Estudios Esclerocronológicos sobre Edad y Crecimiento de Moluscos, Equinodermos, Peces y Reptiles

Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte Verónica Mitsui Saito Quezada José Luis Gómez Márquez Edgar Omar Guzmán Urieta Mariana Evelyn Meléndez Contreras Hilda Rangel Rocha Ana Gabriela González Castillo María Alicia Rivera Barrera José Isoteco Palemón Eduardo Palma Barrón Iztzel Pérez Olivares Mixtli Crisóstomo Pérez Aníbal Helios Díaz de la Vega-Pérez Amando Bautista Ortega









UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Estudios Esclerocronológicos sobre Edad y Crecimiento de Moluscos, Equinodermos, Peces y Reptiles

Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte Verónica Mitsui Saito Quezada José Luis Gómez Márquez Edgar Omar Guzmán Urieta Mariana Evelyn Meléndez Contreras Hilda Rangel Rocha Ana Gabriela González Castillo María Alicia Rivera Barrera José Isoteco Palemón Eduardo Palma Barrón Iztzel Pérez Olivares Mixtli Crisóstomo Pérez Aníbal Helios Díaz de la Vega-Pérez Amando Bautista Ortega AUTORES Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores Zaragoza



Dr. Vicente Jesús Hernández Abad Director

Dra. Mirna García Méndez Secretaria General

Dr. José Luis Alfredo Mora Guevara Secretario de Desarrollo Académico

CD. Yolanda Lucina Gómez Gutiérrez Secretaria de Desarrollo Estudiantil

Mtro. Luis Alberto Huerta López Secretario Administrativo

Dra. María Susana González Velázquez Jefa de la División de Planeación Institucional

Dra. Rosalva Rangel Corona Jefa de la División de Vinculación

Dr. David Nahum Espinosa Organista Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación

Lic. Carlos Raziel Leaños Castillo Jefe del Departamento de Diseño Editorial y Comunicación Gráfica

Datos para catalogación bibliográfica

Autores: Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte, Verónica Mitsui Saito Quezada, José Luis Gómez Márquez, Edgar Omar Guzmán Urieta, Mariana Evelyn Meléndez Contreras, Hilda Rangel Rocha, Ana Gabriela González Castillo, María Alicia Rivera Barrera, José Isoteco Palemón, Eduardo Palma Barrón, Iztzel Pérez Olivares, Mixtli Crisóstomo Pérez, Aníbal Helios Díaz de la Vega-Pérez, Amando Bautista Ortega.

Estudios Esclerocronológicos sobre Edad y Crecimiento de Moluscos, Equinodermos, Peces y Reptiles.

UNAM, FES Zaragoza, diciembre de 2023.

Peso: 31.7 MB.

ISBN: 978-607-30-8508-3.

Diseño de portada: Carlos Raziel Leaños Castillo. Formación de interiores: Claudia Ahumada Ballesteros.

Esta obra se realizó con apoyo de la UNAM a través de la DGAPA, PAPIME PE209120 y la FES Zaragoza.

DERECHOS RESERVADOS

Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial del texto o las ilustraciones de la presente obra bajo cualesquiera formas, electrónicas o mecánicas, incluyendo fotocopiado, almacenamiento en algún sistema de recuperación de información, dispositivo de memoria digital o grabado sin el consentimiento previo y por escrito del editor.

Estudios Esclerocronológicos sobre Edad y Crecimiento de Moluscos, Equinodermos, Peces y Reptiles.

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México

Av. Universidad # 3000, Col. Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, México.

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Av. Guelatao # 66, Col. Ejército de Oriente, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09230, Ciudad de México, México.



Prefacio	5
AGRADECIMIENTOS	7
CAPÍTULO 1 Introducción a la Esclerocronología	9
Capítulo 2 Edad y crecimiento del caracol marino <i>Opeatostoma pseudodon</i>	23
Capítulo 3 Edad y crecimiento de <i>Hexaplex princeps</i>	53
Capítulo 4 Estimación de la edad y modelación del crecimiento en <i>Vasula speciosa</i> Gastropoda: Muricidae	117
Capítulo 5 Estudio preliminar sobre la edad y crecimiento de equinoideos en Puerto Ángel, Oaxaca, México	163
Capítulo 6 Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) en la presa Emiliano Zapata, Morelos	197
Capítulo 7 Edad y crecimiento del huachinango (<i>Lutjanus peru</i>) por marcas de crecimiento en escamas en las costas de Guerrero, México	263



O X

Capítulo 9 Uso de otolitos para estimación de la edad y modelación del crecimiento de <i>Lutjanus</i>	393
Capítulo 10 Estimación de la edad y crecimiento en ofidios (serpientes) mediante el uso de estructuras duras	435
Bibliografía	447



as estructuras duras que ocurren en el planeta Tierra han resultado ser de gran importancia para la ciencia. Rocas y minerales, los constituyentes sólidos de la superficie terrestre son los ejemplos más comunes. Destacan entre éstos aquellos que se forman por la acumulación gradual de materiales: las rocas sedimentarias. Otras estructuras duras originadas por el depósito paulatino de materiales inorgánicos (sales minerales) y orgánicos (proteínas) son los esqueletos de los seres vivos.

Por otra parte, la traslación, la rotación, así como la orientación del eje terráqueo respecto al plano descrito por el desplazamiento de la Tierra alrededor del sol (eclíptica) da origen a variaciones cíclicas con períodos de diferente duración (seculares, anuales, estacionales, diarias) en las condiciones del ambiente terrestre.

Estas variaciones ambientales presentan discontinuidades que quedan registradas en las capas depositadas en las estructuras duras. Es de esta forma que el estudio de estos estratos o capas hacen posible la reconstrucción de eventos abióticos o bióticos ocurridos en el pasado.

El uso e interpretación de estas señales en estructuras esqueléticas de algunos seres vivos es el tema principal de la presente recopilación de trabajos. Este libro contiene ejemplos del análisis e interpretación de las señales formadas en las estructuras duras por la variación estacional de los ambientes en los que los organismos considerados habitaban. El fin de este análisis es la estimación de edades, las cuales, en conjunto con evaluaciones del tamaño, hacen posible el conocimiento de una de las características fundamentales de los seres vivos: el crecimiento.

Los capítulos contenidos en la presente obra son una recopilación de las investigaciones sobre la estimación de la edad y la modelación cuantitativa del crecimiento de especímenes recolectados como parte de las actividades llevadas a cabo en el Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera de la FES Zaragoza y en ella se han incluido extractos de reportes anuales, así como de tesis (licenciatura, maestría y doctorado) realizadas por alumnos de pre y posgrado a lo largo de varios años.

El capítulo 1: Introducción a la Esclerocronología hace una presentación general sobre esta disciplina y posteriormente se presentan ejemplos de su uso para comprender el crecimiento de diversos organismos, iniciando con invertebrados marinos. El capítulo 2 aborda el estudio del caracol conocido como "colmillo de perro" *Opeatostoma pseudodon,* el capítulo 3 presenta el análisis del "caracol chino" *Hexaplex princeps,* y el estudio del caracol *Vasula spaciosa* constituye el capítulo 4. En el capítulo 5 se incluye un reporte preliminar sobre la edad y el crecimiento de dos especies de erizos de mar (*Echinometra vanbrunti* y *Toxopneustes roseus*).

Los capítulos posteriores se dedican a mostrar ejemplos de organismos vertebrados y es así como el capítulo 6 incluye el estudio sobre la edad y crecimiento de la tilapia *Oreochromis niloticus,* el capítulo 7, el análisis de una especie de huachinango (*Lutjanus peru*) y acerca de la curvina (*Lutjanus inermis*), los capítulos 8 (con escamas) y 9 (con otolitos) presenta el análisis de su edad y crecimiento. Como capítulo final (10) y para mostrar la utilidad de los procedimientos esclerocronológicos para la estimación de la edad y la modelación del crecimiento en organismos terrestres se incluye un estudio sobre serpientes: la culebra de tierra (*Conopsis biserialis*) y la víbora de cascabel (*Crotalus ravus*).

Estos capítulos son versiones modificadas de trabajos recepcionales (tesis) de licenciatura: capítulos 2,4,6 y 7; maestría: 8; doctorado: 3; reporte de laboratorio: 5 y un escrito de revisión para doctorado: 10.

Esperamos que la información vertida en este libro sea de utilidad a estudiantes, docentes, profesionales y especialistas interesados en el tema biológico fundamental del crecimiento de los organismos.

Información adicional sobre esta obra estará disponible en el blog del Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera:

https://blogceta.zaragoza.unam.mx/biombiolpesca/

en donde se incluirá información adicional y fe de erratas. Se agradecerá cualquier notificación acerca de errores e imprecisiones para su corrección.

Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte FES Zaragoza, UNAM, abril de 2022

6

Agradecimientos

a integración de este documento fue posible gracias al apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México a través de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico por medio del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación, proyecto clave PE209120.

Asimismo, se tuvo el respaldo de la Facultad de Estudios Zaragoza, por parte de la Carrera de Biología bajo la jefatura de la Maestra Maricela Arteaga Mejía, la coordinación del M. en C. Ramiro Ríos Gómez, la gestión logística por la M. en C. Guadalupe Bribiesca Escutia y de la División de Investigación y Posgrado dirigida por el Dr. David Nahum Espinosa Organista.

Manifestamos también nuestro agradecimiento al Lic. Carlos Raziel Leaños Castillo a cargo del Departamento de Publicaciones de la FES Zaragoza por su invaluable participación en la integración final de esta obra.

Los alumnos del Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera participaron de diversas maneras en todas las etapas involucradas en cada uno de los capítulos.

Adicionalmente se han dejado los agradecimientos particulares de cada uno de los autores en sus capítulos correspondientes.

Capítulo 1

Introducción a la Esclerocronología

Verónica Mitsui Saito-Quezada Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte

"Como si no pudiéramos contar, en las conchas de berberechos y caracoles, los años y meses de su vida, como lo hacemos en los cuernos de los toros y bueyes, y en las ramas de las plantas ... "

Leonardo da Vinci

as conchas de moluscos arrojados a una playa por las olas o dispersas en el piso fangoso dejado por las mareas suelen impresionar a las personas que las encuentran por sus bellos diseños y colores. Aquellos con intereses más allá de los patrones de colores llamativos o formas peculiares pueden preguntarse acerca de su composición química, o bien, la observación de las vueltas y anillos concéntricos en su superficie puede seducir a mentes inquisitivas (como la de Aristóteles o la de Leonardo da Vinci) y llevarlos a suponer que los años de vida de las almejas están enumerados en sus propias conchas. En el siglo III AC en su *Historia Animalium* Aristóteles escribió "tanto el murex como el creyx (caracoles marinos) son de vida larga. El murex vive por cerca de seis años y el incremento anual está indicado por un intervalo diferente en las vueltas espirales de su concha" (Richter, 1880; Jones *et al.*, 1979; Jones, 1981).

¿Qué es la Esclerocronología?

Etimológicamente, el término es derivado de las raíces griegas sklêros (σκληρός) "duro", khronos (χρονος) "tiempo" y logos (λόγος) "estudio" y se refiere a la disciplina que estudia las estructuras duras (ED) de los seres vivos con el fin de reconstruir su historia de vida. De acuerdo con Oschmann (2009) se define como el estudio de las variaciones fisicoquímicas en los tejidos duros con crecimiento periódico de los organismos (Schöne y Gillikin, 2012) y el contexto temporal en el que se formaron (Oschmann, 2009; Trofimova, *et al.* 2020).

El ámbito de la esclerocronología incluye investigar soluciones a problemas relacionados con la estimación de la edad, el crecimiento, la ocurrencia y duración de los eventos en la historia de vida de los organismos, así como acerca de la variabilidad ambiental. Para conseguir lo anterior, se han desarrollado métodos basados en el estudio de varios tipos de señales (estructurales, químicas u ópticas) que proveen referencias temporales (Panfili *et al.*, 2002). Lo que hace que sea un tema fundamental para el manejo de las pesquerías.

La esclerocronología es la contraparte animal de la Dendrocronología (el estudio de los anillos en los troncos de los árboles), cuyo desarrollo ha permitido reconstruir cronologías que se remontan a varios miles de años atrás (Hitch, 1982).

En general, las estructuras duras se forman por acreción de materiales, y esta acumulación se relaciona con los procesos vitales y las condiciones ambientales a las cuales los organismos se encuentran. Debido a los procesos cíclicos naturales, estos rasgos en las estructuras duras suelen ser periódicos y por tanto pueden ser interpretados como datos "proxy" los cuales se refieren a estructuras que preservan características físicas (o biofísicas) del ambiente y cuya medición directa permite reconstruir condiciones y estados en el pasado (paleoclimas, etapas de vida). Esto es aplicable a algunos taxones que poseen partes duras (artrópodos, equinodermos, peces) aunque en un principio, la esclerocronología se refirió al estudio de las bandas (claras y oscuras vistas en secciones transversales) de densidad en esqueletos de corales escleractinios (Jones. 1983).

Debido a los diferentes tipos de estructuras duras y a sus diversos procesos de biomineralización y papel funcional, se han establecido tres divisiones de la esclerocronología: escalimetría que analiza a las escamas; otolitometría, que estudia a los otolitos y la esqueletocronología (osteocronología) que analiza a los huesos (Panfili et al., 2002).

La densidad de las bandas no solo puede representar la edad, sino que también los patrones de crecimiento. Las partes duras que pueden ser analizadas por estas técnicas ocurren en organismos de muy diversos grupos, tanto acuáticos como terrestres. Así pues, no sólo existen bandas de crecimiento de los corales, sino que también las presentan las conchas, opérculos y estatolitos

de moluscos (gasterópodos, pelecípodos), cnidarios (medusas) y placas óseas de equinodermos (Thilakarathna, 2011; Agatsuma & Nakata, 2004; Gorzelak et al. 2017); las escamas, espinas y radios de aletas, otolitos, vértebras y opérculos de peces; en los huesos (costillas, vértebras, caparazones) de vertebrados y hasta en los recientemente reportados anillos gástricos de crustáceos (Kilada, et al. 2012).

Estas señales en las estructuras duras han sido largamente objeto de investigación para los biólogos, arqueólogos y paleontólogos. Estos patrones no solo ofrecen información acerca de la historia de vida de una especie en particular, sino que también pueden proporcionar una gran cantidad de datos concernientes a la historia de las variaciones ambientales tanto atmosféricas como hidrológicas (Rhoads & Lutz, 1980; Jones *et al.*, 1979; Jones, 1981). Algunos autores inclusive han propuesto que la aplicación de métodos dendrocronológicos al crecimiento de bivalvos marinos (concha) se denomine "Malacocronología" (Witbaard *et al.*, 2004).

Los estudios esclerocronológicos analizan la estructura física de los tejidos duros a partir de la identificación y posterior medición de los incrementos de crecimiento, lo que puede complementarse con estudios geoquímicos de isótopos o elementos químicos como parte de la subdisciplina denominada "Escleroquímica" (Gimenez, 2017).

Patrones de crecimiento

Debido a que las ED se forman por acumulación (acreción) de material, su estructura consiste por lo general de capas concéntricas cuyas dimensiones presentan variaciones (graduales o abruptas) que pueden interpretarse como líneas de crecimiento (Cupul-Magaña, 1995). Este proceso de acreción se conoce como biomineralización el cual consiste en el depósito de cristales de calcita en una matriz proteica (conquiolina). La acumulación de células muertas del tegumento en la superficie de la estructura da lugar a una capa córnea que la envuelve. El depósito diferencial de materiales da lugar a la formación de bandas que pueden distinguirse de acuerdo con la iluminación que se utilice para observarlas. Con luz reflejada sobre un fondo negro, se observan bandas claras (opacas) y oscuras (hialinas) y con luz transmitida, las bandas opacas serán oscuras y las hialinas claras.

Los cambios que influyen en la formación de las líneas de crecimiento en las EDs proporcionan registros múltiples que se relacionan con: variaciones de las condiciones climáticas (Marchitto *et al.*, 2000), variables ambientales como la temperatura (Davenport, 1938; Kennish & Olsson, 1975; Goodwin *et al.*, 2001), o la salinidad (Marsden & Pilkington, 1995; Navarro, 1988), disponibilidad de alimento (Ansell, 1968; Schöne *et al.*, 2003). Las EDs al formarse periódicamente permiten la estimación de la edad (Ridgway & Richardson, 2011; Ridgway *et al.*, 2011; Gosselin, 2013).

La formación de marcas de crecimiento se relaciona con la reproducción de los organismos. En su estudio de los opérculos del caracol marino *Astraea undosa*, Cupul-Magaña y Torres-Moyes (1996) encontraron que bandas opacas (crecimiento rápido) se formaron durante los meses de invierno durante el reposo reproductivo y que las bandas hialinas (crecimiento lento) se formaron durante la temporada reproductiva.

Por otra parte, las hembras de peces osteíctios incrementan sus niveles de calcio unido a proteínas durante la reproducción, mientras que los niveles del calcio iónico no varían. Durante el periodo reproductivo, las proteínas del vitelo, sintetizadas por el hígado, son transportadas al ovario como complejos de calcio. Ya que en los otolitos sagita de las hembras muestran anillos reproductivos (desove) menos marcados que los de los machos (expulsión de espermatozoides) es posible inferir que el calcio iónico contribuye a la calcificación de los otolitos (Panella, 1980).

Los estudios esclerocronológicos sobre la estimación de la edad de los organismos en una población son indispensables para conseguir un entendimiento profundo de la dinámica poblacional requerida para establecer los patrones de crecimiento y mortalidad (Bigatt & Penchaszadeh, 2007) y con esto proponer estrategias para lograr un manejo adecuado y sustentable de los recursos pesqueros (Saito-Quezada & Salgado-Ugarte, 2013).

Métodos para la validación de las marcas de crecimiento

En primera estancia se debe investigar cuales son las EDs con las que se puede hacer el estudio esclerocronológico y elegir la del interés del investigador. Cuando ya se eligió, se debe de limpiar quitando todo resto orgánico asociado (endolinfa en otolitos, carne o membranas que envuelven la estructura); otro punto importante es escoger los métodos más apropiados para poder validar las líneas de crecimiento.

Captura, marcaje y recaptura

Este tipo de procedimiento se puede llevar a cabo en ambientes naturales, semicontrolados y controlados. Este proceso se puede repetir de acuerdo con los objetivos del investigador; como se conoce el tiempo transcurrido entre cada marcaje, se puede determinar el crecimiento.

En el caso de los peces, existen dos técnicas: el marcaje con tinta y el marcaje en frío. La marca con tinta es hecha por la inyección bajo la piel o por medio de un inoculador de color aplicando puntos en áreas seleccionadas (generalmente en el vientre si es más claro que el resto de la piel). Por ejemplo, la inyección subcutánea de Azul Alcián al 1%. El uso del inoculador de color es apropiado solo en peces juveniles con un largo de > 10 cm. La técnica de marcaje en frío permite varias marcas en la piel. La técnica implica sumergir herramientas numeradas en nitrógeno y después aplicarlas directamente en la piel; estas técnicas pueden ser utilizadas por un periodo corto ya que la tinta o las marcas pueden desaparecer (Panfili *et al.*, 2002).

También se ha utilizado la inyección de varios químicos como marcadores fluorescentes del crecimiento en la concha (calceína, manganeso, rojo alizarina, estroncio, azul de Coomassie). Obviamente, para ser un marcador de crecimiento adecuado, los fluorocromos no deben ser tóxicos y no deben afectar negativamente el crecimiento o la supervivencia. Dentro de la diversidad de marcadores, se ha demostrado que la calceína es una de las más apropiada para determinar los incrementos de crecimiento en bivalvos luego del marcaje (Echazabal, 2018). En el caso del marcaje químico de compuestos fluorescentes en los peces se utiliza 1960s principalmente tetraciclina, después Fluorescín o calceína, seguido de anaranjado de xileno y alizarina, todos estos compuestos tienen la cualidad de emitir colores fluorescentes bajo la luz ultravioleta. Aunque en el caso de la tetraciclina (y sus derivados; oxitetraciclina, tetraciclina hidroclorada, tetraciclina dihidroclorada), da buenos resultados, en Canadá y Japón ha restringido su uso (Panfili *et al.,* 2002).

Otro método, es la inmersión de organismo acuático en soluciones con concentraciones específicas durante un tiempo, como en una solución hiperosmótica (cloruro de sodio al 5%) durante aproximadamente 3 minutos y medio, y luego sumergirlas en otra solución que contenga 1% de clorhidrato de tetraciclina (CHTC) o 2% de calceína durante 3 minutos y medio de exposición, resultó en una rápida absorción de estos dos fluorocromos vitales en el pez y un etiquetado de órganos calcificados (vértebras y otolitos). También se obtuvieron resultados similares colocando el pez en una solución tanto con 5% de cloruro de sodio como 1% de CHTC o 2% de calceína durante 3 minutos y medio. Este choque osmótico se propone como una técnica práctica para el etiquetado de la masa vital de larvas o alevines, ya que el choque osmótico y el baño simultáneos son una mejora significativa del método al reducir considerablemente el tiempo de contacto entre los peces y la solución de etiquetado (Alcobendas *et al.,* 1991). Otras soluciones que se recomiendan son: alizarina o alizarina roja 100 mg/l, hidróxido de sodio con pH 7.5-8 en la solución de alizarina o alizarina roja 2100 mg/l, hidróxido de sodio con pH 7.5-8 en la solución se deben pasar a una solución de agua limpia salina (Panfili *et al.,* 2002).

La edad de los bivalvos incluidos en el trabajo de Ridgway *et al.* (2011) se estimó mediante el análisis esclerocronológico de la concha. La periodicidad anual de la formación de las marcas de crecimiento en la concha de *M. mercenaria* se ha demostrado mediante experimentos de marcado y recaptura (Peterson C.H. *et al.*, 1983) y perfiles de isótopos estables (Jones *et al.*, 1990; Jones & Quitmyer, 1996; Surge *et al.*, 2008), y el muestreo secuencial (Clark, 1979; Peterson *et al.*, 1985;

Jones *et al.,* 1990; Arnold *et al.,* 1991; Arnold *et al.,* 1998). Ridgway *et al.,* (2011) determinaron con esclerocronología una nueva edad para *M. mercenaria* de al menos 106 años cuando se habían determinado un máximo de 46 años.

Alta resolución, contribución de los isotopos estables

Por otra parte, los isótopos estables de oxígeno han jugado un papel muy importante en la esclerocronología y paleoclimatología, ya que los isótopos de oxígeno (¹⁶O y ¹⁸O) componen el agua del océano, las nubes y los glaciares. El ¹⁸O es más pesado que el ¹⁶O, y es por esta razón que el ¹⁸O tiende a evaporarse menos, a diferencia del ¹⁶O que puede evaporarse con mayor facilidad. Así, el agua del mar se encuentra enriquecida en ¹⁸O, mientras que las nubes, la lluvia y los glaciares están enriquecidos en ¹⁶O (Echazabal, 2018). Las conchas y los otolitos contienen excelentes registros de crecimiento y condiciones ambientales, ya que la relación entre ¹⁸O y ¹⁶O de aragonita biogénica (δ^{18} O) se controla principalmente por la relación de temperatura e isótopo de oxígeno del agua en que vivía el molusco (Grossman & Ku, 1986; Panfili *et al.*, 2002).

Otros elementos que pueden entrar a formar parte de la estructura cristalina del tejido; los más frecuentemente empleados son el Ca⁴⁵ y el Sr (estroncio). Pueden suministrarse por medio de la dieta o bien manteniendo, por un tiempo, los ejemplares en una solución de estos, o por vía parenteral. El lugar de los tejidos donde se han fijado se determinará mediante un análisis de isótopos, en el caso de Ca⁴⁵, a través de la difracción de los rayos X por medio de un microscopio electrónico de barrido en el caso del Sr (Morales-Nin, 1983; Panfili *et al.*, 2002).

Por medio de la contribución de los isotopos estables de ha observado que, los moluscos exhiben una variación extraordinaria de estrategias en sus ciclos de vida, en especial con respecto a su longevidad. Mientras que la mayoría de los cefalópodos, los caracoles marinos opistobranquios y la mayoría de los gasterópodos de agua dulce y terrestres son especies de vida corta con una longitud de vida máxima de un año. Los caracoles marinos prosobranquios y muchos bivalvos son de larga vida y de esta forma pueden integrar contaminaciones de su ambiente a lo largo de períodos largos de tiempo. Aproximadamente el 40% de las especies de bivalvos marinos y más del 20% de los prosobranquios marinos alcanzan edades máximas de más de 14 años de acuerdo con (Manríquez P.H. *et al.*, 2008). Para algunas especies se han reportado longevidades aún mayores, como por ejemplo más de 50 años para el abulón *Haliotis cracherodii* por (Schöne *et al.*, 2003) y más de 100 años para algunos bivalvos marinos (120 años para *Panopea generosa*, 150 para *Crenomytilus grayanus* y 220 años para *Arctica islandica* de acuerdo a (Marsden & Pilkington, 1995) y de agua dulce 116 años para *Margaritifera margaritifera*. Recientemente, los valores para *A. islandica* se han actualizado y se tienen cifras de más de 500 y 507 años (Witbaard *et al.*, 2004; Butler *et al.*, 2013). Cuando la muestra se obtiene de la captura comercial los organismos y las EDs no estuvieron bajo ningún tratamiento de marcaje de líneas de crecimiento, en general estas no se observan o son difíciles de observar, entonces se debe de elegir la ED y los métodos para la validación de las líneas sean los óptimos, entre los métodos que se conocen están:

Pulido

Este método es muy usado ya que antes de someter a cualquier otro tratamiento, el pulido de la ED es sencillo y se realiza con polvos abrasivos, ligas, piedras para pulir, pulidoras y cortadoras de minerales, generalmente las ED siempre deben estar mojadas con agua mientras se pulen, en este proceso es importante que el investigados vaya revisando hasta cuando se observen bien las líneas de crecimiento y no sobre trabajar la ED. Saito-Quezada (2010) aplicó la técnica de pulido de opérculos del caracol *Astraea undosa* y su observación con una luz transmitida intensa para hacer visibles las bandas de crecimiento (Figura 1).



FIGURA 1. Opérculo del caracol marino *Astraea undosa*, pulido en su parte distal y observado con luz transmitida intensa con una pantalla oscura alrededor de la estructura para facilitar la observación. Se pueden distinguir claramente 9 bandas translúcidas de crecimiento (Saito-Quezada, 2010).

Corte

Para este método lo más adecuado es encapsular la ED en resina epóxica para, darle a la estructura firmeza y dureza, así cuando se someta al corte una cortadora esta se mantenga lo más firme posible. La cortadora puede ser metalográfica de baja rotación. La finalidad es obtener una o varias secciones de la ED y elegir en cuál de ellas se pueden estudiar mejor las líneas de crecimiento.

Tinción

Para mejores resultados en el análisis de las líneas de crecimiento, seguido del corte o pulido se puede realizar la tinción de la ED, aunque en algunos casos la tinción se puede llevar a cabo antes del pulido o corte. La tinción permite que las líneas de crecimiento se puedan observar con más claridad y las tinciones pueden ser con rojo de alizarina (La Marca, 1966; Springer y Johnson, 2000), nitrato de plata (Cailliet *et al.*, 1983), nitrato de cobalto (Hoenig & Brown, 1988), cloruro de cobalto (Duarte *et al.*, 2001; Zavatteri, 2010), o con la solución de Mutvei (Schöne *et al.*, 2005).

