especie más abundante representando el 48% para el arrecife Tuxpan y el 39% para Pantepec. Las especies menos

abundantes fueron: *H. atlahua* (26%) en el arrecife Pantepec y *H. castroaguirrei* en el arrecife Tuxpan (12%). Cabe destacar que la especie *H. castroaguirrei* no fue registrada en el arrecife Pantepec (Figura 7). La similitud entre estos dos arrecifes fue de 79.36 % de acuerdo al índice de Bray-Curtis.

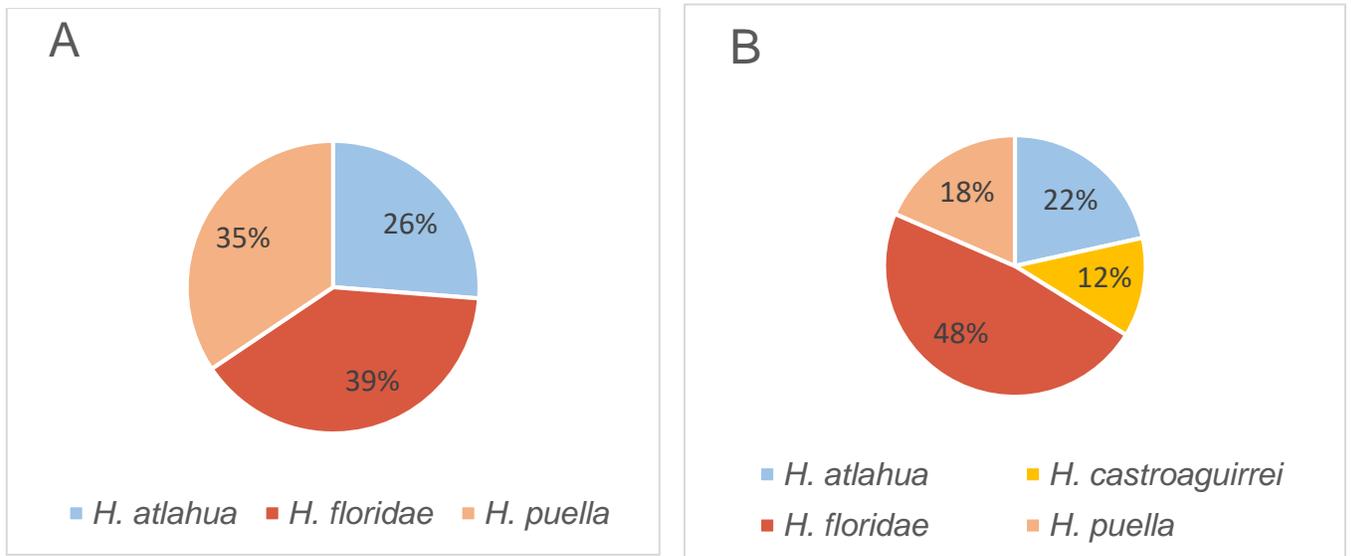


Figura 7. Abundancia relativa de las especies del género *Hypoplectrus* en los arrecifes Pantepec (A) y Tuxpan (B).

Atributos del hábitat

Las especies del género *Hypoplectrus* fueron observadas cerca del fondo arrecifal en profundidades que van desde los 10 m hasta los 27 m en zonas con alta cobertura coralina. A menudo, se les pueden observar merodeando cerca de cuevas formadas por las irregularidades propias de las estructuras coralinas; las cuales aprovechan como medio de resguardo, por lo cual, casi no se les observa nadando libremente lejos de estas estructuras. Por lo general, suelen encontrarse individuos

solitarios, sin embargo, durante los censos visuales realizados se llegó a observar la presencia de dos morfos distintos dentro de la misma área coralina como, por ejemplo: *H. floridae* y *H. puella*, especies que se les observo compartiendo hábitat, en algunos de los censos.

Diagnosís por especie

Hypoplectrus floridae Victor, 2012.

Descripción: Cuerpo oblongo, comprimido lateralmente con la cabeza comprimida y el perfil anterior inclinado, con una altura máxima 38.9%-45.9% LS y ancho del cuerpo 36.8%-44.1% LS, longitud cefálica 39.3%-47.6% LS con un diámetro ocular 9.4%-13% LS, longitud del rostro 13.3%-24.7% LS, longitud de la mandíbula superior 17.4%-21.5% LS, longitud preorbital 11.6%-22.6% LS y una longitud predorsal 37.6%-54% LS. Presenta dientes caninos pequeños en ambas mandíbulas así como dientes viliformes en los palatinos y el vómer, de 16-19 branquiespinas en el tercer arco branquial, línea lateral continúa con 52 escamas, así como una aleta dorsal continua 48.5%-61.9% LS compuesta por diez espinas, donde la longitud de la primer espina esta entre 1.2%-12.9% LS y la última espina dorsal 10.3%-16.6% LS, mientras que la longitud de la parte blanda de la aleta dorsal 20.7%-28.8% LS compuesta por 14 radios, longitud de la aleta pectoral 26.6%-36% LS conformada por 13 radios, la longitud del pedúnculo caudal entre 15%.21.6% LS, altura del pedúnculo caudal 11.3%-13.8% LS y una altura de la aleta caudal 10.4%-19% LS con 16-18 radios, la aletas anales redondeadas compuestas

por tres espinas donde la longitud de la primer espina de la aleta anal 5.3%-16.2% LS, longitud de la segunda espina de la aleta anal 9.9%-15% LS y longitud de la tercer espina de la aleta anal 12.8%-16.3% LS, con una distancia preanal 59.7%-71% LS; las aletas pélvicas presentan cinco radios y una espina donde la longitud de la aleta pélvica es 16%-27.7% LS y la longitud de la espina pélvica 13.6%-18% LS (Figura 8).

