



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL

Análisis morfológico de otolitos como herramienta para discriminar stocks pesqueros de *Haemulon sciurus* (chac-chí) en la región sur de Quintana Roo, México.

Tesis que para obtener el Grado de:
Maestra en Manejo de Zona Costera

Presenta:

Biol. Nancy Arely Tuyub Aviles

Director:

M.C. Héctor Ortiz León

Codirector:

Dr. Carlos Francisco González Salas

Chetumal, Quintana Roo, México, agosto de 2018

Contenido

RESUMEN	1
1.- INTRODUCCIÓN.....	2
2. ANTECEDENTES	5
2.1. Taxonomía de <i>H. sciurus</i>	5
2.2. Biología de <i>H. sciurus</i>	6
2.2.1. Coloración:	6
2.2.2. Tamaño, edad y crecimiento:	6
2.2.3. Hábitos de alimentación:	7
2.2.4. Distribución y hábitat:	7
2.2.5. Usos comerciales:	7
2.2.6. Reproducción:	7
2.2.7. Estatus:	7
2.2.8. Pesquerías de <i>H. sciurus</i>:	8
2.2.9. Estudio sobre <i>H. sciurus</i>:	8
3. OBJETIVOS	13
3.1. General:.....	13
3.2. Específicos:.....	13
4. MATERIALES Y METODOS.....	13
4.1. Área de estudio	13
4.1.1. Localización	13
4.1.2. Zonas de muestreo	14
4.2. Trabajo de campo.....	16
4.2.1. Colecta de ejemplares de <i>H. sciurus</i>	16
4.3. Trabajo de laboratorio.....	17
4.3.1. Análisis de la forma de los otolitos	17
4.4. Análisis de datos.....	21
4.4.1. Análisis de la Forma de los otolitos	21
5.2. Forma Elíptica de Fourier	22
5.3 Análisis discriminante	23
5.3.1. Análisis PERMANOVA	23
5.4. Descripción de la sagitta	25
6. DISCUSION.....	26

6.1. Análisis de la forma de los otolitos y discriminante.....	26
7. CONCLUSIONES	30
8. REFERENCIAS.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>H. sciurus</i> (Shaw, 1803). Vista lateral de su fase adulta (A) y de su fase juvenil (B). Imágenes tomadas de FAO.org.	6
Figura 2. Mapa del área de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo en la costa del Estado de Quintana Roo.....	15
Figura 3. Representación esquemática del análisis de los descriptores de Fourier para la descripción la forma de los otolitos.	19
Figura 4. Determinación del número de armónicas necesarias para describir eficazmente la forma del otolito de <i>H. sciurus</i> mediante la potencia promedio acumulada del espectro de Fourier (FPC).	23
Figura 5. . Análisis discriminante basado en los coeficientes elípticos de Fourier más los índices de forma.....	24
Figura 6. A: otolito izquierdo de <i>Haemulon sciurus</i> de Punta Herrero Q. Roo; B: otolito izquierdo de <i>Haemulon sciurus</i> de la Bahía de Chetumal; C: otolito izquierdo de <i>Haemulon sciurus</i> de Xahuayxol Q. Roo.	25
Figura 7. Contornos promedios basados en los Descriptores elípticos de Fourier para los tres sitios de pesca.....	26

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Índices de la forma (Russ, 1990; Tuset et al., 2003 a, b).	21
Tabla 2. Valores mínimos y máximos de la longitud total (Lt en mm) de cada clase de talla de <i>H. Sciurus</i> , así como el número de organismos por cada intervalo	22
Tabla 3. Resultados del PERMANOVA y comparaciones pareadas, asociadas al factor localidad. .	23
Tabla 4. Matriz de correcta clasificación derivada del análisis discriminante basado en los coeficientes de Fourier más lo índices de forma	24

RESUMEN

Haemulon sciurus (Shaw, 1803) es una especie consumible, a escalas no mayores, pero como fuente de alimentación abastece a la región sur del estado de Quintana Roo, al igual, es un recurso pesquero de importancia ecológica. El siguiente estudio se enfocó en el análisis morfológico de otolitos como herramienta para discriminar stocks pesqueros de *H. sciurus* (chac-chí) en la región sur de Quintana Roo, México. Se abordaron tres sitios de muestreo: Punta Herrero, Xahuayxol y la Bahía de Chetumal. Para la discriminación de los posibles stocks pesqueros, se utilizó la caracterización de la morfología de estas estructuras, lo cual permite discernir entre los distintos stocks o subpoblaciones. Entre las formas más utilizadas para la caracterización de los otolitos se encuentra el análisis de las medidas morfométricas, así como de las variables multivariadas como son los armónicos mediante el análisis del contorno del otolito sagital y el método elíptico de Fourier. Para la obtención de los datos para el análisis estadístico, se utilizó la imagen digital obtenida mediante fotografías de los otolitos, lo cual se procesó mediante el software Shape. En el análisis de discriminación, utilizando los descriptores de la talla, índices de la forma y descriptores elípticos de Fourier nos reveló la formación de tres grupos con un alto porcentaje de clasificación correcta, para los tres sitios con un 100 % de correcta clasificación. Estos resultados demuestran la existencia de tres stocks diferentes que se distribuyen a lo largo de los tres sitios de pesca artesanal en la costa sur de Quintana Roo.

Palabras clave: *Haemulon sciurus*, stock pesquero, otolito, morfometría, morfología.

1.- INTRODUCCIÓN

La importancia de los mares en México no es únicamente por su extensión, sino por la diversa gama de recursos que ofrecen sus aguas, entre los que destacan los pesqueros (Medina, 2004), ya que generan biomásas considerables de ciertas especies (Sorokin, 1995). Desde el ámbito alimenticio los recursos pesqueros proporcionan una fuente importante de proteína para la población humana (Hughes *et al.*, 2003), además del impacto en amplios sectores de la economía nacional (Medina, 2004). Relacionado a lo anterior, el principal problema es la sobre-explotación sobre diversos taxones, lo cual conlleva a menguar la abundancia de sus poblaciones (Hughes 1989).

En Quintana Roo la pesca tradicionalmente se ha orientado a la captura de especies de alto valor comercial, como la langosta, el camarón y el caracol, sin embargo, debido a la creciente demanda en la producción de alimentos derivado del turismo, existen otras especies que han comenzado a explotarse, como la pesca de escama (Sosa-Cordero *et al.*, 2009). La pesca en general se ha intensificado y por ello ha habido un incremento en el número de organizaciones sociales y de cooperativas en los últimos años. De esta manera la pesca se destaca como una de las actividades productivas de importancia para la entidad. El estado de Quintana Roo ha aportado el 0.25% del total de la producción pesquera generada en el país, con un promedio de 4,419 toneladas y en valor de la producción \$160,537 miles de pesos (Anuario estadístico de acuacultura y pesca, 2014). La pesquería ha disminuido considerablemente en Quintana Roo, desde 1993; las consecuencias son reflejados por los distintos factores como las migraciones biológicas de las especies y la sobreexplotación pesquera (PYME, 2002). Es necesario un manejo sustentable de las especies que están siendo explotadas, entre ellas el Chac-chi; y para ello es indispensable conocer la estructura poblacional de las mismas, debido a que las variaciones en su dinámica poblacional dentro del ámbito geográfico repercuten en sus niveles de explotación y sustentabilidad (Sinclair, 1988).

En relación a lo anterior, es importante el estudio de las unidades de poblaciones de peces denominadas stocks pesqueros, referidas principalmente a los componentes de una especie en particular, que presentan una pesquería y que son comercialmente explotados por las actividades pesqueras (Shaklee y Currens, 2003). Una de las definiciones más

aceptadas es la de Ihssen et al. (1981), quienes definen stock como un grupo intraespecífico de individuos, con panmixia y con patrones dinámicos estables tanto espacial como temporalmente. Si se toma a ésta última definición en cuenta, se ha propuesto que aquellas especies que constituyen un solo stock en una zona espacialmente definida deberán ser manejadas estratégicamente de una manera diferente a aquellas especies constituidas por stocks discretos que habitan un área y/o tiempo particular y que raramente migran de un lugar a otro (Grant *et al.*, 1999). Es de suma importancia identificar los stocks, dado que el hecho de cometer un error en su identificación conduciría a una mala gestión causando problemas en la sobreexplotación cuando la unidad de manejo consta en realidad de varios stocks diferentes.

El conocimiento de los stocks presenta una relación estrecha con la conectividad, refiriéndose poblacionalmente. La conectividad se define como la conexión demográfica mantenida entre poblaciones vecinas como consecuencia de la migración de individuos, particularmente mediante dispersión larval (Mora y Sale, 2002). Palumbi, (2003) definió a la conectividad como “el vínculo que existe entre poblaciones ubicadas en diferentes zonas de su rango de distribución, determinado por el intercambio de larvas, reclutas, juveniles o adultos”. Por tal motivo las condiciones particulares de conectividad biológica en una zona en particular, esenciales para su adecuado manejo, no pueden ser inferidas a partir de algún modelo general, sino que requieren de estudios específicos. Una herramienta eficiente para identificar patrones de estructura poblacional, y con ello inferir stocks pesqueros y conectividad, es el análisis comparado de la forma de los otolitos, que son estructuras que se encuentran localizados en el oído interno de los peces óseos en el laberinto membranoso. La función biológica de los otolitos es de balance, orientación y audición (Secor *et al.*, 1993; Aguirre y Lombarte, 1999; Campana y Thorrold, 2001; Popper *et al.*, 2003). Están compuestos mayormente por carbonato cálcico (CaCO_3), en la forma química de aragonita, que se va formando a partir de una matriz proteica de manera concéntrica, desde los primeros días de vida larval de los peces (Campana, 1999; Campana y Thorrold, 2001; Rodríguez-Mendoza, 2006). El otolito esta formado por tres cámaras membranosas (utrículo, sáculo y lagena), dependiendo de la cámara membranosa en la que se encuentren se nombran o denominan, primero: el otolito llamado *lapillus* se encuentra en el utrículo, segundo: el otolito *sagitta* se encuentra en el sáculo y tercero: el otolito *asteriscus* que se

encuentra en la lagena (Morales-Nin, 1992; Osorio *et al.*, 2003). De estas tres estructuras, la *saggita* es la más utilizada para la determinación de la edad y se halla vinculada con la función de la audición (Lorenzo-Nespereira, 1992), en la mayoría de los peces este par de otolito es el de mayor tamaño y fácil manejo, por tal motivo la mayoría de los trabajos se realiza sobre este par; han sido empleados exitosamente en taxonomía y en ciencias pesqueras.

En los últimos años los otolitos se han convertido en una herramienta de estudio muy útil, son bioindicadores del ambiente que frecuentan, su morfología, índices de forma y análisis del contorno, así como el uso de datos merísticos, ha permitido un notable éxito en la identificación, discriminación y delimitación de poblaciones de peces sujetas a explotación pesquera, permitiendo un manejo basado en datos científicos, comprensión de los fenómenos de migración, comportamiento reproductivo, de reclutamiento y de estrés de las poblaciones ante la pesca (Renán *et al.*, 2011; Leguá *et al.*, 2013; Sadighzadeh *et al.*, 2014). También aportan información sobre la filogenia (el grado de parentesco entre especies); la conservación de estas estructuras es de suma importancia para los ictiólogos por la cantidad de datos que arrojan, gracias a su diversidad morfológica, a su formación fisiológica y a su estructura química, nos permiten conocer más a fondo la biología, ecología e incluso la evolución de las especies, (Martínez-Pérez, *et al.*, 2011).