Transparentación

Se puede someter la ED a soluciones que puedan hacer más claras las líneas como es el caso de sumergirlas en diferentes soluciones como; ácido clorhídrico al 5%; ácido nítrico al 5%; etanol al 70%, Xilol; hipoclorito; hipoclorito 10% o peróxido (Morales-Nin, 1983; Panfili *et al.*, 2002; Vanina & Vaz-dos-Santos, 2015). Los tiempos varían dependiendo del grosor y tamaño de la estructura. En este caso el investigador debe de realizar varias pruebas para establecer el tiempo de exposición.

Quemado

Otro procedimiento es someter a fuego lento (quemado), a estructuras que contengan carbonatos como es el caso de los otolitos, vertebras, conchas, algunos opérculos de gasterópodos, entre otros. Al someterlas al fuego se queman las zonas que contienen más materia orgánica (otolina) y se oscurecen (Christensen, 1964). En este método el investigador debe tener cuidado de que no se queme por completo toda la ED. Para este método se utiliza un mechero Bunsen, en donde la estructura se coloca en una cama de papel aluminio sobre una rejilla de calentamiento (Vanina & Vaz-dos-Santos, 2015).

Cuando se trata de EDs pequeñas y la observación de las líneas de crecimiento se puede hacer por medio de estereoscopios o microscopios; se recomienda sumergirlos en agua, glicerina o aceite mineral.

Un ejemplo del pulido y corte es el trabajo de Gosselin et al. (2013) que se llevó a cabo en la zona costera de Chile-Perú que es afectada por los fenómenos del Niño y la Niña, los cuales cada vez se registran con mayor frecuencia. Se registraron los incrementos en las conchas de tres moluscos bivalvos afectados por la influencia del Sistema de Corrientes de Humboldt y los fenómenos del Niño y la Niña en la Rinconada, Península de Mejillones, Chile. Los tres moluscos bivalvos de longevidades dispares estudiados fueron *Argopecten purpuratus, Eurohomalea rufa* y *Choromytilus chorus*.

En peces como en el caso de *Menticirrthus americanus*, Maichak *et al.*, (2021), encontraron que los individuos con edades comprendidas entre 1 y 3 años fueron dominantes (68%). Los resultados sugirieron que los jóvenes y adultos de *M. americanus* utilizan los mismos hábitats durante su ontogenia.

De acuerdo con otros autores, la concha de *Argopecten purpuratus*, mostró crecimiento medio diario de 330 mm (Thébault, 2001; Thébault *et al.*, 2008), valor similar a los 341 mm registrados por (Gosselin *et al.*, 2013). Así, en 1999 (Thébault *et al.*, 2008) y en 2000 las tasas de crecimiento fueron altas. En 1999 y octubre/noviembre de 2000, prevalecían las condiciones de La Niña. En consecuencia, *A. purpuratus* puede tener una tasa de crecimiento más alta durante los episodios de La Niña, en La Rinconada. Gosselin M. et al., 2013, supusieron que las condiciones de crecimiento individual favorables experimentadas en La Rinconada están vinculadas a los afloramientos intensificados y la alta disponibilidad de nutrientes.

Otros estudios han analizado los opérculos de gasterópodos Neogastropoda, limpiando y aclarando las líneas de crecimiento (Checa & Jimenez-Jimenez, 1998). En estos reportes se han mostrado estructuras concéntricas en los opérculos para contener dos conjuntos de líneas de crecimiento, con superficies ventral y dorsal que revelan anillos de crecimiento (Checa & Jimenez-Jimenez, 1998).

Vasconcelos *et al.*, (2012) determinaron el envejecimiento de *Hexaplex trunculus* con las marcas de crecimiento en el opérculo. En su estudio, los individuos criados en Portugal presentaron incrementos marginales muy variables sin un patrón estacional definido. Si bien, los incrementos de los individuos capturados en Túnez fueron variables, si es posible distinguir una tendencia a valores menores durante los meses de invierno, lo que sugiere una formación anual en esta población.

Tratamiento de los datos para la edad y crecimiento

En 1938, Ludwig von Bertalanffy propuso una teoría para el crecimiento orgánico, quien consideró que el crecimiento de un animal puede describirse como la diferencia entre las tasas de anabolismo y catabolismo (Chiappa-Carrara *et al.*, 2009; Ford, 1933). Estos razonamientos fueron basados en los argumentos de Püter (1920; citado en (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005) los cuales establecen que en un organismo con crecimiento isométrico, la tasa de anabolismo es proporcional a la potencia del peso en tanto que la de catabolismo lo es al peso mismo, por lo que von Bertalanffy consideró el área involucrada con anabolismo como una dimensión lineal al cuadrado y el peso relacionado con el catabolismo a la misma dimensión lineal elevada al cubo (Chiappa-Carrara *et al.*, 2009). El desarrollo algebraico de las ecuaciones diferenciales resultantes puede consultarse en (Chiappa-Carrara *et al.*, 2009; Ford, E. 1933). Suposiciones importantes de este modelo son mencionsadas por (Poole, 1974): i) crecimiento isométrico; ii) densidad constante; iii) tasa de crecimiento denso-independiente. Este modelo de crecimiento se utiliza en pesquerías desde que Beverton y Holt (1957) citado en (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005) lo utilizaron en sus modelos de rendimiento y desde entonces es uno de los más utilizados. Su expresión integrada es:

 $l_t = L_{\infty} \left(1 - \exp[-K(t - t_0)] \right)$

El lado derecho de la ecuación contiene a la edad, t, y tres parámetros: $L\infty$, K y t_o . Cada especie tiene sus valores particulares, algunos de los cuales pueden interpretarse biológicamente: $L\infty$, es "la longitud media de peces estrictamente, infinitamente viejos" también conocida como "longitud asintótica". K es un "parámetro de curvatura" que determina la rapidez con que el pez alcanza su $L\infty$; valores altos corresponden a especies de vida corta (uno o dos años), valores bajos proporcionan curvas de crecimiento aplanadas propias de especies que requieren de muchos años para acercarse a su $L\infty$. El tercer parámetro, t_o , comúnmente se conoce como "parámetro de condición inicial" y determina la edad (hipotética) cuando el pez tiene una longitud de cero. Por supuesto que esto no tiene sentido biológico ya que, al salir del huevo, la larva ya tiene una cierta longitud. Varios autores sugieren probar si es mejor el ajuste de la versión sin incluir a este valor, por ejemplo (Saito-Quezada, 2010), aunque otros (Pardo, 2013) recomiendan el uso de la versión con tres parámetros ya que con dos se obtienen estimaciones sesgadas. Esta longitud a la eclosión puede llamarse L_o cuando ponemos t = 0 como el día de nacimiento.

Esta ecuación exponencial no es de ajuste sencillo. Sin embargo, previo al advenimiento de las computadoras, se propusieron varios métodos para estimar sus parámetros. Ya que es posible reparametrizar la expresión, varias transformaciones lineales se han venido utilizando:

Si se tienen tamaños separados por intervalos uniformes de tiempo es posible utilizar el método de Ford-Walford (Ford, 1933; Walford, 1946) el cual se basa en restar al tamaño a la edad t+1, el tamaño a la edad t. Este método se basa en una curva de crecimiento con t_a igual a cero:

$$l_t = L_{\infty} \left(1 - \exp[-Kt] \right)$$

Llevando a cabo las operaciones especificadas en (Gómez-Márquez, 1994; King, 1995; King, 2007) o (Salgado-Ugarte *et al.*, 2000, 2005) se llega a la expresión:

$$l_{t+1} = L_{\infty} (1 - \exp[-K]) + l_t \exp[-K]$$

Expresión lineal con la cual la longitud a la edad t (lt) puede graficarse contra la longitud a un año después (lt+1). La línea recta que se ajusta a estos datos tendrá una pendiente de b = exp[-K] y un intercepto de $a = L \propto (1 - exp[-K])$. De esta forma es posible estimar K y $L \propto$ como en (Gómez-Márquez, 1994; King, 1995; King, 2007): K = -ln(b) y $L \propto = a/(1 - b)$.

Una vez estimados $L \propto y$ K, es posible utilizar el método de Beverton y Holt (1957) en (Salgado-Ugarte et al., 2005) (Salgado-Ugarte et al., 2005) el cual proporciona estimados de K y t_o utilizando el valor estimado de $L \propto$ por Ford-Walford. De la función de crecimiento de von Bertalanffy (FCVB) obtenemos: $L \propto - Lt = L \propto (exp[-K(t-t0)]) y \ln(L \propto - Lt) = \ln L \propto - Kt + Kt_o$. Arreglando algebraicamente finalmente tenemos:

$$ln(L\infty - Lt) = ln L\infty + Kt_o - Kt$$

De nuevo, esta es una función lineal (y = a - bx) de t vs. $ln(L \sim -Lt)$ que permite la recuperación de los parámetros mediante:

$$K = -b y a = ln L \infty + Kt_a$$

Despejando t_{o} , tenemos:

$$t_0 = \frac{a - \ln L \infty}{K}$$

(Gómez-Márquez, 1994; Salgado-Ugarte et al., 2000, 2005)

En la actualidad, con computadoras y programas disponibles escritos para los lenguajes de Stata (StataCorp, 2019) y R (R Core Team, 2021) (Salgado-Ugarte y Saito-Quezada, 2020) es posible el ajuste directo de expresiones no lineales como la FCVB. Este modelo puede ajustarse por medio de regresión no lineal. La regresión no lineal por mínimos cuadrados es un método superior a cualquiera de los procedimientos arriba descritos para estimar los parámetros de la FCVB desde un punto de vista teórico y estadístico (Sparre y Venema, 1997; Haddon, 2001). El trabajo de cálculo es considerable ya que iterativamente se acerca a la combinación de parámetros (L^{∞} , K y t_o) que minimiza la suma de desviaciones de las observaciones respecto del modelo al cuadrado. Para

la búsqueda iterativa existen varios algoritmos: Gauss-Newton (StataCorp, 2019) o (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963).

Recientemente, otro enfoque para el ajuste de modelos no lineales se ha vuelto de uso frecuente. Este es el de "Máxima Verosimilitud" (Gould et al., 2010; Roff, 2006).

En principio, la ecuación de von Bertalanffy pareciera ser de fácil manejo por su simplicidad, su falta de punto de inflexión y su incorporación a modelos de rendimiento. Sin embargo, a lo largo de los años se han venido señalando limitaciones en su validez. Se señala su incapacidad para describir patrones con crecimiento temprano lento (Yamaguchi, 1975). Muestras incompletas, ya sea con pocos organismos de mayor edad o falta de juveniles lleva a sobre-estimar o a sub-estimar (respectivamente) el valor de la longitud asintótica (Pauly, 1979). Varios autores han cuestionado seriamente este valor matemático (Marquardt, D.W. 1963) e inclusive han propuesto el retirar la función de von Bertalanffy (Roff, 1980). No obstante, las ecuaciones con asíntota se ajustan bien a los datos observados de crecimiento y se espera que se sigan utilizando durante largo tiempo en el futuro (Moreau, 1987).

Dentro de los ejemplos de la aplicación de la FCVB en moluscos gasterópodos puede citarse el estudio de (Richardson *et al.*, 2005; Ismail & Elkarmi, 2006; Bourgeois & Bach, 1997) pero por limitaciones de espacio tan sólo se describe brevemente el de (Arrighetti *et al.*, 2012), quienes encontraron periodicidad anual en la formación de marcas de la concha validadas por isótopos estables de oxígeno y ajustaron un modelo de von Bertalanffy señalando que el gasterópodo *Olivancillaria deshayesiana* alcanza los 31 mm a los 10 años.

Numerosos organismos acuáticos crecen continuamente a lo largo de su vida. En algunos casos el crecimiento es acelerado cuando son jóvenes y se va haciendo más lento en edades avanzadas, tendencia que se ajusta al modelo de von Bertalanffy. En otros, al principio el crecimiento es lento, después se acelera y finalmente se hace lento. Esta curva en forma de "S" (sigmoidal) puede ser descrita matemáticamente por varias funciones asintóticas comunes como la logística (forma sigmoide antisimétrica) u otras un poco más sofisticadas (sigmoidales) como la de Gompertz (antiasimétrica) o la de von Bertalanffy (para peso).

Originalmente, la función logística se propuso para introducir un término auto limitante al crecimiento (Verlhulst, 1838; Grosjean 2001). Esta función logística proporciona una representación matemática para la ley autocatalítica de la fisiología y la química. La forma integrada de su ecuación (en peso) puede ser escrita como:

$$Wt = W\infty/(1 + exp(-g(t - t0)))$$

Esta curva sigmoidal tiene dos asíntotas horizontales (en cero y en W_{∞}), un punto de inflexión donde W es igual a $W^{\infty}/2$ y delimita dos mitades antisimétricas. La tasa instantánea de crecimiento cuando W = 0 es el parámetro g y t_0 es el tiempo al cual la tasa de crecimiento es máxima; es también la abscisa del punto de inflexión de la curva para el cual $W = W^{\infty}/2$ (Moreau, 1987; Grosjean, 2001).

De acuerdo con (Knight, 1968), la curva logística ha sido usada en muy pocas ocasiones para describir el crecimiento individual de los peces y cita al trabajo de (Miura *et al.*, 1976) quienes describen el patrón de crecimiento estacional anual de cuatro grupos de edad del salmón *Onchorhynchus rhodurus*. Recientemente y debido a la disponibilidad de programas de ajuste no lineal, la función logística está siendo usada cada vez más. Un ejemplo de su aplicación se encuentra en (Chale-Matsau *et al.*, 2001) quienes ajustaron una curva logística de crecimiento a datos históricos de *Polysteganus undulosus* capturado en la pesquería de anzuelo y línea de KwaZulu-Natal de 1962 a 1963. Recientemente, Saito-Quezada (2018) ajustó este modelo para describir el crecimiento de dos especies de caracoles marinos (*Hexaplex princeps* y *Opeatostoma pseudodon*).

La función de Gompertz es otra curva en forma de "S" con asíntotas tanto superior como inferior, un punto de inflexión, pero mitades (anti)asimétricas. Esta curva expresa la tasa decreciente de crecimiento a través de las etapas adultas de la vida del pez y puede considerarse como la expresión de la actividad de dos tipos diferentes y opuestos de factores reguladores durante el crecimiento (Ricker, 1979). Una expresión integrada para la función de Gompertz es:

 $Wt = W \infty exp(-exp(-g(t - t0)))$

Donde t_o es la abscisa del punto de inflexión, la cual no se localiza a la mitad de la curva y g es la tasa instantánea de crecimiento cuando $t = t_o$ (Fletcher, 1973, en Moreau, 1987; Grosjean, 2001).

Como un ejemplo del uso de esta función, (Moreau, 1987) cita el artículo de Zweifel y Lasker (1976) quienes usaron dos ciclos sucesivos de Gompertz para describir el crecimiento de larvas de la anchoveta *Engraulis mordax*. Anteriormente, con excepción de algunos reportes de su uso, sobre todo con el empleo de las computadoras (Silliman, 1967), esta función no era muy utilizada en biología pesquera, pero con la disponibilidad de computadores con procesadores potentes y programas adecuados este modelo es cada vez mas utilizado a pesar de que la función de elección es la de von Bertalanffy, por ser la que comúnmente se inserta en los modelos de rendimiento.

Moreau (1987) Encuentra que la función de Gompertz describe de cerca el peso a cada edad, siguiendo los incrementos cada vez más grandes durante los años tempranos y a los datos de longitud a cada edad con un punto de inflexión, como en los peces anádromos con crecimiento lento inicial en el agua dulce seguido por crecimiento más rápido en su marina (Moore & Moore,

S. S. S.

1974). La función de Gompertz es adecuada para especies tropicales de corta vida con cambios significativos en su alimentación al pasar de etapas juveniles a adultas. Este autor nota la necesidad de investigar adicionalmente el uso de esta función debido a que los cálculos de rendimiento pueden efectuarse con cualquier ecuación de crecimiento con la ayuda de las computadoras. Un ejemplo de la aplicación de esta ecuación a estudios de edad y crecimiento de moluscos gasterópodos marinos es el de (Bigatti & Penchaszadeh, 2007), quienes estudiaron el crecimiento, la edad y la producción somática de *Odontocymbiola magellanica* en la plataforma Atlántica de Sur América; estos investigadores validaron la formación semianual de las marcas de las conchas por medio de razones de isótopos de oxígeno, ajustaron el modelo de Gompertz y encontraron que por su longevidad y alta productividad somática representa un recurso valioso y explotable si bien su crecimiento lento, madurez tardía y desarrollo directo lo hacen muy vulnerable a la sobreexplotación. Adicionalmente, Saito-Quezada (2010; 2018) ajustó este modelo al crecimiento de varias especies de gasterópodos (*Astraea undosa, Hexaplex princeps y Opeatostoma pseudodon*).

Capítulo 2

Edad y crecimiento del caracol marino Opeatostoma pseudodon

Edgar Omar Guzmán-Urieta Mariana Evelyn Meléndez-Contreras

Introducción

peatostoma pseudodon (Fig. 1D) es un gasterópodo marino perteneciente a la familia Fasciolariidae (Burrow, 1815). Se distribuye a lo largo de la costa del Pacífico desde Cabo San Lucas (Baja California Sur, México) hasta Perú, incluyendo el Golfo de California en México (Skoglund, 1992). Una de las características más sobresalientes de este caracol, que le da incluso su nombre científico y su nombre común ("colmillo de perro" o "caracol dentado"), es que, junto al canal sifonal, ostenta un largo y afilado diente conspicuo en forma de aguja, que llega a medir hasta 14 mm de longitud (en individuos de 40 mm de longitud de concha); siendo quizá el diente apertural más largo desarrollado por cualquier gasterópodo, el cual puede tener funciones alimenticias o reproductivas (Keen, 1971; Landa-Jaime *et al.,* 2013). Es un depredador activo, de hábitos nocturnos (Paine, 1966). Se alimenta principalmente de gusanos tubícolas, aunque también puede alimentarse de pequeños bivalvos, percebes y lapas (Morris, 1966; Paine; 1966; Keen 1971; González-Villareal, 2005; Landa-Jaime *et al.,* 2007).

Este molusco es explotado por los habitantes de la costa central del Pacífico, en Estados como Oaxaca, Guerrero y Jalisco (Villegas-Maldonado *et al.,* 2007; Landa-Jaime *et al.,* 2007; Flores-Garza *et al.,* 2012; Torreblanca-Ramírez, 2014). Se extrae con fines alimenticios tanto para el

consumo local como para cubrir parte la demanda que llega con el turismo en las costas de esos Estados; además de su uso artesanal y ornamental, pues es un gasterópodo que se aprecia por la belleza de su concha con la que se elaboran diversos elementos decorativos (Torreblanca-Ramírez, 2014).

A pesar del aprovechamiento que se le da, se desconoce la magnitud de su extracción y tampoco existen muchos estudios enfocados en proveer información para su correcta explotación. Como en el caso de las 200 especies de moluscos que se explotan comercialmente en el país, de los que se desconocen aspectos básicos, por ejemplo, su dinámica poblacional y ciclo de vida (Arriaga-Cabrera *et al.,* 1998; Aldana-Aranda y Baqueiro-Cárdenas, 2011); por lo que muchas de estas especies, al igual que *O. pseudodon*, se explotan indiscriminadamente sin ningún tipo de restricción o veda que garantice su uso sustentable.

Durante muchos años la información biológica de esta especie fue limitada, en su mayoría incluye su registro como parte de la diversidad malacológica en algunas localidades de la República Mexicana (Biasca, 1983; De León-Herrera, 2000; Bautista-Moreno y Lechuga-Medina, 2007; Pérez-Peña *et al.*, 2007; Ramírez-González y Barrientos-Luján, 2007) y otras regiones (Spight, 1976; 1979; Bakus, 1968; Shasky, 1984; Roe, 1988; Willis y Cortés, 2001; Laidre y Vermeij, 2012), así como estudios sobre su anatomía (Paine, 1966; Keen, 1971; Price, 2003; González-Villareal, 2005; Landa-Jaime *et al.*, 2007; Kosyan *et al.*, 2009), distribución vertical (Salcedo-Martínez *et al.*, 1988; Esqueda *et al.*, 2000; Ríos-Jara *et al.*, 2002; Valdés-González *et al.*, 2004; González-Villareal, 2005), dominancia (Román-Contreras *et al.*, 1991; Torreblanca-Ramírez *et al.*, 2012a; 2012b, densidad (López-Uriarte *et al.*, 2007; Elores-Rodríguez, 2004; Flores-Rodríguez *et al.*, 2012), entre otros aspectos (Caicedo-Rivas *et al.*, 2007: Flores-Rodríguez *et al.*, 2007). Los estudios relacionados con su conservación son relativamente recientes (Guzmán-Urieta, 2015; Haro-Capetillo, 2017; Saito-Quezada, 2018). A pesar de ello, su explotación parece continuar sin ningún tipo de regulación u ordenamiento.

Para alcanzar el ordenamiento pesquero de ésta y las otras tantas especies explotadas, es necesario generar el conocimiento sobre aspectos biológicos tales como su edad, crecimiento, ciclo reproductivo, entre otros. Esto permitirá que el manejo de las pesquerías tenga un enfoque ecológicamente sostenible y no solo sostenible en el ámbito económico o social (Gómez-Márquez, 1994; Salgado-Ugarte *et al.*, 2005; Benson y Stephenson, 2017).

La estimación de la edad y la obtención de parámetros de crecimiento de los organismos acuáticos bajo explotación son dos de las tareas más básicas e importantes en biología pesquera (Gómez-Márquez, 1994; Hilborn y Walters, 2003). Su importancia deriva del hecho de que son necesarios para calcular y entender aspectos como: la longevidad de las especies, determinar la edad de primera madurez, la tasa de reclutamiento (Gulland, 1971; Everhart y Youngs, 1981); la

C T tasa de crecimiento, la tasa de mortalidad, la productividad (Campana, 2001); de acuerdo con Gluyas-Millán *et al.* (2000) con la información de la edad y tallas se pueden obtener los cambios en abundancia de la población, es decir su dinámica poblacional (definidas por las tasas de crecimiento y mortalidad); junto con la información de los patrones reproductivos y el fenómeno de la supervivencia, dan pautas para la estimación de la cantidad óptima de captura (Fujinaga, 1987; Panfili *et al.*, 2002); y son parámetros importantes para el desarrollo temprano de una pesquería comercial (Hilborn y Walters, 2003).

En los gasterópodos la edad puede estimarse a través del análisis de sus estructuras duras tales como la concha, los estatolitos y el opérculo. Este último se ha utilizado con éxito y es recomendado para este tipo de análisis (p.e. Sire y Bonnet, 1984; Gluyas-Millán *et al.*, 1999; Richardson *et al.*, 2005; Peemoeller y Stevens, 2013; Guzmán-Urieta, 2015; Saíto-Quezada, 2010 y 2018). La premisa del análisis de los opérculos de gasterópodos como indicadores de la edad es que las fluctuaciones en la tasa de crecimiento dan lugar a marcas y que la periodicidad con que se forman estas marcas es cíclica. Pero para utilizarlo es necesario validar la periodicidad anual de formación de las marcas de crecimiento (Campana, 2001). Esta validación es importante por dos razones: en primer lugar, porque hay que tener seguridad de que lo que está siendo llamado incremento anual es verdaderamente un incremento anual, y en segundo lugar porque los errores en la estimación de la periodicidad de formación de marcas de crecimiento causan sesgos en el cálculo de la edad (Beamish y McFarlane, 1983; Hilborn y Walters, 2003).

Por otro lado, el crecimiento individual es un proceso no lineal en el cual los organismos presentan cambios en su masa corporal, respecto al tiempo (Jiménez-Ordaz, 2005). Se acelera durante las primeras fases de la vida, pero va disminuyendo con la edad y está basado en procesos fisiológicos y conductuales que inician cuando el alimento es consumido y termina en la integración de sustancia en las células, pero puede ser afectado por factores internos (genética) y externos (condiciones ambientales, abundancia de alimento, etc.) (Gómez-Márquez, 1994; Brey, 1999 Wootton, 1990; Salgado-Ugarte *et al.*, 2005). Con la información de edad y tallas se pueden obtener parámetros de una función de crecimiento común, que represente el crecimiento teórico de un individuo pero que puede extrapolarse a todos los individuos de una población (Brey, 1999; Zabala, 2012).

Por estas razones, en este capítulo se describe un método esclerocronológico para la obtención de la edad a través del análisis de marcas de crecimiento en el opérculo, así como la obtención de parámetros de crecimiento a partir de la edad y tallas de *Opeatostoma pseudodon,* de la región marina prioritaria número 35 Puerto Ángel-Mazunte, en Oaxaca. Lo que podrá ayudar en la formulación de las políticas de ordenamiento pesquero de esta especie.

Métodos

Las muestras utilizadas en este estudio derivaron de la pesca comercial que es extraída por pescadores locales mediante buceo libre. Los sitios comunes de colecta fueron desde "Punta Cometa" hasta "Dominguillo" en un total de 9 sitios (Tabla 1). De agosto de 2013 a noviembre de 2014 se obtuvieron 363 organismos (Fig. 1A y B), procurando el mayor intervalo de tallas posible. Los organismos se conservaron en una mezcla frigorífica hielo-sal y se almacenaron en contenedores con aislamiento térmico para su transporte al laboratorio de Biometría y Biología Pesquera de la FES Zaragoza, UNAM (Fig. 1C).

Se extrajo el cuerpo blando de la concha, se pesó, se determinó el sexo mediante la observación de caracteres sexuales secundarios (órgano copulador en los machos y ausencia de este en hembras), se separaron y pesaron las partes de interés como el opérculo, la gónada-glándula digestiva y el callo (Fig. 1E). En los casos en que se dificultó la extracción de las partes blandas se utilizó una sierra para cortar la concha (Fig. 1F).

	Sitio de colecta	Posición geográfica	
1	Punta Cometa	15° 39′ 35.4″ N	96° 33′ 16.5″ W
2	Bahía principal de Puerto Ángel	15° 39′ 56.1″ N	96° 29′ 27.1″ W
3	Playa Estacahuite	15° 40′ 04.7″ N	96° 28′ 54.5″ W
4	Bajos de Aceite	15° 40′ 10.6″ N	96° 28′ 29.6″ W
5	Playa La Mina	15° 40′ 26.7″ N	96° 28′ 34.7″ W
6	Playa La Boquilla	15° 40′ 48.3″ N	96° 27′ 58.4′′ W
7	Secretario	15° 41′ 02.3″ N	96° 27′ 00.5″ W
8	Tijera	15° 41′ 20.2″ N	96° 26′ 26.3″ W
9	Dominguillo	15° 41′ 35.0′′ N	96° 26′ 02.2′′ W

TABLA 1. Localización de los puntos típicos de colecta.

CAPÍTULO 2. Edad y crecimiento del caracol marino Opeatostoma pseudodon



FIGURA 1. A) El buzo colecta los ejemplares; B) Una muestra de la diversidad de moluscos de Puerto Ángel extraídos por el buzo; C) Conservación de los organismos para su traslado;
D) Concha de *Opeatostoma pseudodon* sin periostraco; E) Cuerpo blando de *O. pseudodon*. Se señalan los órganos de interés; F) Equipo utilizado para el cortado de las conchas.

Estimación y validación de la edad

Características del opérculo y lectura de marcas

Cada opérculo se sumergió en peróxido de hidrógeno al 5% por 10 minutos para remover epibiontes y restos calcáreos. Posteriormente se pulieron por la cara externa (Fig. 2B) y se observaron con luz transmitida. Para esto se hizo pasar un haz de luz a través del opérculo desde la cara interna, para observar las marcas en la cara externa. Se tomaron en cuenta únicamente las bandas reveladas por este método. Se consideró una marca de crecimiento o anillo al conjunto de una banda opaca y una hialina (Fig. 2C). Dos lectores independientes contaron y registraron en el número de anillos observados.

