

## Densidad, biomasa y estructura de tallas del pez león en el arrecife Tuxpan, Veracruz

## Density, biomass, and size structure of lionfish in the Tuxpan reef, Veracruz

Carlos González-Gándara<sup>1\*</sup>

Recibido: 30 de octubre de 2022.

Aceptado: 20 de abril de 2023.

Publicado: agosto de 2023.

### RESUMEN

**Antecedentes.** El control del pez león en el arrecife Tuxpan está limitado por falta de conocimiento. Además de su registro en 2012, existe información sobre alimentación y datos dispersos sobre su abundancia y talla que son insuficientes para definir las estrategias de manejo local. **Objetivos.** Determinar algunos aspectos poblacionales (densidad, biomasa, distribución de tallas) del pez león y su relación con las variables ambientales y la densidad de presas en el arrecife Tuxpan, Veracruz. **Métodos.** Fueron realizados 122 muestreos en seis estratos de profundidad de las pendientes arrecifales. En cada censo, se caracterizó el ambiente (rugosidad, cobertura coralina, oleaje y profundidad) y se estimaron la abundancia, talla y biomasa del pez león, así como la abundancia de sus presas potenciales. La información fue comparada y relacionada con las variables ambientales, usando dos escalas: pendientes y estratos de profundidad. La distribución de tallas se obtuvo a partir de 43 peces capturados. **Resultados.** La densidad del pez león en el arrecife Tuxpan fue de 24.6 ind/ha y la biomasa de 4 440 g/ha. A escala de pendientes no se detectaron diferencias en la densidad y biomasa, pero el análisis por estratos de profundidad relacionó la densidad con la rugosidad en barlovento ( $r = 0.81$ ,  $p = 0.05$ ) y con la cobertura coralina ( $r = 0.76$ ,  $p = 0.08$ ) en sotavento. La abundancia de presas potenciales no mostró relación con la densidad y biomasa del pez león. La población de esta especie posee un rango de tallas de 7.4 a 35.6 cm. **Conclusiones.** La población de pez león en el arrecife Tuxpan está representada por juveniles y adultos cuya densidad se relaciona a escala de estratos de profundidad con la rugosidad y la cobertura coralina.

**Palabras clave:** arrecifes coralinos, especies invasoras, densidad, pez león, océano Atlántico.

<sup>1</sup> Laboratorio de Arrecifes Coralinos, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Carr. Tuxpan-Tampico Km 7.5, Col. Universitaria, Tuxpan, Veracruz, CP. 92895, México.

**\*Corresponding author:**

Carlos González-Gándara: e-mail: cggandara@hotmail.com

**To quote as:**

González-Gándara, C. 2023. Densidad, biomasa y estructura de tallas del pez león en el arrecife Tuxpan, Veracruz. *Hidrobiológica* 33 (2): 105-114.

DOI:10.24275/NJYW6832

### ABSTRACT

**Background.** The control of lionfish in the Tuxpan reef is limited due to a lack of knowledge. In addition to its registration in 2012, there is information on feeding and scattered data on its abundance and size that need to be revised to define local management strategies. **Objectives.** To determine some population aspects (density, biomass, size distribution) of lionfish and their relationship with environmental variables and prey density in the Tuxpan reef, Veracruz. **Methods.** 122 censuses were carried out in six depth strata of the reef slopes. In each census, the environment (rugosity, coral cover, wave intensity, and depth) was characterized; the abundance, size, and biomass of lionfish were estimated, as well as the abundance of its potential prey. The information was compared and related to the environmental variables using two scales: slope and depth strata. The size distribution was obtained from 43 fish captured. **Results.** The density of lionfish in the Tuxpan reef was 24.6 ind/ha and the biomass of 4 440 g/ha. No differences in density and biomass were detected at the slope scale, but analysis by depth strata related density with rugosity in windward ( $r = 0.81$ ,  $p = 0.05$ ) and to coral cover ( $r = 0.76$ ,  $p = 0.08$ ) in leeward. The abundance of potential prey showed no relationship with lionfish density and biomass. The lionfish population has a size range of 7.4 to 35.6 cm. **Conclusions.** The lionfish population at Tuxpan reef is represented by juveniles and adults whose density is related at the depth strata scale to rugosity and coral cover.

**Key words:** coral reefs, invasive species, density, lionfish, Atlantic Ocean.

## INTRODUCCIÓN

La notable capacidad adaptativa de *Pterois* spp. (pez león) generó una expansión rápida a partir del año 2004 y le ha permitido colonizar gran parte del Golfo de México y el Mar Caribe (Schofield, 2009, 2010). El éxito del pez león es atribuido parcialmente a su voracidad, su dieta alimenticia diversa y el alto índice de consumo que incluye invertebrados y pequeños peces (Morris & Akins, 2009; Morris & Whitfield, 2009; Cerino *et al.*, 2013; Aguilar-Medrano & Vega-Cendejas, 2020; González-Gándara *et al.*, 2020; Murillo-Pérez *et al.*, 2021) así como, a su estrategia reproductiva (Gardner *et al.*, 2015). La abundancia del pez león en los arrecifes coralinos puede generar competencia con los depredadores nativos por las presas y el espacio (Palmer *et al.*, 2016), así como, limitar el reclutamiento (Albins & Hixon, 2008) y la densidad poblacional de sus presas (Green *et al.*, 2012; Albins & Hixon, 2013). Con esto, puede modificar la estructura de las comunidades locales de peces, las redes tróficas (Arias-González *et al.*, 2011) y generar efectos indirectos en la salud arrecifal (Albins & Hixon, 2013). Por lo anterior, el pez león es considerado una amenaza para el ecosistema arrecifal (Albins, 2015), especialmente para los peces solitarios de talla pequeña que residen cerca del sustrato o comparten su hábitat (Rocha *et al.*, 2015; García-Rivas *et al.*, 2018). El efecto sobre las comunidades de peces está en función de su densidad poblacional, al respecto, las estimaciones efectuadas en el Caribe revelan una gran abundancia de pez león en algunas localidades de Bahamas (Green & Côté, 2009) y Cuba (Cobian-Rojas *et al.*, 2016) y una baja densidad en localidades de Colombia (Bayraktarov *et al.*, 2014) y Venezuela (Agudo & Klein-Salas, 2014; Elise *et al.*, 2015), entre otras. Por esto, la investigación de las poblaciones de pez león es fundamental para conocer su comportamiento poblacional y generar los planes de control y manejo adecuados a la realidad de cada localidad.

En la costa de Veracruz (suroccidente del Golfo de México) existen tres sistemas de arrecifes coralinos: Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y Sistema Arrecifal Los Tuxtlas (SAT); los dos primeros decretados como Áreas Naturales Protegidas (ANP) (CONANP, 2014, 2017). En la zona costera marina de Veracruz, el pez león fue registrado por vez primera en los arrecifes en 2011 (Santander-Monsalvo *et al.*, 2012). Posteriormente, fue registrado en otras localidades al norte (González-Gándara *et al.*, 2012; González-Gándara, 2015), centro (Castañeda-Chávez *et al.*, 2019) y sur de Veracruz (González-Gándara, 2020a, 2020b). Aunque han transcurrido más de 10 años desde la llegada del pez león a los arrecifes de Veracruz, la investigación es escasa y dispersa. El conocimiento sobre el pez león en esta región incluye: datos de talla y peso (Reyes-Aguilar *et al.*, 2018), estudios helmintológicos (Montoya-Mendoza *et al.*, 2017), metales pesados en tejidos (Montoya-Mendoza *et al.*, 2019) y contenido estomacal (Aguilar-Medrano & Vega-Cendejas, 2020; González-Gándara *et al.*, 2020), pero no existen datos sobre densidad, biomasa y distribución vertical, que son básicos para definir las futuras estrategias de control.