Para la caracterización de los otolitos se encuentra el análisis de las medidas morfométricas y posteriormente se compara mediante regresiones lineales y digitalización de imágenes (Viera *et al.*, 2011).

La pesca artesanal está enfocada a especies de importancia económica y consumible, *H. sciurus* es una de esas especies, no en grandes cantidades, pero abastecen como fuente de alimentación y producción para la región sur de Quintana Roo. No existen estudios enfocados sobre la evaluación de stocks de pesca de *H. sciurus* a través del análisis morfológico de otolitos como herramienta del mismo, es por tal motivo la necesidad de contar con estrategias de manejo para un adecuado aprovechamiento de los recursos pesqueros e identificación de patrones de estructura poblacional de esta especie.

2. ANTECEDENTES

2.1. Taxonomía de *H. sciurus*

Reino: Animalia

Filo: Chordata

Clase: Actinopterygii

Subclase: Neopterygii

Infraclase: Teleostei

Superorden: Acanthopterygii

Orden: Perciformes

Familia: Haemulidae

Género: Haemulon

Especie: *H. sciurus* (Shaw, 1803)

Shaw (1803), describió el ronco de rayas azules como *H. sciurus* (Figura 1). Los sinónimos incluyen *Haemulon formosus* Castelnau 1855, *Haemulon similis* Castelnau 1855, *Haemulon similis* Castelnau 1855, *Haemulon lúteo* Poey 1860, *Haemulon multilineatum* Poey 1860, *Haemylum elegans* Scudder 1863, *Haemulum elegans* Cope 1871, y *Haemulum lúteo* Cope 1871.

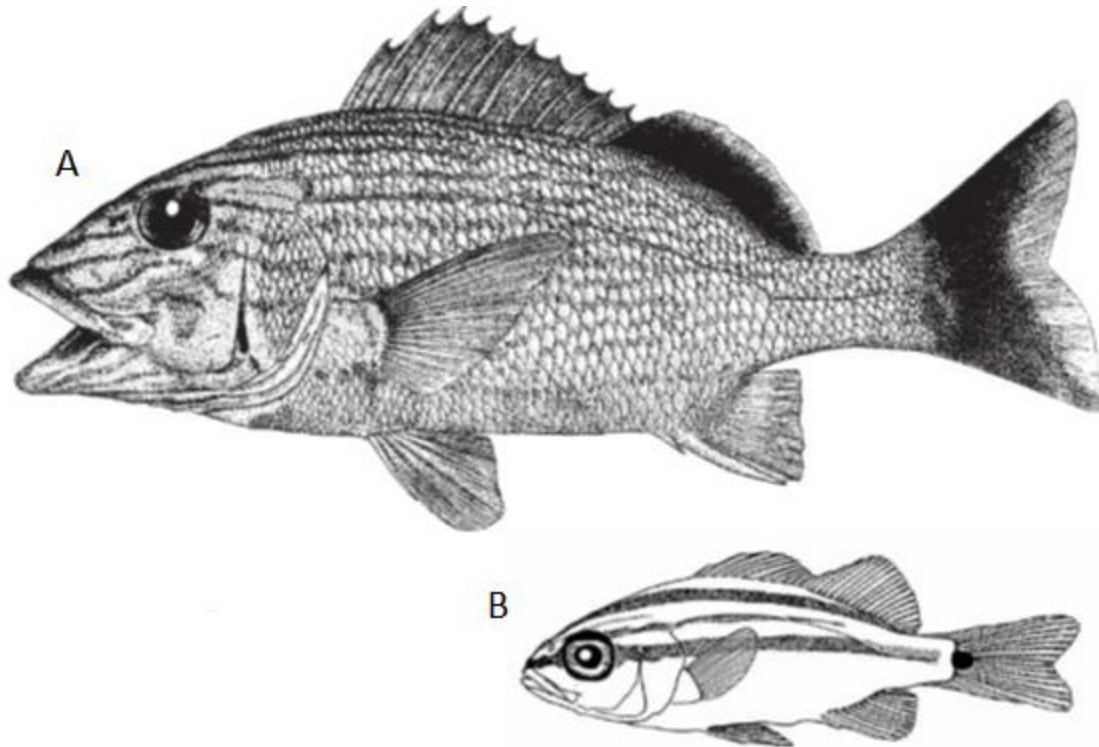


Figura 1. *H. sciurus* (Shaw, 1803). Vista lateral de su fase adulta (A) y de su fase juvenil (B). Imágenes tomadas de FAO.org.

2.2. Biología de *H. sciurus*

2.2.1. Coloración: La cabeza y el cuerpo presentan rayas longitudinales azules y amarillo con franjas horizontales estrechas que son de color azul. También hay una raya con un arco distintivo debajo de cada ojo. La aleta espinosa dorsal es de color amarillo, mientras que las aletas suaves dorsal y caudal son oscuras y la aleta anal es de color amarillo oscuro (Smith, 1997). El revestimiento interior de la boca es de color rojo brillante. Se asimila al ronco francés (*H. flavolineatum*), sin embargo, *H. sciurus* es mucho más grande y sus rayas azules son más amplias y su recorrido es horizontal en lugar de diagonal (Randall, 1996). Las escamas por debajo de la línea lateral se disponen en filas ligeramente oblicuas.

2.2.2. Tamaño, edad y crecimiento: Estos peces tienen una talla común de aproximadamente 20 a 25 cm, y su longitud máxima registrada es de 46 cm (Claro, 1994). La edad máxima registrada es de 12 años. Puede pesar hasta 750 gramos (Cervigón

et al., 1992), la longitud común es de 25.0 cm (Courtenay y Sahlman, 1978). La madurez sexual aproximadamente se alcanza entre los 17 a 20 cm de longitud total del cuerpo.

2.2.3. Hábitos de alimentación:

Se alimenta de crustáceos, camarones, bivalvos, y ocasionalmente de pequeños peces, al igual que de anélidos (Lieske y Myers, 1994).

2.2.4. Distribución y hábitat:

Se encuentra en los manglares, praderas de pastos marinos, arrecifes de coral a profundidades de hasta 30 metros (Lieske y Myers, 1994). Se localiza a la orilla a los arrecifes exteriores cerca de una gran variedad de hábitats estructurales. Su distribución incluye el Atlántico occidental: Florida, Estados Unidos a Brasil, incluyendo el Golfo de México y el Mar Caribe.

2.2.5. Usos comerciales:

El Chac-chí es comestible, y cuando se detecta, se comercializa fresco. Es de menor importancia comercial, sin embargo, también son valorados como una muestra para acuarios públicos (Nigrelli *et al.*, 1959, Cervigón *et al.*, 1992).

2.2.6. Reproducción:

El desove puede ocurrir principalmente desde finales de otoño hasta principios de primavera, aunque existen estudios de que *H. Sciurus* forma agregaciones de desove en mayo y junio en las Bermudas (Trott *et al.*, 2010).

2.2.7. Estatus:

En la Lista Roja o libro rojo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2016), se encuentra en Least Concern (LC): menor preocupación de amenaza (CITES, 2013).

2.2.8. Pesquerías de *H. sciurus*:

En la zona sur del Estado de Quintana Roo la pesquería de escama es una actividad no muy desarrollada, ya que no existe una flota pesquera dedicada exclusivamente a esta actividad (Domínguez-Viveros). Las pesquerías de *H. sciurus* en el estado de Quintana Roo no es en grandes cantidades debido a que la pesquería está enfocada mayormente a la captura de langosta (*Panulirus argus*) y caracol rosado (*Lobatus gigas*); seguidos por la pesquería de escama y estos se concentran en las e especies multiespecíficas y artesanales realizados en periodos de veda de langosta y caracol (Sosa-Cordero *et al.*, 2009).

2.2.9. Estudio sobre *H. sciurus*:

Se han realizado distintos estudios en distintas áreas de *H. sciurus* y uno de ellos fue el de Medina-Valmaseda *et al.*, (2014) realizaron un estudio sobre la diversidad de peces en los arrecifes de coral de la costa sur-central de Cuba reportando a *H. sciurus* que está dentro los resultados obtenidos de la ictiofauna de los arrecifes (Rojas *et al.*, 2011); otros estudios están enfocados a la trama trófica de la comunidad de peces (López-Ordaz, *et al.*, 2009). Se han llevado a cabo estudios de conectividad de hábitad en ambientes costeros de esta especie (Beets *et al.*, 2003), usando el muestreo visual y de trampas en el Parque Nacional de las Islas Vírgenes de los Estados Unidos, documentaron que los peces de arrecifes de coral, particularmente son adultos grandes, representando la mayor biomasa y abundancia de peces muestreados en pastos marinos. Ciertas especies mostraron alta fidelidad a los sitios de alimentación nocturna en el hábitat de pastos marinos, otras demostraron poco movimiento en sus sitios de refugio diurno en la zona rocoso-coral. Estos resultados proporcionan evidencia de fuerte vinculación entre hábitats adyacentes a pequeña escala espacial y enfatizan la importancia de la inclusión de una diversidad de hábitats en Áreas Marinas Protegidas.

En relación a edad y crecimiento utilizando otolitos de esta especie, Pitt y colaboradores en el 2010, realizaron estudios en Bermuda reportando que la edad de los individuos se encontraba entre los 2 a 3 años y la talla oscilaba entre los 18.2 a 35.1 cm longitud de bifurcación, a través de este estudio demostraron que la talla por edades fue altamente variable, por ello, el peso del otolito no es una buena representación para la edad

en esta especie. Indicaron que, en las muestras recolectadas a partir del sitio de agregación, los peces entre cuatro y cinco años de edad fueron más abundantes. La edad promedio en la primera reproducción para *H. sciurus* se considera entonces entre tres y cuatro años.

Se han realizado estudios con parásitos, (Kohn *et al.*, 1982), examinando ejemplares de *H. sciurus* en Praia de Ribeira, Estado de Río de Janeiro, Brasil; encontrando varias especies de trematodos como primeros registros. Otros estudios fueron de frecuencia y manejo de las agregaciones reproductivas de *H. sciurus* en el 2010, Trott y colaboradores, reportaron una agregación reproductiva potencial en el extremo oriental de la isla de Bermuda; durante los días de luna nueva en mayo, considerablemente en relación con el resto del año. Las gónadas de muchos peces capturados en estas mismas fechas se encontraban en un estado de maduración avanzado y un número de peces ya estaban en condición de desove. Debido a ello en el año 2005, una enmienda a la Ley de Pesca de 1972, le otorgó al Ministro responsable del Medio Ambiente la autoridad para prohibir de manera inmediata la pesca en cualquier área designada de agregación de peces. Haciendo uso de dicha disposición legal, se implementó, en mayo de 2007, una prohibición de pesca en el área de agregación del ronco carite durante un período de dos meses.