Coloración vivo: Los individuos de esta especie presentan un color amarillo pálido a marrón con líneas de color azul iridiscente en el rostro y contorno de las aletas, a los costados tiene cinco barras de color más oscuro, donde la tercera barra después de la amplia barra de en medio se encuentra truncada, otra marcar distintiva son un par de manchas redondeadas cerca de la aleta caudal, las cuales se encuentran presentes en organismos jóvenes como adultos.

Coloración en preservación: En organismos preservados el color azul iridiscente del rostro y las aletas suele perderse, al igual que el color marrón el cual se vuelve más tenue, sin embargo, las marcas del costado y las manchas de la aleta anal distintivas de la especie persisten.

Hábitat: Los especímenes identificados como *H. floridae* suelen ser individuos solitarios, asociados a zonas coralinas y de roca coralina, son percibidos frecuentemente en la parte de sotavento del arrecife a profundidades que oscilan entre los 5 m y 27 m.

Secuencia: la secuencia obtenida a partir de la amplificación del gen mitocondrial COI obtenido a partir de ejemplares paratipo consta de 674 pares de bases (pb) de

los cuales 669 pb son sitios conservadas, 5 pb sitios variables. Se presenta la secuencia del ejemplar Ver-Pec 02812:

CATTCACGTAGTAGGCCGGGAAAGGGCGACGACGTAGTTCGAAGGGATCA

AAGAAAGTAGTATTCAGGTTTCGGTCTGTAAGCAGCATAGTAATTCCAGC

AGCAAGGACTGGAAGAGAAAGAAGAAGTAGAACCGCTGTAATTAGGACGG

CTCAAACAAGAGAGGAGTTTGATATTGGGAGATAGCAGGAGGTTTCATA

TTAATGATTGTAGTAATAAAGTTGATTGCCCAAGGATAGAGGATACACC

TGCTAGATGAAGTGAGAAAATTGTTAAGTCAACTGAAGCCCCAGCATGTG

CTAAGTTTCCGGCTAGTGGAGGATAAACAGTTCAACCCGTCCCAGCTCCT

GCTTCTACCCCTGATGAGGCCAGAAGGAGAAGGAAGGAAGGAGGAAGAAG

TCAAAGCTCATATTGTTTCATACGAGGAAATGCCATGTCGGGCGCACCAA

TCATTAAGGAATGAGTCAGTTGCCGAAGCCTCCAATCATAATTGGCATG

ACTATGAAGAAAATTATTACGAAGGCGTGTGCTGTAACAATTACATTATA

AATCTGGTCGTCTCCTAAAAGAGCTCCGGGTTGACTCAACTCGGCCCGAA

TTAAGAGGCTAAGGGCGGTACCCACTATTCCAGCTCATGCACCAAATACT

AAATAGAGGGTGCCGATATCTTAGAATTTTATCCCAAAAAAAAAATTGGTT

AAGTTGGGTTTTTGAATGATTTGCCAGGAAAGGTGGTTTACAAAAAAG

GGTATGCTAAGAGAAGTTAAATAGATGGCAGGTGAGTCGGATCTACAAGG

GGGGTGGGGCTTTAGGCTTAGATTGAGCAAAGCCAACAACCTTCTTTTTT

TTCTG



Figura 8. Individuo identificado como *H. floridae* (tomada por Vicencio de la Cruz).

Hypoplectrus castroaguirrei Del Moral-Flores *et al.* 2011.

Descripción: Cuerpo oblongo, comprimido lateralmente, con la cabeza comprimida y el perfil anterior inclinado, con una altura máxima 42.6%-50.1% LS y ancho del cuerpo 35.2%-50.6% LS, longitud cefálica 36.9%-40.3% LS con un diámetro ocular 9.5%-10.6% LS, longitud del rostro 12.8%-14.1% LS, longitud de la mandíbula superior 14.7%-18.6% LS, longitud preorbital 11.1%-13.8% LS y una longitud predorsal 35.9%-44.1% LS. Presenta dientes caninos pequeños en ambas mandíbulas así como dientes viliformes en los palatinos y el vómer, de 17-18 branquiespinas en el tercer arco branquial, línea lateral continúa con 55 escamas, así como una aleta dorsal continua 56.7%-62% LS compuesta por diez espinas donde la longitud de la primer espina dorsal es de 4.4%-6.7% LS y longitud de la última espina dorsal 12.9%-15% LS, mientras que para la longitud de la base de la parte blanda de la aleta dorsal 26.6%-31.2% LS compuesta por 15 radios; las aletas pectorales conformadas por 14 radios tienen una longitud 30.2%-34.3% LS, longitud del pedúnculo caudal 17.1%-20.6% LS, altura del pedúnculo caudal 13.4%-14% LS y una altura de la aleta caudal 14%-16.4% LS con 17-18 radios, las aletas anales 18.9%-22% LS redondeadas compuestas por tres espinas donde la longitud de la primer espina de la aleta anal 5.4%-8.6% LS, la segunda espina de la aleta anal 12%-13.7% LS y la tercer espina de la aleta anal 12.3%-14.4% LS, con una distancia preanal 58.3%-64.8% LS, las aletas pélvicas presentan cinco radios y una espina donde la longitud de la aleta pélvica es 23%-29.1%LS y la longitud de la espina pélvica 14.2%-17.5% LS (Figura 9).

Coloración vivo: Los individuos identificados como *H. castroaguirrei* presentan un amarillo pálido tornándose de un color más oscuro hacia la parte dorsal; en el rostro presentan una mancha negra que va desde el hocico hasta por debajo del ojo contorneada por líneas azules iridiscentes, las cuales se logran observar en el contorno de las aletas que lucen un color amarillo brillante. Al igual que la maca negra del rostro característica de la especie también se es visible una mancha negra a manera de silla de montar en el pedúnculo caudal presente también en la adultez.

Coloración en preservación: A diferencia de los individuos de la especie *H. floridae* estos organismos mantienen su color amarillo en todo el cuerpo y las aletas, sin embargo, las líneas azules iridiscentes se vuelven más tenues mientras que la marca negra del rostro y del pedúnculo caudal se mantienen.