El establecimiento de poblaciones de pez león en los arrecifes de Veracruz puede representar un peligro para las especies de peces endémicas como *Halichoeres burekæ* Weaver & Rocha, 2007 y *Tigri-gobius redimiculus* Taylor & Akins, 2007, mismas que, recientemente han sido reportadas como parte del contenido estomacal del pez león (González-Gándara *et al.*, 2020). Por otro lado, en los planes de manejo de estas ANPs (CONANP, 2014, 2017), se contemplan actividades de

control de las poblaciones de pez león con el fin de preservar la biodiversidad de los arrecifes coralinos, actividades que deben ajustarse a las condiciones locales (Gómez-Lozano *et al.*, 2013) y enfocarse en la conservación de las especies raras (South *et al.*, 2017) que poseen un valor recreativo.

Las preferencias de hábitat del pez león han sido relacionadas con la edad (García-Rivas *et al.*, 2018) y con sus actividades depredadoras, que pueden verse potenciadas por la complejidad estructural del sustrato (Hunt *et al.*, 2019) y la abundancia de presas (Bejarano *et al.*, 2015; Andradi-Brown, 2019). Los arrecifes tipo plataforma presentan diferencias de cobertura coralina, entre zonas arrecifales. Por ejemplo, en el arrecife Tuxpan, la pendiente de barlovento es poco pronunciada, con una cobertura de coral menor al 15 %, mientras que la pendiente de sotavento es abrupta y su cobertura de coral es de hasta el 41 % (González-Gándara & Salas-Pérez, 2019). Los valores de la cobertura coralina están asociados a la rugosidad y varían en función de la exposición al oleaje (Rogers *et al.*, 2016) y la profundidad (González-Gándara & Salas-Pérez, 2019) y pueden relacionarse con la densidad del pez león y sus presas. Los objetivos de este estudio fueron (1) documentar la distribución del pez león en un arrecife de plataforma relacionándola con las variables ambientales (cobertura de coral, rugosidad, profundidad y oleaje) y la densidad de presas, y (2) determinar algunos atributos de la población de pez león (densidad, biomasa y distribución de tallas) en el arrecife Tuxpan, Veracruz, Golfo de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** El arrecife de Tuxpan (21° 1' 38" N y 97° 11' 40" O) está ubicado en el Golfo de México, frente a la costa de Tuxpan, Veracruz, México (Fig. 1). Este sistema arrecifal de forma ovalada tiene una profundidad que varía entre 0.5 y 30 m.

**Recolecta de datos.** Durante el verano de 2015, 122 muestreos fueron distribuidos sistemáticamente en dos zonas del arrecife Tuxpan (61 en barlovento, 61 en sotavento). En cada una de las pendientes (barlovento y sotavento) se establecieron seis sitios de muestreo, considerando seis estratos de profundidad (3-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25 y 25-30 m) que fueron definidos a partir de sus diferencias en cobertura coralina. Utilizando la metodología de Green *et al.* (2012) modificada, en cada estrato se tendieron entre 3 y 20 transectos en banda de 25 x 2 m (Tabla 1), dispuestos paralelamente al eje central del arrecife (Fig. 1). El número de transectos en cada estrato dependió del área ocupada por éstos y fueron recorridos mediante buceo SCUBA. Los muestreos incluyeron dos etapas: (1) caracterización de cada estrato en función de su profundidad, cobertura coralina, rugosidad y exposición al oleaje, y (2) estimación de la abundancia y talla del pez león, así como la densidad de los peces considerados como presas potenciales.

**Caracterización ambiental.** En cada una de las muestras se determinó la profundidad promedio, estimada a partir de tres mediciones sobre el transecto (al inicio, en medio y al final) efectuadas con una computadora de buceo y con precisión a centímetros. Además, se estimó la cobertura coralina a partir de ~ 25 fotografías del sustrato realizadas con una cámara fotográfica Cannon Shot de 12 mmp montada sobre un bastón y colocada a 1 m del fondo. Las fotografías se tomaron paralelamente a cada transecto y posteriormente, fueron analizadas con el programa Coral Point Count (Kohler & Gill, 2006) utilizando 25 puntos al azar en cada fotografía. Adicionalmente, se estimó la rugosidad (r)

del sustrato, con una cadena metálica de 5 m de longitud colocada al lado del transecto. Para esto, se midió la distancia desde el extremo de la cadena colocado al inicio de cada transecto (0 m) hasta la punta de ésta. Este dato se dividió sobre la longitud total de la cadena (5 m). El cociente resultante se restó de 1 para obtener un valor de la rugosidad, que osciló entre 0 (nula) y 1 (alta). Finalmente, se categorizó la exposición al oleaje de cada transecto utilizando la siguiente escala ordinal a partir de la altura del oleaje: 4 = muy intenso (altura mayor a 25 cm), 3 = intenso (altura entre 10 y 25 cm), 2 = moderado (altura entre 1 y 10 cm) y 1n= nulo (sin oleaje).

**Distribución vertical, densidad y biomasa.** En cada muestra se realizó una búsqueda minuciosa entre las rocas y los corales, contabilizando la abundancia y talla de los peces león, así como de las especies de peces que por su talla y hábitos ecológicos pueden ser presas potenciales del pez león. La nomenclatura de estas especies fue revisada en la base de datos "FishBase" (Froese & Pauly, 2023) y se presenta en una lista siguiendo la propuesta de Nelson *et al.* (2016). Con la información de talla y abundancia se calculó la densidad de pez león y de sus presas posibles en cada estrato de profundidad y en ambas pendientes del arrecife, expresando la información en número de individuos por hectárea (ind/ha). A cada uno de los peces león observados se le estimó la longitud total utilizando los siguientes intervalos: 1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-25, 26-30, 31-35 y 36-40 cm. Con estos datos de talla de cada individuo se calculó la longitud promedio de cada especie y posteriormente, la biomasa a partir de la función exponencial:  $P = aL^b$ , donde, P = peso total (g), L = longitud total (cm),  $a = 0.0051$  y  $b = 3.33$ , constantes de la relación longitud-peso estimadas a partir de los ejemplares capturados en esta investigación. Con los datos de biomasa por transecto se calculó el promedio de biomasa para cada estrato de profundidad, zona arrecifal y el arrecife en general, expresando los valores en gramos por hectárea (g/ha).

**Distribución de tallas.** Adicionalmente, se determinó la talla de 43 ejemplares de pez león capturados con arpón (24 ejemplares durante

el muestreo y 19 donados por prestadores de servicios turísticos obtenidos en el mismo periodo y área de muestreo). A cada espécimen se le determinó la longitud total con un ictiómetro (50 cm de longitud y 1 mm de precisión) y se compararon con las 37 medidas obtenidas por Ávila (2014) en el año 2013, utilizando la prueba t-Student; con ambos conjuntos se construyó un histograma de tallas usando intervalos de 2 cm.

**Análisis de datos.** Los datos de cobertura coralina, rugosidad, profundidad, densidad y biomasa fueron comparados para detectar diferencias entre las zonas arrecifales. Para esto, se consideraron los 122 datos (61 para barlovento y 61 para sotavento) y dado que, los datos ambientales y biológicos no cumplieron con los supuestos paramétricos de normalidad y homogeneidad de varianza, se utilizó la prueba de Mann-Whitney para la comparación. Para detectar diferencias a escala de estratos de profundidad, se consideró el promedio de cada variable por estrato de profundidad, utilizando la prueba de Kruskal-Wallis. Adicionalmente, se hizo una comparación por estrato, considerando todas las observaciones de cada estrato, usando la prueba de Mann-Whitney. La relación de la densidad y biomasa del pez león con las variables ambientales y con la densidad de presas se estimó mediante la correlación de Pearson, utilizando los valores promedio para cada estrato y haciendo las pruebas de los supuestos paramétricos. Todos los análisis fueron realizados con el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001).

## RESULTADOS

**Caracterización ambiental.** Las pendientes en el arrecife Tuxpan mostraron diferencias en la cobertura coralina ( $U = 381$ ,  $p < 0.005$ ), la intensidad del oleaje ( $U = 1470$ ,  $p < 0.005$ ) y la profundidad ( $U = 1455$ ,  $p < 0.038$ ). La cobertura coralina fue mayor en sotavento mientras que, la intensidad del oleaje y la profundidad de los muestreos fue mayor en barlovento. Por su parte, la rugosidad del sustrato fue muy parecida entre pendientes (Tabla 1).

