



UADY

CAMPUS DE
CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS
"Luz, Ciencia y Verdad"

FACULTAD DE MEDICINA/
VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Determinación de la edad del pez león (*Pterois volitans*) en el Parque Nacional Arrecife Alacranes, Sureste del Golfo de México

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN MANEJO DE
RECURSOS NATURALES TROPICALES**

POR:

**Licenciado en Biología Marina
Luis Antonio Quijano Puerto**

Asesor:

Dr. Jacinto Alfonso Aguilar Perera

Mérida, Yucatan., México, abril de 2016

Declaratoria

“El presente trabajo no ha sido aceptado o empleado para el otorgamiento de título o grado diferente o adicional al actual. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la UADY para la reproducción del documento con el fin del intercambio bibliotecario siempre y cuando se indique la fuente”.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y tía Concepción y Sara Puerto por haberme apoyado en este camino que escogí. Por tener paciencia y entender por que escogí este camino laboral que se ha vuelto mi vida con todo y sus altas y sus bajas.

A María Guadalupe Cruz Herrera por haberme oído, aconsejado y apoyado todo el trayecto de la tesis; por acompañarme en las noches en vela corrigiendo y ajustando este trabajo. Gracias por tenerme paciencia en esos momentos difíciles de este trayecto.

A mi tío Juan de Dios Pérez Alayón por ser un gran impulso en mi carrera siempre cuidándome y prestándome todo su apoyo, sin duda una gran persona que confió en mí.

A mi asesor Dr. J. Alfonso Aguilar Perera por haberme dado la oportunidad de trabajar en este proyecto el cual he pasado grandes momentos de mi vida académica y por darme oportunidad de poder presentar mis trabajos en congresos internacionales y crecer profesionalmente.

A mis compañeros Evelyn Carrillo-Flota, Damaris Camargo Saavedra, Diana Arely Coronado Rivera y Francisco Javier Méndez Anguiano por haber compartido horas de trabajo, laboratorio, viajes y experiencias en estos años de carrera. A mis amigos en general por haberme acompañado en todo momento.

Resumen

El pez león, *Pterois volitans*, nativo del océano Indo-Pacífico, fue introducido en el Atlántico Oeste donde ahora representa una amenaza para el ecosistema debido a su invasión biológica. El objetivo de este estudio fue determinar la edad del pez león por medio de la lectura de marcas de crecimiento en otolitos de individuos capturados en el Parque Nacional Arrecife Alacranes, en el Sureste del Golfo de México. Se obtuvieron 472 otolitos, de los cuales se tomó una muestra representativa (N = 90) para las estimaciones. El intervalo de la talla fue de 104 a 358 mm Lt (media 210 ± 76.28 mm) y las dimensiones del otolito fueron 2.11 a 6.24 mm Lto (media $4.24 \text{ mm} \pm 1.18\text{mm}$). Las edades del pez abarcaron de 0+ a 8 años siendo la más frecuente los individuos de 4 años (22%). Se obtuvo una relación lineal entre el radio del otolito (rc) y longitud total del pez (Lt) ($r^2 = 0.83$).

Palabras claves : pez león , edad , crecimiento , PNAA, otolitos

Índice de contenido

CAPITULO I.....	1
1.Introducción.....	2
2.Justificación.....	4
3. Revisión literatura.....	5
3.1 Taxonomía.....	5
3.2 Alimentación.....	6
3.3 Reproducción.....	6
3.4 Ciclo de vida del pez león.....	6
3.5 Invasión del pez león.....	7
3.6 Estudio de edad en peces.....	7
3.6.1 Otolitos en peces teleósteos.....	7
3.6.2 Morfología del otolito <i>sagitta</i>	9
3.6.3 Otolito del pez león.....	11
3.6.4 Determinacion de la edad mediante lectura de otolitos.....	11
4.Antecedentes.....	12
5.Objetivos.....	13
5.1 Objetivo general.....	13
5.2 Objetivo específico.....	13
6. Bibliografía.....	14
CAPÍTULO II.....	19
1. Artículo:.....	20
Edad del pez león (<i>Pterois volitans</i>) en el PNAA.....	21
2.Resumen.....	22
3. Introducción.....	23
4.Materiales y Métodos.....	23
4.1 Área de estudio.....	23

4.2 Colecta de muestras.....	25
4.3 Preparación de otolitos y análisis.....	26
5.Resultados	28
5.1 Talla de peces y otolitos.....	28
5.2 Edad.....	28
5.3 Relación de r_c y el L_t	30
6.Discusión.....	31
7. Agradecimiento.....	33
8. Referencias	34
Anexos.....	37

Índice de figuras Capítulo I

<i>Fig. 1.</i> Pez león (<i>Pterois volitans</i>).....	5
<i>Fig. 2.</i> Ubicación del otolito <i>sagitta</i> tomado de Tuset <i>et al.</i> 2008.....	8
<i>Fig. 3.</i> Esquema de las estructuras y áreas más frecuentes en los otolitos	10
<i>Fig. 4.</i> Otolito de pez león usado como base para describir de su morfología.....	11

Índice de figuras del capítulo II

<i>Fig. 1.</i> Ubicación del Parque Nacional Arrecife Alacranes, Sureste del Golfo de México .	24
<i>Fig. 2.</i> Mapa de PNAA dividido por zonas norte y sur.....	25
<i>Fig. 3.</i> Otolito del pez león con la medida de longitud total (L_{t_0}).....	26
<i>Fig. 4.</i> Corte de otolito tostado y marcas de los anillos.....	27
<i>Fig. 5.</i> Frecuencia relativa de edades del PNAA.	29
<i>Fig. 6.</i> Regresión lineal de <i>Pterois volitans</i> de la Longitud total (L_t) y radio (r_c)	30
<i>Fig. 7.</i> Regresión lineal de <i>Pterois volitans</i> entre la Longitud total (L_t) y la edad.....	31

Índice de tablas II

<i>Tabla I.</i> Edad y longitud total del pez león, <i>Pterois volitans</i> , en milímetros (mm) de especímenes del Parque Nacional Arrecife Alacranes.....	29
---	----

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

El pez león (*Pterois volitans*, Linnaeus, 1758), originario del océano Indo-Pacífico, fue introducido al Océano Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México, donde se ha convertido en una especie invasora (Whitfield *et al.*, 2007). En su área de origen habita arrecifes de coral y fondos rocosos (Schultz, 1986) y alcanza una talla máxima de 380 mm de longitud total y un peso total de 1100 a 1200 g (Fishelson, 1997).

Su invasión ocasiona efectos negativos, tanto económicos como ecológicos, debido a que puede alimentarse de organismos de importancia comercial como la langosta espinosa (*Panulirus argus*), meros (Epinephelidae) y pargos (Lutjanidae). Las características de la dieta del pez león en áreas invadidas podría afectar especies arrecifales como los peces herbívoros (ramoneadores), (Albins, 2015) los cuales se encargan de controlar la competencia entre el alga y el coral; este posible desequilibrio podría ocasionar un aumento en el crecimiento de algas en los arrecifes de coral (Albins & Hixon, 2008; Morris & Whitfield, 2009).

El pez león fue detectado por primera vez en 1992 en la costa del Atlántico Norte de EEUU (Whitfield *et al.*, 2002) donde continuó extendiéndose progresivamente por el Océano Atlántico. A inicios del 2009, se detectó por primera vez en el Mar Caribe de México, y a fines del 2009 en el Sureste del Golfo de México cerca del Parque Nacional Arrecife Alacranes (PNAA) (Aguilar-Perera & Tuz-Sulub, 2010).

Como una estrategia de detección, la Agencia Nacional Atmosférica y Oceanica (NOAA por sus siglas en ingles) estableció categorías del grado de invasión de acuerdo al número de peces león capturados por año (Morris & Withfield, 2009), estableciendo cuatro categorías: inicial (> 25 avistamientos), temprana (< 25 avistamientos), intermedia (hasta 200 avistamientos) y avanzada (< 200 avistamientos). Según este criterio, López-Gómez *et al.* (2014) determinó que la invasión para el PNAA se encuentra en un nivel avanzado. Aunque la invasión es un problema latente para el área, hasta la actualidad no se ha generado estudio alguno que determine la edad del pez león para el área.

En el océano Atlántico Occidental, Mar Caribe y Golfo de México la introducción, establecimiento y propagación del pez león, se ha sumado a las preocupaciones sobre la contaminación, enfermedades, sobrepesca y otras amenazas que enfrentan los ecosistemas

marinos. El pez ha alcanzado densidades de 300 a 650 peces por hectárea en Las Bahamas (Côté, 2010; Frazer *et al.*, 2012) y tiene el potencial para reducir significativamente el número y la biomasa de especies nativas (Edwards *et al.*, 2014).

En el reino animal, el crecimiento se estima por medio de incrementos (anuales o diarios), que a su vez se usan para determinar la edad. Estos incrementos se reflejan en las marcas en diversas estructuras, como conchas de bivalvos (Lutz & Rhoads, 1980), esqueletos de coral (Dodge & Thomson, 1974), mandíbulas de poliquetos (Oliva, 1980), estatolitos en el calamar (Arkhipkin, 1997), dientes de mamíferos (Goren *et al.*, 1987) y caparazones de tortuga (Germano, 1998). La mayoría de los estudios que determinan la edad en peces están basados en el análisis de estructuras duras, en general otolitos, que son pequeñas estructuras calcificadas que se encuentran en la cápsula ótica del pez. Estas estructuras registran información química y física en diferentes escalas temporales relacionadas con el crecimiento del pez y su ambiente (Campana, 1999). La estimación de la edad es uno de los procesos más importantes para estudios biológicos, la cual detecta la tasa de crecimiento en peces (Campana, 2001).

El objetivo de este trabajo es determinar la edad del pez león, *Pterois volitans*, en el Parque Nacional Arrecife Alacranes a través de la lectura de los anillos de crecimiento en otolitos *sagitta*.

2. JUSTIFICACIÓN

EL pez león invasor se detectó en el PNAA en 2010. Se han generado estudios básicos que describen aspectos biológicos, ecológicos y pesqueros. Hasta ahora no existen estudios de la edad y crecimiento del pez en esta zona por medio del análisis de otolitos. La determinación de la edad del pez permite el cálculo de las tasas de crecimiento y la mortalidad. Este estudio aportará datos básicos sobre la edad del pez león, lo que puede ser usados en estudios futuros que describan su dinámica poblacional por medio de modelos de crecimiento. Estos modelos se pueden relacionar con su ciclo reproductivo o estudios comparativos que permitan establecer estrategias de manejo para el control de la población de una especie invasora.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 TAXONOMÍA

Pterois volitans (Fig. 1) es un pez arrecifal originario del Pacífico occidental y central, y Australia occidental (Schultz, 1986). Pertenece al Reino Animalia, Phylum Chordata, Subphylum Vertebrata, Superclase Osteichthyes, Clase Actinopterygios, Subclase Neopterygii, Infraclasse Teleostei, Superorden Acanthopterygii, Orden Scorpaeniformes Suborden Scorpaenoidei, Familia Scorpaenidae, Género *Pterois* (Oken, 1817), Especie *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758). Recibe varios nombres comunes, como pez león, pez escorpión, pez pavo real, pez cebrá y pez mariposa. Posee 13 espinas dorsales, de 10 a 11 radios dorsales, 3 espinas anales, 6 a 7 radios anales (Schultz, 1986) y puede presentar grandes cirros supra-oculares. Su coloración es generalmente rojiza con bandas blancas pero es posible observar colores oscuros negros o cafés, dependiendo del hábitat.