Hábitat: Los individuos capturados en este trabajo, así como los organismos registrados en censos visuales, fueron observados en sotavento en zonas coralinas y roca coralina a profundidades entre 10m y 27m. se les considera organismos de hábitos solitarios.

Secuencia: la secuencia obtenida a partir de la amplificación del gen mitocondrial COI obtenido a partir de ejemplares paratipo consta de 673 pares de bases (pb) de los cuales 647 pb son sitios conservadas, 26 pb sitios variables. Se presenta aquí la secuencia del ejemplar ver-pec-2830:

```
TATCGGCACCCTCTATTTAGTATTTGGTGCATGAGCTGGAATAGTAGGTACCG
CCCTTAGCCTCTTAATTCGGGCCGAGTTGAGTCAACCCGGAGCTCTTTTAGGA
GACGACCAGATTTATAATGTAATTGTTACAGCACACGCCTTCGTAATAATTTTC
TTCATAGTCATGCCAATTATGATTGGGGGCTTCGGCAACTGACTCATTTCCTTT
```

AATGATTGGTGC GCCTGATATGGCATTTCCTCGTATAAACAACATGAGCTTTT
GACTTCTTCCCCCTTCCTTCCTTCTCCTTCTGGCCTCATCAGGGGTAGAAGCA
GGAGCTGGGACGGGTTGAACTGTTTACCCTCCACTAGCCGGAACTTAGCAC
ATGCTGGGGCTTCAGTTGACTTAACAATTTTCTCACTTCATCTAGCAGGTGTAT
CCTCTATCCTTGGGGCAATCAACTTTATTACCACAATTATTAACATGAAGCCTC
CTGCTATCTCCCAATATCAGACTCCTCTCTTTGTCTGAGCCGTCCTAATTACAG
CGGTTCTACTTCTTCTTTCTCTTCCAGTCCTTGCTGCTGGTATTACTATACTAC
TCACAGACCGAAACCTGAATACTACTTTCTTTGATCCTGCTGGAGGAGGAGAT
CCCATTCTTTACCAACATCTATTCTGATTCTTC



Figura 9. Individuo identificado con *H. castroaguirrei* (tomada por Vicencio de la Cruz).

Hypoplectrus atlahua Tavera y Acero, 2013

Descripción: Cuerpo elíptico, y estrecho lateralmente, la cabeza comprimida y el perfil anterior inclinado, con una altura máxima del cuerpo 45.3% LS y ancho del cuerpo 44.1% LS, longitud cefálica 39.2% LS con un diámetro ocular 10.8% LS, longitud del rostro 14% LS, longitud de la mandíbula superior 18.1% LS, longitud preorbital 13.3% LS y una longitud predorsal 40.3% LS. Presenta dientes caninos pequeños en ambas mandíbulas, así como dientes viliformes en los palatinos y el vómer, de 15 branquiespinas en el tercer arco branquial, línea lateral continúa con 55 escamas, así como una aleta dorsal continua 58.4% LS compuesta por diez espinas donde la longitud de la primer espina dorsal es de 7.3% LS y longitud de la última espina dorsal 11.8% LS, mientras que para la longitud de la base de la parte blanda de la aleta dorsal 25.8% LS compuesta por 14 radios; las aletas pectorales conformadas por 13 radios tienen una longitud 30.8% LS, longitud del pedúnculo caudal 17% LS, altura del pedúnculo caudal 12.3% LS y una altura de la aleta caudal 11.5% LS con 17 radios, las aletas anales 19% LS redondeadas compuestas por tres espinas donde la longitud de la primer espina de la aleta anal 5.7% LS, la segunda espina de la aleta anal 12% LS y la tercer espina de la aleta anal 13.3% LS, con una distancia preanal 60.6% LS, las aletas pélvicas presentan cinco radios y una espina donde la longitud de la aleta pélvica es 23.9% LS y la longitud de la espina pélvica 13.7% LS (Figura 10).

Coloración vivo: A diferencia de las demás especies pertenecientes al género *Hypoplectrus* del Golfo de México, los individuos de esta especie presentan una coloración oscura, donde las barras laterales no suelen ser muy visibles, sin

embargo, las líneas azules iridiscentes del rostro y contorno de las aletas se aprecian claramente. Los individuos de esta especie se caracterizan por presentar una marca a manera de punto de color azul iridiscente muy visible, en la porción cefálica a un costado de la hendidura branquial.

Coloración en preservación: Los dos individuos determinados para esta especie presentaron una coloración oscura en todo el cuerpo, donde las marcas laterales no fueron muy visibles ni las líneas azules iridiscentes perceptibles y el punto azul característico de la especie se pierde.

Hábitat: permanecer cercanos a zonas coralinas, llegándose a encontrar hasta los 20m de profundidad.

Secuencia: la secuencia obtenida a partir de la amplificación del gen mitocondrial COI obtenido a partir de ejemplares paratipo consta de 673 pares de bases (pb) de los cuales 668 pb son sitios conservadas, 5 pb sitios variables. Se presenta aquí la secuencia del ejemplar ver-pec-2811:

```
TCAGCTATCTCGAGTCTTCTCGTCGTTAAGTAGATATGGGTACCGCCCTT
AGCCTCTTAATTCGGGCCGAGTTGAGTCAACCCGGAGCTCTTTTAGGAGA
CGACCAGATTTATAATGTAATTGTTACAGCACACGCCTTCGTAATAATTT
TCTTCATAGTCATGCCAATTATGATTGGAGGCTTCGGCAACTGACTCATT
CCTTTAATGATTGGTGCGCCCGACATGGCATTTCCTCGTATAACAATAT
GAGCTTTTGACTTCTTCCTCCTTCCTTCCTTCTCCTTCTGGCCTCATCAG
GGGTAGAAGCAGGAGCTGGGACGGGTTGAACTGTTTATCCTCCACTAGCC
GGAACTTAGCACATGCTGGGGCTTCAGTTGACTTAACAATTTTCTCACT
```