Después de la limpieza de los opérculos se notó que la cara interna posee un labro que rodea todo el contorno del opérculo, este labro presenta un engrosamiento de color marrón siembre en el lado izquierdo. Dentro del área delimitada por el labio se encuentra una zona color ocre que puede ser de tonos amarillentos hasta el pardo y con la presencia de pliegues importantes para la unión al pie del caracol y al disco opercular. Estos pliegues no deben confundirse con las marcas de crecimiento. Toda la cara interna del opérculo, incluido al labro, presenta un brillo característico (Fig. 2A).

La cara externa del opérculo es mayormente color marrón sin presencia de brillo, usando luz reflejada se observan diferentes tipos de líneas perpendiculares al eje principal del opérculo que pueden ser marcas periódicas de crecimiento. Un criterio para poder identificarlas es por la presencia en forma de hundimiento o surcos que van del lado del labro (lado derecho al girar el opérculo) hasta la parte baja del lado izquierdo (Fig. 2B); a diferencia de otras líneas no periódicas que se encuentran al nivel de la superficie y que no siguen una trayectoria completa (de lado a lado) y son de tonos más claros.

Por otro lado, al observar la cara externa de los opérculos con luz transmitida se identificaron con mayor facilidad las marcas periódicas que se caracterizan por la presencia de una banda hialina y una opaca, la hialina siempre antecediendo a la opaca. A este conjunto de bandas se conoce como annulus (anillo) (Gluyas-Millán y Martínez-Quiroz, 2010). La banda opaca fue siempre más delgada que la hialina (Fig. 2C), esta última banda fue disminuyendo su tamaño conforme el annulus se acercaban al borde, pero la banda opaca conservó casi siempre las mismas dimensiones. Para este trabajo se realizó el conteo de la banda opaca para estimar la edad.

No fue posible cuantificar la cantidad de anillos en 18 opérculos por dos motivos: 1) Presencia de malformaciones en la cara externa del opérculo por rápidas regeneraciones del opérculo después de un posible daño por depredación y 2) Opérculos rotos no regenerados, atribuido al

manejo en campo (Figura 2D). Sin embargo, para dichos opérculos si fue posible la identificación del tipo de borde.



FIGURA 2. Opérculo de *O. pseudodon* en diferentes situaciones. A) La flecha señala el labro. Se observan los pliegues que unen al opérculo con el pie del caracol; B) Las flechas señalan las marcas periódicas vistas con luz reflejada; C) Opérculo observado con luz transmitida. Se señalan los anillos observados, en este caso 5 anillos y el borde. La flecha señala una banda opaca; D) Ejemplo de los opérculos a los que no se les pudo estimar la edad. A la izquierda malformación y a la derecha ruptura. La escala en la figura equivale a 0.25 cm.

Validación de las marcas de crecimiento

La premisa de la determinación de la edad a través de la lectura de marcas en el opérculo es que éstas marcas se forman con una periodicidad regular, con frecuencia anualmente. Para verificar la periodicidad de formación de las marcas en los opérculos de *O. pseudodon* se siguieron dos métodos:

1. Análisis de la Característica del Borde del Opérculo (CBO):

Este análisis consiste en determinar la variación en la proporción mensual del tipo de borde del opérculo, ya sea hialino u opaco, durante un ciclo anual. La observación y registro de la característica del borde del opérculo se realizó por dos lectores independientes.

Si un anillo se forma anualmente, el porcentaje de ejemplares cuyo opérculo tiene borde opaco sigue una trayectoria sinusoidal, es decir, tiene una máximo y un mínimo a lo largo del ciclo anual (Gluyas-Millán y Martínez-Quiroz, 2010).

2. Análisis del Incremento Marginal (IM):

La premisa de este análisis es similar a la del análisis CBO. Si un incremento de crecimiento se forma en un ciclo anual, el IM mensual promedio de todos los opérculos debe mostrar un máximo y un mínimo durante un ciclo anual (Campana, 2001). Esto significa que el opérculo, como reflejo del crecimiento del organismo, presentará un periodo de máximo crecimiento y uno de mínimo crecimiento durante el ciclo anual. El incremento marginal se calculó mediante la ecuación:

$$IM = \frac{(R - r_n)}{(r_n - r_{n-1})}$$

Donde *R* es el radio del opérculo (la distancia desde el foco hasta el borde del opérculo) y es el radio del último anillo formado (la distancia desde el foco hasta donde inicia el último anillo formado). Para este análisis se seleccionó una submuestra de 214 opérculos pues se utilizaron únicamente los opérculos con al menos una marca de crecimiento. En cada uno de ellos se midió la distancia desde el foco del opérculo (Fig. 4B) hasta el inicio de cada banda opaca en cada anillo y hasta el borde.

Factores de influencia en la formación de las marcas de crecimiento

El fenómeno de periodos de máximo y mínimo crecimiento en los organismos está regulado por factores intrínsecos y extrínsecos tales como la disponibilidad de alimento y la reproducción (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005). Ya que este fenómeno se ve reflejado en la deposición de material en el opérculo, su estudio también es una forma de corroborar la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento.

En un intento por explicar qué factores influyen en la fluctuación de la velocidad de deposición de material en los opérculos, se calcularon indicadores reproductivos y de la condición física, y se observaron junto con la variación mensual de la temperatura superficial del mar (°C):

1. Indicadores del evento reproductivo:

El índice gonadosomático (IGS) es un indicador del estado de desarrollo de la gónada y se utiliza para seguir el ciclo reproductivo de una especie (Arreola-Hernández, 1997; Salgado-Ugarte *et al.,* 2005). El IGS se calculó mediante:

$$IGS = \frac{G}{B-G} * 100$$

Donde G es el peso de la gónada-glándula digestiva y B el peso blando. Para calcular este indicador no se contempló el peso de la concha debido a que, por lo regular, suele estar acompañada de epibiontes como poliquetos, crustáceos, algas calcáreas, además de sedimentos y otros elementos que pueden causar una gran variación en el peso del organismo (Baqueiro *et al.,* 1983).

2. Indicadores de la condición:

El factor de condición relativa (Kr) es un indicador del estado físico del organismo, al relacionar el volumen del organismo con a su talla. Permite evaluar si ha ganado peso o lo ha perdido en un intervalo de tiempo (Hernández-López, 2000; Bravo-Olivas, 2008). Se calculó mediante:

$$Kr = 100Wa^{-1}L^{-b}$$

Donde W es el peso blando menos el peso de la gónada glándula digestiva, L es la longitud total de la concha, a y b son los parámetros de la relación peso-longitud: (Salgado-Ugarte *et al.,* 2005).

3. Temperatura superficial del mar (TSM)

La temperatura del agua es un factor decisivo para provocar el desove (Arreola-Hernández, 1997) y de acuerdo con Gluyas-Millán y Martínez-Quiroz (2010) es importante relacionar este parámetro con las pruebas de validación de la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento para conocer su influencia.

Por lo tanto, se obtuvo la TSM mensual promedio del Boletín Hidroclimático de los mares de México emitido por el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) de agosto de 2013 a octubre de 2014.

Funciones de Crecimiento

El crecimiento es una característica individual donde cada individuo exhibe un modelo de crecimiento propio que está definido por factores genéticos y ambientales, pero puede extrapolarse a todos los individuos de una población y ser descrito por parámetros de una función de crecimiento común, que represente el crecimiento teórico de un individuo (Brey, 1999; Zabala, 2012). Esto es particularmente útil en biología pesquera y en el análisis de poblaciones pues permite obtener una expresión matemática que dé el tamaño del organismo (en longitud o en peso) a una determinada edad (Gulland, 1971). En este sentido se han desarrollado diversos modelos matemáticos que describen el crecimiento individual de los organismos, el cual, por lo regular, es acelerado cuando son jóvenes y se va haciendo progresivamente más lento al aumentar la edad. Existen tres modelos de crecimiento comunes que describen este tipo de patrón: el Logístico, el de Gompertz y el de von Bertalanffy (Gómez-Márquez, 1994; Salgado-Ugarte et al., 2005). Por esta razón en este trabajo ajustamos los datos de edades y tallas individuales a estos tres modelos mediante regresión no lineal. Calculamos el coeficiente de determinación (R² ajustada) y la suma de residuos al cuadrado (SRC) para seleccionar el modelo que se ajustara mejor a los datos. A continuación, se explica brevemente cada modelo de crecimiento. Los parámetros son los mismos en los tres casos por lo que se explican al final.

1. Logístico

Este modelo se ha usado para describir el crecimiento poblacional pero también es útil para modelar el crecimiento individual de los organismos (Salgado-Ugarte *et al.,* 2005). La forma integral del modelo es:

$$L_{(t)} = \frac{L_{\infty}}{1 + e^{-K(t-t_0)}}$$

2. Gompertz

La ecuación de Gompertz surge a partir de modelos de crecimiento autorregulados, donde la tasa de crecimiento decrece exponencialmente con el tiempo después de alcanzar el punto de inflexión (Katsanevakis y Maravelias, 2008; Casas *et al.,* 2010). Genera asimetría alrededor del punto de inflexión y muestra crecimientos tempranos rápidos, pero unos valores mas lentos en la medida que se aproxima a la asíntota, con un largo periodo de crecimiento lineal alrededor del punto de inflexión (Casas *et al.,* 2010). La ecuación usualmente se expresa de la forma:

$$L_{(t)} = L_{\infty}(e^{-e^{-K(t-t_0)}})$$

3. von Bertalanffy

Este es el modelo matemático para el crecimiento individual más usado para describir el crecimiento en moluscos gasterópodos (Miranda, 1975; Santarelli y Gros, 1985; Villiers y Sire, 1985; Bourgeois *et al.*, 1997; Ilano *et al.*, 2004; Saito-Quezada, 2010 y 2018; Guzmán-Urieta, 2015). El modelo considera la talla del cuerpo como una función de la edad (Sparre y Venema, 1997). Se calculó mediante:

$$L_{(t)} = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)})$$

Los parámetros empleados en los tres modelos se pueden describir como:

- L_(t) Longitud a la edad (t)
- L₂ Longitud promedio de un organismo infinitamente viejo (longitud asintótica)
- K Tasa instantánea de crecimiento. También conocido como "parámetro de curvatura", el cual determina la rapidez con que el individuo alcanza L_∞ y es una constante relacionada con la tasa metabólica.
- t Edad a la longitud L_(t)
- t_o El tiempo al cual la tasa de crecimiento es máxima. También es el punto de inflexión de la curva sigmoidea.

Diferencias entre sexos

Para determinar la influencia o sesgo de los resultados por la existencia de probables diferencias entre la proporción de machos y hembras, se calculó la proporción total de sexos dividiendo el número total de hembras entre el número total de machos. Para saber si existía una diferencia significativa de una proporción 1:1 se utilizó el estadístico χ^2 (Hernández-López, 2000; Bravo-Olivas, 2008):

Además, se aplicó una prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) para determinar si había diferencias significativas entre la talla de machos y hembras. La prueba KS mide las diferencias existentes entre las frecuencias relativas acumuladas de dos muestras, por lo que permite detectar diferencias no solo en la tendencia central sino también en la dispersión y simetría de las muestras (Guisande-González *et al.,* 2006).

Para saber si las diferencias observadas entre los parámetros de crecimiento de machos y hembras fueron estadísticamente significativas se aplicó la prueba Multivariada de la T² de Hotelling

(Bernard, 1981; Salgado-Ugarte *et al.,* 2005) y la prueba de la razón de verosimilitud (Kimura, 1980; Haddon, 2001; Salgado-Ugarte *et al.,* 2005), únicamente a los parámetros del modelo de von Bertalanffy.

Para la obtención y comparación de los parámetros de crecimiento utilizamos los métodos y programas estadísticos recomendados por Salgado-Ugarte *et al.* (2005), donde se puede consultar más sobre el fundamento de su aplicación.

Estructura de tallas

La distribución de tallas se analizó mediante Estimadores de Densidad por Kernel (EDKs) de amplitud fija (Salgado-Ugarte, 2002; Salgado-Ugarte y Pérez-Hernández, 2003) de acuerdo con las recomendaciones de Salgado-Ugarte (2013).

RESULTADOS

Proporción sexual y estructura de tallas

De los 363 organismos colectados 163 fueron hembras, 199 machos y un organismo sin identificación. La proporción sexual de todo el periodo muestreado fue 0.82H:1M con diferencias estadísticamente significativas (χ^2 = 3.58, p < 0.1).

La estructura de tallas fue multimodal en ambos sexos (Fig. 3). Debido a esto, los valores de nivel y dispersión convencionales (media, mediana, desviación estándar) no representan adecuadamente a estos datos, por tener una distribución que no es normal. Para hembras las tallas mínimas y máximas fueron 18 y 58.68 mm respectivamente y para machos fueron 23 y 50.94 mm respectivamente.

De la prueba de Kolmogorov-Smirnov se obtuvo que $D_{max} = 0.25 >> D_{0.05} = 0.14$, por lo tanto, se rechaza H_0 , por lo que las muestras proceden de poblaciones con distribuciones diferentes, es decir, las distribuciones de tallas de machos y hembras son diferentes.





FIGURA 3. Distribución de tallas para machos y hembras por medio de EDKs, utilizando la mitad de la amplitud "optima" de Silverman (b = 0.07 y b = 0.09 respectivamente).

Edad y validación de la periodicidad

En los opérculos se identificaron de 0 a 12 anillos de crecimiento. Solo se identificó un organismo con 9 anillos, dos con 10 anillos y uno con 12 anillos, en ningún opérculo se contaron 11 anillos. La máxima cantidad de anillos para machos fue de 7 y para hembras 12.

Análisis de la característica del borde del opérculo (CBO)

De las dos lecturas independientes para el análisis CBO se obtuvo una coincidencia del 74.4% (igual a 270 opérculos), 80 opérculos con borde hialino y 190 con borde opaco.

La proporción de bordes hialinos y opacos fue sinusoidal al graficarse contra los meses de muestreo (Fig. 4). Con un máximo en la proporción de borde hialino en los meses de febrero y marzo del 2014 (> 67%); y una mínima en noviembre de 2013 (8.33%) y julio a noviembre del 2014 (< 13.04%).
A pesar de que en los demás meses del año 2013 no es claro el comportamiento del borde, la cantidad de opérculos con borde hialino fue <50%. El máximo en la proporción del borde opaco se dio en los meses de noviembre de 2013 (91.67%) y de julio a noviembre del 2014 (> 86%). Es notorio que durante el periodo de estudio hubo una mayor proporción del borde opaco, ésta ocurrió en 10 de los 12 meses (Fig. 4).



FIGURA 4. Proporción de bordes hialinos y opacos en cada mes. La línea punteada señala la TSM.

Análisis del Incremento Marginal (IM)

Con los datos del IM se obtuvo un gráfico de la variación mensual de esta medida (Fig. 5). Para mostrar el nivel de los datos del IM se eligió a la mediana por su resistencia ante valores extremos, en el grafico se señala con una línea color azul marino. Los valores máximos del IM se obtuvieron en marzo del 2014 (0.86 mm) y los mínimos en agosto y noviembre de 2013 (0.32 y 0.42 mm respectivamente), así como de julio a octubre de 2014 (< 0.54 mm).





FIGURA 5. Proporción de bordes hialinos y opacos en cada mes. La línea punteada señala la TSM.

Factores de influencia en la formación de marcas periódicas

Al comparar la variación en la proporción mensual de bordes hialinos y opacos con la superficie del mar se ve que el comportamiento de la temperatura es muy similar a la variación del porcentaje del borde opaco. Los meses de mayores temperaturas corresponden a la proporción de más opérculos con borde opaco (Figura 13).

En el caso del IGS los valores más altos se obtuvieron en abril (18.39%) y julio de 2014 (19.67%) cabe resaltar que en este último mes solo se obtuvieron tres ejemplares en la muestra. Los valores más bajos de IGS se dieron en marzo, mayo y noviembre de 2014 (< 11.7%) (Fig. 6).

Kr indica el grado de "salud" de los organismos, de tal manera que el punto más alto representa la mejor condición. Los niveles más altos de Kr fueron en marzo de 2014 (Mediana = 1.08), así como entre julio y agosto de 2014 (M > 1.07). Los niveles más bajos fueron entre agosto y noviembre de 2013 (M < 0.95), así como en enero, febrero, mayo y noviembre de 2014 (M < 0.95).

Comparando IGS y Kr se pueden observar patrones de relación negativa desde el mes de marzo 2014 ya que el valor de Kr se eleva, pero el valor de IGS decae, y de nuevo en abril sucede en efecto contrario, el índice aumenta y el factor decae. En mayo 2014 sucede que ambos índices bajan y ambos vuelven a subir en julio 2014 para finalmente bajar ambos en octubre 2014.

En la Figura 6 se observa como el periodo del marzo, abril y mayo 2014 es clave en la reproducción de *O. pseudodon*. Previo al mes de abril de 2014 el IGS parece indicar una inactividad reproductiva, en marzo 2014 el factor de condición se eleva indicando que los organismos están preparándose para una mayor actividad gonádica. Esto se da el siguiente mes, en abril, pues se ve claramente que el IGS alcanza el máximo valor del periodo de estudio, por otro lado, en este mismo mes la condición decae.

En el periodo de mayor IGS (abril 2014) la temperatura superficial del mar no está en su máximo valor. No es si no hasta mayo 2014 que la temperatura alcanza sus máximos valores (31.2°C en promedio), mes en el que ocurre un brusco decremento del IGS. El hecho de que en mayo de 2014 el IGS disminuya tan repentinamente puede indicar que los organismos desovaron este mes. Por otro lado, la época más fría parece favorecer un reposo o inactividad gonádica, ya que en esta época los valores de Kr muestran en general un bajo nivel (< 1) (Fig. 6).



FIGURA 6. Variación mensual del IGS y Kr. Valores medianos mensuales. La línea punteada señala la TSM.

07

0.258

0.2419

Crecimiento

Hembras

Ambos

Modelo de crecimiento Logístico

						0
Cours		Parámetros		CDC	R² ajustada	2
Sexu	L	К	t _o	SKL		n
Machos	5.0	0.3349	-1.074	9.41	0.9968	187

-0.089

-0.244

9.27

19.51

0.9967

0.9967

157

345

TABLA 2. Parámetros obtenidos de la regresión no lineal para la función Logística.

SRC = Suma de residuos al cuadrado

5.76

5.77

Los tres ajustes no lineales fueron estadísticamente significativos (p < 0.05), pero la confiabilidad estadística para cada uno de los parámetros en los tres ajustes fue distinta. El ajuste no lineal para machos presentó una confiabilidad estadística en los tres parámetros L_o, K y t₀ (p < 0.05), mientras que para hembras solo L_o y K fueron estadísticamente significativos, de la misma manera, para la regresión de los datos en conjunto solamente L_o y K fueron estadísticamente significativos. Los parámetros citados en la Tabla 2 se sustituyeron en la ecuación de crecimiento del modelo Logístico para machos, hembras y ambos. Éstas quedaron de la siguiente manera:

$$L_{(t)} = \frac{5 cm}{1 + e^{-0.3349(t+1.07)}} \text{ para machos,}$$

$$L_{(t)} = \frac{5.76 cm}{1 + e^{-0.258(t+0.089)}} \text{ para hembras y}$$

$$L_{(t)} = \frac{5.77 cm}{1 + e^{-0.244(t+0.244)}} \text{ para ambos.}$$

Estas expresiones fueron graficadas y las cuvas correspondientes pueden verse en las Figuras 7 y 8. La Figura 7 muestra la curva para los datos conjuntos, una línea roja intermitente en el eje Y indica la longitud asintótica (L_{∞}), la línea curva color naranja indica los valores ajustados del modelo Logístico, mientras que los puntos indican los datos de longitud a cada edad determinada. En la Figura 8 se presentan la curva de los datos ajustados a la función logística para cada sexo y para ambos.

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en Vasula speciosa Gastropoda: Muricidae



FIGURA 7. Curva de crecimiento Logística para los datos de edad y tallas de *O. pseudodon.* La línea intermitente en el eje Y indica la edad asintótica.



FIGURA 8. Curvas de crecimiento de la función Logística para machos, hembras y ambos.

60

Modelo de crecimiento de Gompertz

Sexo		Parámetros		SRC	R² ajustada	n
	L	К	t			
Machos	5.154	0.261	-2.2	9.4	0.9968	187
Hembras	5.98	0.194	-1.63	9.08	0.9968	157
Ambos	6.02	0.179	-1.87	19.25	0.9967	345

TABLA 3. Parámetros obtenidos de la regresión no lineal para la función de Gompertz.

SRC = Suma de residuos al cuadrado

El ajuste para la función de crecimiento de Gompertz fue estadísticamente significativo (p < 0.05). así como la confiabilidad estadística de L_{∞} , K y t_0 fue en todos los casos P<0.05, tanto en el ajuste general como al ajustar los datos de machos y hembras por separado. Los parámetros que se obtuvieron de las regresiones no lineales se enlistan en la Tabla 3, para machos, hembras y ambas. Estos fueron sustituidos en la ecuación de crecimiento de Gompertz para cada caso, éstas son:

$$\begin{split} L_{(t)} &= 5.15 \ cm \ (e^{-e^{-0.261(t+2.2)}}) & \text{para machos,} \\ L_{(t)} &= 5.98 \ cm \ (e^{-e^{-0.194(t+1.63)}}) & \text{para hembras y} \\ L_{(t)} &= 6.02 \ cm \ (e^{-e^{-0.179(t+1.87)}}) & \text{para ambos.} \end{split}$$

En la Figura 9 se puede observar la curva del modelo de crecimiento de Gompertz para el ajuste general marcada con una línea color cian, en la parte superior se señala con una línea roja intermitente la longitud teórica de un organismo infinitamente viejo (L_{∞}), para este caso 6.02 cm. En la Figura 10 están representadas las curvas de crecimiento del modelo Gompertz para machos, hembras y ambos, identificadas con colores y figuras distintas (ver parte inferior del cuadro).



FIGURA 9. Curva del modelo de crecimiento Gompertz para *O. pseudodon.* La línea intermitente en el eje Y indica la edad asintótica.





Modelo de crecimiento de von Bertalanffy

Covo		Parámetros		SPC	R² ajustada	n
Sexu	L	К	t _o	SKC		
Machos	5.38	0.188	-4.16	9.39	0.9968	187
Hembras	6.38	0.129	-4.61	8.91	0.9968	157
Ambos	6.48	0.116	-5.146	19.01	0.9967	345

TABLA 4. Parámetros obtenidos de la regresión no lineal para la función de von Bertalanffy.

SRC = Suma de residuos al cuadrado

El ajuste para la función de crecimiento de von Bertalanffy fue estadísticamente significativo tanto para el modelo en general como en cada uno de los parámetros (p < 0.05). Los parámetros obtenidos se encuentran en la Tabla 4, estos fueron sustituidos en la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy para machos, hembra y ambos:

$$\begin{split} L_{(t)} &= 5.38 \ cm \ (1-e^{-0.188(t+4.16)}) & \text{para machos,} \\ L_{(t)} &= 6.38 \ cm \ (1-e^{-0.129(t+4.61)}) & \text{para hembras y} \\ L_{(t)} &= 6.48 \ cm \ (1-e^{-0.116(t+5.146)}) & \text{para ambos.} \end{split}$$

En la Figura 11 se pueden observar la curva del modelo para los datos totales, mientras que en la Figura 12 se muestran por separado las curvas obtenidas para machos y hembras. De igual modo se marca la L_o con una línea roja intermitente en el eje de las ordenadas. Esta vez la curva que representa los valores ajustados al modelo de von Bertalanffy es de color verde.

En la Figura 12 se puede notar como de la edad de 1 hasta 4 años, machos y hembras tienen un crecimiento aproximadamente similar y a partir de los 5 años el ritmo de crecimiento entre ambos sexos se va alejando. Esto se puede observar también con las otras funciones de crecimiento (Fig. 8 y 10).



FIGURA 11. A) Curva de crecimiento de von Bertalanffy para los datos de edad y tallas de *O. pseudodon*. La línea intermitente en el eje Y indica la edad asintótica.



FIGURA 12. Curvas de von Bertalanffy para machos, hembras y ambos.

Selección del modelo con mejor ajuste

Los valores para los criterios de selección del modelo que representa mejor los datos se muestran en la Tabla 5. De acuerdo con el coeficiente de determinación ajustada las tres funciones representan adecuadamente la relación entre el tamaño y edad de *O. pseudodon*. Por otro lado, la suma de residuos al cuadrado tiene los valores ligeramente más bajos para el modelo de crecimiento de von Bertalanffy tanto para el modelo general como para los modelos separados de machos y hembras.

El modelo Logístico fue el que obtuvo los mayores valores del SRC quedando entonces en el tercer puesto para representar la relación entre el tamaño y edad de *O. pseudodon*. Aunado a un mayor valor de SRC, el modelo logístico presentó valores poco significativos en t_0 tanto para el modelo general como para el de hembras.

Madala	Machos		Hembras		Ambos	
Ινισάειο	R ² Ajust.	SRC	R² Ajust.	SRC	R ² Ajust.	SRC
Von Bertalanffy	0.9968	9.39	0.9968	8.91	0.9967	19.01
Gompertz	0.9968	9.4	0.9968	9.08	0.9967	19.25
Logístico	0.9968	9.41	0.9967	9.27	0.9967	19.51

TABLA 5. Valores de los diferentes criterios de selección de modelos.

Debido a lo anterior se seleccionó al modelo de crecimiento de von Bertalanffy como el modelo para representar la relación entre tamaño y edad tanto en el modelo general como para macho y hembras del caracol marino *Opeatostoma pseudodon* de Puerto Ángel, Oaxaca, México y el litoral adyacente.

Comparación de los parámetros de crecimiento

Para comparación de los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy obtenidos para machos y hembras se realizó la prueba multivariada de T² de Hotelling y la prueba de Razón de verosimilitud.

T² de Hotelling

En la Tabla 6 se pueden observar los datos obtenidos de la prueba T². Como el valor calculado de T² es mayor que el de tablas (2239.4 >> 11.58) se rechaza la hipótesis nula de que los vectores de la función de crecimiento de von Bertalanffy estimados para machos sea igual al vector de parámetros obtenidos para hembras. Ahora bien, en cuanto a la comparación de parámetro por parámetro, debido a que ninguno contiene al cero en su intervalo de confianza los tres parámetros (L_{ω} , $K \neq t_{o}$) son diferentes. Los valores críticos de F indican que el parámetro que tiene mayor influencia en la diferencia es L_{ω} luego K y finalmente t_{o} .

TABLA 6. Prueba T^2 de Hotelling para la comparación las funciones de crecimiento de von Bertalanffy para machos y hembras de *O. pseudodon.*

Matriz de varianza-covarianza (S)				Inversa de (S)				
0.1229	-0.0113	-0.1917	56.2122	416.4486	6.0905			
	0.0012	0.0204		12312.0881	-464.0265			
		0.3708			31.4520			
[-0.9997 0.0590	[-0.9997 0.0590 0.4478] = [P1 - P2]'							
$T^2 = 2239.4084$	$T^2_{0.01:3,340} = 11.58$	869 $F_{0.01:3,340} = 3.3$	8397					
	Intervalo de	confianza 99%		F Cr	ritica			
-1.1288	$\leq L_{\infty_1}$	- L _{∞2} ≤	-0.8705	229.	9295			
0.046	$\leq K_{1}$	$-K_2 \leq$	0.072	79.5	5214			
0.2234	$\leq t_{o1}$	$-t_{02} \leq$	0.6722	15.2	2949			

Razón de verosimilitud

En la Tabla 7 se muestran los resultados de la prueba de razón de verosimilitud obtenidos. La prueba indica que existe una diferencia significativa (p = 0.004) entre los modelos de machos y hembras, resultados que concuerdan con lo obtenido en la prueba T^2 de Hotelling. Sin embargo, este método no fue concluyente al comparar los parámetros por separado (p > 0.05 en todos los casos).