Campana y Casselman, (1993), realizaron un estudio discriminante en el Bacalao (*Gadus morhua*) utilizando el análisis de los tres pares de otolitos, a través del análisis de Fourier combinándolo con medidas de área y perímetro, dando como resultado diferencias muy significativas en la forma de otolito, pero la forma también difirió entre edades, sexos y clases de año. La primera función discriminante estuvo altamente correlacionada con la tasa de crecimiento del pez y el otolito, lo que indicaba que la discriminación de la población mejoró a medida que aumentaba la diferencia en la tasa de crecimiento específico de la población. Estos resultados marcaron la pauta para comprobar que la forma del otolito puede proporcionar una medida fácilmente determinada de la identidad de la población. El estudio de Bolles y Begg, (2000) estudiaron la distinción entre stocks de merluza plateada del atlántico (*Merluccius bilinearis*) usando descriptores de la forma del otolito univariados, extraídos mediante procesamiento de imagen y combinándolos con edad de los peces; para minimizar los errores de variación y que no pudieran afectar el análisis discriminante, usaron ciertas medidas o restricciones en el rango de edades, con

esto demostró que era una buena herramienta específica para la discriminación de stocks. Posteriormente Cadrin (2000), realizó un estudio en morfometría univariada y multivariada que permitió generar el diseño para el análisis de los stocks sujetos a actividades pesqueras incluyendo diseños analíticos básicos para la exploración, identificación y discriminación de stocks pesqueros, a pesar que no estaba en desarrollo aun los análisis de contorno. Por otra parte, Iwata y Ukai, (2002), desarrollan un programa de computo denominado “SHAPE” para la evaluación cuantitativa de formas biológicas basadas en los descriptores elípticos de Fourier, el desarrollo de este software ha permitido la incursión para la investigación en la evaluación de stocks basados en la forma del contorno de los otolitos. Otros estudios basados en variaciones de otolitos sagitales en *Serranus spp.*, llevado a cabo por Tuset y colaboradores (2003), lo realizaron mediante el análisis de índices de forma, usando análisis multivariados, encontraron que los otolitos sagitales son especie-específico, útiles para la caracterización ecológica en función de los hábitos de los organismos, además de que tales características como tamaño del *rostrum*, tamaño de la cauda y largo del otolito, se relacionada al hábitat de los organismos; asimismo el factor de forma, la redondez y la elipticidad en conjunto permiten su uso como marcadores para la identificación de especies y poblaciones. Parisi-Baradad y colaboradores (2005), realizaron un análisis de contorno de forma de otolito usando transformaciones wavelet y representación de espacio de escala de curvatura que permiten cuantificar las irregularidades del contorno y determinar su posición precisa. Estas propiedades hacen que estas técnicas sean adecuadas para fines de reconocimiento de patrones, envejecimiento, determinación de stocks e identificación de especies. En este estudio se aplicaron ambas técnicas y se utilizaron en un sistema de clasificación de otolitos que muestra robustez frente a transformaciones de imagen afines, cizallas y presencia de ruido.

Pothin y colaboradores, (2006), realizaron un estudio comparando poblaciones juveniles de *Mulloidichthys flavolineatus* en el sudoeste del Océano Índico a fin de evaluar su conectividad entre las islas Reunión y Mauricius, para ello usaron la morfometría convencional, índices de forma y análisis de contorno de Fourier; y obtuvieron mediante análisis discriminante diferencias regionales y específicas entre los sitios a través de las características morfo métricas de los otolitos; las diferencias entre los sitios se describieron

mejor por los índices de forma, combinando las variables morfo métricas y contornos externos mostró la importancia de la forma de otolito para la discriminación intraespecífica. En otro estudio, Galley y colaboradores, (2006) analizaron el éxito de discriminación de stocks de desove del bacalao del atlántico (*Gadus morhua*) en la costa de Escocia y el mar del Norte, usando para ello análisis cartesiano de Fourier y una variable morfométrica (rectangularidad), los resultados que obtuvieron es que al combinar variables morfométricas a los datos obtenidos del contorno incrementan la eficacia discriminante basados en la forma del otolito. Stransky y colaboradores, (2007), llevaron a cabo la separación entre stocks de bacalao costero noruego y bacalao del Noreste del Ártico por la forma de otolitos. Se analizaron muestras de otolitos mediante descriptores de forma univariada y análisis Elíptico de Fourier (EFA). Al combinar estos métodos, el puntaje de clasificación fue de 89% y 90%, es decir que ambos incrementan el éxito de la clasificación. Estos resultados implican que las diferencias en la morfología interna de los otolitos se traducen en gran medida a la forma externa pero que éstas no pueden estar directamente relacionadas con la estructura genética, pero las condiciones ambientales parecen tener una influencia considerable en cómo se forman los incrementos de crecimiento de otolitos y, consecuentemente, las formas de otolitos. Burke et al, (2008), realizaron el análisis de la forma del otolito, su aplicación para discriminación de *Clupea harengus* del Mar de Irlanda y del Mar Céltico se definió la forma de otolito usando índices de forma y descriptores de Fourier, como resultado obtuvieron en los juveniles una clasificación exitosa, con un alto grado de precisión (86 - 87%) usando variables de forma. Fablet y colaboradores, (2009), realizaron un estudio basado en la reconstrucción de la forma de otolitos en peces como una nueva herramienta basada en imágenes para el análisis y modelado de crecimiento de otolitos; presentan una novedosa herramienta de procesamiento de imágenes para la extracción de información geométrica en imágenes de otolitos. Utilizando el Análisis de Forma de Otolito para Identificar Diferentes Stocks de *Epinephelus morio* del Banco de Campeche Renán y colaboradores, (2011), determinaron el stock para esta especie un importante recurso pesquero de alto valor comercial, en el cual se usó medidas morfo métricas del otolito como el largo, el ancho y el peso en combinación con análisis de contorno del otolito sagital, llevado a cabo mediante análisis de la transformada de ondícula; los resultados concluyen que no fueron encontradas diferencias

significativas por lo cual determinaron un único stock. Leguá et al, (2013), realizaron estudios basados en el análisis morfométrico de los otolitos como herramienta para la identificación de stock de *Micromesistius australis* del talud y plataforma continental en la región sur-austral de Chile, Argentina e islas Malvinas, utilizando la forma morfométrica de otolitos para determinar la estructura del stock basada en parámetros básicos de tamaño, índices de forma y descriptores elípticos de Fourier normalizados (Nerds). A través de un análisis discriminante canónico obtuvieron una discriminación exitosa de 86.4% y 70.1% para los océanos Atlántico y Pacífico, respectivamente, a través de un análisis de varianza multivariado (MANOVA) llegaron a la conclusión que no existe diferencias significativas entre sexos dentro de las áreas ($P > 0.05$), pero variaron significativamente entre ambas zonas ($P < 0.05$). Vieira y colaboradores, (2014), realizaron un análisis de la forma de los otolitos como herramienta para la discriminación en *Phycis phycis* en el Atlántico nororiental en la parte continental de Portugal y en los archipiélagos de Madeira y Azores. Utilizando el análisis multivariado de varianza (MANOVA) realizado en los descriptores elípticos normalizados de Fourier (NEFDs) reveló diferencias significativas de área, sexo e interacción entre ambos. En el análisis canónico discriminante, se logró un éxito de clasificación general de 93.9 y 87.5% para hembras y machos. Mahe y colaboradores (2014), evaluaron la estructura de la población del pez espada (*Xiphias gladius*) en el Océano Índico; aplicaron el Análisis de Componentes Principales (PCA) y el uso de los EFDs, pruebas de permutación demostrando efectos no significativos, ni por sexo, año muestreado, ni longitud total. Solamente, el área geográfica parecía ser significativa ($P < 0.05$). En cuanto a la relación entre la relación de longitud de otolito / ancho de otolito y la longitud total de peces, el efecto de tamaño no fue significativo, de igual forma realizaron un Análisis Discriminante Lineal (LDA) y el éxito general de la clasificación de jackknifed alcanzó el 30%. La diferencia notable entre los otolitos de las tres especies es la presencia de una proyección anterior y una posterior en los otolitos. Entre los índices de forma, el factor de forma, la circularidad, la relación de aspecto y la rectangularidad son los principales que indican la variabilidad interespecífica. El análisis discriminante canónico clasifica correctamente 94.7% de los casos grupales originales. Los análisis globales muestran la importancia de aplicar la forma de otolito para la distinción interespecífica de las tres especies de gobios del Caspio. Un estudio realizado por Sadighzadeh y

colaboradores (2014), una aproximación a la comprensión de la coexistencia de pargos (Lutjanidae) del Golfo Pérsico a partir de la morfología del otolito, usando el análisis de contorno del otolito mediante la ondícula, morfometría del otolito y análisis de la relación área del otolito: sulcus acústicos, sugieren que cambios registrados en la forma y medidas corresponden a adaptaciones del tipo de hábitat de las especies analizadas y estos pueden explicar la coexistencia de especies simpátricas.

3. OBJETIVOS

3.1. General:

- Identificar stocks pesqueros de *H. sciurus* mediante la utilización de la forma de sus otolitos, en la Bahía de Chetumal, Punta Herrero y Xahuayxhol en la región sur de Quintana Roo, México

3.2. Específicos:

- Describir los índices de la forma y las series elípticas de Fourier de los otolitos de *H. sciurus* en tres zonas, Bahía de Chetumal, Punta Herrero y Xahuayxhol en la región sur de Quintana Roo.
- Comparar la forma de los otolitos de *H. sciurus* entre tres localidades: Bahía de Chetumal, Punta Herrero y Xahuayxhol en la región sur de Quintana Roo, utilizando los índices de la forma y las series elípticas de Fourier.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Área de estudio

4.1.1. Localización

Este estudio se llevó a cabo en las costas del estado de Quintana Roo en la provincia fisiográfica Península de Yucatán, en la porción oriental de ésta. Colinda al norte con Yucatán y Golfo de México, al este con el mar Caribe, al sur con la Bahía de Chetumal y Belice, y al oeste con los estados de Campeche y Yucatán; comparte frontera con Guatemala y Belice. Las coordenadas geográficas extremas de su territorio son 21°37' de latitud norte, 17°53' de latitud sur, 86°42' de longitud oeste y 89°20' de longitud oeste.

Cuenta con una superficie total de 43216.25 Km², ocupando 2.2% del territorio nacional, lo que lo coloca en decimonoveno lugar en extensión entre los estados de la República Mexicana. (PRORED, 2014). Quintana Roo se divide en ocho municipios y tres regiones que han sido determinadas con base a las características geográficas, integración territorial, actividades productivas, actividades culturales y sociales. Las regiones en que se divide el Estado de Quintana Roo son: región norte, región centro y región sur.

El siguiente estudio se realizó en la región sur, esta región posee el 36.9 % de la extensión territorial del Estado de Quintana Roo y en ella se asientan 242,423 habitantes que representan el 26.6 % del total de la población estatal. La densidad de la población en esta región es de 12.9 habitantes por Km² (INAFED, 2016). Comprende la línea litoral que da al Mar Caribe de los Municipios Othón P. Blanco y Felipe Carrillo Puerto, de modo que abarca desde Xcalak por el sur hasta el límite de Felipe Carrillo Puerto con el Municipio Solidaridad. Esta región incluye la franja conocida como Costa Maya y las porciones más cercanas al mar de las áreas naturales protegidas Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil y Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. La zona marina incluye las áreas naturales protegidas Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an, Parque Nacional Banco Chinchorro y Parque Nacional Arrecifes Xcalak (PRORED, 2014).