TCATCTAGCAGGTGTATCCTCTATCCTTGGGGCAATCAACTTCATTA
CAATCATTAAATATGAAACCTCCTGCTATCTCCCAATATCAAACCTCCTCTC
TTTGTTTGAGCCGTCCTAATTACAGCGGTTCTACTTCTTCTTTCTCTTCC
AGTCCTTGCTGCTGGAATTACTATGCTACTTACAGACCGAAACCTGAATA
CTACTTTCTTTGACCCTGCTGGGGGAGGAGATCCCATTCTTTACCAACAT
CTATTCTGATTCTTCGGTCCCCCTGAAGTGGAAGCAGGAAGAGCGAGGAA
GGGGAAGAAAAGGGAGGTGGGCGCAGGAAGGTGGGGCCCCGGGGGGGGCGC
GGGGGGGGGGCGGGGGGGAGCGGCGCGCGGGGGGGCCGAGCCGCACTA



Figura 10. *Hypoplectrus atlahua*

Hypoplectrus puella (Cuvier, 1828)

Descripción: Cuerpo más alargado a diferencia de sus congéneres, y estrecho lateralmente, la cabeza comprimida y el perfil anterior inclinado, con una altura máxima del cuerpo 42.62% LS y ancho del cuerpo 43.51% LS, longitud cefálica 41.35% LS con un diámetro ocular 9.46% LS, longitud del rostro 16.66% LS, longitud de la mandíbula superior 17.52% LS, longitud preorbital 15.87% LS y una longitud predorsal 47.13% LS. Presenta dientes caninos pequeños en ambas mandíbulas, así como dientes viliformes en los palatinos y el vómer, de 15 branquiespinas en el tercer arco branquial, línea lateral continúa con 50 escamas, así como una aleta dorsal continua 50.34% LS compuesta por diez espinas donde la longitud de la primer espina dorsal es de 5.64% LS y longitud de la última espina dorsal 14.51% LS, mientras que para la longitud de la base de la parte blanda de la aleta dorsal 24.90% LS compuesta por 13 radios; las aletas pectorales conformadas por 13 radios tienen una longitud 31.12% LS, longitud del pedúnculo caudal 18.04% LS, altura del pedúnculo caudal 12.84% LS y una altura de la aleta caudal 27.48% LS con 18 radios, las aletas anales 17.13% LS redondeadas compuestas por tres espinas donde la longitud de la primer espina de la aleta anal 5.57% LS, la segunda espina de la aleta anal 10.79% LS y la tercer espina de la aleta anal 12.69% LS, con una distancia preanal 63.32% LS, las aletas pélvicas presentan cinco radios y una espina donde la longitud de la aleta pélvica es 23.94% LS y la longitud de la espina pélvica 13.38% LS (Figura 11).

Coloración vivo: Los individuos presentan una coloración café o marrón oscuro con marcas a los costados lo cual lo hace semejante a *H. floridae* sin embargo,

estos organismos se caracterizan por no presentan las marcas circulares en la aleta caudal, de igual manera presenta líneas azules iridiscentes en el rostro y aletas pectorales.

Coloración en preservación: Los organismos al ser fijados se vuelven de un café oscuro, pero las marcas laterales en forma de barra siguen presentes, mientras que las líneas iridiscentes del rostro se vuelven oscuras y sin brillo.

Hábitat: Permanecen cercanos a zonas coralinas, en las cuevas de los corales y se observan en profundidades que oscilan entre los 15m y 20m de profundidad.

Secuencia: la secuencia obtenida a partir de la amplificación del gen mitocondrial COI obtenido a partir de ejemplares paratipo consta de 673 pares de bases (pb) de los cuales 672 pb son sitios conservadas, 1 pb sitios variables. Se presenta aquí la secuencia del ejemplar ver-pec-4006:

```
TCCATGCACTCGGTGCGGAGATCTAGTTTATGCATAGAATGGGTACCGCC
CTTAGCCTCTTAATTCGGGCCGAGTTGAGTCAACCCGGAGCTCTTTTAGG
AGACGACCAGATTTATAATGTAATTGTTACAGCACACGCCTTCGTAATAA
TTTTCTTCATAGTCATGCCAATTATGATTGGAGGCTTCGGCAACTGACTC
ATTCCTTTAATGATTGGTGCGCCCGACATGGCATTTCCTCGTATAAACAA
TATGAGCTTTTGACTTCTTCCTCCTTCCTTCCTTCTCCTTCTGGCCTCAT
CAGGGGTAGAAGCAGGAGCTGGGACGGGTTGAACTGTTTATCCTCCACTA
GCCGGAACTTAGCACATGCTGGGGCTTCAGTTGACTTAACAATTTTCTC
ACTTCATCTAGCAGGTGTATCCTCTATCCTTGGGGCAATCAACTTCATTA
CTACAATCATTAAATATGAAACCTCCTGCTATCTCCCAATATCAAACCTCCT
```

CTCTTTGTTTGAGCCGTCCTAATTACAGCGGTTCTACTTCTTCTTTCTCT
TCCAGTCCTTGCTGCTGGAATTACTATGCTACTTACAGACCGAAACCTGA
ATACTACTTTCTTTGACCCTGCTGGGGGAGGAGATCCCATTCTTTACCAA
CATCTATTCTGATTCTTCTCCCCCCCCGAAATAAAAAGCGAGGAGGAAAAA
ACGAACGGAGACCCTGAAAAGGGGTAAACAAAAAAGGGGAGGCAATAAAA
AGGATGCGACAAGAAGAGGTAAAAAAAACAGGATAGTAAGGAGGAAGCC
TAGTCCACCGAGACGTATACTGCGGGGGGCG



Figura 11. *Hypoplectrus puella* (tomada de divepix)

VII. DISCUSIÓN

El censo visual en arrecifes coralinos es una de las herramientas más utilizada para el estudio de la biodiversidad de peces desde la aparición del buceo autónomo, argumentando que poseen atributos morfológicos y de coloración que permiten distinguirlos de una manera relativamente sencilla (Rogers, 2001). Sin embargo, algunas especies presentan cierta complejidad debido a la gran variedad fenotípica, tal es el caso del género *Hypoplectrus* (Puebla *et al.*, 2007; Del Moral-Flores *et al.*, 2011; Holt *et al.*, 2011). Esto conlleva a que la identificación de las especies *in situ* sea complicada.