TABLA 7. Prueba de Razón de verosimilitud para la comparación las funciones de crecimiento de von Bertalanffy para machos y hembras de *Opeatostoma pseudodon*.

Restricciones lineales	Modelos	SRC	PRV	gl	Р
Ninguna	$L_{(t1)} = 5.39 \text{cm}[1 - \exp\{-0.188^{*}(t+4.165)\}]$ $L_{(t2)} = 6.39 \text{cm}[1 - \exp\{-0.129^{*}(t+6.613)\}]$	18.3			
$L_{\infty 1} = L_{\infty 2}$ $K_{1} = K_{2}$ $t_{01} = t_{02}$	L _(t) =6.49cm[1-exp{-0.117*(t+5.147)}]	19.01	13.1	3	0.004
$L_{\infty 1} = L_{\infty 2}$	$\begin{array}{l} L_{_{(t1)}} = 6.18 \text{cm}[1 - \exp\{-0.122^*(t + 5.426)\}] \\ L_{_{(t2)}} = 6.18 \text{cm}[1 - \exp\{-0.142^*(t + 4.351)\}] \end{array}$	18.44	2.65	1	0.103
$K_1 = K_2$	$L_{(t1)} = 5.87 \text{cm}[1 - \exp\{-0.141^*(t+5.013)\}]$ $L_{(t2)} = 6.2 \text{cm}[1 - \exp\{-0.141^*(t+4.358)\}]$	18.38	1.42	1	0.233
$t_{_{O1}} = t_{_{O2}}$	$L_{(t1)} = 5.54 \text{cm}[1 - \exp\{-0.178^*(t+4.478)\}]$ $L_{(t2)} = 6.3 \text{cm}[1 - \exp\{-0.135^*(t+4.478)\}]$	18.32	0.25	1	0.617

La información antes mencionada indica que existen diferencias significativas en cuanto al crecimiento de machos y de hembras, y según lo obtenido en el análisis de la T^2 de Hotelling, es el mayor crecimiento de hembras el que causa más diferencias entre ambas muestras (dado por el valor de L_{∞}). Esto se puede observar en la Tabla 7 en la que se puede ver claramente la diferencia de este parámetro entre ambos sexos. En la Figura 12 se puede observar como por la influencia de estas diferencias de crecimiento las curvas de machos y hembras se separan, estando totalmente alejadas en los organismos de mayor edad.

DISCUSIÓN

Este capítulo está basado en el trabajo de Guzmán-Urieta (2015) que fue el primer estudio en estimar la edad y modelar el crecimiento del gasterópodo marino *Opeatostoma pseudodon* mediante técnicas esclerocronológicas en el Estado de Oaxaca, información útil para su conservación y manejo sustentable. Esto es especialmente importante ya que se encontraron evidencias de impactos negativos en la estructura poblacional de esta especie, lo que refleja, muy probablemente, el mal manejo de la pesquería.

Los resultados sugieren que la explotación de este molusco en la costa de Puerto Ángel, Oaxaca, ha disminuido la proporción de organismos con tallas grandes, pues la talla máxima reportada para este molusco es de hasta 75 mm (Gastropods, 2021) mientras que la talla máxima obtenida en nuestros muestreos fue de 58 mm, pero en general las tallas fueron mucho menores (Fig. 3). Este fenómeno se conoce como "Dinámica de Ricker" (Ricker, 1975), que consiste en que las abundancias decrecen conforme aumenta la talla, por lo que las tallas mayores son menos abundantes y mucho menores o nulas cuando existe una mayor explotación (Jiménez-Ordaz, 2005). En este sentido, en este trabajo encontramos que las hembras alcanzaban tallas más grandes que los machos, siendo, por lo tanto, más susceptibles a la captura. Esto también ha sido observado en la pesquería de otros gasterópodos, en los que las hembras son capturadas más desproporcionadamente que los machos por tener tallas más grandes (Anderson et al., 1985; Shalack, 2007). Esto podría explicar la mayor proporción sexual de machos que observamos. Debido a la mayor extracción de los organismos de tallas superiores, la cantidad de machos, de tallas mas chicas y por lo tanto menos capturados, es mayor. En otras palabras, la mayor pesca en hembras (por tener tallas mayores) infla la proporción de machos en tallas mas pequeñas, debido a que los pescadores dirigen su atención hacia las hembras y no hacia los machos (Peemoeller y Stevens, 2013).

Esta diferencia de tallas entre machos y hembras parece indicar un dimorfismo sexual en el que las hembras alcanzan tallas mayores. Estos resultados son reafirmados por los trabajos de Haro-Capetillo (2017) y Saíto-Quezada (2018) quienes también observaron que las hembras de *O. pseudodon* exhiben mayores tallas que los machos; y que estas diferencias probablemente sean más notorias al comparar organismos de las mismas edades. Este fenómeno también ha sido observado en otras especies de gasterópodos (Chen y Soong, 2002; Ilano *et al.*, 2004; Jiménez-Ordaz, 2005; Shalack, 2007; Walker *et al.*, 2008; Power *et al.*, 2009; Santos-Valencia *et al.*, 2011); y de acuerdo con Hughes (1986), en los gasterópodos prosobranquios que presentan dimorfismo sexual, es la hembra la que presenta la talla mayor, lo que puede deberse a que en la mayoría de los prosobranquios los machos maduran a tallas más pequeñas.

Los análisis de validación de la periodicidad de formación de las marcas de crecimiento (IM y CBO) permitieron definir que se forma un anillo de crecimiento por año y que la banda hialina corresponde con la época de rápido crecimiento mientras que la opaca representa a un periodo de lento crecimiento. Este crecimiento acelerado alcanzó su punto más alto en marzo de 2014 (alrededor del 90% de opérculos con borde hialino y máximo IM, Fig. 4 y 5), que coincidió con un periodo de condición alta (marzo de 2014, Fig. 6). Mientras que en abril de 2014 la proporción de opérculos con borde hialino y el factor de condición relativa (Kr) disminuyeron drásticamente, pero el IGS alcanzó su nivel máximo. Lo que parecería indicar que el crecimiento se ve favorecido por la disponibilidad de alimento (reflejada en el alto Kr) y se disminuye cuando la energía se enfoca en la reproducción. La disponibilidad de alimento es mayor durante la temporada de surgencias que va de octubre a abril (Monreal-Gómez y Salas-De León, 1998; Lara-Lara *et al.*, 2008).

Ó

Por su parte, la TSM presentó una correlación negativa con la frecuencia mensual de opérculos con banda hialina (r = - 0.65, p < 0.05). Lo que significa que a medida que la temperatura aumenta, el crecimiento va disminuyendo y viceversa, pero no significa necesariamente una relación causaefecto. Este comportamiento parece opuesto a lo que se ha observado en gasterópodos de aguas templadas como *Astraea spp.* que presentan una disminución del crecimiento en los meses fríos (Cupul-Magaña y Torres-Moye, 1996; Gluyas-Millán y Martínez-Quiroz, 2010; Saito-Quezada, 2010). Lo que parece indicar que en la zona de estudio las temperaturas no llegan a disminuir lo suficiente para influir en el crecimiento de esta especie o no son determinantes en él. Sin embargo, esta correlación negativa puede ser explicada por que la temperatura si tiene efecto en el ciclo reproductivo (Saito-Quezada, 2018), donde el IGS alcanza un valor máximo justo antes del desove (Rodríguez, 1992; Jaramillo *et al.,* 1993), y como se indicó, en este estudio el IGS fue máximo cuando el crecimiento disminuyo.

De los tres modelos de crecimiento analizados el que represento mas adecuadamente el crecimiento de *O. pseudodon* fue el de von Bertalanffy tanto para machos y hembras por separado como en conjunto. De acuerdo con Arrighetti *et al.* (2011), esto podría significar que esta es una especie en la que el crecimiento en talla presenta un punto de inflexión antes del año de edad. Aunque las diferencias entre los modelos de Gompertz y de von Bertalanffy fueron mínimas, y por lo tanto se podrían usar ambas funciones para representar el crecimiento de *O. pseudodon*, la selección del modelo de von Bertalanffy trae consigo diversas ventajas ya que se podrían usar todos los análisis de pesquería estándar que se basan en este modelo (Arrighetti *et al.*, 2011).

Las curvas de crecimiento de machos y hembras (Fig. 12) muestran que la diferencia en las tallas se presenta entre los 4 y 5 años de edad. Algo muy similar al caracol de tinte *Plicopurpura pansa*, en el cual la diferencia de tallas se relaciona con la edad de madurez sexual de las hembras (Jiménez-Ordaz, 2005). Teniendo en cuenta esto, de acuerdo con los modelos de crecimiento, la madurez sexual en hembras podría ocurrir entre los 4 y 5 años de edad (alrededor de 4.4 cm de longitud de concha); sin embargo, es necesario un estudio de madurez sexual para *O. pseudodon* para poder comprobar estas suposiciones.

Las pruebas de la T² de Hotelling y la Razón de verosimilitud corroboran una diferencia significativa en el crecimiento entre machos y hembras. Diferencias en el crecimiento en función del sexo también se han observado en otros gasterópodos como *Neptunea arthritica* (Fujinaga, 1987) y *Busycotypus canaliculatus* (Peemoeller y Stevens, 2013).

En los gasterópodos prosobranquios donde los machos maduran antes que las hembras, las diferencias en el crecimiento indican que los machos pueden tener una mayor posibilidad de apareamiento antes de ser capturados que la que tienen las hembras por madurar a tallas mas grandes, muchas de las cuales son capturadas antes de llegar a la madurez sexual. Al ser un gasterópodo prosobranquio, en *O. pseudodon* podría ocurrir algo similar.

El estado de conservación de las poblaciones naturales de *Opeatostoma pseudodon* es motivo de preocupación ya que los esfuerzos de la pesca se están concentrando en organismos mas grandes, predominantemente hembras; por otro lado, la pesca se realiza en todo el intervalo de tallas y durante todo el año, lo que puede resultar en la captura de organismos inmaduros y/o hembras maduras antes del desove. La población de esta especie permanecerá en peligro mientras las hembras maduras no sean protegidas.

Para proteger la capacidad reproductiva del caracol colmillo de perro y con esto un mejor aprovechamiento del recurso en la zona de estudio (Puerto Ángel - Mazunte, Oaxaca), se recomienda establecer periodos de veda y tallas mínimas de captura. El presente trabajo aporta información valiosa para alcanzar este objetivo.

CONCLUSIONES

La proporción sexual fue de 0.82H:1M, es decir, aproximadamente 4 hembras por cada 5 machos, con diferencias estadísticamente significativas (p < 0.1). Proporción sexual explicada por la inflación de la cantidad de machos en tallas pequeñas, consecuencia de la mayor explotación de las hembras por tener tallas significativamente mayores (prueba KS: $D_{max} = 0.25 >> D_{0.05} = 0.14$). Lo que supone un dimorfismo sexual respecto a la talla.

La banda hialina del opérculo indica periodo de crecimiento rápido, mientras que la banda opaca se relaciona con el periodo de crecimiento lento. La formación de los anillos de crecimiento fue anual. Obteniendo una longevidad de 12 años en hembras y 7 años en machos. Siendo los organismos de entre 3 y 4 años los más abundantes (40%).

El periodo de mayor crecimiento se vio favorecido por la alta disponibilidad de alimento producto de las surgencias eólicas. Por el contrario, el periodo de lento crecimiento se ve influenciada por el periodo de reproducción. La temperatura del agua tuvo una influencia indirecta en el crecimiento al promover los eventos reproductivos.

El modelo de crecimiento que ajustó mejor las edades y tallas fue el de von Bertalanffy. Obteniéndose de esta manera tres ecuaciones para representar el crecimiento de *O. pseudodon*:

$$\begin{split} L_{(t)} &= 5.38 \ cm \ (1-e^{-0.188(t+4.16)}) & \text{para machos,} \\ L_{(t)} &= 6.38 \ cm \ (1-e^{-0.129(t+4.61)}) & \text{para hembras y} \\ L_{(t)} &= 6.48 \ cm \ (1-e^{-0.116(t+5.146)}) & \text{para ambos.} \end{split}$$

El crecimiento de machos y hembras mostró diferencias estadísticamente significativas, situación que sugiere diferencias en los tiempos de maduración sexual, además de un crecimiento diferencial en el que las hembras alcanzan tallas más grandes y viven por más tiempo que los machos.

AGRADECIMIENTOS

A la UNAM que a través de la FES Zaragoza, me abrió sus puertas para permitir mi crecimiento académico. Al Dr. IHSU por la oportunidad de trabajar en el Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera (LBBP), por su asesoría en el desarrollo de este proyecto y por transmitirme la devoción por la Ecología y el respeto hacia nuestra casa, La Tierra. A la Dra. VMSQ por sus enseñanzas, consejos y apoyo para el desarrollo de técnicas y manejo de métodos utilizados. A los doctores José Luis Gómez Márquez, Guillermo Artemio Blancas Arroyo y al Biól. José Luis Guzmán por sus valiosas apreciaciones, consejos y correcciones para mejorar este trabajo. A las personas que hicieron posible la captura de las muestras en Puerto Ángel, Oaxaca: el buzo Manolo Jarquín y el capitán Beto y a sus familias. A nuestros amigos y compañeros del LBBP

Capítulo 3

Edad y crecimiento de *Hexaplex princeps*

Verónica Mitsui Saito Quezada

INTRODUCCIÓN

Lanálisis de la edad y el crecimiento es un tópico fundamental dentro de las pesquerías. Para ello, el estudio de la dimensión temporal a partir de estructuras duras en los organismos se ha denominado como "Esclerocronología". Esta disciplina cubre los problemas de la estimación de la edad tanto como la estimación del tiempo, la duración y los eventos en la vida. Los métodos esclerocronológicos están basados en el estudio de varios tipos de señales que proveen referencias temporales, ya sea estructurales, químicas y ópticas (Panfili *et al.* 2002). Debido al escaso conocimiento biológico de muchos recursos acuáticos, la demanda de datos esclerocronológicos confiables para la toma decisiones en el manejo en pesquerías está creciendo.

La esclerocronología se ha usado para determinar la correlación temporal en conchas de *Arctica islandica* del Holoceno (Marchitto *et al.*, 2000). En algunos bivalvos de la zona templada (Seed, 1980) se encuentran marcas o anillos visibles en las conchas (*annuli*) los cuales se forman en el invierno o al inicio del crecimiento de primavera; en ciertas especies de aguas frías, las marcas en el esqueleto calcáreo pueden ser resultado de la inhibición del crecimiento por las elevadas temperaturas del verano (Wilbur y Owen, 1964). Los moluscos muestran bandas características que son influenciadas por el ambiente. Se puede esperar que parte del registro del crecimiento de individuos dentro de una población sea similar; por ejemplo, cada miembro de una población puede formar una banda gruesa durante un año bueno y una banda delgada durante un subsecuente año malo. Teóricamente los registros de la anchura y la cantidad de esas bandas de

diferentes individuos pueden ser correlacionados y conjuntados para producir la esclerocronología (Marchitto *et al.*, 2000).

Unos de los aspectos que poca atención ha recibido es la determinación de la edad y talla en los gasterópodos en comparación con los pelecípodos. Generalmente el estudio de la edad y el crecimiento en los gasterópodos está basado en las marcas de crecimiento de las estrías de las conchas o en los anillos de los opérculos (Chen y Soong, 2002). La edad y el crecimiento se han evaluado por modelos específicos sin discriminación entre ellos (Miranda *et al.* 2008). En el programa de manejo del Parque Nacional Huatulco (aledaño a Puerto Ángel), se tiene registro de explotación pesquera de 9 especies de gasterópodos. En el litoral del Pacífico, en las costas de Oaxaca se captura predominantemente al caracol chino rosa *Hexaplex erythrotomus*, y al chino negro *Muricanthus nigritus*; a *Pleuropoca princeps* (c, a *Malea ringens*, a *Hexaplex princeps*, *H. erythostomus*, *Phyllonothus brassica*, a *Olivia porphiria*, a *Cypraea annettae* y a *C. cervinetta*. Se utilizan tanto para consumo como para la elaboración de artesanías (CONANP, 2003).

Hexaplex princeps (Broderip 1833) de acuerdo con Keen (1971), se distribuye del Golfo de California a Perú; habita en aguas moderadamente someras, tiene una concha muy espinosa, una altura de 7.62 a 15.24 cm y cuenta de 6 a 7 vueltas; el borde del labio no es grueso, pero está armado con espinas largas, huecas y frondosas. Alrededor de la concha cuenta de 4 a 5 varices compuestas por espinas decoradas. Dentro del labio forma un callo pulido sobre la pared parietal. El canal es curvo, ancho, amplio y espinado de color blanquecino con bandas de color café oscuro y negro (Morris, 1976) (Figura 1).

CLASIFICACIÓN DE Hexaplex princeps

Orden Neogastropoda

Superfamilia: Muricacea

Familia: Muricidea

Subfamilia: Muricinea

Género: Hexaplex Perry, 1810

Hexaplex princeps (Broderip, 1833)



FIGURA 1. Hexaplex princeps (con opérculo).

Área de estudio

Los especímenes fueron colectados a lo largo de la zona costera desde "Punta Cometa" hasta "Playita Tembo" en un total de 12 sitios de litoral rocoso (Tabla 1 y Figura 2).



FIGURA 2. Localización geográfica del área de estudio, Puerto Ángel, Oaxaca, Mexico.
Se indican los sitios de colecta: PC = Punta Cometa; SA = San Agustinillo; Ar = Aragón;
PP = Playa Panteón; Es = Estacahuite; LM = La Mina; BA = Bajos de Aceite; LB = La Boquilla;
Sr = Secretario; Tj = Tijera; Dm = Dominguillo; PT = Playita Tembo; TC = sitio de referencia para Temperatura superficial del agua y concentración de clorofila.

TABLA 1. Posición geográfica de los sitios de colecta de especímenes y datos ambientales (temperatura superficial del agua y concentración de clorofila a.

Sitio	Latitud (N)	Longitud (W)
Punta Cometa (PC)	15° 39′ 35.4″	96° 33′ 16.5″
San Agustinillo (SA)	15° 39′ 48.6″	96° 33′ 01.0″
Playa Panteón (PP)	15° 39′ 56.1″	96° 29′ 27.1″
Aragón (Ar)	15° 39′ 38.2″	96° 31′ 46.8″
Estacahuite (Es)	15° 40′ 04.7″	96° 28′ 54.5″
Bajos de Aceite (BA)	15° 40′ 10.6″	96° 28′ 29.6″
La Mina (LM)	15° 40′ 26.7″	96° 28′ 35.7″
La Boquilla (LB)	15° 40′ 48.3″	96° 27′ 58.4″
Secretario (Sr)	15° 41′ 02.3″	96° 27′ 00.5″
Tijera (Tj)	15° 41′ 20.2″	96° 26′ 26.3″
Dominguillo (Dm)	15° 41′ 35.0″	96° 26′ 02.2″
Playita, Tembo (PT)	15° 41′ 36.1″	96° 25′ 54.3″
Temperatura y Clorofila (TC)	15° 38′ 44.9″	96° 28′ 45.0″

MATERIAL Y MÉTODO

Las muestras se obtuvieron con periodicidad aproximadamente mensual de febrero de 2012 a noviembre de 2014 a partir de la captura artesanal en varias localidades con litoral rocoso aledañas a Puerto Ángel, de Oaxaca, México, desde Punta Cometa al Oeste hasta Playita Tembo al Occidente. Las localidades en detalle se muestran en la Figura 1 y su geoposición se incluye en la Tabla 1. Estos sitios se encuentran encuentran dentro de la Región Marítima Prioritaria No. 35: Mazunte-Puerto Ángel caracterizada por un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y tormentas tropicales; se encuentra en la Trinchera Mesoamericana (subducción) con afloramientos rocosos ígneos y metamórficos; existen acantilados, playas, bahías y arrecifes además de que en sus aguas se manifiestan surgencias invernales, influencia de las corrientes Norecuatorial y Costera de Costa Rica, oleaje alto, aporte dulceacuícola por ríos así como la ocurrencia de marea roja y el fenómeno de "El Niño" (Arriaga-Cabrera et al. 1998; actualizado en Junio, 2017).

CAPÍTULO 3. Edad y crecimiento de Hexaplex princeps

Los organismos fueron capturados con la ayuda de dos buzos libres locales con una embarcación de 8 m de eslora con motor fuera de borda de 40 caballos de fuerza. Se colectaron individuos en litorales rocosos a profundidades de 5 a 15 m y de las 9:00 a las 12:00 hrs. tiempo local. Los sitios de colecta se determinaron en cada fecha de acuerdo con las condiciones atmosféricas y oceánicas, así como por el conocimiento de los buzos acerca de la disponibilidad de la especie en la zona. Los especímenes se conservaron en mezcla frigorífica (hielo-sal) y se llevaron a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. A una submuestra de la captura (10 a 15 individuos) se les extrajeron las partes blandas y se fijaron en formol al 10% con agua de mar para el estudio histológico posterior de las gónadas; en el laboratorio, el resto de los organismos se analizaron en detalle, siendo evaluados en longitud, ancho, peso total y se determinó su sexo.

Se separaron los opérculos (Figura 3), los cuales fueron lavados y pesados (po), y las conchas individuales se midieron en altura (desde el ápice hasta la base) con un vernier (±0.01 cm) siguiendo las recomendaciones de Morris (1969) y Gluyas-Millán *et al.* (1999), para después pulirlos con el propósito de ver los anillos de crecimiento y medirlos (Saito-Quezada, 2010). Posteriormente la concha se cortó horizontalmente con una sierra (Cudney-Bueno, 2007); lo anterior para facilitar la observación y conteo de las marcas indicadoras de la edad. Con las edades estimadas y las tallas correspondientes se analizó el crecimiento por medio de los modelos de von Bertalanffy, de Gompertz y Logístico. Los parámetros de estas funciones se estimaron por métodos de regresión lineal y no lineal, simple y ponderada (Salgado-Ugarte, *et al.* 2005).

Una vez que se separó la concha del tejido blando este se pesó para obtener el peso total de tejido (ptt); a éste, se le separaron y pesaron: el callo (pc), la gónada (pg) y la glándula digestiva (pd) para el cálculo de los índices morfofisiológicos (Gabbot y Walker, 1971; Salgado-Ugarte, 1995; Salgado-Ugarte *et al.* 2005).

Todos los datos cuantitativos y cualitativos fueron sometidos a métodos de análisis estadístico exploratorio y confirmatorio (Salgado-Ugarte, 1992; 2013; 2017).

La distribución de las medidas de longitud, ancho y peso total se examinó por medio de histogramas mejorados, conocidos como **estimadores de densidad por kernel** (Silverman, 1986; Härdle, 1990; Scott, 1992; Salgado-Ugarte, 2002). Para determinar la estructura poblacional por tallas; el número de individuos de cada sexo se utilizó para analizar la proporción sexual.

Para la lectura de las marcas de crecimiento se llevaron a cabo en los opérculos, el conteo se realizó con una lupa y luz reflejada, las medidas se llevaron a cabo con un caliper digital del foco a cada marca.



FIGURA 3. Opérculo de Hexaplex princeps.

La estimación de los parámetros de las funciones de crecimiento se llevó a cabo por medio de regresión no lineal simple y ponderada a los datos de talla-edad por medio de rutinas computarizadas específicas para los programas Stata y R (Salgado-Ugarte, et al. 2005; Salgado-Ugarte, 2016; Verzani, 2014; Ogle, 2016; Gómez-Márquez, et al. 2017).

Para la comparación de los parámetros (L_{∞} , k, t_{o}) de los modelos de crecimiento de von Bertalanffy, Gompertz y Logístico obtenidos de las lecturas de edad de los opérculos, se realizó la prueba multivariada de T^{2} de Hotelling (Bernard, 1981; Salgado-Ugarte et al. 2005), la prueba de razón de verosimilitud y la prueba *F* de Roff (Kimura, 1980; Haddon, 2000; Salgado-Ugarte, *et al.* 2005; Roff, 2006; Ogle, 2016; Gómez-Márquez, et al. 2017).

Se obtuvieron los valores de la temperatura superficial del mar (TSM) de acuerdo con los registros de Climate Diagnostic Center of the National Oceanography and Atmospheric Administration (NOAA, http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.nmc/.Reyn_SmithOlv2/.monthly/.sst/)

Para los cálculos cuantitativos y cualitativos se utilizaron diversos programas (Excel, Stata, NCSS, MINITAB, SPSS y R entre otros).

RESULTADOS

La relación de organismos considerados para este apartado capturados en cada muestreo se presenta en el Tabla 2. En total se obtuvieron 804 individuos, de febrero de 2012 a diciembre de 2014.

Fecha	Frecuencia	Porcentaje	Acumulado
23/02/2012	26	3.23	3.23
22/03/2012	64	7.96	11.19
26/04/2012	11	1.37	12.56
18/05/2012	13	1.62	14.18
15/06/2012	23	2.86	17.04
20/07/2012	8	1.00	18.03
23/08/2012	25	3.11	21.14
28/09/2012	109	13.56	34.70
26/10/2012	30	3.73	38.43
24/11/2012	25	3.11	41.54
26/04/2013	46	5.72	47.26
23/08/2013	14	1.74	49.00
25/10/2013	14	1.74	50.75
22/11/2013	38	4.73	55.47
24/01/2014	93	11.57	67.04
21/02/2014	2	0.25	67.29
21/03/2014	26	3.23	70.52
25/04/2014	60	7.46	77.99
23/05/2014	53	6.59	84.58
15/08/2014	42	5.22	89.80
24/10/2014	13	1.62	91.42
28/11/2014	57	7.09	98.51
21/12/2014	12	1.49	100.00
Total	804	100.00	

TABLA 2. Resumen del número de individuos de Hexaplex princeps.

SI

Solamente en el mes de agosto de 2012 el número de hembras fue significativamente mayor que el de machos con una proporción aproximada de tres hembras por cada dos machos (Tabla 3a). En todos los demás meses y años, la prueba no señaló proporciones diferentes a de un macho por hembra (1:1).

La composición por tallas se describe por medio de los estimadores de densidad por kernel. Para el total de las hembras (N = 389) la distribución de tallas se concentró entre los 9 y 10 cm de largo. Disminuyendo la amplitud de banda "óptima" de Silverman (1986) a la mitad se pudieron distinguir 7 modas, de las cuales las dominantes fueron 8.5, 9.25 y 9.52 y las menores (a tallas menores o mayores) fueron 4.76, 5.85, 6.60 y 12.58 (Figura 4)

TABLA 3a. Número de individuos por sexo y fecha de colecta. Se incluye la proporción sexual y su significancia estadística (χ^2 con corrección de Yates).

Fecha de colecta	Total	Machos	Hembras	Proporción Macho:Hembra	χ^2 (Yates)	Р
23/FEB/2012	26	15	11	1.36:1.00	0.3461	0.55
22/MAR/2012	34	18	16	1.12:1.00	0.029	0.86
26/ABR/2012	11	6	5	1.20:1.00	0.000	1.00
18/MAY/2012	13	9	4	2.25:1.00	1.231	0.27
15/JUN/2012	23	9	14	1.00:1.56	0.696	0.40
20/JUL/2012	8	6	2	3.00:1.00	1.125	0.29
23/AGO/2012	25	8	17	1.00:2.13	2.560	0.11
28/SEP/2012	109	42	67	1.00:1.60	5.284	0.02*
26/OCT/2012	30	18	12	1.50:1.00	0.833	0.36
24/NOV/2012	25	13	12	1.08:1.00	0.000	1.00
26/ABR/2013	46	20	26	1.00:1.30	0.543	0.46
23/AGO/2013	14	10	4	2.50:1.00	1.786	0.181
25/OCT/2013	14	9	5	1.80:1.00	0.643	0.423
22/NOV/2013	38	16	22	1.00:1.38	0.660	0.427
24/ENE/2014	93	40	53	1.00:1.33	1.548	0.213
21/FEB/2014	2	2	0		0.500	0.479

S S S **TABLA 3a.** Número de individuos por sexo y fecha de colecta. Se incluye la proporción sexual y su significancia estadística (χ^2 con corrección de Yates) (*continuación*).