Fig. 1. Pez león (*Pterois volitans*)

3.2 ALIMENTACIÓN

Es un depredador voraz que se alimenta principalmente de peces pequeños y en menor medida de crustáceos (Quijano-Puerto *et al.*, 2012). La dieta de este pez generalmente está determinada por la disponibilidad de presas condicionadas por el hábitat (Morris & Akins, 2009). Para el PNAA, el pez león se ha encontrado a una profundidad de 5 a 30 metros, mostrando ser un depredador generalista, de hábitos bentónicos que se alimenta principalmente de peces teleósteos y cuya dieta se encuentra representada por peces de la familia Pomacentridae, Gobiidae y Labridae (Quijano-Puerto *et al.*, 2012).

3.3 REPRODUCCIÓN

Presenta una sexualidad gonocórica (Fishelson, 1975) y sexualmente madura entre los 180-190 mm de longitud total cuando tiene una edad de 1 a 2 años (Fishelson, 1997; Imamura & Yabe, 1996). Las hembras producen dos sacos de huevecillos envueltos en una mucosa que se disuelve liberándolos en la columna de agua; los huevos y la etapa larval son pelágicos (Ruiz-Carus *et al.*, 2006). Tiene una fecundidad anual estimada de más de dos millones de huevos por hembra (Morris & Whitfield, 2009), con un periodo larval de 20 a 35 días (Ahrenholz & Morris 2010). En consecuencia, las tasas de crecimiento de la población es alta y exitosa en las regiones invadidas (Albins & Hixon, 2013).

3.4 CICLO DE VIDA DEL PEZ LEÓN

El pez león posee un desarrollo típico de los peces que producen huevos pelágicos, la dispersión larval se realiza en la superficie marina o en la columna de agua y los juveniles presentan su asentamiento en los arrecifes o fondos rocosos. Las larvas del pez león pueden dispersarse a grandes distancias (Ahrenholz & Morris 2010, Vásquez-Yeomans *et al.* 2011). El tiempo del asentamiento larval se ha calculado de 20 a 35 días (Ahrenholz & Morris, 2010). En consecuencia, los juveniles que reclutan en determinado lugar pueden ser el resultado de un desove lejano (Morris, 2013).

3.5 INVASIÓN DEL PEZ LEÓN

En 1985 ocurrió el primer avistamiento para los Estados Unidos en la costa del Atlántico. Eventualmente, fue reportado en 1992 en la Bahía de Biscayne (Courtenay, 1995). Ese mismo año también se detectó en Palm Beach, Boca Ratón y Miami (Courtenay, 1995; Hare y Whitfield, 2003; Whitfield *et al.*, 2007). En 2007 se reportó para Turcos y Caicos en West Caicos y para Cuba (Chevalier *et al.*, 2008). En 2009 se reportó por primera vez en México para Cozumel. En Roatán, Honduras y Costa Rica (Schofield, 2010). En diciembre del mismo año fue reportado cerca del Parque Nacional Arrecife Alacranes, que se encuentra a 130 kilómetros de la costa norte de la península de Yucatán (Aguilar-Perera & Tuz-Sulub, 2010).

3.6 ESTUDIOS DE EDAD EN PECES

Aristóteles (siglo IV a.C.) reconoció la existencia de un par de "piedras" en el cráneo de algunas especies de peces. Georges Cuvier fue el primer naturalista en describir las "piedras del oído" y reconocer su especificidad morfológica sugiriendo que los otolitos podrían ser utilizados para identificar las especies de peces (Tuset *et al.*, 2008). Reibisch (1899) detectó la presencia de anillos anuales en los otolitos y las describió como bandas translúcidas que se alternaban con bandas opacas (Tomado de Tuset *et al.*, 2008). A finales de la década de 1960 y comienzos de la década de 1970, el estudio de otolitos tiene una nueva perspectiva donde éstos se empiezan utilizar para la determinación de la edad y crecimiento. Pannella (1971) fue el primero en proponer una técnica de lectura al identificar el crecimiento de los anillos diarios de los otolitos en peces (Campana & Thorrold, 2001).

Los otolitos proveen estimaciones más exactas de la edad en comparación con otras estructuras como escamas y vértebras (Secor, 1995; Campana, 2001). Los estudios de edad y crecimiento en peces son una práctica habitual hoy en día en biología pesquera, donde son utilizados para la evaluación de las poblaciones, principalmente para el establecimiento de medidas reglamentarias para la pesca, la dinámica poblacional y las características de historia de vida (Winemiller & Rose 1992; Worthington *et al.*, 1995; Campana, 2001).

3.6.1 OTOLITOS EN PECES TELEÓSTEOS

Los otolitos son estructuras calcáreas que presentan diferentes tipos de formas, tanto intra e inter-especies (Tuset *et al.*, 2008). En los peces teleósteos son estructuras policristalinas que se localizan en el oído interno (Fig. 2). Son concreciones acelulares de carbonato de calcio, y otras sales inorgánicas, que se desarrollan a través de una matriz de proteína (Cermeño *et al.*,

2006). El carbonato se cristaliza en forma de aragonita y adquiere forma de prismas que se disponen concéntricamente sobre un núcleo central y se encuentran unidos por una matriz orgánica compuesta de una proteína fibrosa de tipo colágeno llamada otolina (Morales-Nin & Panfili 2002).

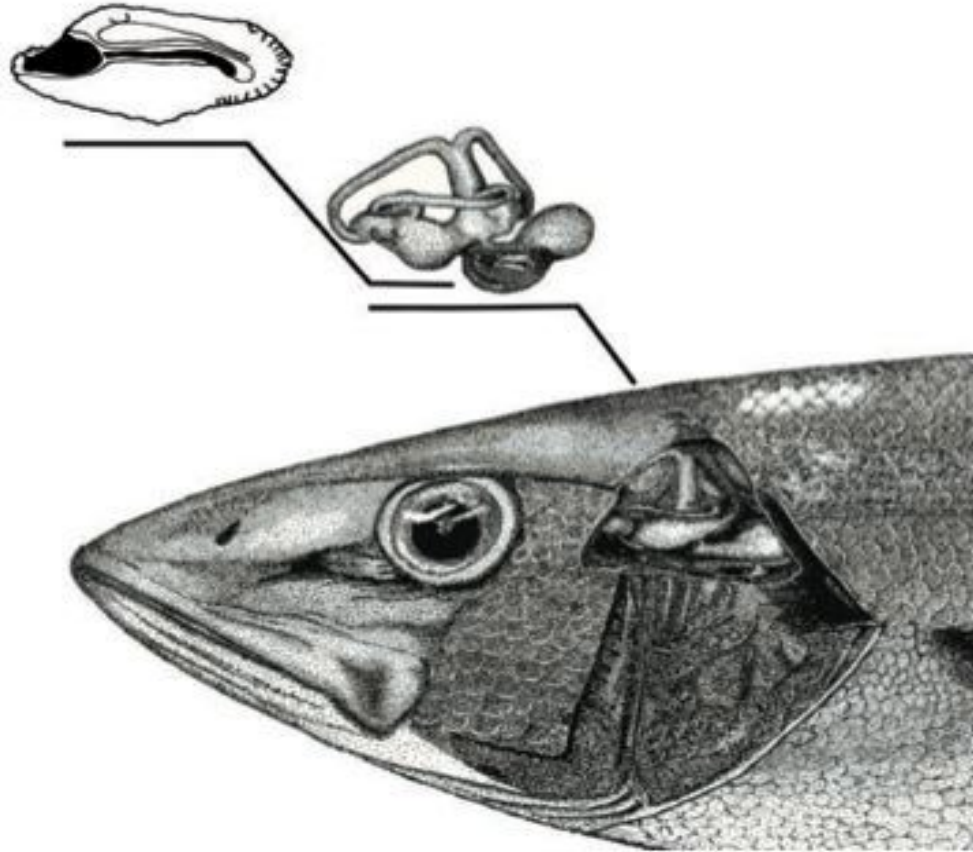


Fig. 2. Ubicación del otolito *sagitta* en el oído interno del pez (tomado de Tuset *et al.* 2008)

El oído interno de los peces está situado dentro del cráneo, en la zona adyacente al neurocráneo y cerca de la línea central. Los peces óseos presentan tres pares de otolitos los cuales se ubican en diferentes partes del oído interno. Los tres pares de otolitos son: *sagitta*, que se ubica en el sáculo, *asteriscus* que se ubica en la lagena y *lapillus* ubicado en utrículo (Tuset, 2001; Morales-Nin & Panfili 2002). Los otolitos intervienen en la percepción de vibraciones, ayudan al equilibrio y de igual manera sirven para la percepción de las vibraciones del agua (Gaudile, 1988; Tuset, 2001; Morales-Nin & Panfili, 2002).

3.6.2 MORFOLOGÍA DEL OTOLITO *SAGITTA*

Los otolitos *sagitta* varían según en su tamaño y forma, pero por lo general existen áreas y estructuras frecuentes (Fig. 3) las cuales se usan para la identificación de familias o especies, las estructuras mas frecuentes son (Tuset *et al.*, 2008).

Sulcus acústico: es una parte importante del *sagitta*, poseen características más importantes para la identificación de una especie. Es una apertura que se muestra por el surco, la relación morfológica entre el *ostium* y la *cauda*, y la posición del surco son particularmente importantes.

Ostium: es el componente más diverso del surco en términos de forma. Su diversidad no sólo está relacionada con el área de la región anterior que está hundida para formar el surco, pero también a la región donde la *cauda* se conecta al *ostium*, que dicta la curvatura de las paredes del canal en la región de confluencia.

Cauda: es la región del surco que se encuentra pegada al *ostium* y puede dividirse en tres tipos tubular, elípticas y redonda-ovalada

Rostrum : es normalmente una protuberancia en el borde anterior del otolito debajo del ostium y con frecuencia incluye la mayoría de la punta del otolito anterior. La forma puede ser de pico, redondo o redonda.

Antirostrum: es una protuberancia que es normalmente menor que el *rostrum* que a veces se desarrolla por encima de la apertura del *ostium* cuando el *excisura* forma una muesca. La forma puede ser de pico, redondo o redonda.

excisura: es la parte del margen anterior del otolito donde se abre el *ostium*. está situado entre la tribuna y la *antirostrum*, cuando ambos están diferenciadas. Se pueden ver muescas (aguda o redonda, superficial o profunda)y puede ser, *cauda* o ambas .

Margin : son los contornos de los otolitos los cuales no siempre son lisos y con frecuencia tienen pequeñas protuberancias, cortes y hendiduras. Los márgenes de otolitos se pueden dividir en secciones de acuerdo a los diferentes tipos de estructuras.