4.1.2. Zonas de muestreo

El presente estudio fue realizado en tres localidades de la zona centro sur del Estado de Quintana Roo: Punta Herrero, Xahuayxol y la Bahía de Chetumal (Figura 2).

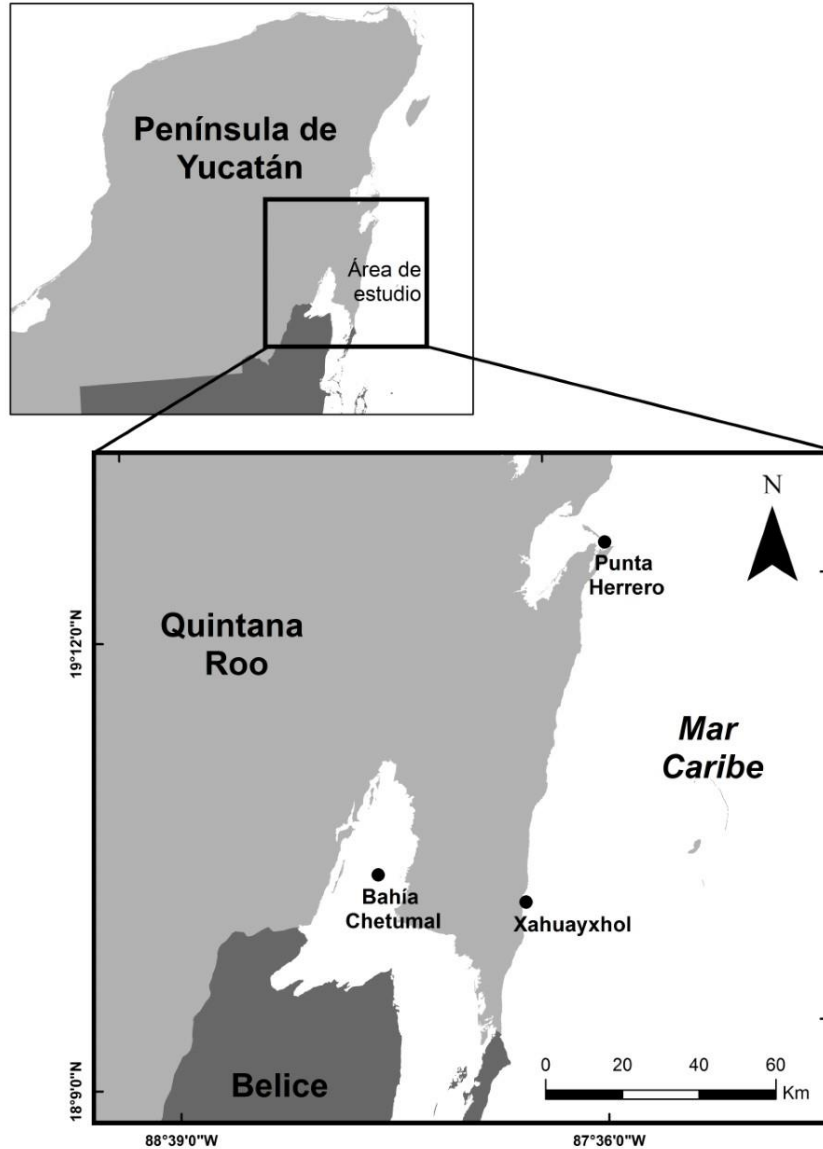


Figura 2. Mapa del área de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo en la costa del Estado de Quintana Roo.

Punta herrero:

La localidad se encuentra a una altura de cinco metros sobre el nivel del mar. Punta Herrero se ubica dentro de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, a 196 kilómetros de Felipe Carrillo Puerto, y a 82 kilómetros de Mahahual. Punta Herrero está rodeada por la Bahía de la Ascensión al oeste y norte, mientras que al este se encuentra el Mar Caribe. Se

encuentra en las coordenadas GPS: Longitud: 87° 27' 45", Latitud: 19°19'15" (SECTUR, 2015). Este sitio tiene presencia de arrecifes.

Xahuayxol:

Rumbo a Xcalak, se localiza Xahuayxol, este sitio forma parte del Parque Nacional del Arrecife de Xcalak. Xahuayxol está integrado a una ensenada de aguas transparentes y de baja profundidad. La temperatura del lugar se presenta con 27.8 grados centígrados en promedio. Se encuentra en las coordenadas 18 ° 30'15"N, 87° 45'32"O (SECTUR, 2015), En este sitio hay presencia de arrecife.

La Bahía de Chetumal:

Es un cuerpo semi-cerrado de agua salobre ubicada al sur del estado de Quintana Roo, con 1400 km² correspondientes a México y 1200 km² a Belice, es además la cuenca receptora de varios tributarios de agua dulce entre los que destaca el río Hondo que señala la frontera entre el país cercano Belice y es una de las pocas corrientes superficiales de la península de Yucatán. Las dimensiones de la bahía son aproximadamente de 110 km de largo y 20 km de ancho (SEMAR, 2013). Es una gran entrada del mar Caribe en el sur de la península de Yucatán, Está situada entre las coordenadas 18° 33' N y 88° 08' O y políticamente se encuentra dividida entre México y Belice, cuya frontera discurre por la mitad de sus aguas, tiene una profundidad muy baja por lo que no tiene puertos de alto calado y en ella se encuentra una única isla, Tamalcab. Está separada del mar Caribe por una gran saliente continental de la península en México y por el cayo, Ambergris en Belice.

4.2. Trabajo de campo

4.2.1. Colecta de ejemplares de *H. sciurus*

La colecta se realizó a través de los pescadores con anzuelo de cada sitio. Los tipos de arte de captura más comunes que usan los pescadores son la atarraya, red agallera, fizga, curricaneo, anzuelo los más usados. De los ejemplares de *H. sciurus* se llevó a cabo en tres sitios: Punta Herrero, Xahuayxol y la Bahía de Chetumal. Se colectaron 171 ejemplares de los cuales 97 correspondieron a Punta Herrero, 49 a Xahuayxol y 25 a la Bahía de Chetumal. Las muestras se llevaron al laboratorio de Zoología del Instituto Tecnológico de

Chetumal para validar su taxonomía. Las tallas utilizadas son las que entran dentro del rango, por lo tanto, fueron tallas de 22.0 y 32.0 cm (Domier, 1996; Brulé *et al.*, 2004),

4.3. Trabajo de laboratorio

Una vez en el laboratorio se realizó la taxonomía de los ejemplares colectados para corroborar que pertenecen a la especie *H. sciurus* siguiendo las claves de identificación de la familia Haemulidae (Lindeman, 1986; Lindeman y Toxey, 2002). Posteriormente a cada uno de los peces identificados se les tomaron ciertas mediciones morfométricas (con una precisión de 0.1 mm): longitud total (LT) y longitud estándar (LE). Finalmente, con ayuda de un microscopio estereoscópico y un equipo de disección los otolitos fueron retirados de cada ejemplar utilizando el método descrito por Secor *et al.*, (1993) conocido como “*open the hatch*”, y posteriormente cada uno de los otolitos fueron limpiados y almacenados en seco en viales hasta su posterior utilización. El par de otolitos conocidos como *sagitta* fue seleccionado de los otros pares de otolitos (*lapillus* y *asteriscus*) debido a su tamaño mayor, el grado de variación interespecífica, y la relativa facilidad con que se pueden evaluar dichas microestructuras (Secor *et al.*, 1993). Utilizando luz blanca transmitida, se obtuvieron fotografías de alto contraste de cada uno de los otolitos colocados en portaobjetos de microscopio por encima de una superficie negra. Con el fin de reducir al mínimo los errores de distorsión en el proceso de normalización, el *sulcus* siempre se ubicó hacia abajo y el *rostrum* siempre apuntando en la misma dirección. Estas fotografías serán utilizadas en los análisis de la forma de los otolitos.

4.3.1. Análisis de la forma de los otolitos

Forma elíptica de Fourier

El primer proceso de evaluación de la forma de los otolitos se basó en el análisis de la forma elíptica de Fourier (Kuhl y Giardina, 1982), el cual ajusta una curva cerrada arbitraria a un conjunto ordenado de puntos de un objeto cerrado en un plano de dos dimensiones, con algún grado de precisión deseado, generando un conjunto de variables que representan a la forma y que puede ser utilizado en las comparaciones estadísticas para delinear stocks. Utilizando este análisis, cualquier contorno cerrado es reducido a su x y y -proyección. Estas dos variables se expresan por las expansiones de Fourier como una suma

infinita de funciones trigonométricas (con una amplitud y un ángulo determinado) de longitudes de onda (ω) sucesivas decrecientes con las armónicas (Kuhl y Giardina, 1982; González-Salas y Lenfant, 2007):

$$x(t) = (a_0^{-2}) + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t \quad (1)$$

$$x(t) = (c_0^{-2}) + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos n\omega t + d_n \sin n\omega t \quad (2)$$

Donde t es la distancia a lo largo del contorno. Un contorno puede ser descrito de la siguiente manera: K es el número de puntos alrededor del contorno (indexado por p) y Δx_p es el desplazamiento a lo largo del eje x del contorno entre los pasos $p - 1$ y p . Δt_p es la longitud del segmento lineal entre estos pasos, t_p es el segmento acumulado, y $T = tk$ es la longitud total del contorno aproximado por un polígono traza. T es también el período de $x(t)$ y $y(t)$, de ahí que la longitud de onda (ω) puede expresarse como $\omega = 2\pi/T$. Luego, a_n y b_n pueden ser calculados a partir de las ecuaciones 1 y 2 de la siguiente manera (Kuhl y Giardina, 1982; González-Salas y Lenfant, 2007):

$$a_n = (T^{-2\pi^2 n^2}) \sum_{p=1}^K \left(\Delta x_p^{-\Delta t_p} \right) \cdot \left(\cos(2\pi n) t_{p-1}^{-T} - \cos(2\pi n) t_p^{-T} \right) \quad (3)$$

$$b_n = (T^{-2\pi^2 n^2}) \sum_{p=1}^K \left(\Delta x_p^{-\Delta t_p} \right) \cdot \left(\sin(2\pi n) t_{p-1}^{-T} - \sin(2\pi n) t_p^{-T} \right) \quad (4)$$

Los coeficientes para las y -coordenadas, c_n y d_n se calculan de la misma manera mediante los cambios incrementales en la y -dirección. Finalmente, la contribución de cada armónica, con ambas x e y -variaciones, es una elipse. Las armónicas para las x - e y -coordenadas se calculan mediante el uso de los cambios incrementales en la x - e y -dirección (Figura 3) (Kuhl y Giardina, 1982; González-Salas y Lenfant, 2007).