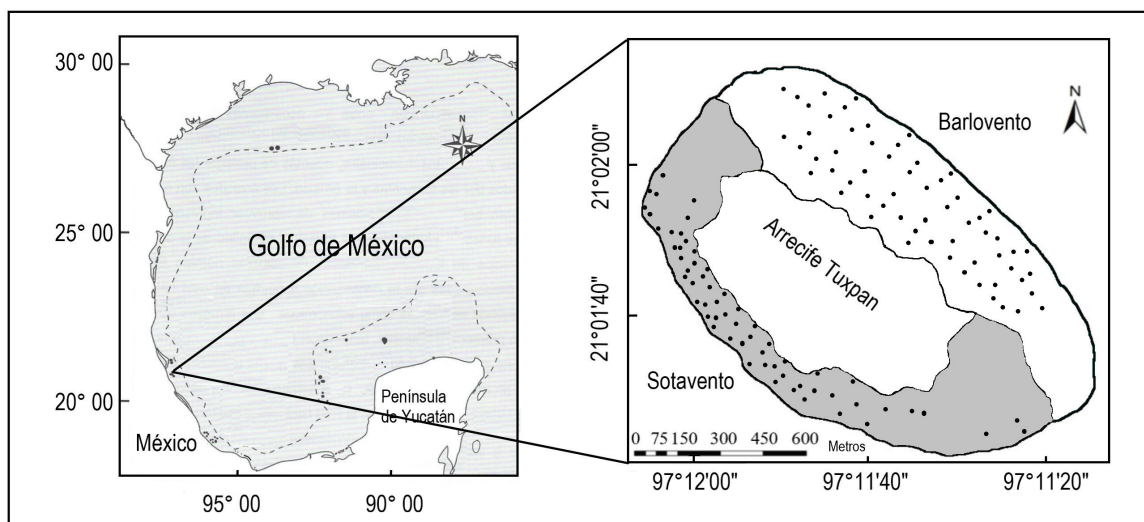


Figura 1. Localización geográfica el arrecife Tuxpan, Veracruz, México y distribución de los muestreos. Cada punto corresponde a una muestra.

A escala de estratos de profundidad, se observaron valores más bajos de la rugosidad en los estratos someros (0.24, barlovento; 0.31 sotavento) en comparación con los profundos (0.35, barlovento; 0.36 sotavento). El análisis comparativo indicó que, la rugosidad entre los estratos de la misma profundidad fue parecida, excepto la estimada para el estrato de 3 a 5 m, que fue mayor en sotavento ( $U = 0.0$ ,  $p = 0.006$ ). La cobertura coralina presentó sus valores más bajos en los estratos de 25 a 30 m de profundidad en ambas pendientes (3.6 %, barlovento; 2.7 %, sotavento). La mayor cobertura coralina se estimó en el estrato de 15 a 20 m en barlovento (15.1 %) y en el estrato de 5 a 10 m en sotavento (38.9 %). El análisis comparativo entre estratos con la misma profundidad indicó diferencias significativas en aquellas menores a 20 m de profundidad. La intensidad del oleaje fue mayor en los estratos someros, especialmente en el estrato de 3 a 5 m de profundidad, que mostró diferencias significativas entre barlovento y sotavento. El análisis de la profundidad indicó que el estrato de 3 a 5 m de barlovento es diferente al de sotavento ( $U = 1.5$ ,  $p = 0.011$ ) (Tablas 2 y 3).

**Distribución vertical, densidad y biomasa.** El rango de distribución vertical del pez león en el arrecife Tuxpan fue más amplio en barlovento (8.2 - 25.9 m de profundidad) en comparación con sotavento (4.5 - 15.2 m de profundidad). De acuerdo con los censos visuales subacuáticos, la densidad del pez león en el arrecife Tuxpan fue de  $24.6 \pm 6.0$  ind/ha. Al comparar la densidad de barlovento ( $29.5 \pm 9.2$  ind/ha) con sotavento ( $19.7 \pm 7.7$  ind/ha) no se encontraron diferencias significativas ( $U = 1769$ ;  $p = 0.413$ ). A nivel de estratos de profundidad, la mayor abundancia de pez león ocurrió en el estrato de 15 a 20 m en ambas vertientes (barlovento:  $58.8 \pm 22.8$  ind/ha; sotavento:  $30.8 \pm 20.8$  ind/ha) (Tabla 2), pero no se detectaron diferencias significativas entre los estratos de profundidad (sotavento:  $H = 0.38$ , g.l.= 5,  $p = 0.996$ ; barlovento:  $H = 1.80$ , g.l.= 5,  $p = 0.875$ ).

La biomasa de pez león estimada para todo el arrecife fue de  $4440 \pm 1500$  g/ha, con un valor promedio muy parecido entre barlovento ( $6481 \pm 2551$  g/ha) y sotavento ( $6431 \pm 3360$  g/ha) ( $U = 1774$ ,  $p = 0.443$ ). Considerando los estratos de profundidad, la mayor biomasa se registró en el estrato de 15 a 20 m en barlovento ( $17725 \pm 7886$  g/

ha) y en el estrato de 10 a 15 m de sotavento ( $16688 \pm 16688$  g/ha). La biomasa más baja se estimó en el estrato de 5 a 10 m en barlovento ( $322 \pm 322$  g/ha) y no se registraron peces león en los estratos de 20 a 30 en sotavento, ni en el estrato de 3 a 5 m en barlovento (Tabla 2). De acuerdo con la prueba de Kruskal-Wallis, no hubo diferencias en la biomasa entre los estratos de profundidad (barlovento:  $H = 5.41$ , g.l.= 5,  $p = 0.367$ ; sotavento:  $H = 1.36$ , g.l.= 5,  $p = 0.928$ ).

La densidad de pez león se relacionó positivamente con la cobertura de coral en la pendiente de sotavento ( $r = 0.76$ ,  $p = 0.08$ ) y con la rugosidad en la pendiente de barlovento ( $r = 0.81$ ,  $p = 0.05$ ), las otras variables no mostraron ninguna relación. En ambas pendientes, la biomasa del pez león no mostró relación con las variables estimadas en esta investigación (Tabla 4).

Un total de 53 especies de peces pertenecientes a 16 familias pueden ser presas potenciales del pez león en el arrecife Tuxpan (Tabla 5). La mayor densidad de las presas potenciales en barlovento ( $52767 \pm 4089$  ind/ha) fue parecida a la estimada en sotavento ( $49829 \pm 4592$  ind/ha) ( $U = 1698$ ,  $p = 0.405$ ). A escala de estratos de profundidad se estimó una mayor densidad en los estratos de 3 a 5 m, tanto en barlovento ( $73800 \pm 14252$  ind/ha) como en sotavento ( $65178 \pm 19996$  ind/ha). La menor densidad fue estimada en los estratos de 25 a 30 m ( $33320 \pm 5919$  ind/ha en barlovento y  $23667 \pm 8537$  ind/ha en sotavento). La prueba de Kruskal-Wallis indicó que no hubo diferencias en la densidad de presas entre los estratos de profundidad (barlovento:  $H = 7.14$ , g.l.= 5,  $p = 0.21$ ; sotavento:  $H = 4.54$ , g.l.= 5,  $p = 0.474$ ) (Tablas 2 y 3). Tampoco se detectó relación de la densidad de presas con la densidad del pez león (barlovento:  $r = 0.47$ ,  $p = 0.35$ ; sotavento:  $r = 0.18$ ,  $p = 0.73$ ) ni de la densidad de presas con la biomasa del pez león (barlovento:  $r = 0.64$ ,  $p = 0.17$ ; sotavento:  $r = 0.02$ ,  $p = 0.96$ ).

**Distribución de tallas.** Los ejemplares capturados en 2015 presentaron un rango de tallas de 7.4 a 35.6 cm de longitud total (Fig. 2) y un promedio de  $20.0 \pm 1.1$  cm. Por su parte, el rango registrado en 2013 osciló entre 4.1 y 39.2 cm, con una media de  $15.2 \pm 1.4$  (Fig. 2). La prueba t-Student mostró que la talla promedio del pez león fue mayor en 2015 en comparación con la estimada en 2013 ( $t = 2.658$ ,  $p = 0.009$ ).