Fecha de colecta	Total	Machos	Hembras	Proporción Macho:Hembra	χ^2 (Yates)	Р
21/MAR/2014	26	16	10	1.6:1.00	0.961	0.327
25/ABR/2014	60	33	27	1.22:1.00	0.417	0.519
23/MAY/2014	53	27	26	1.03:1:00	0.000	1.000
15/AGO/2014	42	25	17	1.47:1.00	1.167	0.280
24/OCT/2014	13	4	9	1.00:2.25	1.231	0.267
28/NOV/2014	57	32	25	1.28:1.00	0.632	0.427
21/DIC/2014	12	7	5	1.40:1.00	0.083	0.773
Total	774	385	389	1:00:1.03	0.011	0.914

La distribución del largo de la concha para el total de machos (N = 385) mostró un comportamiento semejante al de las hembras, con cuatro modas dominantes (8.51, 9.28, 10.17 y 10.88 cm) y cuatro de baja frecuencia indicando los ejemplares más pequeños (6.21) y los más grandes (12.42, 13.76 y 14.34) (Figura 5).





FIGURA 4. *EDK* gaussiano para el largo del total de hembras (*N* = 389), con banda de 0.17 (1/2 de "óptima" de Silverman). Las modas principales están a los 8.5, 9.25 y 9.52 cm y las de bajas frecuencias a los 4.76, 5.85, 6.6 (individuos pequeños) y 12.58 cm (individuos grandes).



FIGURA 5. *EDK* gaussiano para el largo del total de machos (*N* = 385), con banda de 0.16 (1/2 de "óptima"). Las modas principales están a los 8.51, 9.28, 10.18 y 10.88 cm y las de baja frecuencia a los 6.21 (individuos pequeños) y 12.41, 13.76 y 14.34 cm (individuos grandes).

Stor Jon

El recorrido del largo de concha para machos fue de 14.6 - 6.23 = 8.37 cm y el de las hembras de 13.45 - 4.66 = 8.79. Los machos abarcaron tallas un poco mayores que las hembras, sin embargo, la prueba para comparar dos distribuciones de Kolmogorov-Smirnov (Sokal y Rolf, Conover, 1999; StataCorp, 2013) no mostró diferencia significativa (D = 0.0556, P (corregida) = 0.561).

Fecha de colecta	Total	Machos	Hembras	Proporción Macho:Hembra	χ^2 (Yates)	Р
4.00-4.99	3	0	3		1.333	0.25
5.00-5.99	6	0	6		4.166	0.04*
6.00-6.99	16	4	12	1.00:3.00	3.062	0.08*
7.00-7.99	61	28	33	1.00:1.18	0.262	0.61
8.00-8.99	166	90	76	1.18:1.00	1.018	0.31
9.00-9.99	245	124	121	1.02:1.00	0.016	0.90
10.00-10.99	186	95	91	1.04:1.00	0.048	0.83
11.00-11.99	68	33	35	1.00:1.06	0.014	0.90
12.00-12.99	16	7	9	1.00:1.28	0.062	0.80
13.00-13.99	4	1	3	1.00:3.00	0.250	0.62
14.00-14.99	2	2	0		0.500	0.48
Total	773	384	389	1.00:1.01	0.020	0.89

TABLA 3b. Número de individuos por sexo y categoría de largo. Se incluye la proporción sexual y su significancia estadística (χ^2 con corrección de Yates).

En la Tabla 3b se ha incluido la proporción sexual por categoría de tamaño en la que se aprecia que hay una predominancia significativa de hembras a tallas menores y una dominancia de machos a tallas mayores.

La distribución de tallas (largo de la concha en cm) por eventos de muestreo se presenta en las Figuras 6 (hembras), 7 (machos) y 7.5 (ambos sexos). En ellas se ha indicado la moda principal total de los tamaños.





FIGURA 6. Distribución del largo de la concha (cm) por fecha de muestreo para las hembras de *H. princeps*. La línea vertical indica la moda predominante del total de tallas (9.52 cm).

O.Z

A O ST



FIGURA 7. Distribución del largo de la concha (cm) por fecha de muestreo para los machos de *H. princeps*. La línea vertical indica la moda predominante del total de tallas (9.28 cm).

GU

Tes .



FIGURA 7.5. Diagrama "Beanplot" para largo de la concha (cm) por sexos y fecha de muestreo de *H. princeps*.

Análisis de opérculos

De los 804 individuos obtenidos en 21 eventos de colecta, fue posible analizar 665 opérculos. Los restantes no pudieron ser estudiados debido a su mal estado que no permitió distinguir las marcas de crecimiento (Tabla 4). En un espécimen no se midió el borde por estar dañado.

Fecha de colecta	Frecuencia	Porcentaje	% Acumulado
23/02/2012	25	3.76	3.76
26/04/2012	35	5.26	9.02
18/05/2012	13	1.95	10.98
15/06/2012	23	3.46	14.44
20/07/2012	8	1.20	15.64
15/08/2012	25	3.76	19.40
28/09/2012	108	16.24	35.64
26/10/2012	29	4.36	40.00
24/11/2012	25	3.76	43.76
26/04/2013	45	6.77	50.53
23/08/2013	11	1.65	52.18

TABLA 4. Resumen del número de opérculos de Hexaplex princeps obtenidos.

Fecha de colecta	Frecuencia	Porcentaje	% Acumulado
25/10/2013	14	2.11	54.29
22/11/2013	38	5.71	60.00
24/01/2014	72	10.83	70.83
21/02/2014	4	0.60	71.43
21/03/2014	19	2.86	74.29
25/04/2014	48	7.22	81.50
23/05/2014	34	5.11	86.62
15/08/2014	35	5.26	91.88
24/10/2014	11	1.65	93.53
28/11/2014	43	6.47	100.00
Total	665	100.00	

TABLA 4. Resumen del número de opérculos de *Hexaplex princeps* obtenidos (*continuación*).

En cuanto a los radios, la marca más pequeña fue de 1.09 mm y la más grande alcanzó los 35.01 mm. El opérculo más pequeño midió 3.5 mm y el más grande 38.95 mm (Tabla 5). Los valores promedio para cada radio incluidos en esta tabla se representan gráficamente por diagramas de caja y bigotes (Figura 8). El número máximo de marcas fue de 26 observándose en un solo individuo, el cual fue el único con anillos 24 y 25.

En conjunto, la cantidad de medidas tomadas en los opérculos y por todos los radios representan un total de 10,808 mediciones (Tabla 5).

Anillo	Frecuencia	Media	D. Estándar	Mínimo	Máximo
al	663	2.6708	0.2349	1.09	3.92
a2	664	4.4228	0.4443	1.68	6.14
a3	665	6.0862	0.6674	2.42	8.48
a4	665	7.6744	0.9056	3.71	11.11

TABLA 5. Resumen numérico de las medidas de los anillos en los opérculos de H. princeps.

TABLA 5. Resumen numérico de las medidas de los anillos en los opérculos de *H. princeps* (continuación).

×+	TABLA 5. Resumen numérico de las medidas de los anillos en los opérculos de <i>H. princeps</i> (continuación).							
(6.)	Anillo	Frecuencia	Media	D. Estándar	Mínimo	Máximo		
	а5	665	9.2106	1.1021	4.61	13.55		
ST	a6	665	10.8230	1.2787	5.74	16.15		
ES	a7	664	12.4292	1.4420	6.80	17.92		
	a8	663	14.1189	1.6721	7.54	20		
	a9	662	15.8272	1.8378	8.99	21.51		
	a10	658	17.5735	2.0250	10.06	24.73		
	a11	651	19.3803	2.2203	11.99	28.07		
	a12	636	21.1773	2.3185	12.85	29.73		
	a13	596	22.8867	2.4193	13.31	32.22		
	a14	538	24.4263	2.3616	16.19	32.01		
	a15	414	25.7385	2.3722	17.69	32.55		
	a16	281	26.9275	2.4503	18.91	34.61		
	a17	182	28.1220	2.4342	20.42	33.61		
	a18	110	29.2079	2.2966	22.53	33.95		
	a19	55	30.3131	2.3202	23.83	36.63		
	a20	26	31.0177	2.4115	25.63	35.05		
	a21	11	31.5636	2.9446	27.06	35.05		
	a22	4	31.6550	3.1058	28.52	35.28		
	a23	3	34.3433	2.5637	31.62	36.71		
	a24	1	32.7900	-	32.79	32.79		
	a25	1	34.0100	-	34.01	34.01		
	a26	1	35.0100	-	35.01	35.01		
	Borde	664	7.6348	1.1646	3.50	38.95		
	Total Acum	10808	15.5318	8.2814	1.09	38.95		

O.J

6)



FIGURA 8. Diagramas de caja y bigotes para los radios de los anillos en opérculos de *H. princeps*.

Validación de la periodicidad de las marcas

La razón del incremento marginal se presenta en las Figuras 9 (hembras) y 10 (machos). En ambas se observan valores altos en agosto y valores bajos a fines e inicios de año, lo que sugiere una periodicidad de formación anual.

Debido a que las tendencias no son claramente observables se decidió aplicar la suavización no lineal resistente (Velleman, 1980; Salgado-Ugarte, 2017), método eficiente para recuperar la tendencia de los datos evitando la influencia de casos extraordinarios y valores faltantes. Para sustituir a los valores faltantes y para seguir la tendencia de los datos y evitar la introducción de valores extraordinarios se utilizó una interpolación lineal simple previa a la suavización. Los resultados se presentan en las Figuras 11 (machos) y 12 (hembras).

Es claro de estas Figuras que valores mínimos se observaron a fines e inicios del año sobre todo en las hembras. En los machos el mínimo 2013-2014 se atrasa y se hace menos evidente. No obstante, parece razonable considerar una periodicidad anual en la formación de las marcas de crecimiento, las cuales parecen originarse a fines de cada año.



FIGURA 9. Razón del incremento marginal para las hembras. La línea conecta valores medianos de cada fecha.



FIGURA 10. Razón del incremento marginal para los machos. La línea conecta valores medianos de cada fecha.

6)

STA C





FIGURA 11. Valores medianos logarítmicos (por 10⁶) de *RIM* suavizados (4253EH,doble) para los machos a lo largo de la temporada de estudio. Se incluye línea horizontal con la mediana de los valores (como referencia) y líneas verticales para separar años.



FIGURA 12. Valores medianos logarítmicos (por 10⁶) de *RIM* suavizados (4253EH,doble) para las hembras a lo largo de la temporada de estudio. Se incluye línea horizontal con la mediana de los valores (como referencia) y líneas verticales para separar años.

SU
Crecimiento

Considerando que el incremento marginal sugiere una formación de marca cada año, se estimaron funciones de crecimiento por medio de regresión no lineal. Los resultados de estas estimaciones se presentan en las Tablas 6 a 8 y en la Figura 13.

TABLA 6. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal de la Función de Crecimiento de von Bertalanffy para el total de individuos.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones	662
Modelo	58883.4514	3	19627.8171	F(3,659) =	22858.17
Residual	565.869123	659	0.8586	Prob > F =	0.0000
Total	59449.3206	662	89.8026	R ² =	0.9905
				R ² ajustada =	0.9904
				Error estimación =	0.9266
				Desv. Residual =	1774.805

Función de crecimiento de von Bertalanffy, $I_t = L_{\infty} (1 - exp(-k(t - t_o)))$

Largo	Coef.	Error.est.	t	Р	I. De C. del 95%	
L _∞	14.1970	1.2024	11.81	0.000	11.8360	16.5579
k	0.0830	0.0202	4.12	0.000	0.4340	0.1226
t_o	2.0148	1.1897	1.69	0.091	-0.3213	4.3508

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

TABLA 7. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal de la Función de Crecimiento de Gompertz para el total de individuos.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones	662
Modelo	58883.1915	3	19627.7305	F(3,659) =	22847.57
Residual	566.1291	659	0.8591	Prob > F =	0.0000
Total	59449.3206	662	89.8026	R ² =	0.9905
				R ² ajustada =	0.9904
				Error estimación =	0.9269
				Desv. Residual =	1775.109

Función de crecimiento de Gompertz, $I_t = L_{\infty} exp(-exp(-k(t - t_o)))$

Largo	Coef.	Error.est.	t	Р	I. De C. del 95%	
L	13.0493	0.7316	17.84	0.000	11.6127	14.4859
k	0.1315	0.02213	5.94	0.000	0.0880	0.1749
t _o	6.6013	0.3272	20.18	0.000	5.9589	7.2437

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

TABLA 8. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal de la Función de Crecimiento Logística para el total de individuos

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones	662
Modelo	58882.594	3	19627.5313	F(3,659) =	22823.25
Residual	566.7265	659	0.8599	Prob > F =	0.0000
Total	59449.3206	662	89.8026	R ² =	0.9905
				R ² ajustada =	0.9904
				Error estimación =	0.9273
				Desv. Residual =	1775.807

Función de crecimiento Logística, $l_t = L_{\infty} / (1 - exp(-k(t - t_0)))$

Largo	Coef.	Error.est.	t	Р	l. De C. o	del 95%
L	12.4726	0.5410	23.06	0.000	11.4106	13.5347
k	0.1780	0.0240	7.42	0.000	0.1309	0.2251
t _o	8.7921	0.3434	25.60	0.000	8.1177	9.4663

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)





FIGURA 13. Funciones de crecimiento (von Bertalanffy, Gompertz y Logística) para el total de individuos de *Hexaplex princeps.*

Crecimiento por sexo

22

Para investigar si existe diferencia de crecimiento entre individuos de sexo diferente, se llevó a cabo el ajuste de las funciones a los datos de edad – talla para machos y para hembras (Tabla 9).

El ajuste de la función de crecimiento de von Bertalanffy sólo fue posible para las hembras. Los resultados de las regresiones para las hembras se muestran en las Tablas 12 a 14 y en la Figura 15. Las Tablas 12 y 13 presentan los valores numéricos de los ajustes de las funciones de Gompertz y Logística para los machos y su versión gráfica se incluye en la Figura 14. Puede apreciarse que, en estos dos últimos casos, los resultados no parecen tan apropiados considerando la baja significancia de los estimadores paramétricos, sobre todo el alto valor de la longitud asintótica.

TABLA 9. Frecuencia de individuos de cada sexo y por cada edad.

Edad	Machos	Hembras	Total
7	0	1	1
8	0	1	1
9	1	3	4
10	1	6	7
11	7	8	15
12	21	19	40
13	30	26	56
14	58	61	119
15	64	66	130
16	42	55	97
17	30	41	71
18	29	25	54
19	19	9	28
20	7	8	15
21	2	5	7
22	1	1	2
23	0	1	1
26	1	0	1
Total	313	336	649

A CO FD IS

TABLA 10. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal de la Función de Crecimiento de Gompertz para machos.

S S	TABLA 10. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal de la Función de Crecimiento de Gompertz para machos.								
	Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	313			
	Modelo	28442.5642	3	9474.18815	F(3,310) =	11719.84			
C?	Residual	250.6006	310	0.8084	Prob > F =	0.0000			
EL.	Total	28673.1648	313	91.6075	R ² =	0.9913			
					R ² ajustada =	0.9912			
					Error estimación =	0.8991			
					Desv. Residual =	818.6623			

Función de crecimiento de Gompertz, $I_t = L_{\infty} exp(-exp(-k(t - t_{\alpha})))$

Largo	Coef.	Error.est.	t	Р	l. De C. del 95%	
L _∞	29.2826	28.5881	1.02	0.306	-26.9687	85.5339
К	0.0350	0.0311	1.12	0.262	-0.0263	0.0962
t _o	18.7711	27.8751	0.67	0.501	-36.0772	73.6194

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

TABLA 11. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal de la Función de Crecimiento Logística para machos.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	313
Modelo	28422.7352	3	19627.5313	F(3,310) =	11727.91
Residual	250.4296	310	0.8078	Prob > F =	0.0000
Total	28673.1648	313	91.6075	R ² =	0.9913
				R ² ajustada =	0.9912
				Error estimación =	0.8987
				Desv. Residual =	818.4486

Función de crecimiento Logística, $I_t = L_{\infty} / (1 - exp(-k(t - t_{0})))$

Largo	Coef.	Error.est.	t	Р	I. De C. del 95%	
L	20.3505	9.0575	2.25	0.025	2.5285	38.1725
К	0.0742	0.0309	2.40	0.017	0.0134	0.1351
t _o	17.1763	12.0546	1.42	0.155	-6.5429	40.8954

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)



FIGURA 14. Funciones de crecimiento para machos de Hexaplex princeps.

TABLA 12. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal de la Función de Crecimiento de von Bertalanffy para las hembras.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	336
Modelo	29490.7101	3	9830.2367	F(3,333) =	11165.17
Residual	293.1857	333	0.8804	Prob > F =	0.0000
Total	29783.8958	336	88.6425	R ² =	0.9902
				R ² ajustada =	0.9901
				Error estimación =	0.9383
				Desv. Residual =	907.7282

Función de crecimiento de von Bertalanffy, $I_t = L_{\infty} (1 - exp(-k(t - t_o)))$

Largo	Coef.	Error. est.	t	Р	l. De C.	del 95%
L	12.5315	0.7230	17.33	0.000	11.8360	16.5579
К	0.1255	0.0251	5.00	0.000	0.4340	0.1226
t _o	4.0125	0.8554	4.69	0.000	-0.3213	4.3508

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

SI

TABLA 13. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal de la Función de Crecimiento de Gompertz para hembras.

- Alexandre	TABLA 13. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal de								
6	la Función de Crecimiento de Gompertz para hembras.								
	Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	336			
	Modelo	29492.6211	3	9830.8737	F(3,333) =	11239.15			
C?	Residual	291.2747	333	0.8747	Prob > F =	0.0000			
EL	Total	29783.8958	336	88.6425	R ² =	0.9902			
					R² ajustada =	0.9901			
					Error estimación =	0.9353			
					Desv. Residual =	905.531			
	Función de c	recimiento de G	iompertz, $I_t =$	$L_{\infty} exp(-exp(-exp(-exp(-exp(-exp(-exp(-exp(-$	$k(t-t_o)))$				

Largo	Coef.	Error.est.	t	Р	l. De C. del 95%	
L _∞	11.7405	0.4528	25.93	0.000	10.8498	12.6312
К	0.1935	0.0287	6.73	0.000	0.1369	0.2499
to	7.2343	0.3728	19.40	0.000	6.5009	7.9676

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

TABLA 14. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal de la Función de Crecimiento Logística para hembras.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	336
Modelo	29493.7138	3	9831.2379	F(3,333) =	11281.90
Residual	290.1819	333	0.8714	Prob > F =	0.0000
Total	29783.8958	336	88.6425	R ² =	0.9903
				R ² ajustada =	0.9902
				Error estimación =	0.9335
				Desy Residual =	904 268

Función de crecimiento Logística, $l_{t} = L_{m} / (1 - exp(-k(t - t_{n})))$

Largo	Coef.	Error.est.	t	Р	I. De C. del 95%	
L	11.3386	0.3383	33.52	0.000	10.6732	12.0040
Κ	0.2589	0.03249	7.99	0.000	0.1951	0.3226
t _o	8.8685	0.2869	30.91	0.0005	8.3041	9.4330

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)



FIGURA 15. Funciones de crecimiento para hembras de Hexaplex princeps.

Retrocálculo

En primer lugar, se presenta la relación longitud de la concha con radio del opérculo (Figura 16). La regresión cuadrática dio el mejor ajuste a estos datos (Tabla 15).

TABLA 15. Resumen estadístico del ajuste por regresión cuadrática para el largo de la concha con el radio total del opérculo para el total de individuos.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de obse	ervaciones =	662
Modelo	822.6491	2	411.3245	F(2,659) =		865.31
Residual	313.2553	659	0.4753	Prob > F =		0.0000
Total	1135.9044	661	1.7185	R ² =		0.7242
				R ² ajustada =		0.7234
				Error estimad	ción =	0.6895
Largo	Coef.	Error.est.	t	Р	I. De C.	del 95%
Lb	0.1748	0.05923	33.52	0.000	10.6732	12.0040
Lb ²	0.0024	0.0011	7.99	0.000	0.1951	0.3226
Cte.	2.6514	0.7947	30.91	0.0005	8.3041	9.4330

SI



FIGURA 16. Relación largo de la concha – radio total del opérculo, total de individuos de *Hexaplex princeps*.

Con la información de esta regresión, se hace el retrocálculo (Tabla 16) y se calculan las funciones de crecimiento por regresión no lineal simple para el total de individuos: von Bertalanffy (Tabla 17), Gompertz (Tabla 18) y Logística (Tabla 19), (Figura 17).

~ 57.

TABLA 16. Retrocálculo para el total de individuos de *Hexaplex princeps* de acuerdo con la regresión cuadrática: *I* = 2.65 + .01740*R* + 0.0024*R*²; R = radio a cada marca

Frecuencia	Radio	Desv.Est.	Longitud de la concha por retrocálculo (cm)	Edad estimada (años)
662	2.67	0.23	3.1354	1
663	4.42	0.44	3.4712	2
664	6.09	0.67	3.8036	3
664	7.68	0.91	4.1334	4
664	9.21	1.10	4.4637	5
664	10.83	1.28	4.8225	6
664	12.43	1.44	5.1917	7
663	14.12	1.67	5.5937	8
662	15.83	1.84	6.0139	9
658	17.57	2.03	6.4579	10
651	19.38	2.22	6.9325	11
636	21.18	2.32	7.4198	12
596	22.89	2.42	7.8977	13
538	24.43	2.36	8.3400	14
414	25.74	2.37	8.7258	15
281	26.93	2.45	9.0825	16
182	28.12	2.43	9.4476	17
110	29.21	2.30	9.7854	18
55	30.31	2.32	10.1350	19
26	31.02	2.41	10.3609	20
11	31.56	2.94	10.5375	21
4	31.66	3.11	10.5672	22
3	34.34	2.56	11.4589	23
1	32.79	0.00	10.9395	24
1	34.01	0.00	11.3464	25
1	35.01	0.00	11.6853	26

60

Res.

TABLA 17. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (simple) de la Función de Crecimiento de von Bertalanffy por retrocálculo para el total de individuos

(d) X	TABLA 17. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (simple) de la Función deCrecimiento de von Bertalanffy por retrocálculo para el total de individuos								
	Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	26			
I I I I I I I I I I I I I I I I I I I	Modelo	1759.0331	3	586.3444	F(3,23) =	9495.23			
C?	Residual	1.4203	23	0.0617	Prob > F =	0.0000			
EL	Total	1760.4534	26	67.7097	R ² =	0.9992			
					R ² ajustada =	0.9991			
					Error estimación =	0.2485			
					Desv. Residual =	-1.8034			

Función de crecimiento de von Bertalanffy, $I_t = L_{\infty} (1 - exp(-k(t - t_0)))$

Largo	Coef.	Error.est.	Т	Р	I. De C. del 95%	
L _∞	23.3821	3.5904	6.51	0.000	15.9547	30.8095
К	0.0233	0.0054	4.34	0.000	0.0122	0.0345
t _o	-4.4194	0.6345	-6.96	0.000	-5.7320	-3.1068

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

TABLA 18. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (simple) de la Función de Crecimiento de Gompertz por retrocálculo para el total de individuos.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	26
Modelo	1759.6657	3	586.5552	F(3,23) =	17127.00
Residual	0.7877	23	0.0325	Prob > F =	0.0000
Total	1760.4534	26	67.7097	R ² =	0.9996
				R ² ajustada =	0.9995
				Error estimación =	0.1851
				Desv. Residual =	-17.1306

Función de crecimiento de Gompertz, $I_t = L_{\infty} exp(-exp(-k(t - t_o)))$

Largo	Coef.	Error.est.	Т	Р	I. De C. del 95%	
L _∞	14.7002	0.4930	29.82	0.000	13.6804	15.7201
К	0.0789	0.0046	17.21	0.000	0.0694	0.0884
t _o	7.0962	0.4626	15.34	0.000	6.1392	8.0533

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

TABLA 19. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (simple) de la Función deCrecimiento Logística por retrocálculo para el total de individuos.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	26
Modelo	1759.9771	3	586.6590	F(3,23) =	28327.24
Residual	0.4763	23	0.0207	Prob > F =	0.0000
Total	1760.4534	26	67.7097	R ² =	0.9997
				R ² ajustada =	0.9997
				Error estimación =	0.1439
				Desv. Residual =	-30.2084

Función de crecimiento Logística, $l_t = L_{\infty} / (1 - exp(-k(t - t_{\alpha})))$

Largo	Coef.	Error.est.	t	Р	I. De C.	
L _∞	12.9071	0.2002	64.48	0.000	12.4930	13.3212
К	0.1345	0.00420	32.34	0.000	0.1259	0.1432
t _o	9.7269	0.2854	34.09	0.000	9.1365	10.3172

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)



FIGURA 17. Curvas de crecimiento por regresión no lineal (simple) por retrocálculo para el total de individuos de *Hexaplex princeps*.

51.

Retrocálculo por sexos

Para los machos

El resumen numérico de la regresión cuadrática para la relación largo de la concha – radio del opérculo se muestra en la Tabla I.20 y su gráfica se incluye en la Figura 18.

TABLA 20. Resumen estadístico del ajuste por regresión cuadrática para el largo de la concha con el radio total del opérculo para los machos de *Hexaplex princeps*.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	313
Modelo	325.0709	2	162.5354	F(2,310) =	326.04
Residual	154.5374	310	0.4985	Prob > F =	0.0000
Total	479.6083	312	1.5372	R ² =	0.6778
				R ² ajustada =	0.6757
				Error estimación =	0.7060

Radio total	Coef.	Error.est.	t	Р	I. De C.	
R	0.1619	0.1469	1.10	0.271	-0.1272	0.4510
R ²	0.0025	0.0026	0.98	0.330	-0.0026	0.0077
Cte.	2.9578	2.0594	1.44	0.152	-1.0944	7.0101



FIGURA 18. Relación largo de la concha – radio total del opérculo, machos de *Hexaplex princeps*.

Las longitudes retrocalculadas por la regresión cuadrática se resumen en la Tabla 21.

TABLA 21. Retrocálculo para los machos de *Hexaplex princeps* de acuerdo a la regresión cuadrática: *l* = 2.95 + .01619R + 0.0025R²; R = radio a cada marca.

Frecuencia	Radio (mm)	Desviación. eestándar	Longitud de la concha por retrocálculo (cm)	Edad estimada (años)
312	2.6628	0.2235	3.4070	1
312	4.4345	0.4395	3.7258	2
313	6.1041	0.6408	4.0408	3
313	7.6923	0.8568	4.3537	4
313	9.2315	1.0141	4.6691	5
313	10.8264	1.1734	5.0086	6
313	12.4454	1.3577	5.3665	7

51.

TABLA 21. Retrocálculo para los machos de *Hexaplex princeps* de acuerdo a la regresión cuadrática: *I* = 2.95 + .01619R + 0.0025R²; R = radio a cada marca (*continuación*).