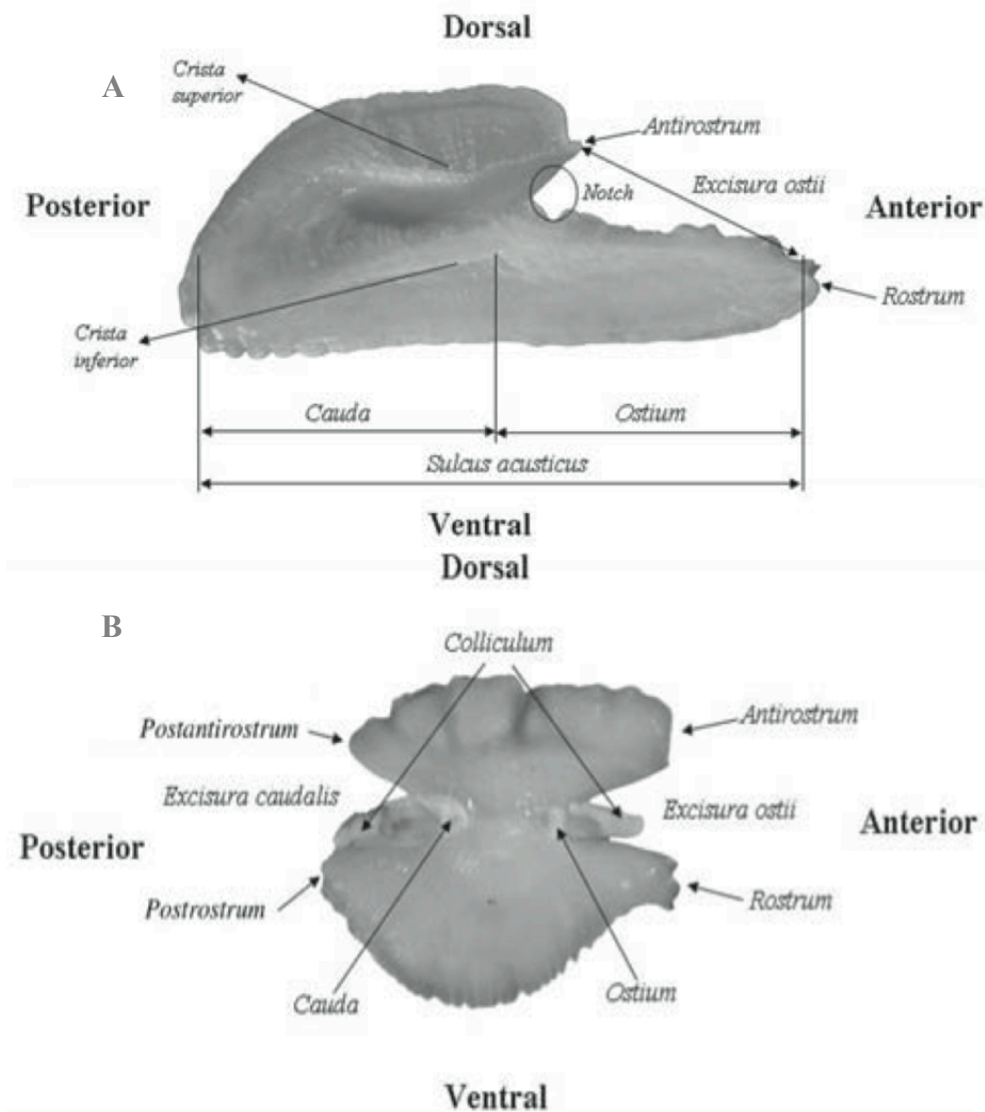


Fig. 3. Esquema de las estructuras y áreas más frecuentes en los otolitos; A) modelo de otolito con la ubicación de las partes *Antirostrum*, *excisura*, *rostrum*, *ostium* y *cauda* B) modelo de otolito con la ubicación de las partes *Antirostrum*, *excisura ostii*, *rostrum*, *ostium*, *cauda*, *post-rostrum*, *excisura caudalis* y *post-rostrum* (tomado de Tuset *et al.*, 2008).

El otolito *sagitta* usualmente es una estructura comprimida lateralmente, más larga que ancha y más ancha que gruesa, son ligeramente comprimidos de manera longitudinal a lo largo de su cara media, con un surco acústico o surco simple, el *ostium* y la *cauda*, los cuales están limitados por los bordes más o menos desarrollados y evidentes; el *ostium* se encuentra por general en la parte anterior de la *excisura*; la *cauda* se encuentra en las parte posterior y

se encuentra frecuentemente cerrada a menudo con una punta curvada ventralmente que no alcanza el borde posterior del otolito (Tuset *et al.*, 2008).

3.6.3 OTOLITO DEL PEZ LEÓN

El otolito del pez león es fusiforme, ligeramente ovalado. El *Sulcus* acústico se encuentra en una posición medial y su apertura es *ostial*. El *ostium* es tubular con líneas curvas generalmente aumentado su tamaño mientras se acerca a la *cauda*. La *cauda* es tubular curvada ligeramente hacia la zona dorsal. La región anterior tiene un *rostrum* grueso y con ligeras curvas en la parte superior. El *anti-rostrum* se encuentra bien marcado en forma puntiaguda y está ligeramente marcado con bordes redondos. El *pos-rostrum* se manifiesta con bordes puntiagudos redondeados. La *excisura* puede estar presente o no, de estar es menor a la de región anterior en un ángulo agudo con bordes redondeados o estar ausente. Los bordes fueron divididos en cuatro secciones, la posterior-dorsal con bordes lobulados, la dorsal-anterior con bordes irregulares; las secciones anterior-ventral y ventral-posterior ambas con bordes dentados (Fig. 4).

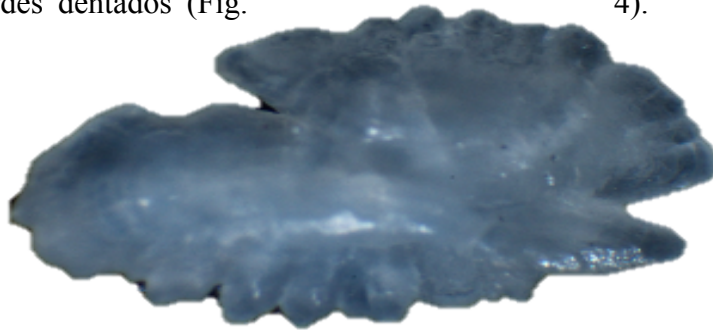


Fig. 4. Otolito de pez león usado como base para describir la morfología de 5.18 mm Lt₀

3.6.4 DETERMINACIÓN DE LA EDAD MEDIANTE LECTURA DE OTOLITOS

La técnica de lectura de otolitos se basa en contabilizar los anillos (anuales o estacionales) visibles, los cuales están compuestas de un anillo opaco y otro translucido. La lectura se realiza sobre la cara externa del otolito y con la ayuda de luz transmitida (Morales-Nin, 1992). Este método presenta dificultades en la visibilidad de las marcas en peces cuyos otolitos son muy densos o en peces longevos. Estas características dificultan la lectura debido a que el crecimiento del otolito es alométrico, produciéndose mayor deposición de carbonato en los ejemplares más viejos (Beamish & McFarlane, 1987). En caso dado que la lectura de los otolitos sea difícil, existen técnicas como el tostado o la tinción. Estas técnicas

acentúan los anillos de crecimiento ya sea con los otolitos enteros o seccionados (Christensen, 1964; Richter & McDermott, 1990).

4. ANTECEDENTES

Existen varios estudios de la familia de los escorpénidos donde se usan los otolitos para determinar la edad. Los otolitos de estos peces presentan un núcleo oscuro y un patrón de marcas establecidas, con un anillo claro después del núcleo seguido por un anillo opaco. El espesor de los anillos se va reduciendo progresivamente conforme se aleja del núcleo (La Mesa *et al.*, 2005). La familia de los escorpénidos tiene especies de vida corta, como *Scorpaena maderensis* cuya edad máxima es de 4 años (La Mesa *et al.*, 2005). *Scorpaena porcus* alcanza una edad máxima de 7 años (Bilgin & Celik, 2009). *Scorpaena notata* presenta una edad máxima de 8 años (Ordines *et al.*, 2009). También existen escorpénidos de vida larga como *Helicolenus dactylopterus* cuya edad máxima es de 43 años (Allain & Lorance, 2000; Massuti *et al.*, 2000) y el *Pontinus kuhlii* que llega a una edad máxima de 30 años (Barros Paiva *et al.*, 2013).

Pterois volitans es de vida corta, pero puede alcanzar una edad máxima de 10 años en su área nativa (Fishelson, 1997). En áreas invadidas son relativamente pocos los estudios que se han realizado para determinar su edad. Entre estos estudios resaltan los de Potts *et al.* (2010) en Onslow Bay, en Carolina del Norte, donde los pez león alcanzan una edad de 8 años y tallas de 150 mm hasta 220 mm longitud total. Edwards *et al.* (2014) en Little Cayman, Islas Caimán, determinaron la edad y el crecimiento del pez león, encontrando que los machos estaban en un rango de edad de 0 a 5 años de edad y una talla de 27 a 391 mm de longitud total y las hembras en un rango de 0 a 3 años de edad y una talla de 40 a 333 mm de longitud total. Estos dos estudios son los primeros en utilizar los otolitos como base para determinar la edad y el crecimiento de este pez en zonas que presentan la problemática de la invasión.

En Yucatán, los estudios de edad se han realizado generalmente en especies de importancia comercial. Entre estos estudios sobresalen los realizados por Rénan *et al.* (2012), donde determinó la edad del negrilla (*Mycteroperca bonaci*) en el rango de 2 a 27 años. Vega-Rodríguez y Ayala-Pérez (2014) determinaron la edad del sábalo (*Megalops atlanticus*) con un rango de 0+ a 60 años. Johnson . (1995) determinaron la edad del pargo (*Lutjanus synagris*) con un rango de 2 a 17 años. Leonce-Valencia (1999) determinó la edad de la Sardina Escamuda (*Harengula jaguana*) con una rango de edad de 2 a 7 años.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- Determinar la edad del pez león (*Pterois volitans*) en el Parque Nacional Arrecife Alacranes, sureste del golfo de México a través de la lectura de anillos en los otolitos *sagitta*

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar los anillos de crecimiento (bandas opacas y translúcidas) en los otolitos *sagitta*.
- Determinar la relación entre el radio del otolito (r_c) y la longitud total del pez (L_t)
- Determinar la relación entre la longitud total del pez y la edad estimada del pez

Bibliografía

- Aguilar-Perera, A. & Tuz-Sulub A. (2010). "Non-native, invasive Red lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758]: Scorpaenidae), is first recorded in the southern Gulf of Mexico, off the northern Yucatan Peninsula, Mexico". *Aquatic Invasions* 5: S9-S12.
- Ahrenholz, D. W., & Morris Jr, J. A. (2010). "Larval duration of the lionfish, *Pterois volitans* along the Bahamian Archipelago". *Environmental Biology of Fishes* 88: 305-309.
- 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.
- Albins, M. A. & Hixon M. A. (2008). "Invasive Indo-Pacific lionfish *Pterois volitans* reduce recruitment of Atlantic coral-reef fishes". *Marine Ecology Progress Series* 367: 233-238.
- Albins, M. A. & Hixon M. A (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.
- Allain, V. & Lorange, P. (2000). "Age estimation and growth of some deep-sea fish from the northeast Atlantic Ocean". *Cybium*, 24(3), 7-16.
- Arkhipkin, A. I. (1997). "Age and growth of the mesopelagic squid *Ancistrocheirus lesueurii* (Oegopsida: Ancistrocheiridae) from the central-east Atlantic based on statolith microstructure". *Marine Biology* **129**, 103–111.
- Barros Paiva, R., Neves, A., Sequeira, V., Vieira, A. R., Costa, M. J., Domingos, I. & Serrano-Gordo, L. (2013). "Age, growth and mortality of *Pontinus kuhlii* (Bowdich, 1825)(Scorpaeniformes: Scorpaenidae) in the Gorringe, Ampère, Unicorn and Lion seamounts". *Scientia Marina*, 77(1), 95-104.
- Beamish, R. J. & McFarlane, G. A. (1987). "Current trends in age determination methodology. Age and growth of fish". Iowa State University Press, Ames, 15-42.
- Bilgin, S. & Çelik, E. Ş. (2009). "Age, growth and reproduction of the black scorpionfish, *Scorpaena porcus* (Pisces, Scorpaenidae), on the Black Sea coast of Turkey". *Journal of Applied Ichthyology*, 25(1), 55-60.
- Campana, S. E. (1999). "Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications". *Marine ecology Progress Series*, 188, 263-297
- Campana, S. (2001). "Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods". *Journal of Fish Biology* 59(2): 197-242.
- Campana, S. E., & Thorrold, S. R. (2001). Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58(1), 30-
- Cermeño, P., Morales-Nin, B. & Uriarte, A. (2006). "Juvenile European anchovy otolith microstructure". *Scientia Marina*, 70(3), 553-557.