Tabla 1. Resumen de las variables ambientales, ecológicas y estadísticas (media  $\pm$  error estándar) calculadas en las pendientes del arrecife Tuxpan, Veracruz, México. \* = diferencias significativas.

Variables	Pendiente arrecifal		Prueba estadística
	Barlovento	Sotavento	Mann-Whitney
Número de censos	61	61	
Cobertura coralina (%)	$9.7 \pm 1.0$	$29.8 \pm 1.6$	$U = 381$ , $p < 0.005^*$
Rugosidad	$0.31 \pm 0.01$	$0.33 \pm 0.01$	$U = 1597$ , $p = 0.177$
Profundidad (m)	$14.4 \pm 0.9$	$12.0 \pm 0.8$	$U = 1455$ , $p = 0.038^*$
Oleaje	1-4	1-2	$U = 1470$ , $p < 0.005^*$
Densidad de presas (ind/ha)	$52767 \pm 4089$	$49829 \pm 4592$	$U = 1698$ , $p = 0.405$
Densidad pez león (ind/ha)	$29.5 \pm 9.2$	$19.7 \pm 7.7$	$U = 1769$ , $p = 0.413$
Biomasa pez león (g/ha)	$6481 \pm 2551$	$6431 \pm 3360$	$U = 1774$ , $p = 0.443$

Tabla 2. Resumen del tamaño de muestra, variables ambientales, densidad de presas potenciales, densidad y biomasa (media ± error estándar) de pez león por estrato de profundidad en las pendientes del arrecife Tuxpan, Veracruz, México.

		Barlovento					
Estratos de profundidad (m)	>25	20-25	15-20	10-15	5-10	3-5	
Número de censos	5	11	17	9	15	4	
Oleaje	1	1	1	1	3	4	
Profundidad (m)	27.1 ± 0.4	22.4 ± 0.4	16.1 ± 0.3	11.8 ± 0.4	6.7 ± 0.3	4.7 ± 0.1	
Rugosidad	0.35 ± 0.03	0.29 ± 0.03	0.35 ± 0.02	0.34 ± 0.02	0.28 ± 0.04	0.24 ± 0.01	
Cobertura coralina (%)	2.99 ± 0.94	8.86 ± 2.21	15.05 ± 2.25	13.61 ± 4.97	5.22 ± 0.95	3.98 ± 0.68	
Densidad de presas (ind/ha)	33 320 ± 5 919	44 236 ± 7 581	58 758 ± 7 617	53 133 ± 14 465	52 893 ± 8 682	28 504 ± 14 252	
Densidad (ind/ha)	40.0 ± 40.0	18.2 ± 18.2	58.8 ± 22.8	22.2 ± 22.2	13.3 ± 13.3	No aplica	
Biomasa (g/ha)	2 832 ± 2 832	1 287 ± 1 287	17 725 ± 7 886	6 761 ± 6 761	322 ± 322	No aplica	
		Sotavento					
Estratos de profundidad (m)	>25	20-25	15-20	10-15	5-10	3-5	
Número de censos	3	6	13	10	20	9	
Oleaje	1	1	1	1	1	2	
Profundidad (m)	26.5 ± 0.5	21.3 ± 0.02	16.4 ± 0.4	12.8 ± 0.3	7.3 ± 0.4	3.9 ± 0.2	
Rugosidad	0.36 ± 0.02	0.36 ± 0.03	0.35 ± 0.01	0.35 ± 0.02	0.31 ± 0.02	0.33 ± 0.01	
Cobertura coralina (%)	2.68 ± 2.58	12.09 ± 1.67	23.75 ± 1.95	31.48 ± 1.79	40.16 ± 2.19	38.16 ± 2.85	
Densidad de presas (ind/ha)	23 667 ± 8 537	61 033 ± 13 971	39 031 ± 7 475	49 340 ± 9 556	50 775 ± 7 016	65 178 ± 19 996	
Densidad (ind/ha)	No aplica	No aplica	30.8 ± 20.8	20.0 ± 20.0	20.0 ± 13.7	22.2 ± 22.2	
Biomasa (g/ha)	No aplica	No aplica	5 769 ± 4 716	16 668 ± 16 668	6 821 ± 5 387	1 573 ± 1 573	

Tabla 3. Resumen de la prueba de Mann-Whitney para comparar los atributos ambientales y ecológicos a escala de estratos de profundidad entre barlovento y sotavento en el arrecife Tuxpan, Veracruz, México. \* = diferencias significativas.

		Estratos de profundidad (m)					
		>25	20-25	15-20	10-15	5-10	3-5
Oleaje	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	U= 0, p<0.005*	U= 0, p<0.005*	
Profundidad (m)	U= 7.5, p= 0.88	U= 32.5, p= 1.0	U= 104, p= 0.797	U= 29, p= 0.203	U= 133.5, p= 0.694	U= 1.5, p= 0.011*	
Rugosidad	U= 0, p= 1	U= 14, p= 0.063	U= 102, p= 0.737	U= 36, p= 0.487	U= 101, p= 0.105	U= 0, p= 0.006*	
Cobertura coralina (%)	U= 5, p= 0.551	U= 21, p= 0.247	U= 32.5, p= 0.001*	U= 13.5, p= 0.011*	U= 0, p<0.005*	U= 0, p= 0.007*	
Densidad de presas (ind/ha)	U= 5.5, p= 0.653	U= 21, p= 0.248	U= 74.5, p= 0.137	U= 42, p= 0.838	U= 146, p= 0.907	U= 12, p= 0.396	
Densidad (ind/ha)	No aplica	No aplica	U= 95, p= 0.392	U= 41, p= 0.651	U= 145, p= 0.757	No aplica	
Biomasa (g/ha)	No aplica	No aplica	U= 93, p= 0.336	U= 41.5, p= 0.699	U= 14, p= 0.706	No aplica	

### DISCUSIÓN

En este trabajo se presenta la primera evaluación de la densidad poblacional y biomasa del pez león (*Pterois* spp.) en arrecifes del sur del Golfo de México, la cual puede ser utilizada para mejorar los programas de manejo de las ANPs de la zona y que conduzca a su vez, a preservar la diversidad regional. La densidad y la distribución del pez león en los arrecifes coralinos están influenciadas por las coberturas coralinas altas y los sustratos con mayor rugosidad (Elise *et al.*, 2015; Hunt *et al.*, 2019) que proveen una mayor disponibilidad de refugios tanto para

el pez león (Anton *et al.*, 2014) como para sus presas (Bejarano *et al.*, 2015; Goodbody-Gringley *et al.*, 2019).

La pendiente de sotavento del arrecife Tuxpan presenta una mayor cobertura coralina y rugosidad con respecto a barlovento (González-Gándara & Salas-Pérez, 2019). A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, a esta escala de análisis, la densidad y la biomasa del pez león no se relacionaron con los atributos de las pendientes. Sin embargo, en el análisis por estratos de profundidad, se detectan relaciones de la densidad con la rugosidad en barlovento y con la co-

bertura coralina en sotavento (Tabla 4). Las áreas arrecifales con mayor cobertura coralina o rugosidad presentan una mayor riqueza y abundancia de peces que viven íntimamente ligados al sustrato tales como: blénidos, góbidos, haemúlidos, lábridos, labrisómidos, pomacéntridos y tripterígidos, entre otros (Andradi-Brown, 2019; Hunt *et al.*, 2019), y estas familias son la principal fuente de alimento del pez león en el Golfo de México y el Caribe (Morris & Akins, 2009; Peake *et al.*, 2018).

Por otra parte, los antecedentes indican que, la exposición al oleaje produce estrés físico en el pez león y disminuye su capacidad de depredación (Anton *et al.*, 2014; García-Rivas *et al.*, 2018). Posiblemente esta variable, que fue más intensa en el estrato de 3 a 5 m de la pendiente de barlovento, se relaciona con la ausencia de pez león en ese estrato,

tal como ha sido documentado por Elise *et al.* (2015) y Sabido-Itza & García-Rivas (2019) en Venezuela y el Caribe Mexicano respectivamente, en donde se detectó una menor abundancia de pez león en las áreas con mayor exposición al oleaje. Finalmente, la profundidad se ha relacionado con la distribución vertical y la conducta del pez león, señalando una relación con la disponibilidad de luz, temperatura del agua y la disponibilidad de presas (Bejarano *et al.*, 2015; García-Rivas *et al.*, 2018; Goodbody-Gringley *et al.*, 2019).