Sin embargo, especies del género como *H. ecosur* e *H. gemma* pueden ser determinadas en su hábitat debido a sus características físicas como la coloración y marcas, son muy específicas y dentro del grupo ninguna de las especies que lo conforman presentan dichas características (Aguilar-Perera y Tuz-Sulub, 2010; Victor, 2012).

Con esta investigación se confirma la presencia de cinco especies en los arrecifes que conforman el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, con base en las características morfológicas: *H. atlahua*, *H. puella*, *H. floridae*, *H. castroaguirrei* e *H. gemma*. De éstas, *H. castroaguirrei* se creía endémica de los arrecifes coralinos del sur de Veracruz (Del Moral-Flores *et al.*, 2011), así como *H. gemma* de los arrecifes del sur

de Florida (Aguilar-Perera y Tuz-Sulub, 2010); estos cambios en la distribución de estas especies pudieran estar relacionados con la conectividad ecológica que se presenta entre los arrecifes coralinos del Golfo de México (Chávez-Hidalgo, 2009; González-Gándara, 2014).

Estos resultados difirieron de trabajos como el de González-Gándara (2003; 2010), De la Cruz (2006), Bautista (2008), González-Gándara *et al.* (2012; 2013) y Argüelles-Jiménez *et al.* (2013), quienes reportaban para los arrecifes de la zona costera del norte de Veracruz la presencia de tres especies de *Hypoplectrus*: *H. puella*, *H. unicolor* e *H. nigricans*.

En el caso del presente trabajo, y de acuerdo con los análisis morfológicos realizados, se descarta la presencia de *H. unicolor* e *H. nigricans* para estos arrecifes; la confusión sobre la presencia o ausencia de especies pudiera deberse a la falta de conocimiento de las mismas para la zona norte de Veracruz y al problema de diferenciación *in situ* por medio de censos visuales.

La utilización de caracteres morfológicos se considera como la principal herramienta para la determinación de diversos organismos, por lo que diversos autores como Aguilar-Perera (2004), Del Moral *et al.* (2011), Tavera y Acero (2012) y Victor (2012), han tomado en cuenta las medidas morfométricas (proporción respecto a la LS) y

merísticas como una técnica relativamente practica y eficaz para poder determinar las especies fuera de su hábitat; cabe destacar que respecto a este trabajo de investigación esta herramienta metodológica resulto tener mayor relevancia para poder diferenciar a las especies de *Hypoplectrus*, de una manera más rápida.

En este sentido, este trabajo presentó un análisis discriminante, el cual permitió conocer aquellas variables de mayor relevancia para la identificación de especies del género *Hypoplectrus*, las cuales fueron: la longitud preorbital (LD1=4.9614), longitud cefálica (LD1=-3.9968), longitud de la mandíbula superior (LD2=5.1298) y la longitud de la tercera espina anal (LD1=3.7866).

Con estos datos fue posible realizar la identificación de estas especies *ex situ*, y con ello este trabajo representa un avance para diferenciar a las especies del género *Hypoplectrus*, siendo la base para la generación de una futura clave dicotómica para el género con la cual se facilitaría más su identificación.

Anteriormente, no se había realizado un análisis con el cual se pudiera observar la discrepancia entre las especies de este género con base en un análisis estadístico. Con base en este análisis que se corrobora la presencia de cuatro especies: *H. puella*, *H. castroaguirrei*, *H. atlahua* e *H. florida*, para los arrecifes del norte de Veracruz utilizando las variables morfológicas con relación a la longitud estándar.

El análisis genético permitió deducir una divergencia reciente para los organismos que se distribuyen en los sistemas arrecifales del norte de Veracruz del género *Hypoplectrus*, debido a que las distancias genéticas interespecíficas fueron menores que lo reportado por Victor (2012), quien considera que un 3% es apto para la determinación de especies por medio del COI.

Considerando lo anterior, nos lleva a pensar en un proceso de introgresión genética derivada de un proceso de especiación reciente, y probablemente, como mencionan Randall (1968), Chevalier y Gonzalez-Sansón (2005) y Puebla *et al.* (2007), concordando con Ramon *et al.* (2003) quien presume que dentro del grupo se esté llevando el proceso de hibridación lo que dificulta conocer la historia genética de las especies del género, por lo que, por primera vez, se presume que tal fenómeno se presenta en los arrecifes del norte de Veracruz.

Dado que las especies de *Hypoplectrus* no presentaron una marcada diferenciación genética y los contrastes observados en sus características externas, los resultados conducen a presumir que se está dando un proceso de diversificación genética reciente, como menciona Ramon *et al.* (2003), Victor (2012) y Tavera y Acero (2013). Esto mismo se ha observado en otros grupos de peces como en la familia Clupeidae el cual presenta cierto tipo de polimorfismo por el cual han recurrido a análisis genéticos con ADNmt utilizando Citocromo Oxidasa I (COI) y Citocromo b (Cytb) (Leyva, 2003).

Sin embargo, con la determinación mediante atributos físicos fue posible diferenciar las especies del género *Hypoplectrus*; contrario a lo que sucede en otros géneros y familias de peces que han presentado incertidumbre taxonómica, como es el caso del género *Astyanax* (Ruiz *et al.*, 2011), donde a través de análisis genéticos de este tipo se ha contribuido al esclarecimiento y validez de especies. Aunque dentro de ámbito científico existen casos donde han implementado el uso de ambas técnicas con buenos resultados como el de Martínez-Guevara *et al.* (2015) donde se demostró con análisis moleculares empleando diferentes marcadores y análisis morfológicos, que dos especies de gerreidos eran sinónimos y que deberían de ser considerados como tal, por lo cual este tipo de trabajos presentan las bases para estudios posteriores con *Hypoplectrus*.