- Chevalier, P., Gutiérrez, E., Ibarzabal, D., Romero, S., Isla, V., Calderín, J. & Hernández, E. . (2008). “Primer registro de *Pterois volitans* (Pisces: Scorpaenidae) para aguas cubanas”. *Solenodon* 7: 37-40.
- Christensen, J.M. (1964).”Burning of otoliths, a technique for age determination of soles and other fish”. *Journal du conseil*, 29(1), 73-81.
- Côté I. M. & Maljkovic A.(2010). “Predation rates of Indo-Pacific lionfish on Bahamian coral reefs”. *Marine Ecology Progress Series* 404: 219–225.
- Courtenay, W.R. (1995).”Marine fish introductions in southeastern Florida”. *American Fisheries Society Introduced Fish Section Newsletter*. "Courtenay WR.1995 Marine fish introductions in southeastern Florida. *American Fisheries Society Introduced Fish Section Newsletter*."
- Dodge, R. E., & Thomson, J. (1974). “The natural radiochemical and growth records in contemporary hermatypic corals from the Atlantic and Caribbean.Earth and Planetary” *Science Letters*, 23(3), 313-322.
- Edwards M. A. Frazer T. K, & Jacoby C. A. (2014). “Age and growth of invasive lionfish (*Pterois* spp.) in the Caribbean Sea, with implications for management”. *Bulletin of Marine Science*. 90(4),
- Fishelson, L. (1975). “Ethology and reproduction of pteroid fishes found in the Gulf of Aqaba (Red Sea), especially *Dendrochirus brachypterus* (Cuvier), (Pteroidae, Teleostei)”. *Pubblicazioni della Stazione zoologica di Napoli* 39(Suppl. 1).
- Fishelson, L. (1997). “Experiments and observations on food consumption, growth and starvation in *Dendrochirus brachypterus* and *Pterois volitans* (Pteroinae, Scorpaenidae)”. *Environmental Biology of Fishes* 50(4): 391-403.
- Frazer, T. K., Jacoby, C. A., Edwards, M. A., Barry, S. C. & Manfrino, C. M. (2012). “Coping with the lionfish invasion: can targeted removals yield beneficial effects?” *Reviews in Fisheries Science*, 20(4), 185-191.
- Germano, D. J. (1998). “Scutes and age determination of desert tortoises revisited”. *Copeia* 1998, 482–484.
- Goren, A. D., Brodie, P. F., Spotte, S., Ray, G. C., Kaufman, H. W., Gwinnett, A. J., Sciubba, J. J. & Buck, J. D. (1987). “Growth layer groups (GLGs) in the teeth of an adult belukha whale (*Delphinapterus leucas*) of known age: evidence for two annual layers”. *Marine Mammal Science* 3, 14–21.
- Hare, J.A. & Whitfield P.E. (2003) “An Integrated Assessment of the Introduction of Lionfish (*Pterois volitans* /*miles* complex) to the Western Atlantic Ocean”.NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 99. 57 pp.
- Imamura, H. & Yabe M. (1996). “Larval record of a red firefish, *Pterois volitans*, from northwestern Australia (Pisces: Scorpaeniformes)”. *Bulletin of the Faculty of Fisheries-Hokkaido University* 47.
- Johnson, A. G., Collins, L. A., Dahl, J., & Baker Jr, M. S. (1995). “Age, growth, and mortality of lane snapper from the northern Gulf of Mexico”. *Proceedings of the Annual*

Conference, Southeast Association of Fish and Wildlife Agencies, Nashville, (Vol. 49, pp. 178-186).

La Mesa, M., La Mesa, G., & Micalizzi, M. (2005). "Age and growth of madeira scorpionfish, *Scorpaena maderensis* Valenciennes, 1833, in the central Mediterranean". Fisheries research, 74(1), 265-272.

Leonce-Valencia, C. O. (1999). Edad y Crecimiento de la Sardina Escamuda (*Harengula jaguana*, Poey, 1865) en Costas de Yucatán, México. In Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute (Vol. 45, p. 160). Gulf and Caribbean Fisheries Institute.

López-Gómez MJ, Aguilar-Perera A. & Perera-Chan L. (2014). "Mayan diver-fishers as citizen scientists: detection and monitoring of the invasive red lionfish in the Parque Nacional Arrecife Alacranes, southern Gulf of Mexico". Biological Invasions. 16:1351–1357.

Lutz, R. A., & Rhoads, D. C. (1980). "Growth patterns within the molluscan shell: An overview. In "Skeletal Growth of Aquatic Organisms" (D. C. Rhoads and R. A. Lutz, Eds.), pp. 203–254. Plenum, New York.

Massutí E., Morales-Nin, B., & Moranta, J. (2000). "Age and growth of blue-mouth, *Helicolenus dactylopterus* (Osteichthyes: Scorpaenidae), in the western Mediterranean". Fisheries Research, 46(1), 165-176.

Morales-Nin, B. (1992) "Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos" Vol. 322. FAO.

Morales-Nin, B. & Panfili J. Sclerochronological studies: Age estimation. – 2002. In: J. Panfili, H. de Puntual, H. Toradec, P.J. Wright (eds.), Manual of fish sclerochronology, pp. 91-98.

Morris, J.A., Jr., & Whitfield P.E. (2009). "Biology and ecology of the invasive lionfishes, *Pterois miles* and *Pterois volitans*". Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute.

Morris Jr, J. A. & Akins J. L. (2009). "Feeding ecology of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in the Bahamian archipelago". Environmental Biology of Fishes 86(3): 389-398.

Olive, P. J. W. (1980). "Growth lines in polychaete jaws (teeth). In *Skeletal Growth of Aquatic Organisms*" (Rhoads, D. C. & Lutz, R. A., eds), pp. Biological Records of Environmental 561–594. New York: Plenum Press.

Ordines, F., Quetglas, A., Massutí, E., & Moranta, J. (2009). "Habitat preferences and life history of the red scorpion fish, *Scorpaena notata*, in the Mediterranean". Estuarine, Coastal and Shelf Science, 85(4), 537-546.

Pannella, G. (1971). "Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns". Science 173(4002): 1124-1127.

Potts, J., Berrane, D., & Morris J. (2010). "Age and Growth of Lionfish, *Pterois volitans*, from the Western North Atlantic". Proceedings of the Gulf Caribbean Fisheries Institute. 63:43.

- Quijano-Puerto, L., Perera-Chan, L., Aguilar-Perera, A., & Sulub, A. T. (2012). "Dieta del Pez León Rojo, *Pterois volitans*, in el Parque Nacional Arrecife Alacranes, Sureste del Golfo de México". 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute, 333-337
- Richter, H., & McDermott, J. G. (1990). "The staining of fish otoliths for age determination". *Journal of Fish Biology*, 36(5), 773-779.
- Reibisch, J. (1899). "Über die Eizahl bei *Pleuronectes platessa* und die Altersbestimmung dieser Form aus den Otolithen. The number of eggs in the *Pleuronectes platessa* and the fixing of its age by means of the otolith". Translated by ATA Dobson. *Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen NF Abt. Kiel*, 4, 231-248.
- Rénan, X., Seca-Chablé, E. & BRULÉ, T. (2013). "Age and Growth of *Mycteroperca bonaci* from Southern Gulf of Mexico". *Proceedings of the 65th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*
- Ruiz-Carus, R., Matheson, R. E., Roberts, D. E., & Whitfield, P. E. (2006). "The western Pacific red lionfish, *Pterois volitans* (Scorpaenidae), in Florida: Evidence for reproduction and parasitism in the first exotic marine fish established in state waters". *Biological Conservation* 128(3): 384-390.
- Schofield, P. J. (2010). "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.
- Schultz, E. T. (1986). "*Pterois volitans* and *Pterois miles*: two valid species". *Copeia*: 686-690.
- Secor, D. H. (1995). "Larval mark-release experiments: potential for research on dynamics and recruitment in fish stocks". *Recent developments in fish otolith research*: 423-444.
- Tuset, V. (2001). "Morfología del otolito sagitta y determinación del crecimiento en especies del género *Serranus* (osteichthyes, serranidae)". Tesis de Doctorado, Universidad de la Laguna. Las Palmas, España.
- Tuset, V. M., Lombarte, A., & Assis, C. A. (2008). "Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic". *Scientia Marina*, 72(S1), 7-198.
- Vásquez-Yeomans, L., Carrillo, L., Morales, S., Malca, E., Morris Jr, J. A., Schultz, T., & Lamkin, J. T. (2011). "First larval record of *Pterois volitans* (Pisces: Scorpaenidae) collected from the ichthyoplankton in the Atlantic". *Biological invasions*, 13(12), 2635-2640.
- Vega-Rodríguez, B., & Ayala-Pérez, L. (2014). "Edad y crecimiento del sábalo *Megalops atlanticus* en la costa de Campeche, México". *Revista de biología marina y oceanografía*, 49(2), 351-359.
- Whitfield, P. E., Gardner, T., Vives, S. P., Gilligan, M. R., Courtenay Jr, W. R., Ray, G. C., & Hare, J. A. (2002). "Biological invasion of the Indo-Pacific lionfish *Pterois volitans* along the Atlantic coast of North America". *Marine Ecology Progress Series*, 235, 289-297.

Whitfield, P. E., Hare J. A., David A. W., Harter S. L., Munoz R. C. & Addison C. M.(2007). "Abundance estimates of the Indo-Pacific lionfish *Pterois volitans /miles* complex in the Western North Atlantic". *Biological Invasions* 9: 53-64.

Winemiller, K. O. & Rose K. A.. (1992). "Patterns of life-history in North America Fishes: implications for population regulations". *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49 (10): 2196-2218.

Worthington, D. G., Fowler, A. J., & Doherty, P. J. (1995). "Determining the most efficient method of age determination for estimating the age structure of a fish population". *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(11), 2320-2326.

CAPÍTULO II

1. Artículo:

Edad del pez león (*Pterois volitans*) en el Parque Nacional Arrecife Alacranes, Sureste del Golfo de México

Este artículo fue elaborado de acuerdo con las instrucciones de autor de Journal of Fish Biology

Edad del pez león (*Pterois volitans*) en el Parque Nacional Arrecife Alacranes, Sureste del Golfo de México

Quijano-Puerto L.* y Aguilar-Perera, A.

Departamento de Recursos Marinos Tropicales, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, Km. 15.5, carretera Mérida—Xmatkuil, A.P. 4—116 Itzimná, C.P. 97315, Mérida, Yucatán, México.

**Autor para correspondencia: luis_quijano18@hotmail.com*

2. RESUMEN

El pez león, *Pterois volitans*, nativo del océano Indo-Pacífico, fue introducido en el Atlántico Oeste donde ahora representa una amenaza para el ecosistema debido a su invasión biológica. El objetivo de este estudio fue determinar la edad del pez león por medio de la lectura de marcas de crecimiento en otolitos de individuos capturados en el Parque Nacional Arrecife Alacranes, en el Sureste del Golfo de México. Se obtuvieron 472 otolitos, de los cuales se tomó una muestra representativa (N = 90) para las estimaciones. El intervalo de la talla fue de 104 a 358 mm Lt (media 210 \pm 76.28 mm) y las dimensiones del otolito fueron 2.11 a 6.24 mm Lto (media 4.24 mm \pm 1.18mm). Las edades del pez abarcaron de 0+ a 8 años siendo la más frecuente los individuos de 4 años (22%). Se obtuvo una relación lineal entre el radio del otolito (rc) y longitud total del pez (Lt) ($r^2 = 0.83$ y $P > 0.05$).