Aunque el pez león se distribuye de una manera homogénea en las pendientes del arrecife Tuxpan, al reducir la escala de análisis a estratos de profundidad, se muestra una tendencia por las áreas con mayor cobertura coralina en los estratos de sotavento y con mayor rugosidad

Tabla 4. Correlación de Pearson de las variables ambientales con la densidad y biomasa del pez león en el arrecife Tuxpan, Veracruz, México. \* = diferencias significativas.

	Barlovento			
	Cobertura coralina	Rugosidad	Profundidad	Exposición al oleaje
Densidad	r= 0.51, p= 0.30	r= 0.81, p= 0.05*	r= 0.58, p= 0.23	r= -0.72, p= 0.10
Biomasa	r= 0.73, p= 0.10	r= 0.65, p= 0.17	r= 0.15, p= 0.78	r= -0.52, p= 0.29
	Sotavento			
	Cobertura coralina	Rugosidad	Profundidad	Exposición al oleaje
Densidad	r= 0.76, p= 0.08*	r= 0.54, p= 0.27	r= -0.70, p= 0.13	r= 0.26, p= 0.62
Biomasa	r= 0.49, p= 0.32	r= -0.64, p= 0.25	r= -0.33, p= 0.52	r= -0.32, p= 0.54

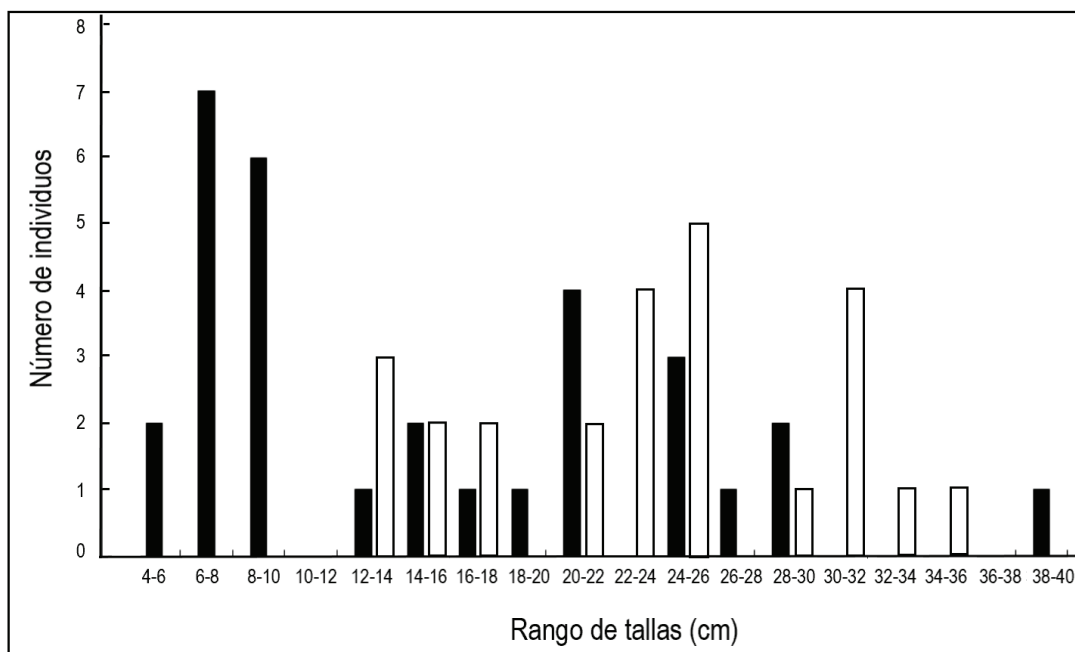


Figura 2. Distribución de tallas del pez león en el arrecife Tuxpan, Veracruz, México. Las barras oscuras corresponden a las observaciones de 2013 (Ávila, 2014) y las claras a 2015.

en los estratos de barlovento. El contraste en la relación de algunas variables ambientales con la abundancia y biomasa del pez león, parece ser el resultado de varios factores, la escala de análisis (arrecife, zona arrecifal, hábitat), las herramientas para caracterizar cada sitio de estudio (Hunt *et al.*, 2019), así como las condiciones locales de cada sistema ecológico (tiempo transcurrido desde la llegada del pez león, proximidad a la costa, dimensiones del arrecife, acciones de remoción de pez león, etc.).

La densidad del pez león en el arrecife Tuxpan es menor (24.6 ind/ha) si se compara con los 97.6 ind/ha estimados por Sabido-Itzá & García-Rivas (2019) en Banco Chinchorro, México o los 310 ind/ha registrados en Guanahacabibes, Cuba (Cobian-Rojas *et al.*, 2016). Sin embargo, la densidad estimada en el arrecife Tuxpan es mayor a los registros del Caribe Colombiano (Bayraktarov *et al.*, 2014) y parecida a los valores más altos registrados en su lugar de origen, como el océano Índico Occidental y el sur del océano Pacífico (Kulbicki *et al.*, 2012). Estas diferencias en densidad pueden ser un resultado de múltiples factores o procesos que operan a diferentes escalas (Hackerott *et al.*, 2013; Goodbody-Gringley *et al.*, 2019; Hunt *et al.*, 2019; Harris *et al.*, 2020).

El rango de tallas observado en la población de pez león en el arrecife de Tuxpan incluye juveniles y adultos (12.2-35.2 cm), similar a lo observado en otros sistemas arrecifales del Golfo de México (Ruttenberg *et al.*, 2012; Rodríguez-Cortés *et al.*, 2015; Reyes-Aguilar *et al.*, 2018) y el Caribe Mexicano (Sabido-Itzá & García-Rivas, 2019). El análisis comparativo de la distribución de tallas en dos periodos sucesivos (2013 y 2015) en el arrecife Tuxpan muestra un incremento de la talla promedio, lo cual puede estar relacionado con la evolución natural de la población y su establecimiento definitivo. A pesar de la búsqueda minuciosa, en este trabajo no se detectaron individuos con talla menor a 5 cm, debido a los hábitos crípticos del pez león y a la dificultad propia del muestreo (Green *et al.*, 2013). Comparando la talla de la primera maduración sexual del pez león (> 19 cm de longitud total) citada por Gardner *et al.* (2015) y la talla promedio de la población en el arrecife Tuxpan (20 cm), se puede deducir que, la población de pez león en esta localidad contiene individuos con capacidad para reproducirse y mantenerse como una población estable.

La densidad poblacional del pez león depende tanto de la población local, como de la población general (metapoblación). A nivel local, los factores ambientales (temperatura, rugosidad, etc.) o los biológicos (reclutamiento, mortalidad, etc.) moldean la densidad de las poblaciones (Goodbody-Gringley *et al.*, 2019; Hunt *et al.*, 2019). Para comprender la dinámica poblacional del pez león en el arrecife Tuxpan se requiere profundizar en los procesos dependientes e independientes de la densidad poblacional, tales como la migración, la mortalidad, la depredación y la competencia (Forrester, 1990; Hixon & Carr, 1997; Hixon & Webster, 2002), entre otros.

Desde que se tuvo conocimiento de la llegada del pez león al arrecife de Tuxpan (González-Gándara *et al.*, 2012), estos peces han sido extraídos por pescadores y prestadores de servicios turísticos (Obs. Pers. Carlos González-Gándara, Universidad Veracruzana; Com. Pers. Martín Reyes, Servicios Náuticos) debido a que se ha difundido que, el pez león es una amenaza para los peces nativos (Morris & Akins, 2009; Cerino *et al.*, 2013; Aguilar-Medrano & Vega-Cendejas, 2020; González-Gándara *et al.*, 2020; Murillo-Pérez *et al.*, 2021). Posiblemente, las medidas de remoción y sacrificio consideradas en el Plan de Manejo del Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan (CONANP, 2014) han limitado el incremento

Tabla 5. Lista sistemática de los peces considerados como presas potenciales del pez león en el arrecife Tuxpan, Veracruz, México.