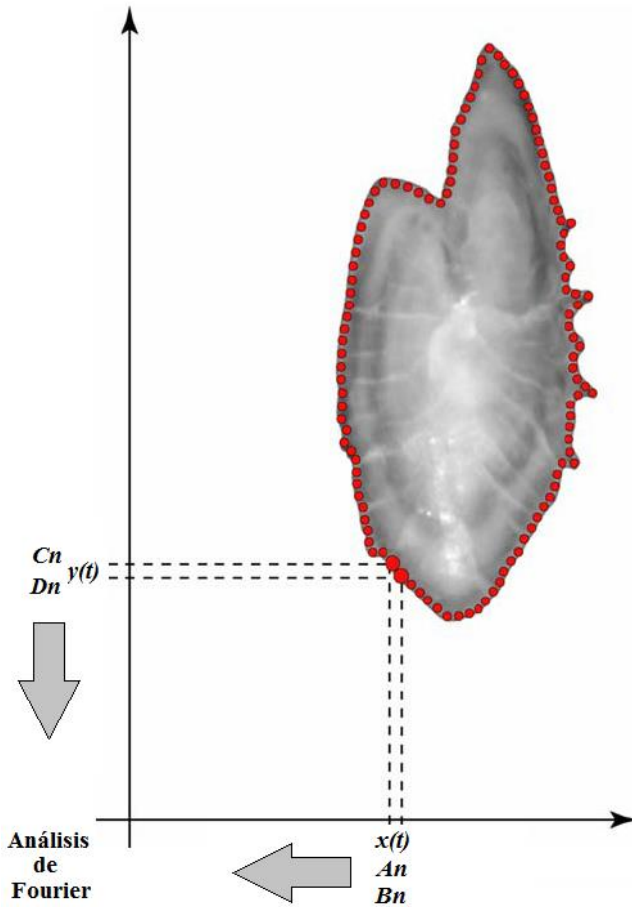


Figura 3. Representación esquemática del análisis de los descriptores de Fourier para la descripción la forma de los otolitos.

Un parámetro de gran interés es la amplitud, que describe el contorno del otolito y cuyo cálculo se lleva a cabo a partir de la sumatoria de cada uno de los cuatro coeficientes que componen un armónico al cuadrado ($A^2+B^2+C^2+D^2$) dividido entre 2. Todos los descriptores de la elíptica de Fourier (*EFDs*) de la forma o contorno de los otolitos fueron calculados utilizando el software Shape 1.2 (Iwata y Ukai, 2002), ya que este software ofrece un proceso de normalización de los *EFDs*, lo cual remueve efectivamente la sensibilidad de información que usualmente es irrelevante como la localización, la talla y la orientación del objeto (Kuhl y Giardina, 1982; González-Salas y Lenfant, 2007; Villegas-Hernández *et al.*, 2008).

El número de Harmónicas necesarios se estimó a partir de la potencia promedio del espectro de Fourier (*FP*), que proporciona una medida de la cantidad de información de la forma del otolito (Renaud *et al.*, 1996; Pothin *et al.*, 2006). Posteriormente las amplitudes

de cada armónica se calculan según $A^2 + B^2 + C^2 + D^2$. Para la n -ésima armónica, la potencia de Fourier (FP_n) está dada por la expresión: $FP_n = (A_n^2 + B_n^2 + C_n^2 + D_n^2) / 2$, donde A_n , B_n , C_n y D_n son los coeficientes de Fourier de la n -ésima armónica. Luego entonces, el porcentaje de potencia acumulada (FPC) puede ser calculado por $FPC = \sum_1^n FP_n$ (Pothin *et al.*, 2006). De esta manera iterativa, con el número de armónicas que se alcance más del 99% de la variación total de la potencia de Fourier (FP) será el número total de armónicas necesarias (Pothin *et al.*, 2006) para los correspondientes análisis estadísticos.

Índices de la forma

Los índices de la forma fueron obtenidos por diversas combinaciones de parámetros de la talla (Russ, 1990). Estos índices constituyen un grupo de ecuaciones que han sido descritas como factor de la forma, redondez, circularidad, rectangularidad, elipticidad y excentricidad (Tabla 1) (Russ, 1990). El factor de forma es un medio para estimar la irregularidad de la superficie, tomando valores de 1.0 cuando se trata de un círculo perfecto y <1.0 cuando es irregular. La redondez y la circularidad aportan información sobre la similitud de características diferentes a un círculo perfecto, con un valor mínimo de 1 y 4π (12.57), respectivamente. La rectangularidad describe las variaciones de la longitud y el ancho con respecto al área, 1.0 siendo un cuadrado perfecto. Elipticidad indica si los cambios en los ejes son proporcionales. Por último, la excentricidad determina la posición del centro de la masa con respecto a un círculo perfecto (Russ, 1990; Tuset *et al.*, 2003 a).

¹FL, máximo valor del diámetro de Feret calculado para 0, 30, 60, 90, 120 y 150 grados.

²FW, mínimo valor del diámetro de Feret calculado para 0, 30, 60, 90, 120 y 150 grados.

I_1 y I_2 , valores de la matriz de inercia

* Unidades son mm^2 para A y mm para P, FL y FW

Tabla 1. Índices de la forma (Russ, 1990; Tuset et al., 2003 a, b).

Parámetros de la Talla	Índice de la Forma
Área (A)	<i>Factor de la forma</i> = $(4\pi A)/P^2$
Perímetro (P)	<i>Redondez</i> = $(4A)/(\pi FL^2)$
Longitud de Feret (FL)¹	<i>Circularidad</i> = P^2/A
Anchura de Feret (FL)²	<i>Rectangularidad</i> = $A/FL \cdot FW$ <i>Elipticidad</i> = $(FL - FW)/(FL + FW)$ <i>Excentricidad</i> = $[4\pi^2(I_1 - I_2)^2]/A^2$

4.4. Análisis de datos

4.4.1. Análisis de la Forma de los otolitos

Las amplitudes de los descriptores de forma elíptica de Fourier más los índices de forma se utilizaron para comparar las formas de los otolitos entre las tres poblaciones de *H. sciurus*. Dichas comparaciones se realizaron mediante un análisis multivariado de permutación de la varianza conocido como PERMANOVA (Anderson, 2005), el cual permite probar la respuesta simultánea de una o más variables para uno o más factores en el diseño experimental del análisis de varianza. El PERMANOVA se basó en la medida de disimilitud de Bray-Curtis con 999 permutaciones aleatorias y un 95% de confianza. De manera complementaria y con la finalidad de darle mayor soporte estadístico al PERMANOVA en la determinación de las diferencias entre las formas de los otolitos (por ende la identidad de los stocks de *H. sciurus*), se realizó un análisis de función discriminante utilizando como variables los descriptores (coeficientes) de Fourier y el análisis de Mahalanobis (Mahalanobis, 1936), su utilidad radica en que es una forma de determinar la similitud entre dos variables aleatorias multidimensionales, aquí es usado con la finalidad de caracterizar las diferencias entre los centroides de los grupos obtenidos del análisis de función discriminante. El desempeño de cada una de las funciones discriminantes se evaluó mediante el estadístico Kappa de Cohen, el cual que proporciona un medio objetivo para el cálculo del porcentaje de la probabilidad de clasificación entre

los miembros de los grupos actuales y los predichos (Titus *et al.*, 1984). Los valores de Kappa varían entre 0 y 1, en donde 0 indicaría que el rendimiento del análisis discriminante no es muy bueno con respecto a la probabilidad, y 1 que indicaría una perfecta clasificación.

5. RESULTADOS

5.1 Selección de la clase de talla media para estandarización de las variables del otolito sagital

Los peces utilizados fueron 131 de acuerdo al criterio de la selección de tallas adultas (Lombarte y Leonart, 1993; Duarte *et al.*, 2008; Sadighzadeh *et al.*, 2012), y entre ella se eligieron los organismos de acuerdo a la clase de talla de 22 a 27.9 cm basado en la regla de Sturges. (Tabla 2). Fueron 48 de Xahuayxol, 58 de Punta Herrero y 25 de la Bahía de Chetumal.

Tabla 2. Valores mínimos y máximos de la longitud total (Lt en mm) de cada clase de talla de *H. Sciurus*, así como el número de organismos por cada intervalo

Talla	Mínimo	Máximo	n
1	15.7	17.8	5
2	17.8	19.9	8
3	19.9	22	22
4	22	24.1	56
5	24.1	26.2	40
6	26.2	28.3	18
7	28.3	30.4	13
8	30.4	32.5	7
9	32.5	34.6	2

5.2. Forma Elíptica de Fourier

5.2.1 Análisis de la forma del otolito

El poder de Fourier, permitió determinar el número mínimo de armónicos necesarios para la reconstrucción de la forma del otolito. Indicando que el número mínimo de armónicos para describir la forma del otolito de *H. sciurus* fue de 14 (Figura 4), sin embargo, para este estudio se utilizaron 25 armónicos con la finalidad de obtener un mayor grado de precisión en la descripción del contorno (99.9999%), cabe señalar que el

primer armónico fue eliminado pues sus coeficientes a_n , b_n , c_n , y d_n son degenerados al ajustarse a una elipse durante el proceso de normalización automática que realiza el programa (Iwata & y Ukai, 2002; Pothin *et al.*, 2006).

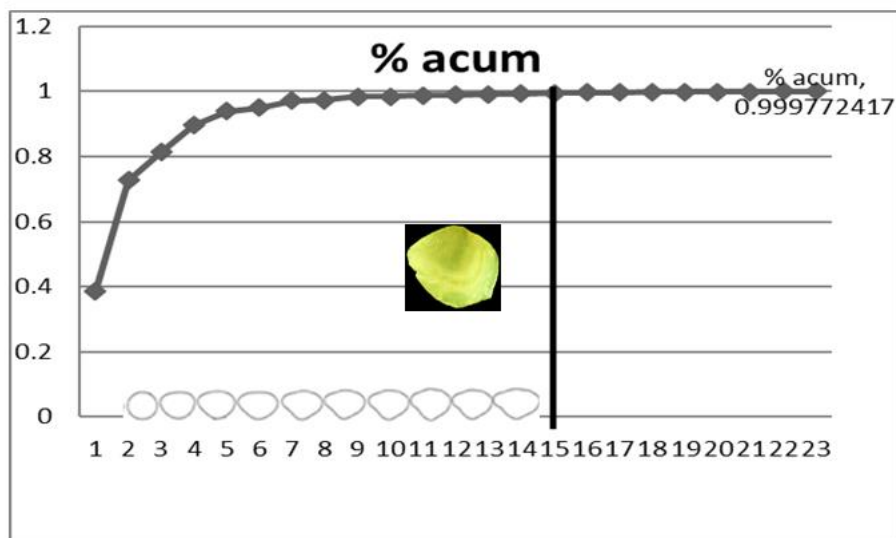


Figura 4. Determinación del número de armónicas necesarias para describir eficazmente la forma del otolito de *H. sciurus* mediante la potencia promedio acumulada del espectro de Fourier (FPC).

5.3 Análisis discriminante

5.3.1. Análisis PERMANOVA

Los resultados obtenidos del PERMANOVA señalan diferencias significativas entre localidades (Pseudo F_{2, 74}=11.21, p=0.002) (Tabla 4).

Tabla 3. Resultados del PERMANOVA y comparaciones pareadas, asociadas al factor localidad.