Frecuencia	Radio (mm)	Desviación. eestándar	Longitud de la concha por retrocálculo (cm)	Edad estimada (años)
313	14.1519	1.6006	5.7581	8
313	15.8812	1.7941	6.1701	9
312	17.5864	2.0269	6.5912	10
311	19.3736	2.2149	7.0484	11
304	21.1075	2.3208	7.5075	12
283	22.7836	2.2566	7.9658	13
253	24.2626	2.1829	8.3821	14
196	25.6061	2.2157	8.7699	15
131	26.8805	2.2428	9.1462	16
89	28.2007	2.2412	9.5448	17
59	29.4010	2.1257	9.9148	18
30	30.6187	2.4882	10.2977	19
11	31.3400	2.5862	10.5280	20
4	31.9600	3.6785	10.7282	21
2	31.4100	2.4183	10.5505	22
2	33.1600	2.1779	11.1210	23
1	32.7900	0.0000	10.9991	24
1	34.0100	0.0000	11.4037	25
1	35.0100	0.0000	11.7410	26

Los ajustes de las ecuaciones de crecimiento por regresión no lineal (simple) se resumen en las Tablas 22 a 24 y en la Figura 19.

TABLA 22. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (simple) de la Función deCrecimiento de von Bertalanffy por retrocálculo para los machos.

Fuente	SC	GI	СМ	No. de observaciones =	26
Modelo	1795.2825	3	598.4275	F(3,23) =	9699.86
Residual	1.4190	23	0.0669	Prob > F =	0.0000
Total	1796.7014	26	69.1039	R ² =	0.9992
				R ² ajustada =	0.9991
				Error estimación =	0.2484
				Desv. Residual =	-1.8274
E 1/ 1			1 1 1 4		

Función de crecimiento de von Bertalanffy, $I_t = L_{\infty} (1 - exp(-k(t - t_0)))$

Largo	Coef.	Error.est.	Т	Р	I. De C.	del 95%
L	23.5487	3.8193	6.17	0.000	15.6479	31.4495
К	0.0226	0.0055	4.09	0.000	0.0112	0.0341
t _o	-5.1179	0.7111	-7.20	0.000	-6.5891	-3.6468

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

TABLA 23. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (simple) de la Función deCrecimiento de Gompertz por retrocálculo para los machos.

Fuente	SC	Gl	СМ	No. de observaciones =	26
Modelo	1795.8887	3	598.6296	F(3,23) =	16940.87
Residual	0.8127	23	0.0353	Prob > F =	0.0000
Total	1796.7014	26	69.1039	R ² =	0.9995
				R ² ajustada =	0.9995
				Error estimación =	0.1879
				Desv. Residual =	-16.3167

Función de crecimiento de Gompertz, $I_t = L_{\infty} exp(-exp(-k(t - t_o)))$

Largo	Coef.	Error.est.	Т	Р	I. De C. del 95%	
L _∞	14.8799	0.5402	27.55	0.000	13.7624	15.9974
Κ	0.0755	0.0047	15.98	0.000	0.0657	0.0853
t _o	6.8070	0.5143	13.23	0.000	5.7430	7.8710

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

TABLA 24. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (simple) de laFunción de Crecimiento Logística por retrocálculo para los machos.

Fuente	SC	Gl	СМ	No. de observaciones =	26
Modelo	1796.2406	3	598.7469	F(3,23) =	29885.88
Residual	0.4608	23	0.0200	Prob > F =	0.0000
Total	1796.7014	26	69.1039	R ² =	0.9997
				R ² ajustada =	0.9997
				Error estimación =	0.1415
				Desv. Residual =	-31.0707

Función de crecimiento Logística, $I_t = L_{\infty} / (1 - exp(-k(t - t_o)))$

Largo	Coef.	Error.est.	Т	Р	I. De C. del 95%	
L _∞	13.0406	0.2108	61.85	0.000	12.6044	13.4768
К	0.1286	0.0041	31.34	0.000	0.1201	0.1371
t _o	9.5120	0.3052	31.17	0.000	8.8807	10.1433

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)



FIGURA 19. Curvas de crecimiento por regresión no lineal (simple) por retrocálculo para los machos de *Hexaplex princeps*.

A S A

Funciones de crecimiento ponderadas para machos de H. princeps

Los ajustes de las ecuaciones de crecimiento por regresión no lineal (simple) se resumen en las Tablas 25 y 26 y en la Figura 20.

TABLA 25. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (ponderada) de la Función de Crecimiento de Gompertz por retrocálculo para los machos.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	4805
Modelo	192484.786	3	64161.5954	F(3,4802) =	1.08*10^7
Residual	28.6355	4802	00060	Prob > F =	0.0000
Total	192513.422	4805	40.0652	R ² =	0.9999
				R ² ajustada =	0.9999
				Error estimación =	0.0772
				Desv. Residual =	-5744.592

Función de crecimiento de Gompertz, $l_{\star} = L_{\infty} exp(-exp(-k(t-t_{\lambda})))$

Largo	Coef.	Error.est.	τ	Р	I. De C.	del 95%
L	23.9649	0.1576	152.08	0.000	23.6560	24.2739
К	0.0475	0.0002	197.20	0.000	0.0471	0.0480
t _o	15.2588	0.1368	111.54	0.000	14.9906	15.5270

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

SI

6

T

TABLA 26. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (ponderada) de la Función de Crecimiento Logística por retrocálculo para los machos.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	4805
Modelo	192499.418	3	64166.4728	F(3,4802) =	2.2*10^7
Residual	14.0035	4802	0.0029	Prob > F =	0.0000
Total	192513.422	4805	40.0652	R ² =	0.9999
				R ² ajustada =	0.9999
				Error estimación =	0.0540
				Desv. Residual =	-9181.8

Función de crecimiento Logística, $l_t = L_{\infty} / (1 - exp(-k(t - t_{\alpha})))$

Largo	Coef.	Error.est.	t	Р	I. De C.	
L _∞	15.3251	0.0311	493.46	0.000	15.2642	15.3859
К	0.1103	0.0002	617.86	0.000	0.1099	0.1107
t _o	12.4480	0.0379	327.97	0.000	12.3737	12.5225

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)



FIGURA 20. Curvas de crecimiento por regresión no lineal (ponderada) por retrocálculo para los machos de *Hexaplex princeps*.

AL O O

Para las hembras

El resumen numérico de la regresión cuadrática para la relación largo de la concha – radio del opérculo se muestra en la Tabla 27 y su gráfica se incluye en la Figura 21.

TABLA 27. Resumen estadístico del ajuste por regresión cuadrática para el largo de la concha con el radio total del opérculo para las hembras de *Hexaplex princeps*.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	336
Modelo	482.0650	2	241.0325	F(2,333) =	525.38
Residual	152.7736	333	0.4588	Prob > F =	0.0000
Total	634.8385	335	1.8950	R ² =	0.7594
				R ² ajustada =	0.7579
				Error estimación =	0.6773

Radio total	Coef.	Error.est.	t	Р	l. De C.	
R	0.15789	0.0684	2.31	0.022	0.0231	0.292
<i>R</i> ²	0.0027	0.0013	2.05	0.041	0.0001	0.005
Cte.	2.8061	0.8850	3.17	0.002	1.0652	4.547

SIO



FIGURA 21. Relación largo de la concha – radio total del opérculo, hembras de *Hexaplex princeps*.

TABLA 28. Retrocálculo para los machos de Hexaplex princeps de acuerdo a la regresió	n
cuadrática: <i>l = 2.8061 + .1578R + 0.0027R</i> ²; <i>R</i> = radio a cada marca.	

Frecuencia	Radio (mm)	Desviación estándar	Longitud de la concha por retrocálculo (cm)	Edad estimada (años)
336	2.6801	0.2481	3.2483	1
337	4.4182	0.4556	3.5559	2
337	6.0886	0.6922	3.8670	3
337	7.6722	0.9577	4.1758	4
337	9.2138	1.1860	4.4894	5
337	10.8409	1.3828	4.8344	6
336	12.4352	1.5335	5.1863	7
335	14.1172	1.7557	5.5725	8
334	15.8001	1.9000	5.9742	9
331	17.5817	2.0518	6.4161	10

6

AN IS O

TABLA 28. Retrocálculo para los machos de *Hexaplex princeps* de acuerdo a la regresión cuadrática: *l* = 2.8061 + .1578R + 0.0027R²; R = radio a cada marca (*continuación*).

Frecuencia	Radio (mm)	Desviación estándar	Longitud de la concha por retrocálculo (cm)	Edad estimada (años)
325	19.4080	2.2592	6.8870	11
317	21.25647	2.3546	7.3819	12
298	23.0057	2.6032	7.8673	13
272	24.6070	2.5450	8.3262	14
211	25.8869	2.5357	8.7029	15
145	26.9805	2.6664	9.0319	16
90	28.0496	2.6587	9.3597	17
49	28.9849	2.5310	9.6515	18
24	29.9808	2.1293	9.9675	19
15	30.7813	2.3378	10.2254	20
7	31.3371	2.7425	10.4065	21
2	31.9000	4.7800	10.5915	22
1	36.7100		12.2431	26*

* Esta edad se asignó desplazando los últimos radios hasta posición equivalente. El último quedó en la edad 26.

Los ajustes de las ecuaciones de crecimiento por regresión no lineal (simple) se resumen en las Tablas 29 a 31 y en la Figura 22.

510

Res.

X	TABLA 29. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (simple) de la Euroción de Crecimiento de von Bertalanffy por retrocálculo para las bembras									
6)	Fuente	SC	GI	СМ	No. de observaciones =	23				
	Modelo	1378.6798	3	459.5600	F(3,20) =	12524.26				
\sim	Residual	0.7339	20	0.0669	Prob > F =	0.0000				
JE.	Total	1379.4137	23	69.1039	R ² =	0.9995				
					R ² ajustada =	0.9994				
					Error estimación =	0.1916				
					Desv. Residual =	-13.9619				

Function de crecimiento de von Bertalanffy, $I_t = L_{\infty} (1 - exp(-k(t - t_{\alpha})))$

Largo	Coef.	Error. est.	т	Р	l. De C. del 95%	
L _∞	46.7239	18.9481	2.47	0.023	7.1988	86.2489
К	0.0095	0.0046	2.07	0.051	-0.0001	0.0191
t _o	-5.9212	0.6770	-8.75	0.000	-7.3326	-4.5082

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

TABLA 32. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (simple) de la Función de Crecimiento de Gompertz por retrocálculo para las hembras.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	23
Modelo	1378.9332	3	459.6444	F(3,20) =	19131.09
Residual	0.4805	20	0.0240	Prob > F =	0.0000
Total	1379.4137	23	59.9745	R ² =	0.9997
				R ² ajustada =	0.9996
				Error estimación =	0.1550
				Desv. Residual =	-23.7015

Función de crecimiento de Gompertz, $I_t = L_{\infty} exp(-exp(-k(t-t_{\alpha})))$

Largo	Coef.	Error. est.	т	Р	l. De C. del 95%	
L	17.0029	0.8347	20.37	0.000	15.2617	18.7440
К	0.0642	0.0041	15.65	0.000	0.0556	0.0728
t _o	9.2939	0.8251	11.26	0.000	7.5727	11.0150

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

TABLA 31. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (simple) de la Función de Crecimiento Logística por retrocálculo para las hembras.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	23
Modelo	1378.9676	3	459.6559	F(3,20) =	20609.42
Residual	0.4460	20	0.0223	Prob > F =	0.0000
Total	1379.4137	23	59.9745	R ² =	0.9997
				R ² ajustada =	0.9996
				Error estimación =	0.1493
				Desv. Residual =	-25.4129

Función de crecimiento Logística, $I_t = L_{\infty} / (1 - exp(-k(t - t_0)))$

Largo	Coef.	Error. est.	t	Р	I. De C.	
L _∞	13.9836	0.3694	37.86	0.000	13.2131	14.7541
К	0.1186	0.0045	26.52	0.000	0.1092	0.1279
t _o	11.2218	0.5148	21.80	0.000	10.1479	12.2957

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)



FIGURA 22. Curvas de crecimiento por regresión no lineal (simple) por retrocálculo para las hembras de *Hexaplex princeps*.

SI

Funciones de crecimiento ponderadas para hembras de H. princeps

Adicionalmente se calcularon regresiones no lineales ponderadas. La expresión de crecimiento de von Bertalanffy no convergió a una solución por lo que los resultados para las funciones Gompertz y Logística se presentan en las Tablas 32 a 33 y en la Figura 23.

TABLA 32. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (ponderada) de la Función de Crecimiento de Gompertz por retrocálculo para las hembras.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	5113
Modelo	193662.062	3	64554.0207	F(3,5110) =	6.68*10^6
Residual	49.4029	5110	0.0097	Prob > F =	0.0000
Total	192513.422	5113	37.8861	R ² =	0.9997
				R ² ajustada =	0.9997
				Error estimación =	0.0983
				Desv. Residual =	-5646.091

Función de crecimiento de Gompertz, $I_t = L_{\infty} exp(-exp(-k(t - t_o)))$

Largo	Coef.	Error.est.	Т	Р	I. De C. del 95%	
L	23.9563	0.2010	119.20	0.000	23.5623	24.3503
К	0.0485	0.0003	157.99	0.000	0.0479	0.0491
t _o	15.5271	0.1703	91.19	0.000	15.1932	15.8609

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)

TABLA 33. Resumen estadístico del ajuste por regresión no lineal (ponderada) de la Función deCrecimiento Logística por retrocálculo para las hembras.

Fuente	SC	gl	СМ	No. de observaciones =	5113
Modelo	193681.16	3	64560.3865	F(3,4802) =	1.09*10^7
Residual	30.3056	5110	0.0059	Prob > F =	0.0000
Total	193711.465	5113	37.8861	R ² =	0.9998
				R ² ajustada =	0.9998
				Error estimación =	0.0770
				Desv. Residual =	-8144.69

Función de crecimiento Logística, $I_t = L_{\infty} / (1 - exp(-k(t - t_{\alpha})))$

Largo	Coef.	Error.est.	Т	Р	I. De C. d	el 95%
L _∞	14.9441	0.0419	356.69	0.000	14.8620	15.0262
К	0.1148	0.0002	448.34	0.000	0.1143	0.1153
t _o	12.3216	0.0505	243.78	0.000	12.2225	12.4207

(Errores estándar, valores de P, I. de C. y correlaciones son aproximaciones asintóticas)



FIGURA 23. Curvas de crecimiento por regresión no lineal (ponderada) por retrocálculo para las hembras de *Hexaplex princeps.*

Comparación de funciones de crecimiento entre sexos

A continuación, se incluye la comparación de las funciones de crecimiento de von Bertalanffy por sexos. Se han considerado varias pruebas: T^2 de Hotelling (Bernard, 1981), razón de verosimilitud (Kimura, 1980) y la prueba de máxima verosimilitud (Chen, et al., 1992; Haddon, 2001; Roff, 2006). Una versión actualizada de estas pruebas se presenta en Ogle (2016). Los resultados se muestran en las Tablas 34 a 36.

TABLA 34. Prueba de *T*² de Hotelling para comparación de parámetros de la FCVB (Bernard, 1981) de hembras y machos de *Hexaplex princeps*.

Matriz de varianza-covarianza (S)				Inversa de S	
175.81569	-0.0519976	-6.7118942	0.03934853	22.1603807	0.044350998
	0.00002619	0.0032528		267483.026	-1491.72972
		0.48355263			12.7183117
[23.1752 - 0.01	.31 - 0.8025] = [P	1 – P2]'			
$T^2 = 184.46817$	$T^2_{0.01}: 3,45 = 13.32$	142 $F_{0.01}$: 3,45 =	4.2492		
				F crítica	
9.3257	$\pounds L_{\infty_1} - L_{\infty_2} \pounds$	37.0247		11.8984	
-0.0184	$f K_1 - K_2 f$	-0.0078		25.5323	
-1.5288	$f t_{01} - t_{02} f$	-0.0762		5.1874	

TABLA 35. Prueba de T^2 de Hotelling para comparación de parámetros de la función de crecimiento de Gompertz (adaptada de la prueba para dos FCVB de Bernard, 1981) de hembras y machos de *Hexaplex princeps*.

Matriz o	de varianza-covaria	inza (S)		Inversa de S	
0.48134467	-0.00287705	0.46361667	142.708034	5748.18675	-110.336717
	0.00001975	-0.0026921		483120.598	-2969.90573
		0.45938375			96.1255957
[2.1230 - 0.011]	3 2.4869] = [<i>P1 – P</i> 2	<u>?]</u> ′			
$T^2 = 310.4933 T$	² _{0.01} : 3,45 = 13.3142	$P_{0.01}$: 3,45 = 4.2	492		
1				F crítica	
1.3983	$f L_{\infty_1} - L_{\infty_2} f$	2.8476		36.4689	
-0.0159	$f K_1 - K_2 f$	-0.0067		25.1889	
1.7790	$f t_{\alpha} - t_{\alpha} f$	3.1948		52.4376	

TABLA 36. Prueba de *T*² de Hotelling para comparación de parámetros de la función de crecimiento Logística (adaptada de la prueba para dos FCVB de Bernard, 1981) de hembras y machos de *Hexaplex princeps*.

Matriz de varianza-covarianza (S)				Inversa de S	
0.08751745	-0.00113154	0.1206424	354.153484	4771.80938	-203.868087
	0.00001831	-0.0015370		276881.058	-864.669099
		0.17359993			139.781785
-					

 $[0.9430 - 0.0101 \ 1.7098] = [P1 - P2]'$

 $T^2 = 407.4279 T^2_{0.01}$: 3,45 = 13.3142 $F_{0.01}$: 3,45 = 4.2492

			F crítica	
0.6340	$f L_{\infty_1} - L_{\infty_2} f$	1.2520	39.5767	
-0.0145	$f K_1 - K_2 f$	-0.0056	21.5251	
1.2746	$f_{01} - t_{02} f_{02}$	2.1449	65.5865	

Las tres Tablas indican una diferencia significativa en las curvas de crecimiento entre sexos y señalan además que la diferencia está dada más por el parámetro de curvatura (*K*) para von Bertalanffy y por la edad al tamaño cero (t_o) y el tamaño asintótico (L_∞) para Gompertz y Logística.

Las Tablas 37 y 38 muestran los resultados de las pruebas de Razón y Máxima Verosimilitud respectivamente. Ambas indican diferencias en las expresiones de crecimiento de von Bertalanffy destacando la influencia de la longitud asintótica y el parámetro de curvatura en la diferenciación, con una diferencia no significativa en la edad al tamaño cero.

Restricciones lineales	Modelos equivalentes	SCR	X²	gl	Р
Ninguna	$\begin{split} & l_{1j} = 46.72 \left[1 - exp\{-0.010(t_{1j} + 5.920)\} \right] \\ & l_{2j} = 23.55 \left[1 - exp\{-0.023(t_{2j} + 5.118)\} \right] \end{split}$	2.15			
$L_{\infty 1} = L_{\infty 2}$ $K_1 = K_2$ $t_{01} = t_{02}$	l _j = 28.86 [1 – exp{– 0.017(t _j + 5.403)}]	2.58	8.95	3	0.030
$L_{\infty_1} = L_{\infty_2}$	$\begin{split} I_{1j} &= 29.38 \left[1 - exp\{-0.017(t_{1j} + 5.022)\} \right] \\ I_{2j} &= 29.38 \left[1 - exp\{-0.016(t_{2j} + 5.882)\} \right] \end{split}$	2.34	4.09	1	0.043
$K_1 = K_2$	$\begin{split} I_{ij} &= 29.78 \left[1 - exp\{-0.017(t_{ij} + 5.032)\} \right] \\ I_{2j} &= 28.99 \left[1 - exp\{-0.017(t_{2j} + 5.862)\} \right] \end{split}$	2.32	3.76	1	0.053
$t_{_{01}} = t_{_{02}}$	$I_{1j} = 37.75 \left[1 - exp\{-0.012(t_{1j} + 5.471)\}\right]$ $I_{2i} = 25.34 \left[1 - exp\{-0.020(t_{2i} + 5.471)\}\right]$	2.19	0.76	1	0.382

TABLA 37. Pruebas de razón de verosimilitud para la FCVB para hembras (1) y machos (2) (Kimura, 1980).

TABLA 38. Pruebas de máxima verosimilitud para la	
FCVB de hembras (1) y machos (2) (Roff, 2006).	

Restricciones lineales	Modelos equivalentes	SCR	F	gl	Р
Ninguna	$I_{1j} = 46.72 [1 - exp\{-0.010(t_{1j} + 5.920)\}]$ $I_{2j} = 23.55 [1 - exp\{-0.023(t_{2j} + 5.118)\}]$	2.15			
$L_{\infty_1} = L_{\infty_2}$ $K_1 = K_2$ $t_{01} = t_{02}$	$I_j = 28.86 [1 - exp\{-0.017(t_j + 5.403)\}]$	2.58	2.87	3, 43	0.0472
$L_{\infty_1} = L_{\infty_2}$	$\begin{split} I_{1j} &= 29.38 \left[1 - exp\{-0.017(t_{1j} + 5.022)\} \right] \\ I_{2j} &= 29.38 \left[1 - exp\{-0.016(t_{2j} + 5.882)\} \right] \end{split}$	2.34	3.74	1, 43	0.0597
$K_1 = K_2$	$\begin{split} I_{1j} &= 29.78 \left[1 - exp\{-0.017(t_{1j} + 5.032)\} \right] \\ I_{2j} &= 28.99 \left[1 - exp\{-0.017(t_{2j} + 5.862)\} \right] \end{split}$	2.32	3.47	1, 43	0.071
$t_{_{01}} = t_{_{02}}$	$I_{1j} = 37.75 [1 - exp\{-0.012(t_{1j} + 5.471)\}]$ $I_{2j} = 25.34 [1 - exp\{-0.020(t_{2j} + 5.471)\}]$	2.19	0.67	1, 43	0.416

Las Tablas 39 y 40 muestran los resultados de las pruebas de Razón y Máxima Verosimilitud respectivamente. Ambas indican diferencias en las expresiones de crecimiento de Gompertz destacando la influencia de la edad al tamaño cero y la longitud asintótica en la diferenciación y en menor grado el del parámetro de curvatura.

TABLA 39. Pruebas de razón de verosimilitud para la Función de Crecimiento de Gompertz para hembras (1) y machos (2) (Kimura, 1980)

Restricciones lineales	Modelos equivalentes	SCR	χ²	gl	Р
Ninguna	$I_{1j} = 17.00 \exp[-\exp\{-0.064(t_{1j} - 9.294)\}]$ $I_{2j} = 14.88 \exp[-\exp\{-0.076(t_{2j} - 6.807)\}]$	1.29			
$L_{\infty_1} = L_{\infty_2}$ $K_1 = K_2$ $t_{01} = t_{02}$	l _j = 15.61 exp[– exp{– 0.071(t _j - 7.727)}]	1.69	12.99	3	0.005
$L_{\infty 1} = L_{\infty 2}$	$l_{1j} = 15.64 \exp[-\exp\{-0.072(t_{1j} - 7.973)\}]$ $l_{2j} = 15.64 \exp[-\exp\{-0.070(t_{2j} - 7.522)\}]$	1.44	5.27	1	0.022
$K_1 = K_2$	$l_{1j} = 15.92 \exp[-\exp\{-0.070(t_{1j} - 8.255)\}]$ $l_{2j} = 15.50 \exp[-\exp\{-0.070(t_{2j} - 7.367)\}]$	1.39	3.59	1	0.058
$t_{_{01}} = t_{_{02}}$	$l_{1j} = 15.48 \exp[-\exp\{-0.073(t_{1j} - 7.789)\}]$ $l_{2j} = 15.88 \exp[-\exp\{-0.068(t_{2j} + 7.789)\}]$	1.51	7.56	1	0.006

TABLA 40. Pruebas de máxima verosimilitud para la Función de Crecimiento de Gompertz de hembras (1) y machos (2) (Roff, 2006).

Restricciones lineales	Modelos equivalentes	SCR	F	gl	Р
Ninguna	$I_{1j} = 17.00 \exp[-\exp\{-0.064(t_{1j} - 9.294)\}]$ $I_{2j} = 14.88 \exp[-\exp\{-0.076(t_{2j} - 6.807)\}]$	1.29			
$L_{\infty_1} = L_{\infty_2}$ $K_1 = K_2$ $t_{o_1} = t_{o_2}$	l _j = 15.61 exp[– exp{– 0.071(t _j - 7.727)}]	1.69	4.35	3, 43	0.0092
$L_{\infty_1} = L_{\infty_2}$	$\begin{split} & l_{1j} = 15.64 \ exp[-exp\{-0.072(t_{1j} - 7.973)\}] \\ & l_{2j} = 15.64 \ exp[-exp\{-0.070(t_{2j} - 7.522)\}] \end{split}$	1.44	4.88	1, 43	0.0325
$K_1 = K_2$	$I_{1j} = 15.92 \exp[-\exp\{-0.070(t_{1j} - 8.255)\}]$ $I_{2j} = 15.50 \exp[-\exp\{-0.070(t_{2j} - 7.367)\}]$	1.39	3.27	1, 43	0.078
$t_{_{01}} = t_{_{02}}$	$I_{1j} = 15.48 \exp[-\exp\{-0.073(t_{1j} - 7.789)\}]$ $I_{2j} = 15.88 \exp[-\exp\{-0.068(t_{2j} + 7.789)\}]$	1.51	7.18	1, 43	0.010

S S S S Las Tablas 41 y 42 muestran los resultados de las pruebas de Razón y Máxima Verosimilitud respectivamente. Ambas indican diferencias en las expresiones de crecimiento Logísticas destacando, como con las ecuaciones de Gompertz, la influencia de la edad al tamaño cero y la longitud asintótica en la diferenciación y en menor grado el del parámetro de curvatura.

TABLA 41. Pruebas de razón de verosimilitud para la Función de Crecimiento Logístico para hembras (1) y machos (2) (Kimura, 1980).

Restricciones lineales	Modelos equivalentes	SCR	X ²	gl	Р
Ninguna	$I_{1j} = 13.98/[1 + exp\{-0.119(t_{1j} - 11.222)\}]$ $I_{2j} = 13.04/[1 + exp\{-0.129(t_{2j} - 9.512)\}]$	0.91			
$L_{\infty_1} = L_{\infty_2}$ $K_1 = K_2$ $t_{01} = t_{02}$	l _j = 13.37/[1+ exp{- 0.125(t _j - 10.178)}]	1.27	16.54	3	0.001
$L_{\infty_1} = L_{\infty_2}$	$\begin{split} I_{1j} &= 13.37 / [1 + exp\{-0.126(t_{1j} - 10.376)\}] \\ I_{2j} &= 13.37 / [1 + exp\{-0.123(t_{2j} - 9.967)\}] \end{split}$	1.02	5.87	1	0.015
$K_1 = K_2$	$I_{1j} = 13.59/[1 + exp\{-0.124(t_{1j} - 10.692)\}]$ $I_{2j} = 13.27/[1 + exp\{-0.124(t_{2j} - 9.815)\}]$	0.96	3.00	1	0.083
$t_{_{01}} = t_{_{02}}$	$I_{1j} = 13.25/[1 + exp\{-0.128(t_{1j} - 10.183)\}]$ $I_{2j} = 13.49/[1 + exp\{-0.121(t_{2j} + 10.183)\}]$	1.10	9.45	1	0.002

	T. C	ABLA 42. Pruebas de máxima verosimilitud p recimiento Logístico de hembras (1) y machos	ara la Fu s (2) (Rof	unción de ff, 2006).		
	Restricciones lineales	Modelos equivalentes	SCR	F	gl	Р
E.	Ninguna	$\begin{split} I_{ij} &= 13.98/[1+\exp\{-0.119(t_{ij}-11.222)\}]\\ I_{2j} &= 13.04/[1+\exp\{-0.129(t_{2j}-9.512)\}] \end{split}$	0.91			
	$L_{\infty_1} = L_{\infty_2}$ $K_1 = K_2$ $t_{01} = t_{02}$	I _j = 13.37/[1+ exp{- 0.125(t _j - 10.178)}]	1.27	5.75	3, 43	0.0021
	$L_{\infty 1} = L_{\infty 2}$	$\begin{split} I_{1j} &= 13.37 / [1 + exp\{-0.126(t_{1j} - 10.376)\}] \\ I_{2j} &= 13.37 / [1 + exp\{-0.123(t_{2j} - 9.967)\}] \end{split}$	1.02	5.47	1 , 43	0.0240
	$K_1 = K_2$	$I_{ij} = 13.59/[1 + exp\{-0.124(t_{ij} - 10.692)\}]$ $I_{2i} = 13.27/[1 + exp\{-0.124(t_{2i} - 9.815)\}]$	0.96	2.72	1 , 43	0.106
	$t_{_{01}} = t_{_{02}}$	$I_{1j} = 13.25/[1 + exp\{-0.128(t_{1j} - 10.183)\}]$ $I_{2j} = 13.49/[1 + exp\{-0.121(t_{2j} + 10.183)\}]$	1.10	9.14	1 , 43	0.004

TABLA 42. Pruebas de máxima verosimilitud para la Función de Crecimiento Logístico de hembras (1) y machos (2) (Roff, 2006).