Familia	Especie
Holocentridae	<i>Neoniphon vexillarium</i> (Poey, 1860)
Gobiidae	<i>Coryphopterus glaucofraenum</i> Gill, 1863 <i>Coryphopterus hyalinus</i> Böhlke & Robins, 1962 <i>Elacatinus jarocho</i> Taylor & Akins, 2007 <i>Elacatinus oceanops</i> Jordan, 1904 <i>Gnatholepis thompsoni</i> Jordan, 1904 <i>Tigrigobius redimiculus</i> Taylor & Akins, 2007
Pomacentridae	<i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758) <i>Chromis cyanea</i> (Poey, 1860) <i>Chromis enchrysurus</i> Jordan & Gilbert, 1882 <i>Chromis insolata</i> (Cuvier, 1830) <i>Chromis multilineata</i> (Guichenot, 1853) <i>Chromis scotti</i> Emery, 1968 <i>Microspathodon chrysurus</i> (Cuvier, 1830) <i>Neopomacentrus cyanomus</i> Bleeker, 1856 <i>Stegastes adustus</i> (Troschel, 1865) <i>Stegastes leucostictus</i> (Müller & Troschel, 1848) <i>Stegastes partitus</i> (Poey, 1868) <i>Stegastes planifrons</i> (Cuvier, 1830) <i>Stegastes xanthurus</i> (Poey, 1860)
Blenniidae	<i>Ophioblennius macclurei</i> (Silvester, 1915) <i>Parablennius marmoratus</i> (Poey, 1876) <i>Scartella cristata</i> (Linnaeus, 1758)
Labrisomidae	<i>Malacoctenus triangulatus</i> Springer, 1959
Labridae	<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758) <i>Halichoeres bivittatus</i> (Bloch, 1791) <i>Halichoeres burekae</i> (Weaver & Rocha, 2007) <i>Halichoeres caudalis</i> Poey, 1860 <i>Halichoeres garnoti</i> (Valenciennes, 1839) <i>Halichoeres maculipinna</i> (Müller & Troschel, 1848) <i>Thalassoma bifasciatum</i> (Bloch, 1791)
Scaridae	<i>Nicholsina usta</i> (Valenciennes, 1840) <i>Scarus iseri</i> Bloch, 1789 <i>Scarus taeniopterus</i> Desmarest, 1831 <i>Sparisomam atomarium</i> (Poey, 1861) <i>Sparisoma aurofrenatum</i> (Valenciennes, 1840) <i>Sparisoma radians</i> (Valenciennes, 1840)
Mullidae	<i>Pseudupeneus maculatus</i> (Bloch, 1793)
Epinephelidae	<i>Paranthias furcifer</i> (Valenciennes, 1828)
Serranidae	<i>Serranus subligarius</i> (Cope, 1870) <i>Serranus tigrinus</i> (Bloch, 1790)
Chaetodontidae	<i>Chaetodon capistratus</i> Linnaeus, 1758 <i>Chaetodon ocellatus</i> Bloch, 1787 <i>Chaetodon sedentarius</i> Poey, 1860
Pomacanthidae	<i>Centropyge argi</i> Woods & Kanazawa, 1951
Haemulidae	<i>Haemulon aurolineatum</i> Cuvier, 1830
Scianidae	<i>Equetus lanceolatus</i> (Linnaeus, 1758) <i>Odontoscion dentex</i> (Cuvier, 1830) <i>Pareques acuminatus</i> (Bloch & Schneider, 1801)
Monacanthidae	<i>Cantherhines pullus</i> (Ranzani, 1842)
Tetraodontidae	<i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786) <i>Canthigaster jamestyleri</i> Moura & Castro, 2002 <i>Sphoeroides spengleri</i> (Bloch, 1785)

poblacional del pez león localmente, tal como ha sido documentado por Agudo & Klein-Salas (2014) para Venezuela. Sin embargo, para tener certeza de lo anterior, se debe hacer un seguimiento más puntual e investigar los procesos poblacionales locales y regionales.

La población de pez león en el arrecife Tuxpan está representada por etapas juveniles y adultas. Su densidad y biomasa no muestra diferencias entre las pendientes ni entre estratos de profundidad. Las variables ambientales no mostraron relación con la densidad y biomasa del pez león a nivel de pendientes, pero el análisis por estratos de profundidad indica una relación de la densidad con la rugosidad en barlovento y con la cobertura coralina en sotavento. Es muy recomendable hacer un mayor esfuerzo de investigación para entender, no solo los procesos involucrados en la estructura poblacional de esta especie, sino también del papel que juega el pez león en la estructura y funcionamiento del ecosistema arrecifal.

### AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parte del Proyecto «Red para el Análisis y Síntesis de la Zona Costera Veracruzana, Golfo de México» financiado por la Secretaría de Educación Pública. Se agradecen los comentarios y críticas de los árbitros y editores que permitieron mejorar el manuscrito.

### REFERENCIAS

- AGUDO, E. A. & E. KLEIN-SALAS. 2014. Lionfish abundance, size structure and spatial distribution along the Venezuelan coast (*Pterois volitans*, Pteroinae: Scorpaenidae). *Revista de Biología Tropical* 62 (3): 151-158. DOI: 10.15517/rbt.v62i0.15910
- AGUILAR-MEDRANO, R. & M. E. VEGA-CENDEJAS. 2020. Size, weight, and diet of the invasive lionfish *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) on the southern coast of Veracruz, Gulf of Mexico. *Ciencias Marinas* 46 (1): 57-64. DOI: 10.7773/cm.v46i1.3012
- ALBINS, M. A. 2015. Invasive Pacific lionfish *Pterois volitans* reduce abundance and species richness of native Bahamian coral-reef fishes. *Marine Ecology Progress Series* 522: 231-243. DOI: 10.3354/meps11159
- ALBINS, M. A. & M. A. HIXON. 2008. Invasive Indo-Pacific lionfish *Pterois volitans* reduce recruitment of Atlantic coral-reef fishes. *Marine Ecology Progress Series* 367: 233-238. DOI: 10.3354/meps07620
- ALBINS, M. A. & M. A. HIXON. 2013. Worst case scenario: potential long-term effects of invasive predatory lionfish (*Pterois volitans*) on Atlantic and Caribbean coral-reef communities. *Environmental Biology of Fishes* 96: 1151-1157. DOI: 10.1007/s10641-011-9795-1
- ANDRADI-BROWN, D. A. 2019. Invasive lionfish (*Pterois volitans* and *P. miles*): Distribution, impact, and management. In: Loya, Y., K. Puglise & T. Bridge (Eds.). *Mesophotic Coral Ecosystems. Coral Reefs of the World*, vol. 12. Springer, Suiza, pp. 931-941. DOI: 10.1007/978-3-319-92735-0\_48
- ANTON, A., M. S. SIMPSON & I. VU. 2014. Environmental and biotic correlates to lionfish invasion success in Bahamian Coral Reefs. *PLoS ONE* 9 (9): e106229. DOI: 10.1371/journal.pone.0106229
- ARIAS-GONZÁLEZ, J. E., C. GONZÁLEZ-GÁNDARA, J. L. CABRERA & V. CHRISTENSEN. 2011. Predicted impact of the invasive lionfish *Pterois volitans* on the food web of a Caribbean coral reef. *Environmental Research* 111 (7): 917-925. DOI: 10.1016/j.envres.2011.07.008
- ÁVILA, V. J. M. 2014. Distribución, abundancia y hábitos alimenticios del pez león (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758]) en el Arrecife Tuxpan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, México. 66 p.
- BAYRAKTAROV, E., J. ALARCÓN-MOSCOSO, F. A. POLANCO & C. WILD. 2014. Spatial and temporal distribution of the invasive lionfish *Pterois volitans* in coral reefs of Tayrona National Natural Park, Colombian Caribbean. *PeerJ* 2: e397. DOI: 10.7717/peerj.397
- BEJARANO, S., K. LOHR, S. HAMILTON & C. MANFRINO. 2015. Relationships of invasive lionfish with topographic complexity, groupers, and native prey fishes in Little Cayman. *Marine Biology* 162: 253-266. DOI: 10.1007/s00227-014-2595-3
- CASTAÑEDA-CHÁVEZ, M. R., A. R. REYES-AGUILAR, J. MONTOYA-MENDOZA & F. LANGO-REYNOSO. 2019. Presencia de *Pterois volitans* en área no protegida en la costa central de Veracruz. In: Granados-Barba A., L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara & D. Salas-Monreal (Eds.). *Estudios científicos en el corredor arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche, pp. 317-324.
- CERINO, D., A. S. OVERTON, J. A. RICE & J. A. MORRIS JR. 2013. Bioenergetics and trophic impacts of the invasive Indo-Pacific lionfish. *Transactions of the American Fisheries Society* 142: 1522-1534. DOI: 10.1080/00028487.2013.811098
- COBIÁN-ROJAS, D., P. CHEVALIER-MONTEAGUDO, J. J. SCHMITTER-SOTO, R. I. CORRADA-WONG, H. SALVAT-TORRES, E. CABRERA-SANSÓN, A. GARCÍA-RODRÍGUEZ, A. FERNÁNDEZ-OSORIO, L. ESPINOSA-PANTOJA, D. CABRERA-GUERRA, L. M. PANTOJA-ECHEVARRÍA, H. CABALLERO-ARAGÓN & S. PERERA-VALDERRAMA. 2016. Density, size, biomass, and diet of lionfish in Guanahacabibes National Park, western Cuba. *Aquatic Biology* 24 (3): 219-226. DOI: 10.3354/ab00651
- CONANP (COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS). 2014. *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, 175 p.
- CONANP (COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS). 2017. *Programa de Manejo Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Ciudad de México, 347 p.
- ELISE, S., I. URBINA-BARRETO, H. BOADAS-GIL, M. GALINDO-VIVAS & M. KULBICKI. 2015. No detectable effect of lionfish (*Pterois volitans* and *P. miles*) invasion on a healthy reef fish assemblage in Archipelago Los Roques National Park, Venezuela. *Marine Biology* 162: 319-330. DOI: 10.1007/s00227-014-2571-y
- FORRESTER, G. E. 1990. Factors influencing the juvenile demography of a coral reef fish. *Ecology* 71 (5): 1666-1681. DOI: 10.2307/1937576
- FROESE, R. & D. PAULY. 2023. Fishbase. World Wide Web electronic publication. Disponible en línea en: <https://fishbase.se/> (consultado el 6 abril 2023)