Factores	Pseudo F	G. L.	Valor-p	Comparación	T	Valor-p
1= Punta Herrero				1 vs 2	1.85	0.003
2= Xahuayxol	11.21	2, 74	0.002	1 vs 3	3.09	0.002
3= Bahía de Chetumal				2 vs 3	4.46	0.002

Los resultados del análisis de función discriminante utilizando los coeficientes de Fourier más los índices de forma, indican una clara diferenciación entre localidades (figura 5). La primera función discriminante representó el 97% de la variación entre grupos, mientras que las segunda el 3 %, ambas funciones discriminantes fueron estadísticamente significativas (1ª Función Wilk's Lambda =0.006 p<0.001; 2ª función Wilk's Lambda =0.02 p=0.0076). El porcentaje de correcta clasificación fue de 100% demostrando que todos los sitios de muestreo presentan una fuerte separación (Tabla 5).

Tabla 4. Matriz de correcta clasificación derivada del análisis discriminante basado en los coeficientes de Fourier más lo índices de forma

<i>Región</i>	<i>N</i>	<i>Punta Herrero</i>	<i>Xahuayxol</i>	<i>Bahía de Chetumal</i>	<i>% Correcto de clasificación</i>
Punta Herrero	58	58 (100.00%)	0 (0.00%)	0 (0.00%)	100%
Xahuayxol	48	0 (0.00%)	48 (100.00%)	0 (0.00%)	100%
Bahía de Chetumal	25	0(0.00%)	0 (0.00%)	25(100.00%)	100%
Total	131	58	48	25	100%

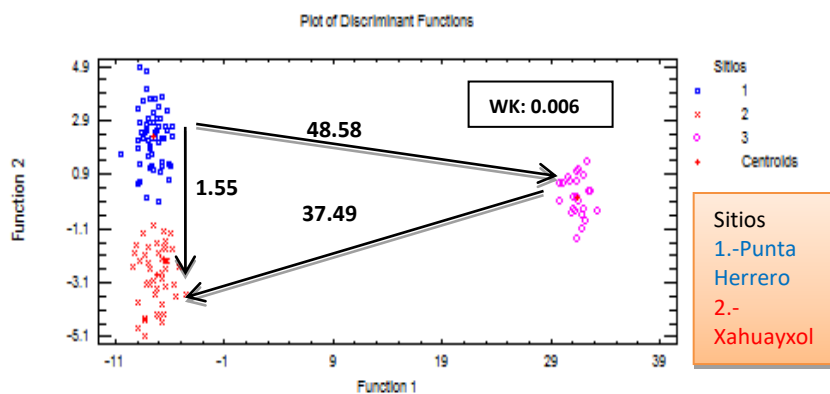


Figura 5. . Análisis discriminante basado en los coeficientes elípticos de Fourier más los índices de forma.

5.4. Descripción de la sagitta

Se realizó la visualización de las formas promedio de los contornos generados por el programa Shape 1.2 (Iwata y Ukai, 2002). La descripción general de los otolitos *sagitta* de *H. sciurus es*: forma oblonga, el borde presenta una forma aserrada, presenta poca variación en los bordes del otolito, el rostro y el antirostro son poco puntiagudos, la cisura hendida en V, el sulco acústico tiene forma de curva, el ancho de la cauda y el ostio son iguales (Fig. 6)

Se puede observar el otolito de *H. sciurus de* Punta Herrero la cisura es más prolongada similar a la de Xahuayxol, pero se puede notar que para la Bahía de Chetumal es muy distinto, muy poco se nota la cisura. El rostro es más puntiagudo en los otolitos de Xahuayxol, siguiéndole Punta Herrero que es menos puntiagudo, en cambio los de la Bahía de Chetumal se nota que es muy distinto a los otros dos sitios. El ostium es más ancho en Punta Herrero, seguidamente Xahuaxol se asemeja, a diferencia a los de la Bahía que es más delgado. Los bordes para ambos, es de forma aserrada. La altura se puede notar que el de la Bahía de Chetumal es más alto a diferencia de los otros dos sitios que son similares (Fig. 6 y 7)



Figura 6. A: otolito izquierdo de *Haemulon sciurus* de Punta Herrero Q. Roo; B: otolito izquierdo de *Haemulon sciurus* de la Bahía de Chetumal; C: otolito izquierdo de *Haemulon sciurus* de Xahuayxol Q. Roo.



Figura 7. Contornos promedio basados en los Descriptores elípticos de Fourier para los tres sitios de pesca.

6. DISCUSION

6.1. Análisis de la forma de los otolitos y discriminante.

Los otolitos sagittae de *Haemulon sciurus* se describen por primera vez en este estudio de la zona sur de Estado de Quintana Roo. Se utilizaron individuos del rango 22-27 cm de largo total basándose en la regla de Sturges respecto a las tallas de los peces que se utilizaron, al igual que en algunos autores quienes sugieren este rango detallas para individuos maduros en *H. sciurus*. Autores han sugerido que la selección de tallas beneficia para que no existan variaciones de edad y se tenga mayor éxito de discriminación (De Vries *et al.*, 2002; Neves *et al.*, 2011). En otros estudios realizados con *Coilia ectenes* utilizaron un mínimo de 12 muestras y un máximo de 94 organismos reportando resultados exitosos (Radhakrishnan *et al.*, 2012) dándole soporte a la cantidad de muestras que se utilizaron en la Bahía de Chetumal. De igual manera otro estudio realizado con *Mulloidichthys flavolineatus* se obtuvieron en tres sitios de muestreos 31, 41, y 45 organismos respectivamente (Pothin *et al.*, 2006), corroborando que no afecta el análisis discriminante de stocks pesqueros con una cantidad menor a los 50 organismos sugeridos inicialmente.

El análisis de las formas de los otolitos de las regiones de colecta de *H. sciurus* en el litoral costero del Caribe Mexicano mostró mediante el análisis de discriminante lineal, diferencias significativas entre los sitios. Los resultados del análisis discriminante fueron robustos con valores de correcta clasificación de hasta 100% cuando los índices de forma y la elíptica de Fourier fueron considerados en el análisis discriminante. De acuerdo a Friedland y Reddin (1994), para la identificación de stocks mediante este tipo de metodologías (análisis de la forma de los otolitos) se deben obtener valores de clasificación mayores al 75% para considerarlas aceptables. Para el presente estudio se obtuvieron valores de clasificación entre 99% y 100%, lo cual sugiere que la variabilidad en la forma del otolito podría ser una muy buena herramienta para la discriminación regional de los stocks de *H. sciurus* en el litoral costero del Caribe Mexicano. La estructura del stock se basó en parámetros básicos de tamaño (área, perímetro y tamaño), índices de forma (circularidad, rectangularidad, factor de forma, redondez y elipticidad), y descriptores elípticos de Fourier normalizados (NEFDs), así demostrando el éxito de clasificación en los sitios de muestreo: Punta Herrero, Xahuayxhol y la Bahía de Chetumal.

La morfología y morfometría de los otolitos ha sido ampliamente utilizadas para identificar stocks pesqueros (Cadrin & Friedland, 1999; Avigliano *et al.*, 2014). Los resultados obtenidos en este estudio arrojaron más de un stock pesquero entre los sitios de muestreo, comprobándose con mayor eficacia al utilizar las características morfológicas (elípticas de Fourier) y morfométrico (índices de forma). El análisis de forma, el factor de forma, la redondez y la elipticidad en conjunto permitieron un mejor resultado (Tuset *et al.*, 2003). En relación a ello y enfatizando que el análisis discriminante fue más efectivo cuando se utilizaron los índices de forma, combinando las variables morfométricas y de la forma de otolito, para la discriminación interespecífica (Pothin *et al.*, 2006). El éxito de discriminación de stocks al combinar ambas herramientas incrementó la eficacia discriminante, resultado apoyado por el trabajo de Galley y colaboradores (2006), al estudiar el desove del bacalao del atlántico (*Gadus morhua*). Al combinar estos métodos, el puntaje y éxito de clasificación aumentó considerablemente, llegando a la conclusión que la morfología interna de los otolitos se traduce en gran medida a la forma externa, comprobando lo que Stransky y colaboradores (2007) reportaron en su estudio sobre la

separación de stocks del bacalao, obteniendo un éxito de clasificación del 89 % y 90 %. Los resultados obtenidos en este estudio, muestran que la morfología y la morfometría de los otolitos son herramientas útiles para la determinación de stocks pesqueros. De acuerdo a Burke y colaboradores (2008), el análisis de la forma de otolitos puede ser utilizado para evaluar stocks pesqueros, como sucedió en *Clupea harengus* cuyo porcentaje de éxito en la clasificación obtuvo un grado de precisión de entre 86-87%, usando variables de forma del otolito.

Al parecer el grado de diferenciación fenotípica con el análisis de la forma del otolito indica que el stock de *H. sciurus* en el litoral costero del Caribe Mexicano, está constituido diferencialmente por tres unidades geográficamente separadas entre sí; Punta Herrero, Xahuayxol y Bahía de Chetumal. Este tipo de variación geográfica en la forma de los otolitos también se ha observado a diferentes escalas espaciales entre diferentes stocks de otras especies de peces tales como el jurel (Stransky et al., 2008), y *H. plumieri* (Treinen-Crespo et al 2012). Murta et al. (1996) encontraron variaciones en las formas del otolito del jurel a lo largo de la costa Portuguesa a escalas relativamente pequeñas identificando diferencialmente los stocks.

La separación geográfica, como en la Sardina *S. pilchardus* y la brótola de roca *Phycis phycis* donde la distancia, las corrientes oceánicas y la poca mezcla de las masas de agua han separados stocks atlánticos y mediterráneos (Jemaa et al., 2014; Vieira et al., 2014) y

La apariencia y la forma del otolito entre los sitios de muestreo varían geográficamente, reflejando un potencial para la discriminación del stock, como se muestra en la figura 6. 2. La separación geográfica, es uno de los factores, estudios basados en como *Sardina pilchardus* *Phycis phycis* donde la distancia, las corrientes oceánicas y la poca mezcla de las masas de agua han separados stocks atlánticos y mediterráneos (Jemaa et al., 2014; Vieira et al., 2014). La identificación de stocks basados en la morfología del otolito parece reflejar las diferencias ambientales entre las regiones (Campana & Casselman, 1993). Las variaciones hidrológicas encontradas en cada sitio son los factores que permiten una discriminación de cada sitio de muestreo Neilson et al. (1985), Campana & Casselman (1993). Cabe mencionar que Punta Herrero está rodeada por la Bahía de la Ascensión al

oeste y norte, mientras que al este se encuentra el Mar Caribe (Godás, *et.al.*, 2007). Xahuayxol, a través de la costa cerca de Xcalak, se localiza cerca de un escurrimiento hacia el mar Caribe conocido como Río Huach, en esta misma zona hay tres lagunas (Huache, Santa Rosa y Santa Julia), existen también varios cuerpos de agua, algunos intermitentes y otros permanentes como son: Mosquitero, Tampalam, Puerto Chico, Uvero, etc.; existen además incontables corrientes subterráneas a poca profundidad que afloran naturalmente a la superficie y reciben el nombre de aguadas. La Bahía de Chetumal, es un cuerpo semi-cerrado de agua salobre ubicada al Sur del Estado de Quintana Roo, es, además, la cuenca receptora de varios tributarios de agua dulce entre los que destaca el río Hondo (Godás, *et.al.*, 2007). Cada región de los sitios de muestreo posee características peculiares especialmente por la interconectividad de ecosistemas terrestres como la selva baja inundable con los manglares y éstos a su vez con los cuerpos de agua, incluyendo lagunas, bahías y el mar. La distribución de la vegetación permite que el equilibrio de agua dulce y agua de mar sea dinámico y a la vez frágil (Godás, *et.al.*, 2007).