La Figura 24 muestra la comparación de las curvas logísticas de crecimiento para cada sexo señalando los diferentes valores de la longitud asintótica, siendo las hembras las que alcanzan mayor valor asintótico de crecimiento en longitud.

En la Tabla 43 se incluyen los valores del Criterio de Información de Akaike (AIC) con el fin de tener indicaciones adicionales para elegir el mejor modelo de crecimiento basado en los datos de retrocálculo. En todos los casos, los valores menores sugieren al modelo Logístico como el más adecuado.

TABLA 43. Valores del	Criterio de Información de Akaike para modelos de crecimiento
por retrocálculo.	El modelo recomendado está marcado con un asterisco.

	Machos	Hembras
vBGF	6.17	-5.96
Gompertz	-8.31	-15.70
Logístico	-23.07*	-17.41*



FIGURA 24. Curvas Logísticas de crecimiento por regresión no lineal (simple) por retrocálculo para las hembras de *Hexaplex princeps*. Se indican los valores de longitud asintótica para cada sexo.

Se incluyen además los valores del Criterio de Información de Akaike para los modelos de crecimiento obtenidos de los datos edad-talla en la Tabla 44.

TABLA 44. Valores del Criterio de Información de Akaike (*AIC*) para modelos de crecimiento para todos los datos. El modelo recomendado está marcado con un asterisco.

vBGF	1782	.112*
Gompertz	1782.438	
Logístico	1783.161	
N	lodelos de crecimiento por sexo	
	Machos	Hembras
vBGF	Machos	Hembras 915.72
vBGF Gompertz	Machos - 826.13	Hembras 915.72 913.53

51.

Es interesante notar que para los datos en conjunto el valor menor en el *AIC* es el obtenido con la función de crecimiento de von Bertalanffy, pero, al considerar los datos por separado para cada sexo, los mejores modelos son los Logísticos.

DISCUSIÓN

Para este estudio se capturaron 804 individuos de *H. princeps* aproximadamente cada mes de febrero de 2012 a diciembre de 2014 (Tabla I.2), cabe mencionar que los meses que no hubo muestreo fue por causa de mal tiempo.

Proporción de sexos

Para la proporción de sexos la identificación de hembras y machos se basó macroscópicamente con la presencia y ausencia del pene y se verificó microscópicamente mediante la observación de los cortes histológicos los cuales confirmaron que no existía hermafroditismo y tenían sexos separados. Se observó en el análisis que solamente en el mes de agosto de 2012 el número de hembras fue significativamente mayor de (macho-hembra, 1.0:2.13) (Tabla 3). En todos los demás meses y años, la prueba no señaló proporciones diferentes a un macho por hembra (1:1). En ningún otro caso se registró diferencia significativa (χ^2 , *P*>0.05). En el estudio de *Hexaplex trunculus*, Gharsallah *et al.* (2010), obtuvieron que las hembras dominaban (H:M = 1.2:1.0); durante los 15 meses que hicieron de estudio excepto en febrero cuando los machos predominaron. Observaron también que la proporción de sexos siempre fue diferente, lo que nos indica que para el mes de agosto resultó semejante a los valores obtenidos en el presente estudio, pero en contraste con los demás meses donde se vieron diferencias en la proporción. En este trabajo se observó igualdad en la proporción. La proporción 1:1 se ha observado en otras especies de gasterópodos del Pacífico mexicano como en *Tegula funebralis* (Paine, 1969), *Astrea undosa* (Belmar-Pérez *et al.,* 2011).

Estructura por tallas

El largo de la concha es una medida importante ya que en *Hexaplex princeps* expresa el cambio de talla respecto al tiempo; por consecuente el análisis de la distribución de tallas es parte importante porque permite determinar cuáles son los tamaños que predominan (mayores o menores) en la

extracción los organismos dentro de la pesca y en que época. La composición por tallas se describió por medio de los estimadores de densidad por kernel (*EDKs*) los que a diferencia de los histogramas tradicionales utilizan intervalos centrados en cada dato o en los puntos en los que se desea realizar la estimación de la densidad y de esta forma se tienen estimaciones independientes de un origen. En el histograma se utiliza una función cuadrada centrada en cada uno de los datos; los *EDKs* por su parte pueden utilizar funciones de variación gradual respecto al punto de estimación (dato), por lo que sus resultados son más suaves (Salgado-Ugarte, 2002). Para el total de las hembras (*N* = 389) la distribución del largo de la concha se concentró entre los 9 y 10 cm de largo. Disminuyendo la amplitud de banda "óptima" de Silverman (1986) a la mitad, se pudieron distinguir 7 modas, de las cuales las dominantes fueron 8.5, 9.25 y la de mayor densidad (frecuencia) 9.52 y las menos frecuentes (a tallas menores o mayores) fueron 4.76 (la de menor frecuencia), 5.85, 6.60 y 12.58 (Figura 4); resaltó el sesgo negativo con multimodalidad.

La distribución del largo de la concha del total de machos (N = 385) mostró un comportamiento semejante al de las hembras, con cuatro modas dominantes: 8.51, 9.28 (mayor frecuencia), 10.17 y 10.88 cm y cuatro de baja frecuencia indicando los ejemplares más pequeños (6.21) y los más grandes: 12.42, 13.76 (la menos frecuente de todas) y 14.34cm (Figura 5); se resaltó un sesgo positivo y la multimodalidad.

No obstante, el recorrido del largo de concha para machos fue de 14.6 - 6.23 = 8.37 cm y el de las hembras de 13.45 - 4.66 = 8.79. Los machos abarcaron tallas un poco mayores que las hembras, sin embargo, la prueba para comparar dos distribuciones de Kolmogorov-Smirnov (Sokal y Rolf, Conover, 1999; StataCorp, 2013) no mostró diferencia significativa (D = 0.0556, P (corregida) = 0.561). En el caso de *Hexaplex trunculus* (Gharsallah, *et al.*, 2010) a tallas menores dominaron los machos (<40mm), a tallas intermedias machos y hembras estuvieron en frecuencias similares y a tallas mayores (>50mm) dominaron las hembras. Lo contrario se observó en el presente estudio ya que para *H. princeps*, las hembras dominaron significativamente a tallas menores y hubo una indicación de predominio de machos a tallas mayores (Tabla 3b). A tallas intermedias la abundancia de sexos estuvo equilibrada.

Los *EDKs* para la distribución del largo de la concha (cm) por mes de muestreo para las hembras de *H. princeps* con línea vertical indica la moda predominante del total de tallas (9.52 cm) (Figura 6), describieron que, en 2012 tallas mayores que la modal se registraron en mayo, julio, septiembre, octubre y noviembre; en el 2013 octubre y para 2014 se observaron en enero, agosto, noviembre; capturas con tallas alrededor de la moda principal se registraron en octubre y noviembre.

Para los machos los *EDKs* en la distribución del largo de la concha (cm) por mes de muestreo con la línea vertical que indica la moda predominante del total de tallas (9.28 cm) (Figura 7), mostraron que tallas mayores a la modal predominante ocurrieron: en 2012: febrero, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre; en 2013: agosto y octubre; en 2014: enero, abril,
agosto, octubre, noviembre y diciembre. Las tallas mayores a la modal predominante ocurren concordantemente durante agosto, octubre y noviembre.

La comparación de tallas de machos y hembras por fecha de muestreo por medio de los *EDKs* anteriores y del gráfico "Beanplot" (Kampstra, 2008) de la Figura 7.5, mostró variaciones en las distribuciones, yendo de unimodales a multimodales con predominio de bimodalidad. En los meses fríos coinciden tanto individuos de tallas grandes como pequeños. En los meses cálidos (mayo y junio) se observaron individuos relativamente largos.

Edad

Para la determinación de la edad de los 804 individuos obtenidos en 21 eventos de colecta, fue posible analizar 665 opérculos (Tabla I.4), los restantes no pudieron ser estudiados debido al mal estado que no permitió distinguir las marcas de crecimiento. Para la lectura de las marcar de crecimiento se llevó a cabo del foco a cada marca (Figura 3). En cuanto a los radios, la marca más pequeña fue de 1.09 mm y la más grande alcanzó los 35.01. El opérculo más pequeño midió 3.5 mm y el más grande 38.95. Los valores promedio para cada radio incluidos en esta tabla se representan gráficamente por diagramas de caja y bigotes (Figura 8). El número máximo de marcas fue de 26 observándose en un solo individuo, el cual fue el único con anillos 24 y 25. Aunado a esto, la cantidad de medidas tomadas en los opérculos y por todos los radios representan un total de 10,808 mediciones (Tabla 5).

En el diagrama de caja y bigotes para los radios de los anillos en opérculos (Figura 8) se observó ya la tendencia del crecimiento de *H. princeps*.

Validación de la periodicidad de las marcas

Para la validación de la periodicidad de las marcas de crecimiento por medio de la razón del incremento marginal, este seguimiento mensual de la medida del borde es una prueba cuantitativa que permite identificar la estacionalidad del crecimiento y observar el tiempo transcurrido entre dos periodos de crecimiento promedio extremos (Gluyas-Millán y Martínez-Quiroz, 2010). En el presente estudio tanto en hembras (Figura 9) como en machos (Figura 10), se observaron valores similares; altos en agosto cuando está presente la época de lluvias y las temperaturas son altas y valores bajos a fines e inicios de año, esto es, en época de estío y temperaturas bajas, lo que sugiere una periodicidad de formación anual.

CAPÍTULO 3. Edad y crecimiento de Hexaplex princeps

Ya que las tendencias no fueron claramente observables se aplicó la suavización no lineal resistente con el procedimiento 4253EH,doble, siglas que significan el uso de medianas corredizas de amplitud 4, 2, 5 y 3, el ajuste (suavización) de los valores terminales (Endpoint rule), el uso de un promedio ponderado de amplitud 3 (Hanning) y la adición de los valores residuales suavizados de la misma forma a los valores suavizados de los datos (Tukey, 1977; Velleman, 1980; Velleman y Hoaglin, 1981; Goodall,1990; Salgado-Ugarte, 1992; 2013;2016). Las Figuras 11 (machos) y 12 (hembras) muestran un patrón de disminución en los valores de RIM durante los meses fríos del año, lo cual indica también la formación de las marcas de crecimiento una vez al año durante la temporada más fresca del año (diciembre a febrero).

Esto no coincide con Vasconcelos *et al.*, (2012) quienes determinaron el envejecimiento de *Hexaplex trunculus* con las marcas de crecimiento en el opérculo. En su estudio, los individuos criados en Portugal presentaron incrementos marginales muy variables sin un patrón estacional definido. Si bien, los incrementos de los individuos capturados en Túnez fueron variables, si es posible distinguir una tendencia a valores menores durante los meses de invierno, lo que sugiere una formación anual en esta población.

En otras especies de gasterópodos como en el caso de *Megastraea undosa* (Cupul-Magaña & Torres-Moye, 1996; Gluyas-Millán et al. 2000); *Neptunea arthritica* (Miranda *et al.*, 2008); *Buccinum isaotakii* (Ilano *et al.*, 2004) se ha reportado una periodicidad coincidente con lo encontrado en el presente estudio al encontrar también, a través del incremento marginal, la formación de los anillos de crecimiento una vez al año.

Crecimiento

Considerando que el incremento marginal sugiere una formación de marca cada año, se estimaron funciones de crecimiento por medio de regresión no lineal. Los resultados de estas estimaciones para el modelo de von Bertalanffy la L_{∞} = 14.1970, K= 0.0830, t_{o} = 2.0148 y r^{2} = 0.9904 (Tabla 6), para el modelo de Gompertz L_{∞} = 13.0493, K= 0.1315, t_{o} = 6.6013 y r^{2} = 0.9904 (Tabla 7) y por último el modelo Logístico donde L_{∞} = 12.4726, K= 0.1780, t_{o} = 8.7921 y r^{2} = 0.9905 (Tabla 8). Se observó que los tres modelos (Figura 13) tuvieron buen ajuste a los datos, sin embargo, el mejor ajuste fue en el modelo de von Bertalanffy por el valor de la L_{∞} ya que el organismo de mayor talla que se capturó fue de 14.6 cm. A modo de comparación, esto concuerda con Baqueiro *et al.*, (1983) estudio hecho en *Hexaplex erythrostomus* de Bahía Concepción en B.C.S., donde se determinó el crecimiento por medio del modelo de von Bertalanffy estimando los parámetros por la técnica de Cassie: L_{∞} = 128.36 mm y por marcaje-recaptura por el método de Ford-Walford: L_{∞} = 78.67 mm; el organismo de mayor tamaño que capturaron fue de 123 mm. Por consiguiente,

los parámetros que utilizaron fueron los de Cassie. Este estudio utilizó métodos indirectos (frecuencia de tallas) y directos (marcaje-recaptura múltiple) para estimar los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy.

Es importante en el estudio de las pesquerías el entendimiento de la dinámica de la población verificar si hay la diferencia entre machos y hembras. Por esto se llevó a cabo el ajuste de las funciones a los datos de talla – edad tanto para machos como para hembras (Tabla 9). Se observó que el organismo más pequeño que se capturó fue de 7 años el cual fue hembra y el más grande fue un macho de 26 años. Cabe mencionar que los buzos extraen las tallas comerciales, pero en ocasiones capturan tallas pequeñas, las cuales se incorporaron a la muestra.

En el análisis de crecimiento para las hembras los parámetros de ajustaron por regresión no lineal en los tres modelos, von Bertalanffy R^2 = 0.9902 y L_{a} = 12.5315 (Tabla 12), en Gompertz R^2 = 0.9902 y L_{a} = 11.7405 (Figura 15) y por último el modelo Logístico R^2 = 0.9903 y L_{a} = 11.3386 (Figura 15). Los resultados de las regresiones para las hembras se muestran en las Tablas I.12 a I.14 de acuerdo con los resultados de la R^2 se podría inferir que el mejor ajuste es en el modelo Logístico, sin embargo, por el resultado de la L_{a} el mejor ajuste se dio en el modelo de von Bertalanffy que también se observa en la Figura 15.

En los machos se pudieron estimar los parámetros de los modelos de Gompertz R^2 = 0.9913 y L_{2} = 29.2826 y Logístico R^{2} = 0.9913 y L_{2} = 20.3505, pero el modelo de von Bertalanffy no se pudo ajustar por medio de la regresión no lineal. Las Tablas 10 y 11 presentan los valores numéricos de los ajustes de las funciones de Gompertz y Logística para los machos y su versión gráfica se incluye en la Figura 14. Puede apreciarse que, en estos dos últimos casos, los resultados no parecen tan apropiados considerando la baja significancia de los estimadores paramétricos, sobre todo el alto valor de la longitud asintótica. En algunos casos como en el trabajo de Chen y Soong (2002) el modelo de crecimiento que ajustaron en Coralliophila violacea fue Gompertz. Esta función es una curva sigmoidal asintótica antisimétrica que se ha empleado exitosamente para describir la talla (o el peso) a la edad de numerosos organismos. Ellos al igual que en el presente trabajo, determinaron la edad en los opérculos de los gasterópodos; la diferencia es que los organismos que utilizaron fueron marcados y recapturados. Katsanevakis (2007) menciona que para el mejillón Pinna nobilis el mejor ajuste se dio en los modelos de Gompertz y Logístico. Asimismo, Aragón-Noriega (2012) en otra especie de molusco Atrina maura (Bivalva: Pinnidae) ajustó varios modelos de crecimiento para encontrar el mejor y concluyó que en orden decreciente de mejor ajuste fue Gompertz, Logístico y (por último) von Bertalanffy.

Retrócalculo

Este método consiste en estimar las longitudes que tuvieron los individuos en épocas pasadas utilizando las relaciones morfométricas que se presentan entre el tamaño del organismo con las medidas lineales de las partes duras tales como las escamas u otolitos (Gómez-Márquez, 1994). En primer lugar, se calculó la relación longitud de la concha con la medida de cada radio en donde la regresión cuadrática dio el mejor ajuste a estos datos (Tabla 15). En la representación gráfica se observa la relación (Figura 16); una vez obtenida la regresión se procede a realizar el retrocálculo ($I = 2.65 + .01740R + 0.0024R^2$; R = radio a cada marca). Como consecuencia de este análisis se mostró un gradual incremento en las longitudes retrocalculadas con permanencia en la misma magnitud en las longitudes la concha para cada edad entre las edades de 1 a 3 (3 cm), de 4 a 6 (4 cm), de 7 y 8 (5 cm), de 9 a 11 (6 cm), de 12 y 13 (7 cm), 14 y 15 (8 cm), de 16 a 18 (9 cm), de 19 a 22 y 24 (10 cm) y por último 23, 25 y 26 (11 cm) (Tabla 16). Este patrón hasta cierto punto obedece al cambio en las tasas de crecimiento – bajas, mayores y bajas- por lo que pudieron ajustarse al modelo de von Bertalanffy y a los modelos de crecimiento sigmoidales (Gompertz y Logístico).

Con la información del retrocálculo se ajustó, primeramente, a toda la muestra las funciones de crecimiento por medio de regresión no lineal (simple) donde el mejor ajuste tomando en cuenta la cercanía de la longitud infinita estimada con la retrocalculada (11.68), se obtuvo con modelo Logístico con L_{∞} = 12.9071 (Tabla I.19), seguido por el de Gompertz con L_{∞} = 14.7002 (Tabla 18) y por último el de von Bertalanffy con L_{∞} = 23.3821 (Tabla 17) (Figura 17). Se pudo realizar el ajuste de los parámetros a estos modelos de crecimiento debido al gradual aumento de la talla con la edad con ligera desviación de curvas sigmoidales. Por esto, se ajustó el modelo de von Bertalanffy.

El análisis también se realizó por sexos y en el caso de los machos también la regresión cuadrática dio el mejor ajuste a los datos de longitud de la concha-radio total del opérculo (Tabla 20) (Figura 18) y la regresión dio como resultado $l = 2.95 + .01619R + 0.0025R^2$; R = radio a cada marca, una vez obtenida la regresión se observó una similitud de la longitud de la concha con los radios de los opérculos en los cuales las edades 1y 2, de 3 a 5, de 6 a 8, 9 y 10, de 11 a 13, 14 y 15, de 16 a 18, sin embargo de 19 a 26 existe traslape entre la longitud de la concha esto debido a que el crecimiento disminuye conforme *H. princeps* envejece (Tabla 21).

Una vez con el retrocálculo realizado se ajustaron por regresión lineal (simple) y ponderada los modelos de crecimiento y como consecuencia, en machos el mejor modelo se observó en los ajustes no lineales (simple) primero Logístico L_{∞} = 13.0406; r^2 = 0.9997 (Tabla 24), en segundo lugar Gompertz L_{∞} = 14.8799; r^2 = 0.9995 (Tabla 23) y por último von Bertalanffy L_{∞} = 23.5487; r^2 = 0.9992 (Tabla 22) la representación gráfica (Figura 20) muestra que los tres modelos representan adecuadamente a los datos observados, si bien es posible notar una tendencia sigmoidal en

los puntos, lo que explica la secuencia observada de adecuación de ajuste de los modelos. En relación con el ajuste por regresión no lineal ponderada no se pudieron ajustar los parámetros al modelo de von Bertalanffy y para el caso del modelo de Gompertz se obtuvo L_{a} = 23.9649 (Tabla 25) y del Logístico L_{a} = 15.3251 (Tabla 26) siendo este último el de mejor ajuste (considerando la concordancia entre la longitud asintótica y la longitud máxima retrocalculada).

Así mismo, para las hembras se realizó la regresión cuadrática para la relación del largo de la concha y el radio de opérculo (Tabla 27, Figura 21). Las longitudes retrocalculadas de acuerdo con regresión cuadrática $l = 2.8061 + .1578R + 0.0027R^2$; R = radio a cada marca (Tabla 28) mostró semejanza en unidades (cm) entre las edades de 1 a 3, 4 a 6, 7 a 9, 10 y 11, 12 y 13, 14 y 15, 16 a 19, 20 a 22, (26 edad se asignó como posición equivalente a los machos) de nuevo sugiriendo un crecimiento lento a edades menores y mayores, patrón compatible con una curva sigmoidal de crecimiento para *H. princeps*.

Con los valores obtenidos del retrocálculo se realizó el análisis del ajuste de los modelos de crecimiento por regresión no lineal simple y ponderada; en el caso del análisis con la regresión no lineal (simple) resultó que el mejor ajuste considerando los valores de la longitud asintótica y de r^2 se llevó acabo en el modelo Logístico L_{∞} = 13.9836; r^2 = 0.9997 (Tabla 31), seguido por Gompertz L_{∞} = 17.0029; r^2 = 0.9997 (Tabla 30) y por último von Bertalanffy L_{∞} = 46.7539; r^2 = 0.9995 (Tabla 29) y se observa esto con la representación gráfica (Figura 22). Aunado a esto el modelo Logístico es mejor que Gompertz dado que el largo de la concha mayor fue de 12.2431 cm, y esto se aproxima más a la realidad y a que no se capturó ningún organismo mayor de 13 cm. Por otro lado, al igual que en los machos el análisis del ajuste no lineal (ponderado) no se pudo realizar en von Bertalanffy y consecuentemente el modelo Logístico donde L_{∞} = 14.9441; r^2 = 0.9998 (Tabla 33) y el de Gompertz L_{∞} = 23.9563; r^2 = 0.9997 (Tabla 32) fueron los mejores ajustes en orden decreciente de adecuación (Figura 23).

Comparación de funciones de crecimiento entre sexos

Para comparar las funciones de crecimiento de machos y hembras se utilizó la prueba multivariada de T^2 de Hotelling. Esta prueba se basa en los vectores de los valores paramétricos y sus matrices de varianza-covarianza suponiendo una distribución de probabilidad multivariada conjunta. Así pues, toma las diferencias entre los valores paramétricos considerando las covarianzas entre los parámetros (Salgado-Ugarte *et al*, 2005; Gómez-Márquez *et al*., 2016). En el presente estudio se obtuvo en von Bertalanffy (Tabla I.34) que el valor de T^2 calculado (184.4681) es mayor que el valor de tablas (13.3142) por lo que se rechaza la hipótesis de que el vector de parámetros de las curvas entre hembras y machos son iguales. Además, ningún intervalo de confianza para las

diferencias entre los valores de L_{ω} , K y t_o contuvo al cero por lo que, en consecuencia, existen diferencias significativas. Por último, los valores de *F crítica* determinaron que la mayor influencia para determinar las diferencias entre machos y hembras fueron primeramente los valores de *K*, seguidos por los de L_{ω} y finalmente t_o . Por otro lado, esta prueba se ha utilizado en otras especies del Pacífico como *Astraea undosa* (Wood, 1828) (Saito-Quezada, 2010) donde se hizo el análisis con opérculos pulidos y no pulidos y en *Opetostoma pseudodon* (Burrow, 1815) (Gumán-Urieta, 2015) que se realizó el análisis para comparar entre machos y hembras. En ambos trabajos se realizó sólo en el modelo de von Bertalanffy y se observaron también diferencias significativas entre los parámetros de los modelos macho-hembra.

Para este trabajo y para la comparación de los modelos ajustados a datos de hembras y machos se adaptó el programa para la prueba de Hotelling de comparación de curvas de von Bertalanffy de Bernard (1981) descritas en Salgado-Ugarte, et al. (2005) para aplicarlas a los modelos de Gompertz y Logístico. Como consecuencia, en el modelo de Gompertz (Tabla 35) los valores obtenidos de T^2 calculada (310.4933) y la T^2 de tablas (13.3142) indican el rechazo de la hipótesis nula de igualdad (*P*<0.05); así mismo, los intervalos de confianza de *L*_w, *K*, *t*₀ indican que existen diferencias en el crecimiento entre machos y hembras; los valores de *F crítica* indicaron que *t*₀= 52.4376 tiene más influencia para la determinación de las diferencias entre las curvas, seguida de *L*_w = 36.4689 y *K* = 25.1889 subsecuentemente.

Por otro lado, en la Logística (Tabla 36), la prueba mostró que la T^2 calculada de 407.4279 fue mayor que la T^2 de tablas (13.3142) por lo cual se rechaza la hipótesis nula de igualdad de parámetros y los intervalos de confianza para L_{ω} , K y t_o no pasan por el cero lo que confirma las diferencias del crecimiento entre machos y hembras. Además, los valores de *F crítica* nos indicaron que t_o = 65.5865 tiene más influencia para la determinación de las diferencias entre las curvas, seguida de L_{ω} = 39.5767 y K= 21.5251.

Otro enfoque para analizar las diferencias en crecimiento son las pruebas de razón de verosimilitud (*PRV*), donde que los parámetros de los modelos pueden estimarse usando este método. Estas estimaciones son deseables porque son consistentes, asintóticamente normales y asintóticamente alcanzan el valor menor posible de la varianza (Salgado-Ugarte *et al*, 2005; Kimura, 1980; Salgado-Ugarte *et al*, 2005; Gómez-Márquez et al. 2016). Para la FCVB (Tabla I.37), se observó que al comparar los valores del caso sin restricciones (ecuaciones separadas) con las estimaciones de una sola ecuación el valor de P = 0.030 señala diferencias significativas entre los modelos y por tanto se rechaza la hipótesis nula de igualdad. Las comparaciones entre los valores correspondientes de L_{∞} indicaron diferencias (P = 0.0439), los parámetros de curvatura K son diferentes con una significancia del 1 % (P = 0.053), pero no así para las t_o (P = 0.385) que no mostraron diferencias. Por tanto, es posible afirmar que los modelos de crecimiento de machos y hembras son diferentes. Las expresiones de crecimiento también se compararon por medio de las pruebas de verosimilitud propuestas por Roff (2006) (Tabla 38), las cuales resultaron en diferencias de las expresiones

separadas para cada sexo (P= 0.047) como lo obtenido con las pruebas anteriores de T^2 de Hotelling, y razón de verosimilitud, sin embargo los parámetros L_{∞} (P = 0.597) y t_o (P= 0.416) no mostraron diferencias significativas, siendo sólo K (P = 0.071) el parámetro que manifestó una diferencia significativa al 1% entre machos y hembras.