- GARCÍA-RIVAS, M. C., S. MACHKOUR-M'RABET, G. PÉREZ-LACHAUD, J. J. SCHMITTER-SOTO, R. CÉRÉGHINO, C. DONEYS, N. ST-JEAN & Y. HÉNAUT. 2018. Age-dependent strategies related to lionfish activities in the Mexican Caribbean. *Environmental Biology of Fishes* 101: 563-578. DOI: 10.1007/s10641-018-0718-2
- GARDNER, P. G., T. K. FRAZER, C. A. JACOBY & R. P. E. YANONG. 2015. Reproductive biology of invasive lionfish (*Pterois* spp.). *Frontiers in Marine Science* 2: 1-10. DOI: 10.3389/fmars.2015.00007
- GÓMEZ-LOZANO, R., L. ANDERSON, J. L. AKINS, D. S. A. BUDDO, G. GARCÍA-MOLINER, F. GOURDIN, M. LAURENT, C. LILYESTROM, J. A. MORRIS JR., N. RAMNANAN & R. TORRES. 2013. *Estrategia regional para el control del invasor pez león en el Gran Caribe*. Iniciativa Internacional sobre los Arrecifes Corales (ICRI), Ciudad de México, 24 p.
- GONZÁLEZ-GÁNDARA, C. 2015. Peces del arrecife Blake, Veracruz, México: Inventario, distribución y afinidades zoogeográficas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2 (4): 87-98.
- GONZÁLEZ-GÁNDARA, C. 2020a. La comunidad de peces del arrecife Palo Seco, Veracruz, golfo de México y su relación con los grupos morfofuncionales. *CienciaUAT* 14 (2): 34-50. DOI: 10.29059/cienciauat.v14i2.1347
- GONZÁLEZ-GÁNDARA, C. 2020b. Composition, distribution and relative abundance of fishes linked to fringing reefs of southern Veracruz, Gulf of Mexico. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences* 12 (02): 217-228. DOI: 10.30574/gscbps.2020.12.2.0268
- GONZÁLEZ-GÁNDARA, C. & J. J. SALAS-PÉREZ. 2019. Caracterización del sustrato bentónico del arrecife Tuxpan, Veracruz, México, con énfasis en la comunidad de corales escleractinios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 54 (3): 259-271. DOI: 10.22370/rbmo.2019.54.3.2009
- GONZÁLEZ-GÁNDARA, C., V. DE LA CRUZ-FRANCISCO, J. J. SALAS-PÉREZ & C. DOMÍNGUEZ-BARRADAS. 2012. Lista de los peces de Tuxpan Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (3): 675-689.
- GONZÁLEZ-GÁNDARA, C., P. A. ESCARCEGA-QUIROGA & S. D. FLORES-SERRANO. 2020. Feeding ecology of *Pterois volitans* on the coral reefs of Northern Veracruz, Mexico. *Oceanography and Fisheries Open Access Journal* 12 (2): 555834. DOI: 10.19080/OFOAJ.2020.12.555834
- GOODBODY-GRINGLEY, G., C. EDDY, J. M. PITT, A. D. CHEQUER & S. ROBERTSON-SMITH. 2019. Ecological drivers of invasive lionfish (*Pterois volitans* and *Pterois miles*) distribution across mesophotic reefs in Bermuda. *Frontiers in Marine Science* 6: 258. DOI: 10.3389/fmars.2019.00258
- GREEN, S. J. & I. M. CÔTÉ. 2009. Record densities of Indo-Pacific lionfish on Bahamian coral reefs. *Coral Reefs* 28: 107. DOI: 10.1007/s00338-008-0446-8
- GREEN, S. J., J. L. AKINS, A. MALJKOVIĆ & I. M. CÔTÉ. 2012. Invasive lionfish drive Atlantic coral reef fish declines. *PLoS ONE* 7 (3): e32596. DOI: 10.1371/journal.pone.0032596
- GREEN S. J., N. TAMBURELLO, S. E. MILLER, J. L. AKINS & I. M. CÔTÉ. 2013. Habitat complexity and fish size affect the detection of Indo-Pacific lionfish on invaded coral reefs. *Coral Reefs* 32: 413-421. DOI: 10.1007/s00338-012-0987-8
- HACKEROTT, S., A. VALDIVIA, S. J. GREEN, I. M. CÔTÉ, C. E. COX, L. AKINS, C. A. LAYMAN, W. F. PRECHT & J. F. BRUNO. 2013. Native predators do not influence invasion success of Pacific lionfish on Caribbean Reefs. *PLoS ONE* 8 (7): e68259. DOI: 10.1371/journal.pone.0068259
- HAMMER, Ø., D. A. T. HARPER & P. D. RYAN. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Disponible en línea en: [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm) (consultado el 6 abril 2023)
- HARRIS, H.E., A. Q. FOGG, M. S. ALLEN, R. N. M. AHRENS & W. F. PATTERSON III. 2020. Precipitous declines in Northern Gulf of Mexico invasive lionfish populations following the emergence of an ulcerative skin disease. *Scientific Reports* 10: 1934. DOI: 10.1038/s41598-020-58886-8
- HIXON, M. A. & M. H. CARR. 1997. Synergistic predation, density dependence, and population regulation in marine fish. *Science* 277: 946-949. DOI: 10.1126/science.277.5328.946
- HIXON, M. A. & M. S. WEBSTER 2002. Density dependence in marine fishes: Coral reef populations as model systems. In: Sale, P. (Ed.). *Coral Reef Fishes Dynamics and Diversity in a Complex Ecosystem*. Academic Press, pp. 303-325.
- HUNT, C. L., G. R. KELLY, H. WINDMILL, J. CURTIS-QUICK, H. CONLON, M. D. V. BODMER, A. D. ROGERS & D. A. EXTON. 2019. Aggregating behaviour in invasive Caribbean lionfish is driven by habitat complexity. *Scientific Reports* 9: 783. DOI: 10.1038/s41598-018-37459-w
- KOHLER, K. E. & S. M. GILL. 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers and Geosciences* 32 (9): 259-1269. DOI: 10.1016/j.cageo.2005.11.009
- KULBICKI, M., J. BEETS, P. CHABANET, K. CURE, E. DARLING, S. R. FLOETER, R. GALZIN, A. GREEN, M. HARMELIN-VIVIEN, M. HIXON, Y. LETOURNEUR, T. LISON DE LOMA, T. McCLANAHAN, J. McILWAIN, G. MOUTHAM, R. MYERS, J. K. O'LEARY, S. PLANES, L. VIGLIOLA & L. WANTIEZ. 2012. Distributions of Indo-Pacific lionfishes *Pterois* spp. in their native ranges: implications for the Atlantic invasion. *Marine Ecology Progress Series* 446: 189-205. DOI: 10.3354/meps09442
- MONTAÑA-MENDOZA, J., T. CAMARENA-LUHRS, M. R. CASTAÑEDA-CHÁVEZ & F. LANGO-REYNOSO. 2017. Helminth parasites of red lionfish, *Pterois volitans* from the Veracruz coral reef system, Mexico, Southern Gulf of Mexico. *Journal of Agricultural Science* 9 (11): 30-33. DOI: 10.5539/jas.v9n11p30
- MONTAÑA-MENDOZA, J., E. ALARCÓN-REYES, M. R. CASTAÑEDA-CHÁVEZ, F. LANGO-REYNOSO & R. E. ZAMUDIO-ALEMÁN. 2019. Heavy metals in muscle tissue of *Pterois volitans* from the Veracruz Reef System National Park, Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16: 4611. DOI: 10.3390/ijerph16234611
- MORRIS, JR. J. A. & J. L. AKINS. 2009. Feeding ecology of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in the Bahamian archipelago. *Environmental Biology of Fishes* 86: 389-398. DOI: 10.1007/s10641-009-9538-8
- MORRIS, JR. J. A. & P. E. WHITFIELD. 2009. *Biology, ecology, control and management of the invasive Indo-Pacific lionfish: An updated in-*