La discrepancia observada entre lo genético y lo fenético se puede relacionar con una evolución reciente como lo señalan Ramon *et al.*, 2003 y Tavera y Acero (2013), por lo cual el tiempo necesario para la separación de linajes es insuficiente, por lo cual la caracterización morfológica es una buena opción para la determinación de las especies de este género. Lo anterior, observados en la forma de agrupación de los ejemplares en el dendrograma a partir del método Neighbor-Joining, con lo cual se puede apreciar que, para los individuos procedentes del norte de Veracruz, la diferencia genética aun no es muy clara, y que el tipo de marcador molecular utilizado no profundiza el grado de divergencia del grupo.

En cuanto a la distribución, las especies de este grupo se suelen encontrarse a profundidades que van desde los 10 m hasta los 27 m en zonas con alta cobertura coralina, debido a que suelen refugiarse en las formaciones irregulares de estas estructuras. Donde, la especie con mayor número de individuos es *H. floridae* en ambos arrecifes, sin embargo, la diferencia entre los arrecifes Tuxpan y Pantepec es más clara en la riqueza de las especies puesto que el arrecife Tuxpan se registra la presencia de cinco especies, lo cual puede relacionarse con la cobertura coralina que es mayor en este sistema, particularmente por la presencia de *H. castroaguirrei* y *H. gemma*, cuya coloración es más llamativa en comparación con *H. atlahua*, *H. floridae* y *H. puella*. La mayor turbidez del arrecife Pantepec, comparada con el Tuxpan, parece ser el efecto de la cercanía a la desembocadura del río Tuxpan, lo cual pudiera estar relacionado con la presencia y abundancia de las especies del género *Hypoplectrus*. De esta forma, las especies de peces más coloridas están más relacionadas a aguas claras y las oscuras con ambientes turbios (Bejarano y Appeldoorn, 2013).

Dado que, ambos arrecifes presentan características diferentes como: profundidad, porcentaje coralino y turbidez, se observó una marcada diferencia de la elección de hábitat por parte de las especies, debido a que aquellas especies con coloración más llamativa como *H. castroaguirrei* y *H. gemma* solo fueron vistas en el arrecife Tuxpan de tipo emergente, donde la profundidad es menor y de aguas más claras, por lo tanto, con abundante cobertura coralina; concordando con lo anteriormente mencionado por Bejarano y Appeldoorn (2013)

La forma tradicional de identificación con base en características morfológicas, resulta mejor para la diferenciación de especies de *Hypoplectrus*, a diferencia de la aplicación de un análisis basado en un marcador molecular de tipo mitocondrial como el Citocromo Oxidasa Subunidad I (COI), que no resulta muy eficaz para observar la separación de las especies genéticamente, debido a que es un grupo con una historia evolutiva compleja y con una gran posibilidad de hibridación dentro de él; por lo que se recomienda la utilización de otros marcadores de tipo mitocondrial una tasa de evolución más rápida como CYTB o el uso de microsatélites que permitan obtener información materna y paterna de los ejemplares y así desarrollar nuevos estudios que permitan confirmar si existe hibridación dentro del género en los arrecifes del norte de Veracruz y sobre todo esclarecer la taxonomía filogenética del grupo.

VIII. CONCLUSIONES

Con el presente trabajo se aportan los primeros conocimientos para el género al norte de Veracruz en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan.

Se dan a conocer las especies que se distribuyen en la zona, con base a sus características morfológicas, donde la riqueza específica consta de cinco especies: *H. gemma*, *H. castroaguirrei*, *H. atlahua*, *H. puella* y *H. floridae*, de las cuales las últimas tres son nuevo registro para el arrecife Pachtepec.

Se concluye que para obtener resultados precisos en la clasificación taxonómica de las especies de *Hypoplectrus*, es necesario realizar mayores esfuerzos a nivel genético, utilizando marcadores de tipo nuclear que contribuyan al conocimiento del género molecularmente.

En cuanto a la abundancia de las especies de *Hypoplectrus*, es evidente que *H. floridae* (39% Pantepec y 48% Tuxpan), fue la especie más abundante, la cual se distribuye tanto en el arrecife enemergente como en el no emergido.

Así mismo, es importante señalar que con la presente investigación se aporta lo siguiente:

- ❖ Se obtiene por primera vez la secuencia genética de *Hypoplectrus castroaguirrei* (Del Moral-Flores *et al.*, 2011).
- ❖ El alto porcentaje obtenido a través del análisis discriminante sugiere que este modelo puede ser replicable con un mayor número de individuos y especies de *Hypoplectrus*.
- ❖ Las variables morfológicas que mejor resultan para la determinación de las especies del género son: longitud cefálica, longitud preorbital, longitud de la mandíbula superior, altura máxima del cuerpo, longitud de la aleta anal y altura del pedúnculo.
- ❖ La diversidad de especies de *Hypoplectrus* fue diferente para un arrecife emergente y uno no emergente, como posible resultado de la turbidez del agua.
- ❖ Las especies *H. castroaguirrei* e *H. gemma* sólo se reportaron para el arrecife Tuxpan y por primera vez para el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan.
- ❖ La especie más abundante en ambos arrecifes fue *H. floridae* siendo a su vez nuevo registro para los arrecifes del SALT.

IX. APLICACIÓN PRÁCTICA

Si bien el estudio de peces arrecifales a nivel general es de gran importancia, el estudio del género *Hypoplectrus* llama la atención por el presunto proceso evolutivo reciente de especiación que presenta y que ha sido señalado por diversos autores, como Puebla *et al.* (2007), Holt *et al.* (2010), Lobel (2011), Del Moral-Flores *et al.* (2011) y Tavera y Acero (2013) anudado por la dificultad en la determinación taxonómica de las especies que lo conforman por medio de las características morfológicas.