Palabras clave: Pez León, edad , otolitos, Golfo de México

INTRODUCCIÓN

El pez león, *Pterois volitans*, originario del Indo-Pacífico, invadió el Océano Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México (Whitfield *et al.*, 2002; Aguilar-Perera & Tuz-Sulub, 2010). Su crecimiento poblacional ha afectado las áreas invadidas (Albins & Hixon, 2008; Morris y Whitfield, 2009) donde su impacto en los ecosistemas marinos probablemente aumente; varios autores recalcan la importancia de conocer sus aspectos biológicos y su ciclo de vida en los sistemas invadidos (Morris & Whitfield, 2009).

La determinación de la edad es una práctica habitual en biología pesquera, pero también sirve para estudios ecológicos (Campana, 2001). La edad en peces puede determinarse por medio de la lectura o conteo de marcas en estructuras duras como otolitos, escamas, radios de las aletas, vértebras, opérculos y otros huesos (Winemiller & Rose, 1992; Worthington *et al.*, 1995; Campana, 2001). El uso de los otolitos sagitales (*sagitta*) es una de las prácticas más utilizadas, ya que provee estimaciones más precisas. Para facilitar estos estudios, se recomienda usar otolitos sagitales debido a que son de mayor tamaño (Secor *et al.*, 1995; Campana, 2001). La técnica de lectura de los otolitos se basa en enumerar los anillos (anuales o estacionales) que son visibles con microscopio óptico (Morales-Nin, 1992).

El pez león fue detectado en el sureste del Golfo de México a fines de 2009 (Aguilar-Perera & Tuz-Sulub, 2010), frente a la costa norte de la Península de Yucatán. Sin embargo, el grado de invasión del pez león en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (PNAA) se encuentra en un nivel avanzado (más de 200 avistamientos por año) (López-Gómez *et al.*, 2014). Es importante generar estudios que muestren cómo el pez león se está adaptando al área invadida. El objetivo de este trabajo es determinar la edad del pez león a través de la lectura de anillos en otolitos sagitales de especímenes capturados en el PNAA, en el sureste del Golfo de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

Arrecife Alacranes (22°31'28.18 N; 89°42'44O) es el complejo arrecifal más grande del Banco de Campeche en el sureste del Golfo de México. Es un arrecife de plataforma somero y semi-elíptico (longitud y amplitud máximas 26-14 km, respectivamente) que surge de la superficie de la plataforma continental desde profundidades de 50 m y se localiza a 135 km

frente a la península de Yucatán, México (Fig. 1) (Korniker & Boyd, 1962; Bonet, 1967; Jordán-Dahlgren & Rodríguez-Martínez, 2003). Esta plataforma incluye un arrecife largo y arcado que se forma en barlovento, un cinturón de crecimiento arrecifal más profundo y menos pronunciado que define el margen de sotavento, y muchos “parches” arrecifales de varias formas y tamaños en la laguna arrecifal central. Los vientos prevalecientes son del noreste hacia el sureste con el componente Alisios (15 a 20 km/h). Desde 1996, Arrecife Alacranes fue decretado como ANP (CONANP, 2006).

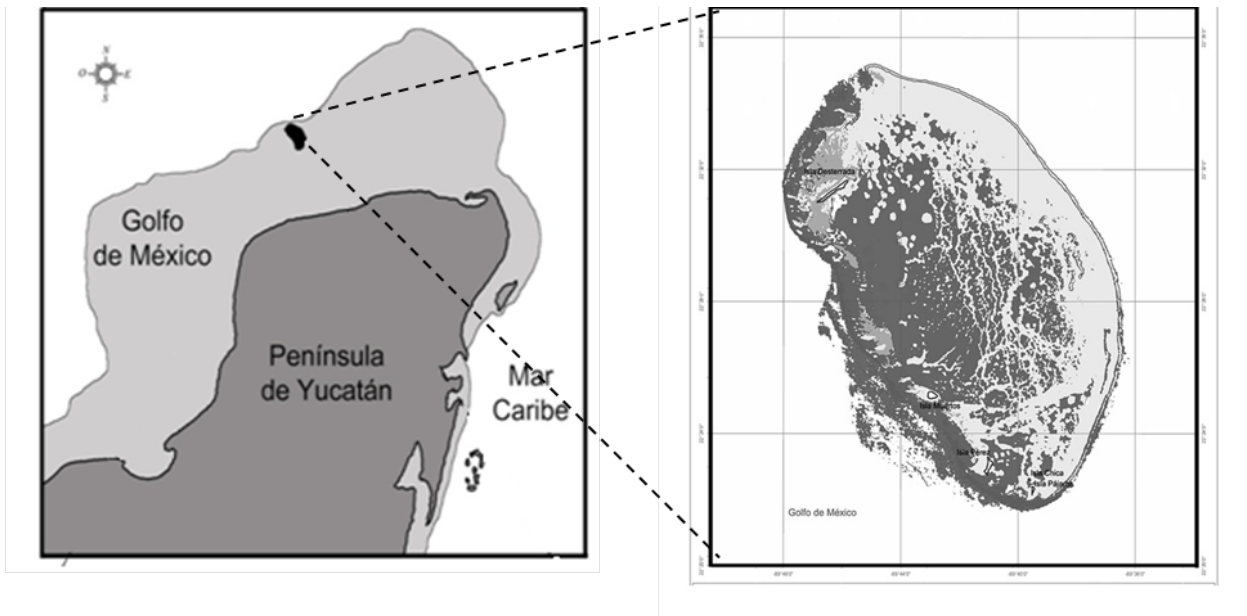


Fig. 1. Ubicación del Arrecife Alacranes, Sureste del Golfo de México (modificado de Aguilar-Perera & Tuz-Sulub 2010).

El complejo arrecifal presenta tres zonas: la zona de barloventos al noreste, formando una barrera arrecifal semicircular de aproximadamente 34 km de largo alcanzando el nivel del mar; la zona de sotaventos, al sureste, zona sumergida entre 1 a 10 m de profundidad; y la zona de la laguna que se encuentra en el centro del complejo arrecifal con 23 m de profundidad de bajos arrecifales y arenales, pequeños atolones (Jordán-Dahlgren & Rodríguez-Martínez, 2003; Colás-Marrufo *et al.*, 2012).

Arrecife alacranes está rodeado por aguas tropicales poco profundas. La barrera de barlovento constituye una pared arrecifal que ofrece resistencia, absorbe y disipa la energía del oleaje, mientras que en sotavento existe una amplia área con flujo y reflujo hacia la laguna arrecifal (Fig. 2). La corriente del Caribe constituye el principal aporte de masa de agua a la región (Sanvicente-Añorve *et al.*, 2014). Se distinguen dos tipos de flujo; el primero ocurre en verano, cuando las masas de agua fluyen por el estrecho de Yucatán y se

adentran al Golfo de México, chocando con una contracorriente procedente de la sonda de Campeche; el segundo en invierno donde la contracorriente desaparece y la entrada de las masas de agua al Golfo de México se realizan en forma directa. El patrón de corrientes y el aporte de nutrientes provienen de la surgencias que se originan en el extremo oriental de la plataforma de Yucatán (CONANP 2006, Sanvicente-Añorve *et al.*, 2014)

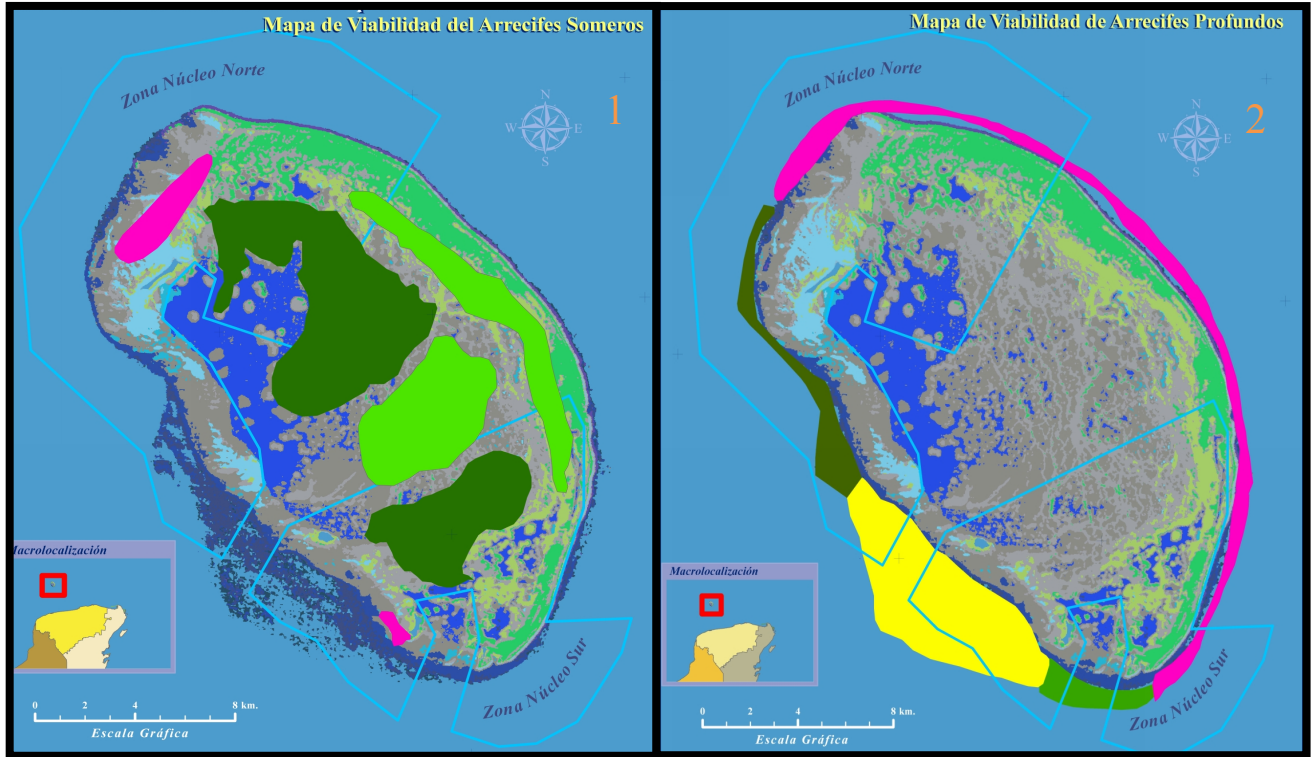


Fig. 2. Mapa de PNA dividido por zonas norte y sur 1) los arrecifes someros con color verde (oscuro y claro) y rosado 2) los arrecifes profundos con color verde (oscuro y claro), rosado y amarillo (modificado CONANP 2006)

COLECTA DE DATOS

En el PNA, los peces león fueron capturados con arpón por pescadores-buzos langosteros voluntarios (julio a febrero del 2011 al 2013) a una profundidad de 5 a 20 m, quienes participaron en un proyecto comunitario del Programa de Conservación y Desarrollo Sustentable (PROCOCODES) auspiciado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) dependiente de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Los peces se conservaron en hielo hasta su llegada al laboratorio (López-Gómez *et al.*, 2014). En el laboratorio del departamento de Biología Marina del CCBA, se midió cada pez usando un ictiómetro a la longitud total corporal (LT) en centímetros. La medida de los peces se registró desde la punta del maxilar inferior con hocico cerrado hasta el extremo más largo de la aleta caudal. Todos los datos se registraron

en formatos especiales y se integraron a una base de datos en Excel. Cada pez se identificó taxonómicamente según los criterios de Schultz (1986) y la guía para identificación de peces de FAO (Carpenter & Niem, 1998).