- egrated assessment*. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 99. Beaufort, 57 p.
- MURILLO-PÉREZ, B. I., J. J. SCHMITTER-SOTO, D. COBIÁN-ROJAS & R. L. HERREIRA-PAVÓN. 2021. Trophic overlap of lionfish (*Pterois volitans*) and two native predators (*Lutjanus apodus* and *Cephalopholis cruentata*) in the western Caribbean. *Biota Neotropica* 21 (1): e20190909. DOI: 10.1590/1676-0611-BN-2019-0909
- NELSON, J. S., T. C. GRANDE & M. V. H. WILSON. 2016. *Fishes of the world*. John Wiley & Sons, New Jersey, 707 p.
- PALMER, G., J. D. HOGAN, B. D. STERBA-BOATWRIGHT & R. D. OVERATH. 2016. Invasive lionfish *Pterois volitans* reduce the density but not the genetic diversity of a native reef fish. *Marine Ecology Progress Series* 558: 223-234. DOI: 10.3354/meps11924
- PEAKE, J., A. K. BOGDANOFF, C. A. LAYMAN, B. CASTILLO, K. REALE-MUNROE, J. CHAPMAN, K. DAHL, W. F. PATTERSON III, C. EDDY, R. D. ELLIS, M. FALETTI, N. HIGGS, M. A. JOHNSTON, R. C. MUÑOZ, V. SANDEL, J. C. VILLASenor-DERBEZ & J. A. MORRIS JR. 2018. Feeding ecology of invasive lionfish (*Pterois volitans* and *Pterois miles*) in the temperate and tropical western Atlantic. *Biological Invasions* 20: 2567-2597. DOI: 10.1007/s10530-018-1720-5
- REYES-AGUILAR, A. R., M. R. CASTAÑEDA-CHÁVEZ, J. MONTAYA-MENDOZA, F. LANGO-REYNOSO, R. ZAMUDIO-ALEMÁN & J. RAMOS-MIRANDA. 2018. Morphometry of *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) in the Veracruz reef system in the central zone of the Gulf of Mexico. *Oceanography and Fisheries Open Access Journal* 5 (5): 555673. DOI: 10.19080/OFOAJ.2018.05.555673
- ROCHA, L. A., C. R. ROCHA, C. C. BALDWIN, L. A. WEIGT & M. McFIELD. 2015. Invasive lionfish preying on critically endangered reef fish. *Coral Reefs* 34: 803-806. DOI: 10.1007/s00338-015-1293-z
- RODRÍGUEZ-CORTÉS, K. D., A. AGUILAR-PERERA & J. L. BONILLA-GÓMEZ. 2015. Growth and mortality of red lionfish, *Pterois volitans* (Actinopterygii: Scorpaeniformes: Scorpaenidae), in the Parque Nacional Arrecife Alacranes, southern Gulf of Mexico, as determined by size-frequency analysis. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* 45 (2): 175-179. DOI: 10.3750/AIP2015.45.2.07
- ROGERS, J. S., S. G. MONISMITH, D. A. KOWEEK, W. I. TORRES & R. B. DUNBAR. 2016. Thermodynamics and hydrodynamics in an atoll reef system and their influence on coral cover. *Limnology and Oceanography* 61: 2191-2206. DOI: 10.1002/lno.10365
- RUTTENBERG, B. I., P. J. SCHOFIELD, J. L. AKINS, A. ACOSTA, M. W. FEELEY, J. BLONDEAU, S. G. SMITH & J. S. AULT. 2012. Rapid invasion of Indo-Pacific lionfishes (*Pterois volitans* and *Pterois miles*) in the Florida Keys, USA: Evidence from multiple pre- and post-invasion data sets. *Bulletin of Marine Science* 88 (4): 1051-1059. DOI: 10.5343/bms.2011.1108
- SABIDO-ITZÁ, M. M. & M. C. GARCÍA-RIVAS. 2019. Record of abundance, spatial distribution and gregarious behavior of invasive lionfish *Pterois* spp. (Scorpaeniformes: Scorpaenidae) in coral reefs of Banco Chinchorro Biosphere Reserve, southeastern Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research* 47 (2): 349-355. DOI: 10.3856/vol47-issue2-fulltext-15
- SANTANDER-MONSALVO, J., I. LÓPEZ-HUERTA, A. AGUILAR-PERERA & A. TUZ-SULUB. 2012. First record of the red lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758]) off the coast of Veracruz, Mexico. *BioInvasions Records* 1 (2): 121-124. DOI: 10.3391/bir.2012.1.2.07
- Schofield, P. J. 2009. Geographic extent and chronology of the invasion of non-native lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus 1758] and *P. miles* [Bennett 1828]) in the Western North Atlantic and Caribbean Sea. *Aquatic Invasions* 4 (3): 473-479. DOI: 10.3391/ai.2009.4.3.5
- Schofield, P. J. 2010. Update on geographic spread of invasive lionfishes (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758] and *P. miles* [Bennett, 1828]) in the Western North Atlantic Ocean, Caribbean Sea and Gulf of Mexico. *Aquatic Invasions* 5 (1): S117-S122. DOI: 10.3391/ai.2010.5.S1.024
- SOUTH, J., J. T. A. DICK, M. McCARD, D. BARRIOS-O'NEILL & A. ANTON. 2017. Predicting predatory impact of juvenile invasive lionfish (*Pterois volitans*) on a crustacean prey using functional response analysis: effects of temperature, habitat complexity and light regimes. *Environmental Biology of Fishes* 100: 1155-1165. DOI: 10.1007/s10641-017-0633-y