Por lo cual, la aplicación práctica del trabajo reside en generar información a partir de análisis genéticos y morfológicos de las especies del género *Hypoplectrus* procedentes del norte de Veracruz, con el fin de conocer su diversidad, ya que es de suma importancia saber cuáles y cuantas son las especies que componen la comunidad arrecifal, para de esta manera obtener una mejor caracterización del área de estudio a nivel biológico.

Debido a que el género *Hypoplectrus* se distribuye dentro del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, el cual está categorizado como un área natural protegida (ANP), es importante que se consideren planes de manejo para la conservación y protección de estas especies, por las características evolutivas propias del grupo; los arrecifes de la zona norte de Veracruz pueden ser un buen laboratorio para valorar el

aparente proceso de especiación reciente, así como la generación de nuevas investigaciones de dicho género, ya que aún falta un largo camino que recorrer en cuanto a investigación ecológica, biológica y genética del grupo.

Por ello resulta esencial definir la diversidad taxonómica del género para que, a partir de esto, se genere información veraz de las especies de *Hypoplectrus* y así ampliar el conocimiento en las comunidades ícticas que se distribuyen en estas zonas arrecifales.

X. BIBLIOGRAFIA

- Abarca-Arenas, L. G., N. Cruz, J. Franco-López, C. González-Gándara y G. Silva-López. 2012. Distribution and biogeographical notes of the coastal fish fauna of Veracruz, México. *In: Frontiers in Biodiversity Studies*. (ed). I. K. International Publishing House. Nueva Delí. India. pp. 190-212.
- Acero, P. y J. Garzón-Ferreira. 1994. Descripción de una especie nueva de *Hypoplectrus* (Pisces: Serranidae) del Caribe Oriental y comentarios sobre las especies colombianas del género. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras*. 23:5-14.
- Aguilar-Perera, A. 2003. Abundance and distribution of hamlets (Teleostei: Hypoplectrus) in coral reefs off southwestern Puerto Rico: Support for the multispecies hypothesis. *Caribbean Journal of Science* 39: 147-151.
- Aguilar-Perera, A. 2004. Variations in Morphology and Coloration in the Black Hamlet, *Hypoplectrus nigricans* (Teleostei: Serranidae). *Caribbean Journal of Science*. 40(1): 150-154.
- Aguilar-Perera, A. y C. González-Salas. 2010. Distribution of the genus *Hypoplectrus* (Teleostei: Serranidae) in the Greater Caribbean Region: support for a color-based speciation. *Marine Ecology*. 31(2): 375-387.
- Aguilar-Perera, A. y A. N. Tuz-Sulub. 2010. *Hypoplectrus gemma* (Teleostei, Serranidae) is not endemic to southern Florida waters. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. 5(1): 143-146.
- Amesbury, S.S. 1981. Effects of turbidity on shallow-water reef fish assemblages in Truk, Eastern Caroline Islands. *Proceedings of the Fourth International Coral Reef Symposium, Manilla*. 1: 155–159.
- Argüelles-Jiménez, J., C. González-Gándara y J. E. Arias-González. 2013. Biodiversidad y funcionamiento de los arrecifes del SALT, México. *Académica Española*. 91 p.
- Bautista, C. T. 2008. Contribución al conocimiento de los peces del arrecife de Enmedio, Veracruz. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Calle-Triviño, J. 2014. Implementación de un protocolo de monitoreo en sitios permanentes en el arrecife de Tuxpan, Veracruz. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México. 108p.
- Chávez-Hidalgo, A. 2009. Conectividad de los arrecifes coralinos del Golfo de México y el Caribe Mexicano. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. La Paz, Baja California Sur. 167p.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2014. Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. CONANP, México. 177p.
- Cortes, C.A. 2014. Herramienta para incluir tres arrecifes no emergentes en el área de protección de fauna y flora-Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan. Tesis de

- Maestría, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México. 140p.
- Cruz, A. 2017. La comunidad de Equinoideos (Echinoidea: Echinodermata) del arrecife Tuxpan y su relación con los atributos del sustrato. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México. 76p.
 - De la Cruz, V. 2013. Estructura de las comunidades macrobentónicas y nectónicas asociadas a los sustratos rocosos coralinos del arrecife Lobos, Veracruz. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México. 97p.
 - De la Cruz, M. D. 2006. Catálogo de peces arrecifales del Norte de Veracruz: parte 1. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
 - Del Moral-Flores, L. F., J. L. Tello-Musi y J. A. Martínez-Pérez. 2011. Descripción de una nueva especie del género *Hypoplectrus* (Actinopterygii: Serranidae) del Sistema Arrecifal Veracruzano, suroeste del Golfo de México. *Revista de Zoología*. 22: 1-10.
 - Del Moral-Flores, L. F., J. L. Tello-Musi, H. Reyes-Bonilla, H. Pérez-España, J. A. Martínez-Pérez, G. Horta-Puga, L. A. Velazco-Mendoza y P. A. Álvarez del Castillo-Cárdenas. 2013. Lista sistemática y afinidades zoogeográficas de la ictiofauna del Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 84: 825-846.
 - Domeier, M. L. 1994. Speciation in the serranidae fish *Hypoplectrus*. *Bulletin of Marine Science* 54: 103-141.
 - Espinosa-Pérez. 2014. Biodiversidad de peces en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85:450-459.
 - Fabricius, K., G. De'ath, L.J. McCook, E. Turak, y D. M. Williams. 2005. Changes in algal, coral and fish assemblages along water quality gradients on inshore Great Barrier Reef. *Marine Pollution Bulletin*. 51: 384–398.
 - FAO, 2002. The living marine resources of the western central Atlantic. Bony fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae). *FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists*. 5(2):601-1374.
 - Ferguson, M. y Danzmann, R. 1998. Role of genetic markers in fisheries and aquaculture: useful tools or stamp collecting?. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55:1553-1563 pp
 - Gonzalez-Cobos, J.M. 2010. Localización y caracterización de los arrecifes no emergentes en la costa de Tuxpan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México.
 - González-Gándara, C. 2003. Ictiofauna de los arrecifes coralinos del norte de Veracruz. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 74:163-177.
 - González-Gándara, C. 2010. Peces asociados a los arrecifes coralinos del norte de Veracruz, informe final SNIB-CONABIO proyecto No. EJ002. CDMX, México. 65 pp.