Otra de las cosas que permitieron la discriminación de stocks distintos en cada sitio de muestreo de *H. sciurus*, posiblemente es debido a la influencia de del ambiente, estudios realizados *Haemulon plumieri* demuestra que las diferencias entre las masas de agua estuarina y eurihalina generan ambientes diferentes que influyen sobre la historia de vida y la forma del otolito sagital (Treinen-Crespo *et al.*, 2012).

También la variabilidad genética puede ser uno de los factores que contribuyen en las subpoblaciones, Galley *et al.*, (2006) estudios realizados en el bacalao atlántico *Gadus morhua* reportaron diferencias genéticas y correspondían a las observadas mediante el análisis de contorno del otolito. Algunos estudios han encontrado que el éxito de clasificación del análisis discriminante a partir de la forma del otolito va en aumento conforme la diferencia genética o la separación geográfica se hace más pronunciada, proponiendo que las diferencias genéticas son las principales responsables de la variación de la forma de estas estructuras (Castonguay *et al.*, 1991; Friedland y Reddin, 1994) y que en el caso de este estudio queda fuera del alcance ser concluyente debido a la carencia del componente genético en esta investigación. En el mismo contexto se ha sugerido que la variación fenotípica entre unidades del stock de cualquier especie puede proveer una base

indirecta de la estructura del stock. Se ha sugerido que, en cualquier análisis fenotípico, como el análisis de la forma de los otolitos, las fuentes de variación son principalmente aquellas diferencias tanto genéticas como microambientales entre individuos de cada uno de las unidades del stock (Campana y Casselman, 1993). Por lo tanto, la interpretación de los patrones de variación en el análisis de la forma del otolito al interior de las regiones, resulta difícil debido a que las influencias genéticas y ambientales no son claras (Cadrin y Friedland, 1999), ya que a pesar de que existe un componente genético en el crecimiento de los otolitos (Söllner *et al.*, 2003; Swain *et al.*, 2005) las diferencias en la morfología externa de éstos se ve influenciada por las tasas de crecimiento diferenciales de cada una de las unidades del stock que prevalecen en áreas con diferentes condiciones hidrológicas (Otterlei *et al.*, 2002; Stransky *et al.*, 2008). Sin embargo, cuando las diferencias entre stocks son significativas, estos pueden ser definidos en base a la existencia de al menos un aislamiento geográfico parcial, pero para afirmar esto se requiere de análisis suplementarios como la utilización de marcadores moleculares.

Entre los tres sitios de muestreo la Bahía de Chetumal es el que presenta mayor diferencia de los tres, pudiera ser a que es un sitio relativamente aislado, se encuentra a 169 km de Punta Herrero y a 90 km de Xahuayxol y existe muy poco intercambio de aguas con el mar Caribe y esto podría atribuirse a suponer una barrera para la dispersión larval. En la brótola de roca *Phycis phycis* se documentó que la distancia geográfica es una limitante para la dispersión larval (Vieira *et al.*, 2014).

7. CONCLUSIONES

A partir del análisis de la forma del otolito se determinó que existen tres stocks diferentes de *H. sciurus* en el litoral costero del Caribe Mexicano está constituido por al menos 3 unidades geográficamente separadas: Punta Herrero, Xahuaxol y Bahía de Chetumal.

Los índices de la forma y las series elípticas de Fourier de los otolitos de *H. sciurus* fueron herramientas sólidas para poder diferenciar stocks de *H. sciurus* en la región sur de Quintana Roo.

Los resultados obtenidos nos indica la utilidad exitosa de los índices de talla y de la morfología de los otolitos de *H. sciurus* para discriminar stocks pesqueros con un alto grado en la clasificación correcta en los sitios de muestreo.

Las variaciones hidrográficas encontradas en cada sitio parecen están influyendo mucho en las diferencias encontradas. Entre los tres sitios de muestreo la Bahía de Chetumal es el que presento mayor diferencia de los tres, pudiera ser a que es un sitio relativamente aislado y existe muy poco intercambio de aguas con el mar Caribe.

Los resultados obtenidos dan la pauta para brindar un mejor manejo en la estructura poblacional de *H. sciurus* en Punta Herrero, Xahuayxol y Bahía de Chetumal ya que presentan cada uno distinto stock y en base a ello realizar un plan de manejo sustentable según la información a través de este estudio relacionados a los factores presentados en los sitios para asegurar que no sea sobre explotada la población y no verse afectada en el transcurso del tiempo.

8. REFERENCIAS

- Aguirre, H., y Lombarte, A. (1999). Ecomorphological comparisons of sagittae in *Mullus barbatus* and *M. surmuletus*. *Journal of Fish Biology*, 55(1), 105-114.
- Anderson, M. J. (2005). PERMANOVA. Permutational multivariate analyses of variance: a computer program. *Department of Statistics, University of Auckland, Auckland, Australia*.
- Avigliano, E., Martínez, C. F. R., y Volpedo, A. V. (2014). Combined use of otolith microchemistry and morphometry as indicators of the habitat of the silverside (*Odontesthes bonariensis*) in a freshwater–estuarine environment. *Fisheries Research*, 149, 55-60.
- Beets, J., Muehlstein, L., Haught, K., y Schmitges, H. (2003). Habitat connectivity in coastal environments: patterns and movements of Caribbean coral reef fishes with emphasis on bluestriped grunt, *Haemulon sciurus*. *Gulf and Caribbean Research*, 14(2), 29-42.
- Bolles, K. L., y Begg, G. A. (2000). Distinction between silver hake (*Merluccius bilinearis*) stocks in US waters of the northwest Atlantic based on whole otolith morphometrics. *Fishery Bulletin*, 98(3), 451-451.
- Burke, N., Brophy, D., y King, P. A. (2008). Otolith shape analysis: its application for discriminating between stocks of Irish Sea and Celtic Sea herring (*Clupea harengus*) in the Irish Sea. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 65(9), 1670-1675.

- Cadrin, S. X., Kerr, L. A., y Mariani, S. (Eds.). (2013). *Stock identification methods: applications in fishery science*. Academic Press.
- Castonguay, M., Simard, P., y Gagnon, P. (1991). Usefulness of Fourier analysis of otolith shape for Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) stock discrimination. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(2), 296-302.
- Cadrin, S. X. (2000). Advances in morphometric identification of fishery stocks. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10(1), 91-112.
- Cadrin, S. X., y Friedland, K. D. (1999). The utility of image processing techniques for morphometric analysis and stock identification. *Fisheries Research*, 43(1), 129-139.
- Campana, S. E., y Casselman, J. M. (1993). Stock discrimination using otolith shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(5), 1062-1083.
- Campana, S. E. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, 188, 263-297.
- Campana, S. E., y 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), 30-38.
- Cervigón, F., Cipriani, R., Fischer, W., Garibaldi, L., Hendrickx, M., Lemus, A. J., y Rodríguez, B. (1992). Fichas FAO de identificación de especies para los fines de la pesca; guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de

la costa septentrional de Sur América (No. FAO 597.098 C419). FAO, Roma (Italia).

- CITES (2013). Appendices I, II and III valid from 12 June 2013. UNEP.
- Claro, R. (1994). Características generales de la ictiofauna. Ecología de los peces marinos de Cuba. *Instituto de Oceanología Academia de Ciencias de Cuba and Centro de Investigaciones de Quintana Roo*, 55-70.
- CONAPESCA. (2014). Anuario estadístico de acuacultura y pesca. 2014, de CONAPESCA Sitio web:
https://www.conapesca.gob.mx/work/sites/cona/dgppe/2014/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2014.pdf
- Courtenay, W. R., y Sahlman, H. F. (1978). Pomadasyidae. FAO species identification sheets for fishery purposes. Western Central Atlantic (Fishing Area 31), 4.
- Domínguez-Viveros, M. Efecto de las Trampas de Corazón y Cola Sobre la Pesquería del Chac-chi (*Haemulon plumieri*; Lacepede, 1802) de Mahatma], Quintana Roo Effect Of Beach Weir Traps On White Grunt (*Haemulon Plumieri*; lacepede, 1802) Fishery At Mahahual, Quintana Roo.
- Fablet, R., Chessel, A., Carbini, S., Benzinou, A., y De Pontual, H. (2009). Reconstructing individual shape histories of fish otoliths: a new image-based tool for otolith growth analysis and modeling. *Fisheries Research*, 96(2), 148-159.
- Friedland, K. D., y Reddin, D. G. (1994). Use of otolith morphology in stock discriminations of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(1), 91-98.

- Galley, E. A., Wright, P. J., y Gibb, F. M. (2006). Combined methods of otolith shape analysis improve identification of spawning areas of Atlantic cod. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 63(9), 1710-1717.
- Godás, M. D., Reyes, H. B. C., y Valdivieso, E. V. (2007). *Globalización y sustentabilidad: el turismo en el sur de Quintana Roo*. UNAM.
- González-Salas, C., y Lenfant, P. (2007). Interannual variability and intraannual stability of the otolith shape in European anchovy *Engraulis encrasicolus* (L.) in the Bay of Biscay. *Journal of Fish Biology*, 70(1), 35-49.
- Grant, W. S., J. L. García-Marin, y F. M. Utter. (1999). Defining population boundaries for fisheries management. In: S. Mustafa (ed), *Genetics in Sustainable Fisheries Management*. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford, UK. 27-72 pp.
- Hughes, T. P. (1989). Community structure and diversity of coral reefs: the role of history. *Ecology*, 70(1), 275-279.
- Hughes, T. P., Baird, A. H., Bellwood, D. R., Card, M., Connolly, S. R., Folke, C., y Lough, J. M. (2003). Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science*, 301(5635), 929-933.
- Ihssen, P. E., Booke, H. E., Casselman, J. M., McGlade, J. M., Payne, N. R., y Utter, F. M. (1981). Stock identification: materials and methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(12), 1838-1855.
- Iwata, H., y Ukai, Y. (2002). SHAPE: a computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. *Journal of Heredity*, 93(5), 384-385.

- INAFED. (2016). Estado de Quintana Roo. 2016, de INAFED Sitio web: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM23quintanaroo/regionalizacion.html>.
- IUCN. (2016). IUCN Red List of Threatened Species. Version 2016.1 IUCN 2016. IUCN Red List of Threatened Species. Downloaded on 15 July 2016.
- Kohn, A. N. N. A., Macedo, B., y Fernandes, B. M. (1982). About some trematodes parasites of *Haemulon sciurus* (Shaw, 1803). *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 77(2), 153-157.
- Kuhl, F. P., y Giardina, C. R. (1982). Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer graphics and image processing*, 18(3), 236-258.
- Leguá, J., Plaza, G., Pérez, D., y Arkhipkin, A. (2013). Otolith shape analysis as a tool for stock identification of the southern blue whiting, *Micromesistius australis*/Análisis morfométrico de los otolitos como herramienta para la identificación de stock de la merluza de tres aletas, *Micromesistius australis*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 41(3), 479.
- Lindeman, K. C. (1986). Development of larvae of the French grunt, *Haemulon flavolineatum*, and comparative development of twelve species of western Atlantic *Haemulon* (Percoidei, Haemulidae). *Bulletin of Marine Science*, 39(3), 673-716.
- Lindeman, K. C., y Toxey, C. (2002). Haemulidae. *FAO species identification guide for fishery purposes. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome*, 1522-1550.
- Lieske, E., y Myers, R. (1994). *Collins pocket guide. Coral reef fishes. Indo-Pacific & Caribbean including the Red Sea*. Haper Collins Publishers, 400.