PREPARACIÓN DE OTOLITOS Y ANÁLISIS

Los otolitos *sagitta* se extrajeron de cada pez con ayuda de un bisturí y pinzas finas. Para facilitar la extracción, se retiraron las branquias del pez para despejar la cámara óptica y hacer una incisión para extraer el otolito. Los otolitos extraídos fueron limpiados con agua común y se removió la membrana óptica que los cubre y otros restos de tejidos. Ya limpios, los otolitos se depositaron en sobres etiquetados.

El estudio se realizó utilizando solamente los otolitos izquierdos. Los otolitos completos fueron medidos en su longitud total (L_{to}) usando un microscopio estereoscópico (Velab VES5C) y el programa de cómputo TS-VIEW. Se estandarizaron imágenes con escalas según los aumentos del estereoscopio y éstas sirvieron para hacer la conversión de pixeles a milímetros. La longitud del otolito (L_{to}) se determinó ubicando una línea recta que cubre la distancia del *rostrum* al *pos-rostrum* del otolito (Fig. 3).

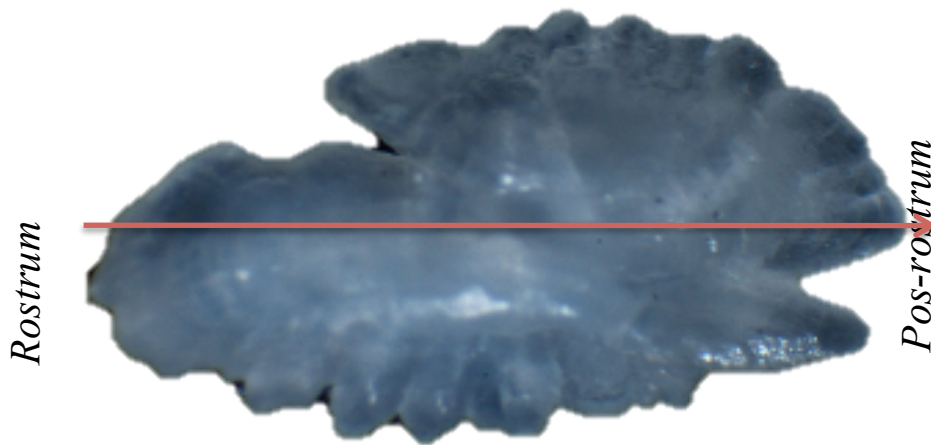


Fig.3. Otolito del pez león con la medida de longitud total (L_{to}) de *rostrum* al *pos-rostrum*.

Los otolitos fueron tostados, montados y cortados según la técnica modificada de Morales-Nin (1992). El corte transversal se realizó con un grosor de 700 (μm) procurando que se atravesara el *primordio* (núcleo). Las secciones fueron pulidas en forma de “ ∞ ” con limas de diferente grosor; primero de 15 μm (P1200) y después de 12.6 μm (P1500) empezando de la lima más gruesa a la más fina. Las secciones de otolito fueron observadas en el

estereoscopio visualizando el núcleo y los anillos. Este procedimiento se realizó para que el pulido fuera parejo y evitar dañar el núcleo del otolito (hasta que los anillos fueran lo suficientemente visibles por ambos lados). Para finalizar, las secciones fueron pulidas con alúmina para quitar rayones y aclarar la sección. Las secciones de otolitos fueron examinadas y se tomaron fotos para el conteo de los anillos usando un estereoscopio Leica MZ10 F (con luz transmitida e inmersos en agua) (Pérez-Mayol, 2014).

Para el conteo de anillos en los otolitos, se revisaron las fotos de las secciones transversales usando el programa ImageJ (Fig. 4) (Edwards *et al.*, 2014). Este programa permitió procesar las imágenes y contabilizar los anillos, considerando cada marca oscura como un año con base en los criterios de validación de Edwards *et al.* (2014) (marcas opacas = 1 año) realizado para pez león en Islas Caimán. Esto permitió recabar la información de los anillos del centro del otolito (radio) y distancia entre cada radio (Morales-Nin *et al.*, 2012).

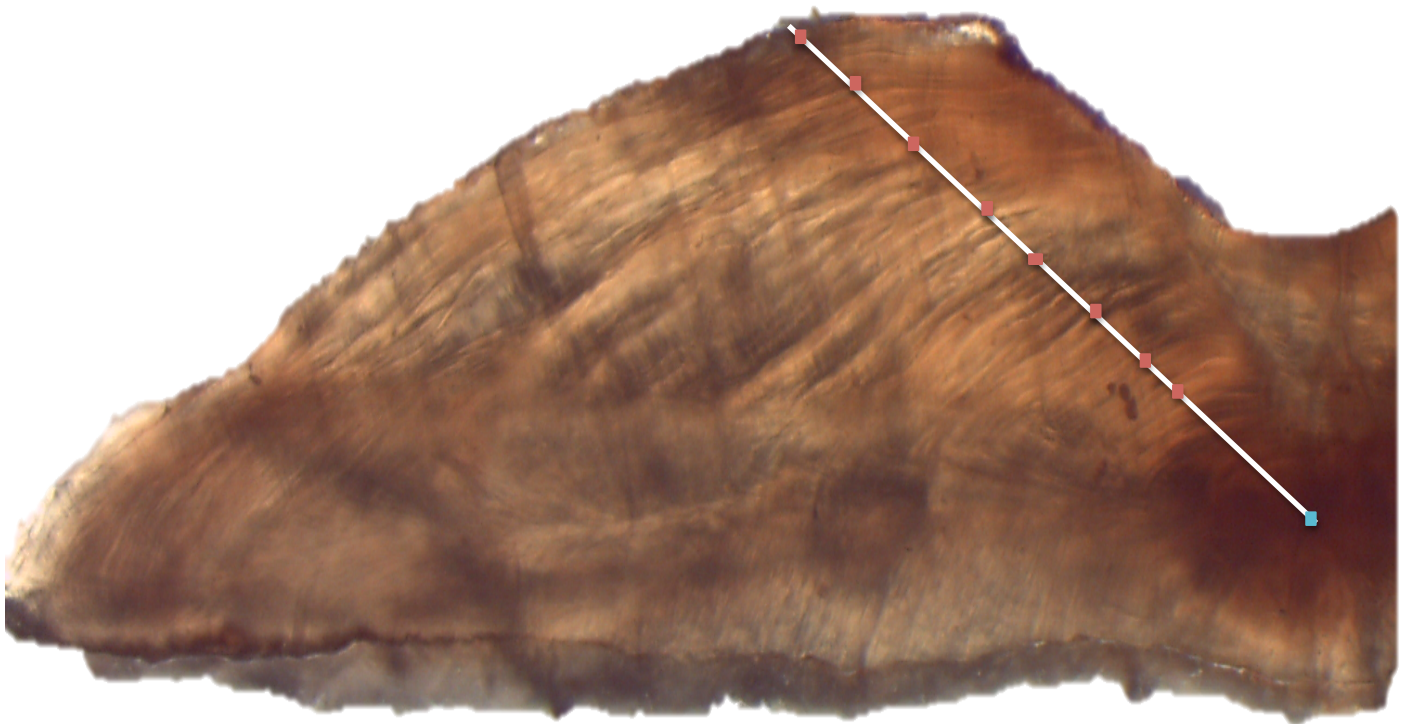


Fig. 4. Corte de otolito tostado, ubicación del primordeo con azul y ubicación de los anillos (8) con rojo

Para facilitar la lectura, primero se identificó el *primordio* oscuro del otolito y en línea recta con dirección a la posición posterior dorsal, cuidando que la línea se encontrara cerca del surco acústico del otolito, el cual es donde los anillos fueron visibles. Dos personas se encargaron de realizar las lecturas de acuerdo a Schwenke (2004) en diferentes tiempos (2 semanas entre cada conteo). Cuando la coincidencia entre el primero y el segundo conteo no fue de 100% se procedió a realizar un tercer conteo en el cual se llegaba a un mutuo acuerdo o se desechaba la sección (Medina-Gómez, 2006).

Se realizó un análisis de regresión lineal simple (mínimos cuadrados), con un 95% de confiabilidad, para determinar la relación entre el radio del otolito (rc) y longitud total (Lt) del pez y la longitud total del pez (Lt) y la edad del pez. Este análisis se realizó usando el programa estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI .

RESULTADOS

TALLA DE PECES Y OTOLITOS

La muestra seleccionada de 90 peces abarcando todo el rangos de tallas como es sugerido por diferentes autores (Greely *et al.*, 1999; Campana, 2001; Araya *et al.*, 2001; Horn, 2002; Tombari *et al.*, 2005; Starrs *et al.*, 2013; McKenzie *et al.*, 2014; Neves *et al.*, 2015) (con tallas de 104 - 358 mm Lt, media de 210 mm Lt) se les extrajo y analizó los otolitos cuya longitud total media fue de 4.244 mm (máxima y mínima de 6.24 y 2.11 mm, respectivamente).

EDAD

Se detectó un patrón regular en los otolitos, con anillos de crecimiento concéntricos reflejado por líneas oscuras y translúcidas depositadas alrededor de un gran núcleo opaco. El patrón de deposición de anillos de crecimiento fue directamente proporcional al aumento en tamaño del otolito. Cerca del núcleo, el incremento fue amplio y, a medida que se aleja del núcleo, los anillos fueron más delgados y más juntos uno con respecto al otro. La edad más frecuente fue de cuatro años (Fig. 5), con una talla media del pez de 199.36 mm Lt . La edad con menor talla fue de 0 años con una media de 145.83 mm Lt y la mayor fue de 8 años con una talla de 311.66 mm Lt (Tabla 1).

Tabla I. Edad y longitud total del pez león, *Pterois volitans*, en milímetros (mm), del Parque Nacional Arrecife Alacranes.

	edad (años)									
Lt (mm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	n
100-120	4			1	1					6
120-140		4	1	4	4	1	3			17
140-160	4	5	3	2	3		1			18
160-180		1	1		1			1		4
180-200	1		1	1	2	1				6
200-220		1	1	1	1	1				5
220-240		1	1	1			1			4
240-260		1	1	1	2	2				7
260-280		1		1	2	1	2			7
280-300				1	3	2	1	1	1	9
<300						3	1	1	2	7
n	9	14	9	13	19	11	9	3	3	90
media	145.8	172.0	181.7	183.2	199.3	249.0	215.2	260.6	311.6	
DS	27.1	50.1	44.3	60.3	66.13	72.2	75.2	80.4	18.5	

Lt = longitud total, n = número de individuos, media = media de la longitud total, DS = desviación estándar.