- González-Gándara, C., V. De la Cruz-Francisco, J. de J. Salas-Pérez y C. Domínguez-Barradas. 2012. Lista de Peces de Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*. 12(3): 675-689.
- González-Gándara, C., M. L. Lozano-Vilano, V. De la Cruz-Francisco y C. Domínguez-Barradas. 2013. Peces del sistema arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz, México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*. 28(2): 1-18.
- González-Gándara, C. 2014. Peces del arrecife Blake, Veracruz, México: inventario, distribución y afinidades zoogeográficas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 2(4):87-97.
- Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Freshwater Research*. 50: 839-866.
- Holt, B. G., I. M. Côté y B. C. Emerson. 2011. Signatures of speciation? Distribution and diversity of *Hypoplectrus* (Teleostei: Serranidae) colour morphotypes. *Global Ecology and Biogeography*. 19: 432-441.
- Humann, P. y N. Deloach. 2013. Reef fish identification. Ed. New world publications. Florida, USA. 551pp.
- Jiménez-Hernández, M. A., A. Granados-Barba y L. Ortiz-Lozano. 2007. Análisis de la Información Científica en el Sistema Arrecifal Veracruzano. *In: Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México. pp. 1-15.
- Juárez-Sarvide, J., D. Goeritz-Rodríguez, V. D. Murrieta-Martínez, J. M. Sánchez-Juárez, M. C. González-Rivera, A. M. Álvarez-Ríos, M. Osorio-Rivas, H. A. Barrientos-Escamilla y H. Kamio. 1991. Propuesta Parque Marino Nacional "Chalchicueye". Estación de Investigación Oceanográfica Veracruz. 129 pp.
- Lara-Domínguez, A. L., J. Franco, C. Bedia, L. G. Abarca, S. Díaz, A. Aguirre, C. González-Gándara y M. Castillo-Rivera. 2011. Diversidad de peces en los ambientes costeros y plataforma continental. *In: La biodiversidad en Veracruz estudio de estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. pp. 505-516.
- Lobel, P. S. 2011. A review of the Caribbean hamlets (Serranidae, *Hypoplectrus*) with description of two new species. *Zootaxa*. 3096: 1-17.
- López-Gómez, M.J. y A. Aguilar-Perera. 2010. Diversidad de peces marinos en la costa norte de la Península de Yucatán, México. *Bioagrobiocencias*. 3(2): 3-7.
- Mallela, J., C. Roberts, C. Harrod y C.R. Goldspink. 2007. Distributional patterns and community structure of Caribbean coral reef fishes within a river-impacted bay. *Journal of Fish Biology*. 70:523-537.
- Martínez-Hernández, J. A. y B. Camacho-Olivares. 2007. Íctiofauna del Arrecife Artificial "Ex- Cañonero C-50, General Vicente Riva Palacio" en el Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *In: Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche. Campeche, México. pp. 209-219.
- Navarro, M. C. 2000. Variación anual de la distribución y abundancia de larvas de peces de las familias Serranidae, Haemulidae, Sciaenidae y Carangidae (Perciformes: Actinopterygii) de la plataforma continental de Jalisco y Colima.

Tesis de Maestría, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnista, Universidad de Colima. Colima, Colima, México. 101p.

- Ortiz-Lozano, L., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A. Gutiérrez-Velázquez y J. Martos. 2013. The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean and Coastal Management*. 86: 22-32.
- Puebla, O., E. Bermingham, F. Guichard y E. Whiteman. 2007. Colour pattern as a single trait driving speciation in *Hypoplectrus* coral reef fishes? *Proceedings Biological Sciences*. 274 (1615): 1265-1271.
- Rogers, C. 2001. Manual para el monitoreo de arrecifes de coral en el Caribe y el Atlántico Occidental. Servicio de Parques Nacionales. USA. 119 pp.
- Schmitter-Soto, J. J., L. Vásquez-Yeomans, A. Aguilar-Perera, C. Curiel-Mondragón y J. A. Caballero-Vázquez. 2000. Lista de peces marinos del Caribe mexicano. *Anales del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México*. 71(2): 143-177.
- SEMARNAT y CONANP. 2012. Logros 2012. Primera edición. México. 254 pp.
- Tavera, J. y P. A. Acero. 2013. Description of a New Species of *Hypoplectrus* (Perciformes: Serranidae) from the Southern Gulf of Mexico. *International Journal of Ichthyology*. 19(1):29-38.
- Tunnell Jr. J. W., E. A. Chávez y K. Withers. 2007. Coral Reefs of the Southern Gulf of the México. Ed. Texas A & M Univ. Press, Texas. 194 pp.
- Tunnell, J. W. 2010. Distribución de los arrecifes. *In: Arrecifes Coralinos del sur Del Golfo de México*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional. México. pp. 17-29.
- Vargas-Hernández, J. M. y M. A. Román-Vives. 2002. Corales pétreos de Veracruz, México. Guía de Identificación. Acuario de Veracruz, A.C., México. 63 pp.
- Victor, B. C. 2012. *Hypoplectrus floridae* n. sp. and *Hypoplectrus ecosur* n. sp., two new Barred Hamlets from the Gulf of Mexico (Pisces: Serranidae): more than 3% different in COI mtDNA sequence from the Caribbean *Hypoplectrus* species flock. *Journal of the Ocean Science Foundation*. 5:1-1.
- Victor, B.C. 2015. How many coral reef fish species are there? Cryptic diversity and the new molecular taxonomy. *In: Ecology of fishes on coral reefs*. Cambridge University Press. pp. 76-87.