- López-Ordaz, A., Ortaz, M., y Rodríguez-Quintal, J. G. (2009). Trama trófica de una comunidad de peces en una pradera marina en el Caribe Venezolano. *Revista de Biología Tropical*, 57(4), 963-975.
- Lorenzo-Nespereira, J. M. (1992). *Crecimiento de la caballa" Scomber japonicus"(Houttuyn, 1872) en aguas del Archipiélago canario* (Doctoral dissertation, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria).
- Mahe, K., Evano, H., Mille, T., y Bourjea, J. (2014). Otolith shape as a valuable tool to evaluate the stock structure of swordfish (*Xiphias gladius*) in the Indian Ocean.
- Mahalanobis, P. C. (1936). On the generalized distance in statistics. *Proceedings of the National Institute of Sciences (Calcutta)*, 2, 49-55.
- Martínez-Pérez, J. A., Del Moral-Flores, L. F., Volpedo, A. V, Tello-Musi, J. L., y Chávez-Arteaga, M. C. (2011). Creación de la colección de otolitos sagita de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala. *Revista de Zoología*, (22), 63-66.
- Medina, M. A. E., Silva, J. B. P., Salvat-Torres, H. M., y Quesada, M. S. (2014). Diversidad de peces en los arrecifes de coral de la costa sur-central de Cuba. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, (6), 91-101.
- Morales-Nin, B. (1991). Determinación del crecimiento de peces óseos en base a microestructura de otolitos. *FAO Documento Técnico de Pesca*; 322.
- Mora, C., y Sale, P. F. (2002). Are populations of coral reef fish open or closed?. *Trends in Ecology & Evolution*, 17(9), 422-428.

- Murta, A. G., Borges, M. F., y Silveiro, M. L. (1996). Morphological variations in the Sagitta otoliths of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in Portuguese waters (Div. IXa).
- Neilson, J. D., Geen, G. H., y Chan, B. R. I. A. N. (1985). Variability in dimensions of salmonid otolith nuclei: implications for stock identification and microstructure interpretation. *Fish. Bull*, 83, 81-89.
- Nigrelli, R. F., Jakowska, S., y Calventi, I. (1959). Ectyonin, an antimicrobial agent from the sponge *Microciona prolifera* Verrill. *Zoologica*, NY, 44(4), 173-176.
- Osorio, I., Aburto, O. A., y Balart F. E. B. (2003). *Otolitos de peces de arrecife del Golfo de California. La Paz, Baja California Sur, México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.*, 120.
- Otterlei, E., Folkvord, A., y Nyhammer, G. (2002). Temperature dependent otolith growth of larval and early juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*). *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 59(2), 401-410.
- Palumbi, S. R. (2003). Population genetics, demographic connectivity, and the design of marine reserves. *Ecological applications*, S146-S158.
- Parisi-Baradad, V., Lombarte, A., García-Ladona, E., Cabestany, J., Piera, J., y Chic, O. (2005). Otolith shape contour analysis using affine transformation invariant wavelet transforms and curvature scale space representation. *Marine and Freshwater Research*, 56(5), 795-804.
- Pitt, J. M., Trott, T. M., y Luckhurst, B. E. (2010). Bluestriped Grunt (*Haemulon sciurus*) in Bermuda: Age, growth, and reproduction studies. In *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* (Vol. 62, pp. 241-245). Gulf and Caribbean Fisheries Institute, c/o Harbor Branch Oceanographic Institution, Inc. Fort Pierce FL 34946 United States.

- Popper, A. N., Fewtrell, J., Smith, M. E., y McCauley, R. D. (2003). Anthropogenic sound: effects on the behavior and physiology of fishes. *Marine Technology Society Journal*, 37(4), 35-40.
- Pothin, K., González-Salas, C., Chabanet, P., y Lecomte-Finiger, R. (2006). Distinction between *Mulloidichthys flavolineatus* juveniles from Reunion Island and Mauritius Island (south-west Indian Ocean) based on otolith morphometrics. *Journal of Fish Biology*, 69(1), 38-53.
- PRORED. (2014). Programa de Gran Visión de Desarrollo del Litoral. 2014, de SCT Sitio web: www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/PNDP2008/doc/pred/pqroo.pdf.
- PYME. (2002). Fideicomiso Fomento Económico Quintan Roo 2025. Obtenido de http://www.contactopyme.gob.mx/cpyme/estudios/docs/Sector_Pesca_QROO.doc.
- Randall, J. E. (1996). Caribbean reef fishes. Hong Kong: T.F.H. Publications, Inc. Ltd.
- Renán X., E. Pérez-Díaz, E., Colàs-Marrufo, T., Garza-Pérez J., y T. Brulè. (2011). Using Otolith Shape Analysis to Identify Different Stocks of *Epinephelus morio* from the Campeche Bank. In. Proceedings of the 63rd Gulf and Caribbean Fisheries Institute. GCFI: 63 201-206.
- Renaud, S., Michaux, J., Jaeger, J. J., y Auffray, J. C. (1996). Fourier analysis applied to *Stephanomys* (Rodentia, Muridae) molars: nonprogressive evolutionary pattern in a gradual lineage. *Paleobiology*, 22(02), 255-265.

- Rodríguez Mendoza R. P. (2006). Otoliths and their applications in fishery science. *Ribarstvo*, 64(3), 89-102.
- Rojas, D. C., y Monteagudo, P. P. C. (2011). Evaluación de las asociaciones de peces de los arrecifes coralinos del centro internacional de buceo María la Gorda, Parque Nacional Guanahacabibes, Cuba. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 1, 111-125.
- Russ, J. C. (2012). *Computer-assisted microscopy: the measurement and analysis of images*. Springer Science & Business Media.
- Sadighzadeh, Z., Valinassab, T., Vosugi, G., Motallebi, A. A., Fatemi, M. R., Lombarte, A., y Tuset, V. M. (2014). Use of otolith shape for stock identification of John's snapper, *Lutjanus johnii* (Pisces: Lutjanidae), from the Persian Gulf and the Oman Sea. *Fisheries Research*, 155, 59-63.
- Secor, D. H., Dean, J. M., y Laban, E. H. (1993). Otolith removal and preparation for microstructural examination. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19-19.
- SECTUR. (2015). Caribe Mexicano. 2015, de Secretaria de turismo Sitio web: <http://www.mahahual.mx/mahahual-y-xahuayxol/>
- SEMAR. (2015). Chetumal, Quintana Roo. 2015, de SEMAR Sitio web: <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioChetumal.pdf>
- Shaklee, J. B., y K. P. Currens. (2003). Genetic stock identification and risk assessment. E. M. Hallerman, editor. *Population genetics: principles and applications for fisheries scientists*, 2nd edition. American Fisheries Society, Bethesda. 291-328.

- Sinclair, M. (1988). *Marine populations an essay on population regulation and speciation*. University Washington Press, (No. 574.92 S563). Seattle: 252
- Smith, L. C. (1997). *National audubon society field guide to tropical marine fishes Caribbean, Gulf of México, Florida, Bahamas, Bermuda* (No. 597.092 S6).
- Söllner, C., Burghammer, M., Busch-Nentwich, E., Berger, J., Schwarz, H., Riekel, C., y Nicolson, T. (2003). Control of crystal size and lattice formation by starmaker in otolith biomineralization. *Science*, 302(5643), 282-286.
- Sosa-Cordero, E., González, A. R., Escobedo, J. O., Collí, J. C., Elguero, M. M., y Lizama, C. Q. (2009). Informe Programa de Ordenamiento Pesquero en el Estado de Quintana Roo. 1. *Pesquería de Meros y especies afines. Auspiciado por CONAPESCA-SAGARPA. 111p.*
- Sorokin, Y. I. (1995). *Ecological Studies: Coral Reef Ecology* vol. 102.
- Stransky, C., Baumann, H., Fevolden, S. E., Harbitz, A., Høie, H., Nedreaas, K. H. y Skarstein, T. H. (2007). Separation of Norwegian coastal cod and Northeast Arctic cod by otolith morphometry. ICES.
- Stransky, C., Murta, A. G., Schlickeisen, J., y Zimmermann, C. (2008). Otolith shape analysis as a tool for stock separation of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the Northeast Atlantic and Mediterranean. *Fisheries Research*, 89(2), 159-166.
- Swain, D. P., Hutchings, J. A., y Foote, C. J. (2005). Environmental and genetic influences on stock identification characters. *Stock identification methods: applications in fishery science*, 45-85.

- Titus, K., Mosher, J. A., y Williams, B. K. (1984). Chance-corrected classification for use in discriminant analysis: ecological applications. *American Midland Naturalist*, 1-7.
- Treinen-Crespo, C., Villegas-Hernández, H., Guillén-Hernández, S., Ruiz-Zárate, M. Á., y González-Salas, C. (2012). Otolith shape analysis as a tool for population discrimination of the white grunt (*Haemulon Plumieri*) stock in the northern coast of the Yucatán Península, México. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 4, 157-168.
- Trott, T. M., Luckhurst, B. E., y Pitt, J. M. (2010). Occurrence and management of a spawning aggregation of Bluestriped grunt (*Haemulon sciurus*) in Bermuda. In *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* (Vol. 62, pp. 260-266). Gulf and Caribbean Fisheries Institute, c/o Harbor Branch Oceanographic Institution, Inc. Fort Pierce FL 34946 United States.
- Tuset, V. M., Lombarte, A., Gonzalez, J. A., Pertusa, J. F., y Lorente, M. (2003). Comparative morphology of the sagittal otolith in *Serranus spp.* *Journal of Fish Biology*, 63(6), 1491-1504.
- Tuset, V. M., Parisi-Baradad, V., y Lombarte, A. (2013). Application of otolith mass and shape for discriminating scabbardfishes *Aphanopus spp.* in the north-eastern Atlantic Ocean. *Journal of fish biology*, 82(5), 1746-1752.
- Van Helvoort, G. (1988). *Manual de operaciones de un programa de observación* (Vol. 275). Food & Agriculture Org.
- Viera, Martina. (2011). Tesis: Características Eco-Morfo métricas de los otolitos Sagitta de *Genypterus blacodes* y *Genypterus brasiliensis* provenientes de la zona común de pesca Argentina-Uruguay. Universidad de la República de Uruguay. Facultad de Ciencias, UDECAR. Pág. 4-5.

- Vieira, A. R., Neves, A., Sequeira, V., Paiva, R. B., y Gordo, L. S. (2014). Otolith shape analysis as a tool for stock discrimination of forkbeard (*Phycis phycis*) in the Northeast Atlantic. *Hydrobiologia*, 728(1), 103-110.
- Villegas-Hernández, H., González-Salas, C., Aguilar-Perera, A., y López-Gómez, M. J. (2008). Settlement dynamics of the coral reef fish *Stegastes partitus*, inferred from otolith shape and microstructure analysis. *Aquatic Biology*, 1(3), 249-258.