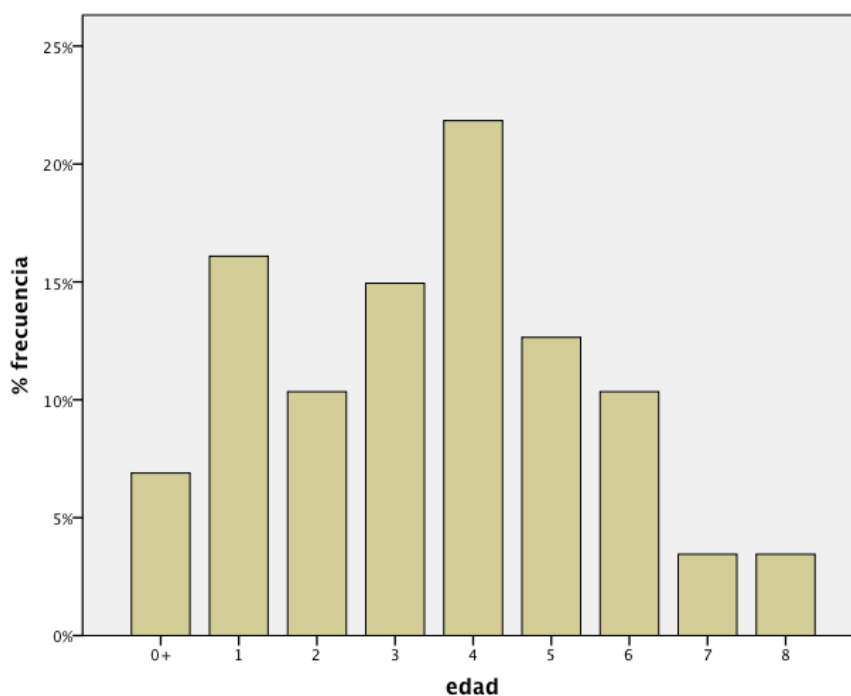


Fig. 5. Frecuencias relativa (%) de edades de pez león, *Pterois volitans*, en el PNAA.

RELACIÓN DE RC Y LT

Se encontró una relación significativa entre la edad y la longitud total del pez ($F = 2.389$, $p < 0.05$). Se detectó una relación entre el radio del otolito (rc) y la longitud del pez (Lt) ($r^2 = 0.83$). El análisis de regresión lineal de relación entre el radio del otolito (rc) y la longitud total del pez (Lt) dio una ecuación del modelo ajustado (Fig. 6):

$$rc = 1.02948 + 0.015176 * Lt$$

Donde el valor de “a” es de 1.02948 (DS \pm 0.172) y el valor “b” es de 0.015 (DS \pm 0.0007); y con un valor de confianza del 95 % con p-valor < 0.05 (0.000^{-1}).

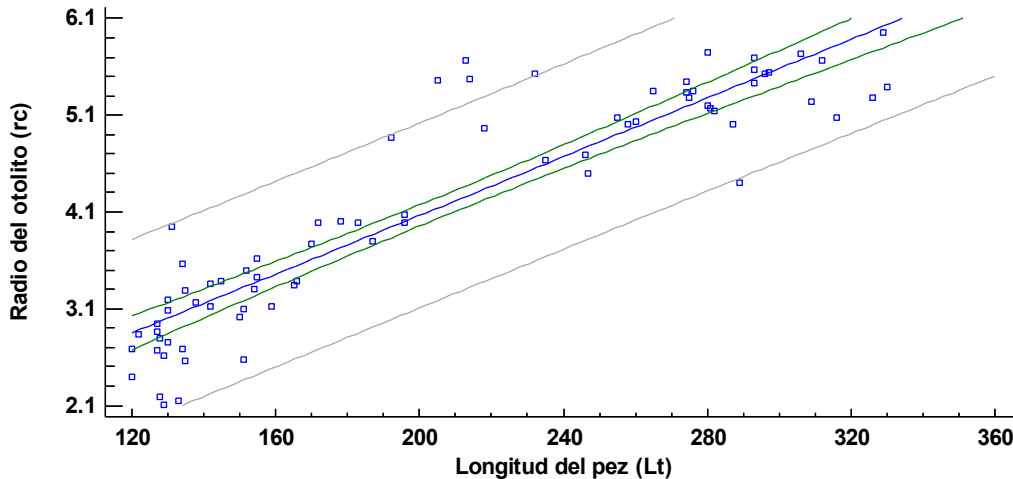


Fig. 6. Regresión lineal de *Pterois volitans* longitud total (Lt) y el radio del otolito (rc) con un valor de “a” 1.02948 (DS \pm 0.172) y “b” es de 0.015 (DS \pm 0.0007) ($r^2 = 0.83$; $p < 0.000$, $n=90$).

Se detectó que existe una relación lineal entre la longitud total (Lt) y la edad cuya ecuación del modelo ajustado es (Fig. 7):

$$Lt = 128.13 + 22.3653 * edad$$

Donde el valor de “a” es de 128.13 (SD \pm 9.37135) y el valor “b” es de 22.3653 (SD \pm 2.36595); y con un valor de confianza del 95 % con p-valor < 0.05 , ($r^2 = 0.50$).

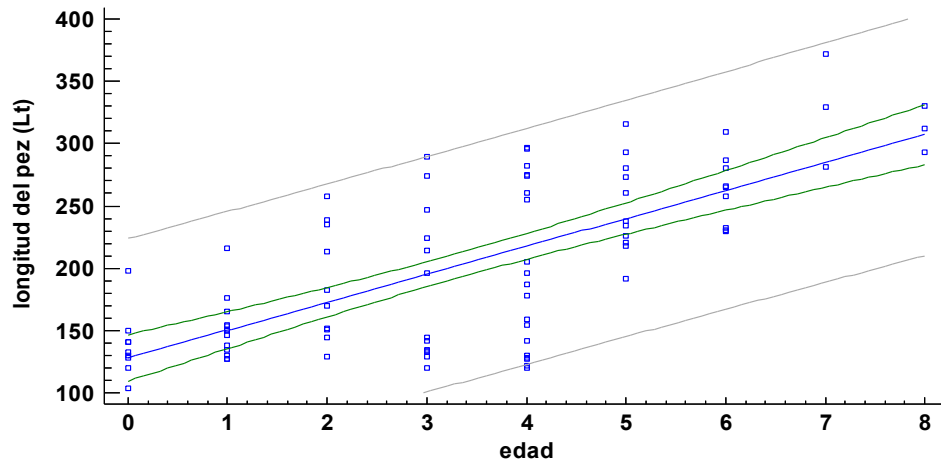


Fig. 7 Regresión lineal de *Pterois volitans* entre la longitud total (Lt) y la edad ($r^2=0.50$, $p < 0.000$, $n=88$). con un valor de “a” es de 128.13 (SD± 9.37135) y el valor “b” es de 22.3653 (SD ±2.36595)

DISCUSIÓN

En el Atlántico Oeste, hay pocos estudios sobre la edad del pez león (Edwards *et al.*, 2014, Potts *et al.*, 2010). Esto es debido a las dificultades del muestreo (tiempo, profundidad, lejanía de la zona etc.) y procesamiento de otolitos. Las principales desventajas de este tipo de estudios es que el método es tardado, costoso y la lectura de la edad depende de la experiencia del lector (Edwards *et al.* 2014). Aunque los anillos de edad en los otolitos de peces tropicales pueden ser difíciles de interpretar debido a la estrecha variación de temperatura, la estacionalidad y los rangos de profundidad (Caldow & Wellington 2003, Marriott & Mapstone 2006, Green *et al.*, 2009), se pudo determinar que el pez león en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (PNAA) tiene un rango de edades que van de los 0+ a los 8 años. Los ejemplares con una edad de 4 años fueron los más frecuentes. Estos resultados fueron similares a los registrados en Islas Caimán, en el Mar Caribe, en el que las edades del pez león oscilaron entre 0 a 5 años, siendo 2 años la edad más frecuente (Edwards *et al.*, 2014). Sin embargo, los peces león en la costa de Carolina del Norte (Potts *et al.*, 2010) mostraron edades de 0 a 8 años y con 3 años como la edad más frecuente, asemejándose a los de PNAA.

El estudio de la edad permitió determinar que aproximadamente el 23% de los peces león del PNAA fueron menores a 2 años. Según Morris & Whitfield (2009), los peces león menores a 2 años en Las Bahamas aún no han madurado sexualmente. Por tanto, varios de los peces león a los que se les determinó edad en el PNAA posiblemente sean inmaduros sexualmente.

Esto implicaría que una cuarta parte de la muestra de los individuos de pez león analizados para el PNAA pudieran estar inmaduros sexualmente.

Se encontró que la mayoría de los peces en PNAA eran mayores a los 2 años y sus tallas eran mayores a los 20 cm, con respecto al bajo número de individuos pequeños (menores a 2 años). Varios autores ha mencionado que los pescadores tienden a capturan peces león más grandes primero (Frazer *et al.*, 2012, Edwards *et al.*, 2014). Esto podría explicar el por qué la mayor parte de las muestras en PNAA eran mayores de los 2 años pero de talla mayor a 20 cm. La presencia de peces con edades mayores podría reflejar que los esfuerzos de extracción del pez león son insuficientes para la zona, debido a que si hubiera un mayor esfuerzo de capturas se observaría que las tallas y las edades disminuirían conforme al tiempo. Sin embargo, se detectó lo contrario en el PNAA. Es recomendable aumentar los muestreos enfocados a capturar pez león, lo que podría aumentar el rango de tallas del pez y consecuentemente una proporción mayor de edades.

Para los peces león del PNAA, se reportó que los otolitos eran opacos (no dejaban pasar luz transmitida al analizar por microscopio) por lo que fue necesario utilizar la técnica de tostado para aclararlos. Esto es similar a lo mencionado por Potts *et al.* (2010) quienes argumentan que la lectura de los anillos en otolitos es difícil. En contraste, Edwards *et al.* (2014) reportaron que los otolitos de pez león en Islas Caimán eran ligeramente menos opacos y permitían la lectura de los anillos de manera más fácil, sin tener que someterlos a tratamiento o corte. Estas diferencias en opacidad en otolitos podría deberse a la alimentación que tiene los peces ya que se ha demostrado que la alimentación de los peces influye en la formación y el crecimiento del otolito. Edwards *et al.* (2014) argumentan que los hábitos alimenticios del pez león en los primeros años muestran una tendencia a consumir más crustáceos que peces; estos hábitos cambian conforme la edad y a partir de los dos años tienen a ser un pez generalista piscívoro. La alimentación del pez león, tanto en el Golfo de México y el Mar Caribe, está basada principalmente en peces de las familias Pomacentridae, Gobiidae y Labridae (Quijano-Puerto *et al.*, 2012, Morris & Akins, 2009).

Este estudio en PNAA proporciona información útil para la predicción de la edad del pez león. Los modelos de regresión lineal mostraron que existen relaciones significativas entre el radio del otolito y la longitud total del pez. Esto permite inferir que a mayor distancia del núcleo a la parte distal se reflejará una talla mayor del pez. Esto pone en evidencia que el otolito puede ser una herramienta que, a través de mediciones morfométricas, podría

proporcionar una buena alternativa para determinar la edad y talla de esta especie invasora. Se recomienda realizar la relación entre el peso del otolito y la edad, debido a que se ha demostrado que existe una relación entre éstas variables en otras especies de peces (Megalofonou, 2006). Por lo tanto, el peso de los otolitos podrían constituir una alternativa válida a los métodos tradicionales para la estimación de la edad en vez de la relación habitual de longitud total y edad (Megalofonou, 2006).

En PNAA el pez león fue registrado hace 6 años (Aguilar-Perera & Tuz-Sulub, 2010); sin embargo, los peces capturados entre 2011 y 2012 y examinados para determinar su edad en este estudio presentaron edades de 7 y 8 años. Esto implica que probablemente el pez león llegó en el 2007 al PNAA desde hace 2 a 3 años antes de ser detectado (2009). El establecimiento rápido en menos de una década del pez león en el Atlántico y en Caribe es debido que posee una rápida dispersión larval, donde sus larvas son transportadas por las corrientes marinas prevalecientes lejos de la población de origen. Su reproducción constante todo el año y su amplia dispersión larval, aunada con las características de las corrientes del Atlántico y Caribe ha promovido que logre establecerse y reproducirse en el Golfo de México (Ahrenholz & Morris, 2010).

Este estudio en el PNAA, proporciona datos de edad como un primer aporte de conocimiento básico para el entendimiento del desarrollo poblacional del pez león dentro de un área protegida del Sureste del Golfo de México. Se recomienda aumentar el tiempo de muestreo, hacer análisis de la talla y edad para detectar cómo varía la talla con la profundidad (debido que los ejemplares mas grandes se encuentran a mayor profundidad), realizar estudios de edad y crecimiento tanto para machos como para hembras. El estudio podrá servir para la generación de modelos de crecimiento y edad que a su vez pueden servir para identificar fases dentro de la dinámica poblacional del pez, y así mejorar y facilitar el seguimiento de la invasión del pez. También, con los resultados de este estudio pueden sentarse las bases para identificar las estrategias de manejo que pueden ser útiles para combatir la invasión del pez en PNAA.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los pescadores buzos del Parque Nacional Arrecife Alacranes quienes recolectaron peces león para este estudio. Agradecemos también a los estudiantes Evelyn Carrillo-Flota, Diana Arely Coronado Rivera, Francisco Javier Méndez Anguiano, Juan Chi Blanco y Hernán Novelo Pech quienes ayudaron con mediciones de otolitos.

Referencias

- Aguilar-Perera, A. & Tuz-Sulub A. (2010). Non-native, invasive Red lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758]: Scorpaenidae), is first recorded in the southern Gulf of Mexico, off the northern Yucatan Peninsula, Mexico. *Aquatic Invasions* **5**(2), S9-S12.
- Ahrenholz, D. W., & Morris Jr, J. A. (2010). Larval duration of the lionfish, *Pterois volitans* along the Bahamian Archipelago. *Environmental Biology of Fishes*, **88**(4), 305-309.
- Albins, M. A. & Hixon M. A. (2008). Invasive Indo-Pacific lionfish *Pterois volitans* reduce recruitment of Atlantic coral-reef fishes. *Marine Ecology Progress Series* **367**, 233-238.
- Araya, M., Cubillos, L. A., Guzmán, M., Peñailillo, J., & Sepúlveda, A. (2001). Evidence of a relationship between age and otolith weight in the Chilean jack mackerel, *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols). *Fisheries Research*, **51**(1), 17-26.
- Bonet. (1967). Biogeología subsuperficial del arrecife Alacranes, Yucatán. Boletín del Instituto de Geología UNAM, 80:1-191.
- Caldow, C. & Wellington, G. M. (2003). Patterns of annual increment formation in otoliths of pomacentrids in the tropical western Atlantic: implications for population age-structure examination. *Marine Ecology Progress Series* **265**, 185-195.
- Campana, S. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of Fish Biology* **59**, 197-242.
- Carpenter, K.E. & V.H. Niem (1998). "FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Pacific". Vols. 1-6. 4218p. Rome, FAO
- Colás-Marrufo, T., A. Tuz- Sulub, & T. Brulé. (2002). "Observaciones preliminares sobre la pesquería de meros (Serranidae: Epinephelinae) en el Parque Marino Nacional "Arrecife Alacranes", Yucatán, México". *Proceedings Gulf and Caribbean Fisheries Institute* **53**, 430-445.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2006). "Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Arrecife Alacranes". México, D.F. CONANP.12-14.
- Edwards M. A. Frazer T. K, & Jacoby C. A. (2014). Age and growth of invasive lionfish (*Pterois* spp.) in the Caribbean Sea, with implications for management. *Bulletin of Marine Science* **90** (4), 953-966
- Frazer, T. K., Jacoby, C. A., Edwards, M. A., Barry, S. C., & Manfrino, C. M. (2012). Coping with the lionfish invasion: can targeted removals yield beneficial effects? *Reviews in Fisheries Science*, **20**(4), 185-191.

- Greely, T. M., Gartner Jr, J. V., & Torres, J. J. (1999). Age and growth of *Electrona antarctica* (Pisces: Myctophidae), the dominant mesopelagic fish of the Southern Ocean. *Marine Biology*, 133(1), 145-158.
- Green, B. S., Mapstone, B. D., Carlos, G., & Begg, G. A. (2009). *Tropical otoliths—where to next?* (pp. 296-301). *Springer Netherlands*.
- Horn, P. L. (2002). Age and growth of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) and Antarctic toothfish (*D. mawsoni*) in waters from the New Zealand subantarctic to the Ross Sea, Antarctica. *Fisheries Research*, 56(3), 275-287.
- Jordán-Dahlgren, E. & Rodríguez-Martínez R. (2003). The Atlantic coral reefs of Mexico In: Cortés, J. (ed.), *Latin American Coral Reefs. Elsevier Science*, pp.131-158.
- Korniker, L.S. & Boyd D.W. (1962). Shallow-water geology and environments of Alacran Reef complex, Campeche Bank, Mexico. *Bulletin American Association Petroleum Geologist* 46, 640-673.
- López-Gómez MJ, Aguilar-Perera A. & Perera-Chan L. (2014). Mayan diver-fishers as citizen scientists: detection and monitoring of the invasive red lionfish in the Parque Nacional Arrecife Alacranes, southern Gulf of Mexico. *Biological Invasions* 16, 1351–1357.
- Marriott, R. J., & Mapstone, B. D. (2006). Geographic influences on and the accuracy and precision of age estimates for the red bass, *Lutjanus bohar* (Forsskal 1775): A large tropical reef fish. *Fisheries Research* 80(2), 322-328.
- McKenzie, J., Smith, M., Watson, T., Francis, M., Maolagáin, C. Ó., Poortenaar, C., & Holdsworth, J. (2014). Age, growth, maturity and natural mortality of New Zealand kingfish (*Seriola lalandi lalandi*). *New Zealand Fisheries Assessment Report*, 03.
- Medina-Gómez. S. (2006). Edad y crecimiento de la sierra del Pacífico *Scomberomorus sierra* (Jordan y Starks, 1895), en el Golfo de California, México. Tesis Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz B.C.S. México.
- Megalofonou, P. (2006). Comparison of otolith growth and morphology with somatic growth and age in young-of-the-year bluefin tuna. *Journal of Fish Biology* 68(6), 1867-1878.
- Morales-Nin, B. (1992) “Determinación del crecimiento de peces óseos en base a la microestructura de los otolitos” Vol. 322. *FAO*.
- Morales-Nin, B., Geffen, A. J., Pérez-Mayol, S., Palmer, M., González-Quirós, R., & Grau, A. (2012). Seasonal and ontogenic migrations of meagre (*Argyrosomus regius*) determined by otolith geochemical signatures. *Fisheries Research* 127, 154-165.
- Morris, J.A., Jr., & Whitfield P.E. (2009). Biology and ecology of the invasive lionfishes, *Pterois miles* and *Pterois volitans*. *Proceedings Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 61, 409-414.

- Morris Jr, J. A. & Akins J. L. (2009). “Feeding ecology of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in the Bahamian archipelago”. *Environmental Biology of Fishes* **86**(3), 389-398.
- Neves A., Sequeira V., Vieira A. R., Paiva R. B. & Gordo L. S.(2015). “Age and growth of small red scorpionfish, *scorpaena notata* (actinopterygii: scorpaeniformes: scorpaenidae), a common discard species from the portuguese fishery”. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* **45** (1): 13–20
- Pérez-Mayol S. (2014). Protocol to prepare transverse cross-sections of otoliths. The fish ecology group_IMEDEA. España.17
- Potts, J., Berrane, D., & Morris J. (2010). Age and Growth of Lionfish, *Pterois volitans*, from the Western North Atlantic. *Proceedings Gulf Caribbean Fisheries Institute* **63**:43.
- Quijano-Puerto, L., Perera-Chan, L., Aguilar-Perera, A., & Sulub, A. T. (2012). “Dieta del Pez León Rojo, *Pterois volitans*, in el Parque Nacional Arrecife Alacranes, Sureste del Golfo de México”. *Proceedings Gulf and Caribbean Fisheries Institute* **65**, 333-337.
- Sanvicente-Añorve, L., Zavala-Hidalgo, J., Allende-Arandía, M. E., & Hermoso-Salazar, M. (2014). Connectivity patterns among coral reef systems in the southern Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progres Series* **498**, 27-41.
- Schultz, E. T. (1986). *Pterois volitans* and *Pterois miles*: two valid species. *Copeia* **1986**, 686-690.
- Secor, D. H. (1995). Larval mark-release experiments: potential for research on dynamics and recruitment in fish stocks. *Recent Developments in Fish Otolith Research*: 423-444.
- Schwenke, K.L. (2004). Age, growth and reproduction of dolphin (*Coryphaena hippurus*) caught off the coast of North Carolina. *MSc Thesis. NCSU. EUA*.
- Starrs, D., Davis, J. T., Schlaefel, J., Ebner, B. C., Eggins, S. M., & Fulton, C. J. (2013). Maternally transmitted isotopes and their effects on larval fish: a validation of dual isotopic marks within a meta-analysis context. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **71**(3), 387-397.
- Tombari, A. D., Volpedo, A. V., & Echeverría, D. D. (2005). Desarrollo de la sagitta en juveniles y adultos de *Odontesthes argentinensis* (Valenciennes, 1835) y *O. bonariensis* (Valenciennes, 1835) de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Teleostei: Atheriniformes). *Revista chilena de historia natural*, **78**(4), 623-633.
- Whitfield P., T. Gardner T, S.P. Vives, M.R. Gilligan, W.R. Courtenay, Carleton R., & Hare J.A. (2002). Biological invasions of the IndoPacific lionfish (*Pterois volitans*) along the Atlantic coast North America”. *Marine Ecology Progress Series* **235**, 289–297.
- Winemiller, K. O. & Rose K. A. (1992). Patterns of life-history diversification in North American fishes: implications for population regulation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **49**, 2196-2218.
- Worthington, D., Fowler, A. J., & Doherty, P. J. (1995). Determining the most efficient method of age determination for estimating the age structure of a fish population. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **52**, 2320-2326.

ANEXO

Glosario (modificado de Jensen, 1965)

Anillo anual: estructuras de crecimiento formadas anualmente, formado por un anillo claro y uno oscuro

Anillo oscuro: anillo que por su composición densa impide el paso de la luz.

Anillo claro: anillo que permite el paso de la luz.

Bandas: términos auxiliares utilizados en la descripción de las estructuras de crecimiento.

Edad: medida del tiempo transcurrido desde el nacimiento (en días, meses o años).

Incremento: incremento de crecimiento diario o anual

Micrómetro: (μm) - Micra - Medida utilizada en microscopía, equivalente a una milésima de milímetro ($1\text{ mm} = 1\ 000\ \mu\text{m}$, $\mu\text{m} = 10\ 000\ 000\ \text{A}$).

Primordio: Zona que representa el inicio del crecimiento del otolito. Ópticamente aparece como un área más opaca dentro del nucléolo.

Radio: La distancia lineal desde el foco a un punto específico del borde del otolito.

Validación: Confirmación del significado temporal de un incremento o anillo.

Ictiometro: aparato de uso en Ictiología que permite cuantificar la longitud de los peces

imagenJ: programa de procesamiento de imagen digital de dominio público

0+: edad < a 1 día y > a los 365 días

Jensen, A. C. (1965). Standard terminology and notation for otolith readers. ICNAF Research Bulletin

Abreviaturas

Lt : longitud total

Lt_o: longitud total de otolito

rc: radio de otolito

PNAA: Parque Nacional Arrecife Alacranes

ANP : Área natural protegida