Otros trabajos han utilizado estas pruebas para la comparación de funciones de crecimiento entre dos grupos de datos. Saito-Quezada (2010) las utilizó para comparar las funciones de crecimiento de von Bertalanffy obtenidas por dos métodos de lectura de opérculos (pulidos y sin pulir) del caracol *Astraea undosa* de Baja California Sur y Guzmán-Urieta (2015) para comparar expresiones de von Bertalanffy de machos y hembras del caracol *Opeatostoma pseudodon*. En ambos reportes se observaron diferencias significativas entre los parámetros de L_{∞} , K y t_{o} entre sexos de manera semejante a las encontradas en el presente estudio.

En lo que sigue, se hará referencia a las pruebas anteriores pero modificadas para comparar expresiones diferentes a la de von Bertalanffy. En cuanto al modelo de Gompertz la prueba de razón de verosimilitud Kimura (1980) (Tabla 39), el valor de (P = 0.005) indicó que diferencias entre los machos y hembras, aunado a que los valores de L_{∞} (P=0.022), K (P=0.058) y t_o (P=0.006) mostraron diferencias significativas lo que indicó claramente que el crecimiento entre machos y hembras no es igual; esto se confirma con el resultado de la prueba de T^2 de Hotelling. La prueba de máxima verosimilitud Roff (2006) (Tabla 40) indicó diferencia entre los modelos en general (P=0.009) así como la existencia de diferencias significativas para los parámetros L_{∞} (P=0.032) y t_o (P=0.032) y t_o (P=0.01); para K (P=0.078) sólo se rechaza la hipótesis de igualdad al 1 %.

Para el modelo Logístico la prueba de razón de verosimilitud Kimura (1980) (Tabla 40), tuvo una P = 0.001, lo que indicó diferencias entre los machos y hembras. Esto se confirma con la prueba de T^2 de Hotelling, con valores para las diferencias de L_{∞} (P=0.022) y t_0 (P=0.006) que mostraron diferencias altamente significativas entre el crecimiento de machos y hembras, si bien el valor de K (P=0.083) sólo indicó diferencias con 1% de significancia. Al igual que en los otros modelos se aplicó la prueba con la propuesta de Roff (2006) (Tabla I.42). El valor de significancia para la diferencia entre los modelos en general fue (P=0.002) lo que indica la existencia de diferencias significativas, lo mismo que para los parámetros L_{∞} (P=0.024) y t_0 (P=0.004), sin embargo, la comparación de los valores de K (P=0.106) no llevó al rechazo de la hipótesis de igualdad. Dado que las curvas logísticas de crecimiento para cada sexo mostraron ser el mejor ajuste en los diferentes valores de la longitud asintótica (Figura 24), se hace notar que las hembras alcanzan el mayor valor asintótico de crecimiento en longitud.

Finalmente, y para complementar la manera de selección de modelo que mejor describe el patrón de crecimiento de H. princeps se utilizó el Criterio de Información de Akaike (Akaike Information Criterion, *AIC*). Las métricas de los criterios de información simples combinan una medida de la "falta de ajuste" de un modelo a los datos con una penalización para el número de parámetros (k)

en ese modelo. La "falta de ajuste" de un modelo es igual a dos veces el inverso de la función de verosimilitud (*FV*) para los datos y el modelo, evaluada en los parámetros que maximizan la *FV*. Los parámetros que maximizan la *FV* minimizarán dos veces el inverso de esa función. El AIC usa 2k como la penalización. Valores bajos del *AIC* indican un mejor modelo (Ogle, 2016). Otra forma de explicar la acción de los criterios de información es que, en cierto modo, no buscan el modelo que mejor se ajusta sino el que menos información pierde de todos los modelos considerados (Martínez *et al*, 2009). La Tabla I.44 presenta los valores del Criterio de Información de Akaike (*AIC*) para los diferentes modelos considerados en este estudio. Resulta interesante observar que, para los datos en conjunto, el mejor modelo es el de von Bertalanffy (1782.112) seguido por Gompertz y finalmente el Logístico. Para los modelos con sexos separados, tanto en machos como hembras el mejor modelo fue el Logístico.

Escrito basado en el Capítulo I de Saito-Quezada, 2018, tesis en la que la autora hace los siguientes

Agradecimientos

Al Programa del Posgrado en Ciencias Biológicas y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la UNAM que me dieron la oportunidad de cursar el doctorado. Al CONACyT por la beca otorgada (Registro CVU 215996) gracias a la cual pude dedicar tiempo completo a mis estudios. A los proyectos: PAPIME: PE206213 (2013-2015), RL200316 (2016) y PE207417 (2017-2019) bajo la responsabilidad del Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte; PE205513 (2013-2015) bajo la responsabilidad del Dr. José Luis Gómez Márquez; PAPIIT: IG201215 (2015-2017) bajo la responsabilidad de los doctores Felipe Amezcua (ICMyL), Píndaro Díaz Jaimes (ICMyL) e Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte (FES Zaragoza); IN102016 bajo la responsabilidad de la Dra. Ana Bertha Villaseñor Martínez (Instituto de Geología). A los miembros del Comité Tutor: Dr. José Luis Gómez Márquez (tutor principal), Dra. Ma. De Lourdes Jiménez Badillo por su apoyo, dirección y acompañamiento y en especial a la Dra. Ana Bertha Villaseñor Martínez que aparte de lo anterior siempre fue un pilar de apoyo y parte esencial durante todo el tiempo de mis estudios. A los miembros del Sínodo: Dr. Francisco Xavier Chiappa Carrara (Presidente), Dra. Ana Bertha Villaseñor Martínez (Secretaria), Dra. Edna Naranjo García (Suplente), Dr. Adolfo Gracia Gasca (Suplente), por dedicarme sus tiempos y valiosas aportaciones para la mejoría de mi trabajo y especialmente a la Dra. Laura Elena Sanvicente Añorve (Vocal) que además de lo anterior siempre me da su amistad y palabras de ánimo. Al Dr. Isaías H. Salgado Ugarte por ser parte fundamental en la realización de mi doctorado. A la Mtra. Esther Uría Galicia de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional por su valiosa amistad y por su apoyo para comprender y llevar a cabo las técnicas histológicas. Finalmente, a la Dra. Alicia Arronte Rosales, Secretaria Técnica del Posgrado de la FES Zaragoza, por todo su apoyo para llevar a cabo el examen de grado.

Capítulo 4

Estimación de la edad y modelación del crecimiento en *Vasula speciosa* Gastropoda: Muricidae

Hilda Rangel Rocha

Para el entendimiento de la dinámica poblacional encaminada al manejo sustentable de las especies marinas, se requiere información acerca de su biología, en particular la estimación de su edad, crecimiento y longevidad (Vasconcelos *et al.,* 2012). En este contexto, las investigaciones ecológicas sobre el crecimiento de gasterópodos marinos en México se han realizado principalmente en especies con mayor importancia económica; sin embargo, existen muchas otras de las cuales no se ha reportado registros sobre su reproducción y/o crecimiento. Este es el caso de *Vasula speciosa*, especie que no ha sido analizada en la zona de estudio a pesar de ser considerada como una especie de interés pesquero (Flores-Garza, 2012). Por lo anterior se hace necesario un estudio sobre su biología, con el fin contribuir a la consecución de su correcto manejo como recurso marino, así como que también funja como investigación de base para posteriores investigaciones ecológicas. Cabe mencionar también, que *V. speciosa*. representa un nodo en la trama trófica, dentro de la cual destaca como presa de otros gasterópodos como *Plicopurpura patula pansa*, también llamado caracol tintero (García, 2004) el cual ha sido altamente explotado.

Así pues, se ha realizado un estudio biológico del caracol *Vasula speciosa* procedente de la captura comercial artesanal de la costa del estado de Oaxaca durante agosto de 2013 a agosto de 2015 (Tabla 1) con énfasis en la estimación de su edad y la modelación cuantitativa de su crecimiento.

TABLA 1 Número de individuos machos hembras e

Parka da unu atura		T -+-1		
Fecha de muestreo	Machos	Hembras	Indeterminados	Iotai
13/08/2013	6	3	1	10
13/11/2013	0	0	1	1
24/01/2014	6	13	0	19
21/02/2014	6	4	1	11
21/03/2014	12	14	0	26
25/04/2014	1	3	1	5
23/05/2014	8	6	0	14
27/07/2014	1	0	0	1
15/08/2014	1	2	0	3
25/10/2014	0	0	2	2
28/11/2014	8	10	0	18
30/01/2015	5	6	0	11
27/03/2015	0	5	1	6
14/04/2015	0	1	0	1
01/05/2015	3	1	0	4
12/06/2015	21	13	3	37
21/08/2015	12	8	2	22
Total	90	89	12	191

TABLA 1. Número de individuos machos, hembras e indeterminados recolectados en cada muestreo.

TABLA 2. Resumen estadístico de los datos biológicos de *Vasula speciosa*.

Variable	Número de Observaciones	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Largo	189	2.84	0.49	1.73	4.24
Alto	189	2.08	0.38	1	3
Ancho	189	2.55	0.42	1.46	3.94
Peso total	186	8.38	4.03	1.73	26.02
Peso blando	186	1.09	0.60	0.18	3.81
Peso callo	186	0.40	0.22	0.08	1.34



FIGURA 1. Diagrama lineal de puntos de la población de *V. speciosa* con respecto al largo de la concha. 51.

Al visualizar la distribución poblacional en un diagrama lineal de puntos (Figura 1) y en histograma (Figura 2), se encontró que, si bien el número de datos es reducido en varios meses del año, una mayor concentración de éstos se observa entre los 3 y 3.5 cm de talla durante los meses de enero, febrero y noviembre del 2014 y enero del 2015. Asimismo, durante el mes de marzo del 2014 se observa una mayor concentración alrededor de los 2.7 cm de talla, y durante mayo alrededor de los 2.4 cm. Por otro lado, durante junio del 2015 se aprecia que los individuos colectados se encontraron entre los 2 y 3 cm de talla.



FIGURA 2. Histogramas mensuales de la población de *V. speciosa* con respecto al largo de la concha.

Al analizar la distribución poblacional por tallas por medio de estimadores de densidad por kernel (EDKs) con amplitud de banda óptima de Silverman (Salgado Ugarte, 2013), se puede observar la presencia de multimodalidad en la distribución (Figura 3), encontrando siete modas para el largo de la concha (Cuadro 1).



FIGURA 3. Distribución de tallas (largo de la concha) con amplitud de banda de la mitad del óptimo (*h*=0.07) con modas resaltadas.

Moda	Población (0.07)	Hembras (0.09)	Machos (0.07)
1	1.84	1.83	1.79
2	2.04	2.12	2.01
3	2.49	2.52	2.46
4	2.91	3.06	2.88
5	3.52	3.49	3.24
6	4.06	4.10	3.58
7	4.22		3.86

CUADRO 1. Modas en los EDKs para el largo de la concha con la mitad de la banda óptima de Silverman.



FIGURA 4. Distribución de tallas con amplitud de banda de la mitad del óptimo (*h*=0.07) con modas resaltadas.



FIGURA 5. Distribución de tallas para Machos con amplitud de banda de la mitad del óptimo (*h*=0.07) con modas resaltadas.

S.

Al analizar la distribución de las hembras en la población aplicando también la mitad del óptimo de Silverman se puede observar la presencia de multimodalidad (Figura 4), con seis modas, en donde la principal se encuentra en los 3.06 cm (Cuadro 2). Además, los EDKs mensuales para hembras respecto al largo de la concha, se encontró un posible reclutamiento en noviembre del 2014 (Figura 6).







FIGURA 7. Distribución de tallas por EDKs por muestreo para machos.

O De

O X

Por otro lado, en la distribución de machos en la población, también multimodal, se encontraron siete modas aplicando la mitad del óptimo de Silverman (Cuadro 3), de éstas sobresalen tres en 2.46 cm, 3.24 cm y la principal se ubica en los 2.88 cm (Figura 5). Además, los EDKs mensuales para machos respecto al largo de la concha, al igual que en las hembras, sugieren un posible reclutamiento en noviembre del 2014 (Figura 7).

Proporción sexual

Tomando como premisa el principio de Fisher, se procedió a realizar un análisis de proporción sexual por colecta mensual y total por medio de la prueba de Chi cuadrada (χ^2). Las proporciones macho:hembra mayormente observadas fueron 2:1 y 1:1 en 4 meses de colecta cada una, durante dos meses de colecta la proporción fue 1:2, y las proporciones 1:3 y 3:1 se encontraron durante un mes cada una. La proporción total fue 1:1 aunque en algunos meses sólo se logró colectar individuos de un solo sexo (07/2014, 03/2015 y 04/2015) (Cuadro 4).

Fecha	Machos	Hembras	Indeter.	χ² calculada	Р	Proporción
13/08/2013	6	3	1	0.44	0.504	2:1
13/11/2013	0	0	1	-	-	-
24/01/2014	6	13	0	1.894	0.168	1:2.16
21/02/2014	6	4	1	0.1	0.751	1.5:1
21/03/2014	12	14	0	0.038	0.844	1:1.16
25/04/2014	1	3	1	0.25	0.617	1:3
23/05/2014	8	6	0	0.071	0.789	1.33:1
27/07/2014	1	0	0	0	1	-
15/08/2014	1	2	0	0	1	1:2
25/10/2014	0	0	2	-	-	-
28/11/2014	8	10	0	0.55	0.813	1:1.25
30/01/2015	5	6	0	0	1	1:1.2
27/03/2015	0	5	1	3.2	0.073	-
14/04/2015	0	1	0	0	1	-
01/05/2015	3	1	0	0.25	0.617	3:1
12/06/2015	21	13	3	1.441	0.229	1.61:1
21/08/2015	12	8	2	0.45	0.502	1.5:1
TOTAL	90	89	12	0	1	1.01:1

Relación peso-longitud

Para establecer esta relación se utilizaron las medidas de peso total, peso del callo y largo de la concha. Se usaron ambos pesos debido a que, si bien los organismos no presentaron una gran cantidad de epibiontes adheridos a la concha, la presencia de algas difíciles de retirar de la concha sin dañar ésta, fue constante y la cantidad variaba en cada caracol, pudiendo afectar en alguna medida el peso total real. Con fines comparativos se obtuvieron las ecuaciones por sexo y poblacional (Cuadro 5).

CUADRO 5. Parámetros de regresiones para logaritmo natural de **largo de la concha-peso total** y regresión no lineal por sexo y sus valores estadísticos (valores ajustados de r²).

Machos					
N=89 r ² =0.98	Coeficiente	Error estándar	Valor de t	Prob.> t	Intervalo de confianza 95%
b	2.56	0.0992686	25.82	0.000	2.36 <b<2.76< td=""></b<2.76<>
а	0.54	0.0615321	8.78	0.000	0.41< <i>a</i> <0.66
Hembras					
N= 86 r ² =0.98	Coeficiente	Error estándar	Valor de t	Prob.> t	Intervalo de confianza 95%
b	2.85	0.0848842	33.65	0.000	2.68 <b<3.02< td=""></b<3.02<>
а	0.39	0.0408657	9.73	0.000	0.31< <i>a</i> <0.47
Población					
N=186 r ² =0.98	Coeficiente	Error estándar	Valor de t	Prob.> t	Intervalo de confianza 95%
b	2.73	0.0617122	44.37	0.000	2.61 <b<2.85< td=""></b<2.85<>
а	0.45	0.0327823	13.74	0.000	0.385< <i>a</i> <0.515

El valor de r^2 fue de 0.98% para las tres regresiones (machos, hembras y poblacional) de PT-LAR, en tanto el valor de *b* para machos fue de 2.56, para hembras 2.85, y para la población 2.73 (Figuras 8, 9 y 10). El crecimiento en este caso, para machos y en conjunto, resultó ser hipoalométrico. En las hembras el intervalo de confianza para el coeficiente alométrico alcanzó a contener el valor isométrico de 3 por solo tres décimas, por lo que predomina el crecimiento hipoalométrico (Cuadro 5).

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en Vasula speciosa Gastropoda: Muricidae



FIGURA 8. Relación peso total – largo de la concha para machos.



FIGURA 9. Relación peso total – largo de la concha para hembras.

510

LO



FIGURA 10. Relación peso total – largo de la concha para la población.





6)

and the second

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en Vasula speciosa Gastropoda: Muricidae



FIGURA 12. Relación peso blando – largo de la concha para hembras.



FIGURA 13. Relación peso blando – largo de la concha para la población.

SI

	CUADRO 6. Parámetros de regresiones para logaritmo natural de largo de la concha-peso					
6	blando y regresión no lineal por sexo y sus valores estadísticos (valores ajustados de r ²).					
	Machos					
	N=89	Coofficients	Error	Malau da t	Duck S [4]	Intervalo de
\sim	r ² =0.96	Coenciente	estándar	valor de t	Prop.> t	confianza 95%
EL .	а	0.054	0.0094195	5.82	0.000	0.036< <i>a</i> <0.073
	H e m b r a s					
	N=86	Cooficiente	Error	Valor do t	Duchslat	Intervalo de
	r ² =0.96	Coenciente	estándar	valor de <i>l</i>		confianza 95%
	а	0.035	0.0057853	6.21	0.000	0.024< <i>a</i> <0.047
	Población					
	N=186	Cooficiente	Error	Valor do t	Duchslat	Intervalo de
	r ² =0.96	Coenciente	estándar	valor de <i>t</i>		confianza 95%
	b	3.09	0.0989642	31.26	0.000	2.89 <b<3.28< th=""></b<3.28<>
	а	0.039	0.0046469	8.46	0.000	0.030< <i>a</i> <0.048

Para la relación PB-LAR el valor de r² fue de 0.96% en los tres casos 🛽 machos, hembras y poblacional I en tanto el valor de b para machos fue de 2.75, para hembras 3.20 (Figuras 11 Y 12), y para la población de 3.09 (Figura 13). Ya que los intervalos de confianza contienen al valor isométrico (3), se concluye que el crecimiento del largo de la concha con el peso blando es isométrico (Cuadro 6).

El valor de r2 fue de 0.95% en los tres casos de las regresiones de PC-LAR, en tanto el valor de b para machos fue de 2.63 y para hembras 3.05 (Figuras 14 y 15), y para la población de 2.90 (Figura 16). El crecimiento para machos resultó ser alométrico negativo, mientras que para las hembras y en conjunto resultó ser isométrico (Cuadro 7).

CUADRO 7. Parámetros de regresiones para logaritmo natural de **largo de la concha-peso callo** y regresión no lineal por sexo y sus valores estadísticos (valores ajustados de r²).

	Machos					
N=89	Cooficianta	Error	Valor do t	Drob Sttl	Intervalo de	
r ² =0.95	Coenciente	estándar		P100.7[7]	confianza 95%	
b	2.63	0.1705124	15.45	0.000	2.29 <b<2.97< td=""></b<2.97<>	
а	0.023	0.0046536	5.10	0.000	0.014< <i>a</i> <0.032	
	Hembras					
N= 86	Cooficiente	Error	Valarda t	Duchslat	Intervalo de	
r ² =0.95	Coenciente	estándar	valor de <i>t</i>		confianza 95%	
b	3.04	0.1560607	19.49	0.000	2.73 <b<3.35< td=""></b<3.35<>	
а	0.015	0.0030148	5.25	0.000	0.009< <i>a</i> <0.021	
		Рс	o b l a c i ó n			
N=186	Cooficiente	Error	Valarda t	Duchslat	Intervalo de	
r ² =0.95	Coenciente	estándar	valor de t		confianza 95%	
b	2.90	0.1117508	26.00	0.000	2.68 <b<3.12< td=""></b<3.12<>	
а	0.018	0.0023946	7.54	0.000	0.013 <a<0.022< td=""></a<0.022<>	







FIGURA 15. Relación peso del callo – largo de la concha para hembras.



FIGURA 16. Relación peso del callo – largo de la concha para la población.

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en Vasula speciosa Gastropoda: Muricidae

Modelación del crecimiento

Al realizar las lecturas de los anillos de crecimiento por medio de luz transmitida se tuvo una coincidencia menor al 20% con el segundo lector, en tanto que mediante luz reflejada se tuvo una coincidencia del 72% por lo que los datos utilizados para analizar el crecimiento de *V. speciosa* en el presente trabajo fueron los obtenidos mediante luz reflejada, descartando los obtenidos por luz transmitida.

Al graficar la medida de la distancia del foco a cada anillo en los opérculos en un diagrama de cajas, se aprecia una distribución más o menos simétrica en machos y hembras. Se hace notar la reducida cantidad de datos de opérculos con mayor cantidad de anillos en la población (Figura 17), por otro lado, en las hembras se encontraron un mayor número de anillos —hasta 40— en comparación con los machos –hasta 34– (Figuras 18 y 19). Sin embargo, al realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov para dos muestras no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el número de marcas encontradas en opérculos de hembras respecto a los machos ($D_{max}=0.17>> D_{0.05}=-0.02$; P= 0.475). Por otro lado, en estos gráficos también se puede observar claramente la tendencia del incremento, inicialmente de una forma marcada y disminuyendo progresivamente.



FIGURA 17. Diagrama de cajas poblacional para la distancia del foco a cada anillo de los opérculos.







FIGURA 19. Diagrama de cajas para hembras para la distancia del foco a cada anillo de los opérculos.

6)

Parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy (FCVB)

Pauly (1981) menciona que la relación que describa el crecimiento debe tener ciertas características, entre las cuales, que pueda hacerlo en términos de longitud y peso; que pueda ser incorporada en modelos de producción de una manera sencilla; que sea posible hacer comparaciones interespecíficas e intraespecíficas de diferentes stocks y que pueda ser ajustada fácilmente a cualquier conjunto de datos de edad.

La ecuación de crecimiento de von Bertalanffy se ajusta al comportamiento del crecimiento individual de muchos organismos (King, 1995; Vas, 2014), ya sea en longitud o en peso, esbozándose gráficamente en función de la edad, obteniendo en la mayoría de los casos, una curva pendiente que disminuye continuamente después de cierta edad, aproximándose a una asíntota máxima.

Asimismo, para el estudio de especies marinas, el modelo de crecimiento de von Bertalanffy ha sido ampliamente utilizado, esto posiblemente a que ha sido incorporado dentro de la ecuación de rendimiento pesquero por Beverton y Holt (1957) (Bottemanne, 1972; King, 1995 citado en Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).

Además, el número de constantes de esta función no es excesivo y tienen significado biológico: (L_{∞}) y (P_{∞}) se interpreta como "*el peso o la talla media de un organismo muy viejo*", (*k*) es el "*parámetro de curvatura*" que determina la rapidez con la que el organismo alcanza L_{∞} y está relacionada con la tasa metabólica, (t_0) es el "*parámetro de condición inicial*" y es el tiempo teórico en el cual el organismo empieza su crecimiento, (*b*) es una constante y representa la potencia a la cual el crecimiento en longitud es proporcional al crecimiento en peso y proviene de la relación peso-longitud (Gulland, 1971; Everhart & Youngs, 1981; Pereiro, 1982; Sparre & Venema, 1997 citados en Salgado-Ugarte *et al.* 2005).

Al realizar los gráficos de dispersión de la edad y la longitud para machos, hembras y poblacional de *V. speciosa* se apreció que los datos podían ser ajustados a un modelo de crecimiento, por lo que se procedió a obtener los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy (Cuadro 8) y posteriormente se realizaron los gráficos correspondientes (Figuras 20, 21 y 22). En la Figura 23 se muestran las curvas de crecimiento obtenidas para machos, hembras y la población.

	Machos					
r²=0.984 L _∞	Coeficiente	Error estándar	Valor de <i>t</i>	Prob.> t	Intervalo de confianza 95%	
k	0.116	0.0552268	2.12	0.040	0.005< <i>k</i> <0.228	
t _?	0.632	3.106636	0.20	0.840	-5.646 <t<sub>0<6.911</t<sub>	
	Hembras					
r²=0.979 L _∞	Coeficiente	Error estándar	Valor de <i>t</i>	Prob.> t	Intervalo de confianza 95%	
k	0.050	0.0405035	1.24	0.220	-0.031< <i>k</i> <0.132	
t _?	-5.61	7.377487	-0.76	0.451	-20.48 <t<sub>0<9.26</t<sub>	
		P	oblación			
r ² =0.982 L _∞	Coeficiente	Error estándar	Valor de <i>t</i>	Prob.> t	Intervalo de confianza 95%	
k	0.083	0.0337939	2.47	0.015	0.016 <k<0.150< th=""></k<0.150<>	
t	-1.707	3.126516	-0.55	0.586	-7.91 <t_<4.503< td=""></t_<4.503<>	

CUADRO 8. Parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy por regresión no lineal.



FIGURA 20. Gráfico de von Bertalanffy para machos de V. speciosa.

0

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en Vasula speciosa Gastropoda: Muricidae



FIGURA 21. Gráfico de von Bertalanffy para hembras de V. speciosa.



FIGURA 22. Gráfico de von Bertalanffy para la población de V. speciosa.



FIGURA 23. Curvas de crecimiento para machos, hembras y la población de V. speciosa.

T² de Hotelling

St.

Al comparar los parámetros de von Bertalanffy obtenidos por regresión no lineal aplicando la prueba de T^2 de Hotelling por medio de los programas de Salgado-Ugarte *et al.* (2005), se obtuvieron los resultados mostrados en el Cuadro 9. Siendo el valor calculado de T^2 (48.2) mayor al de tablas (12.3) se observa que los vectores de la función de crecimiento de von Bertalanffy estimados para machos son significativamente diferentes a los vectores de parámetros obtenidos para las hembras. Por otro lado, comparando parámetro por parámetro, se observa que ninguno contiene al cero en el intervalo de confianza por lo que los tres (L_{∞} , $K ext{ y } t_0$) son diferentes. Los valores críticos de F indican que el parámetro que tiene mayor influencia es la diferencia es (K), seguido de (t_0) y finalmente (L_{∞}).

Validación del crecimiento

De la muestra total de opérculos, antes de manipularlos para tomar lectura de las marcas de crecimiento, se registraron 146 (78.07%) dañados *—incompletos.—*, 30 (16.04%) completos, 10 (5.35%) rotos; y uno solo (0.53%) quebrado. Cabe mencionar que debido a su fragilidad algunos de éstos resultaron dañados y uno sólo quebrado durante la lectura.

CUADRO 9. Prueba de *T*² de Hotelling para comparación de parámetros de la FCVB de machos y hembras de *V. speciosa*.

Matriz de varianza-covarianza (S)					latriz in	versa de	<i>S</i>
0.70189066	-0.03142	732	-4.1172966	5.73763231	22.07	70159	0.566775933
0.002320)97	C).22776946	1436.54477 -7.20276249			20276249
32.811249				0.1515	599045		
		-	0.6613 0.0665 6	.2432 = [P1 - P	2]'		
$T^2 = 48$	3.2300		T ² _{0.99:3,85} =	12.3460		F _{0.99:3,85} =	4.0207
	Intervalo	de coi	nfianza del 99%				F crítica
-1.	2857	<l<sub>∞1 ·</l<sub>	$-L_{\infty_2} < -0.03$	369			4.5096
0	.0306	< <i>K</i> ₁ ·	$-K_2 < 0.10$)24			13.7974
1	.9739	<t<sub>01</t<sub>	$-t_{02} < 10.52$	125			8.5981

Análisis de la característica de borde del opérculo

De las dos lecturas independientes para observar la característica del borde se obtuvo una coincidencia del 70%. El patrón de variación de la característica del borde tuvo un comportamiento sinusoidal al graficarse contra las fechas de colecta mensuales durante casi tres años (Figuras 38 y 39). Se registró un aumento en la proporción de borde hialino en los meses de marzo y mayo del 2014 (88% y 66.66%) y enero del 2015(54.5%), y un máximo en junio del 2015 (100%); así como una mínima en los meses de julio y octubre del 2014(0%). En el cuadro 10 se muestra el porcentaje de borde hialino en opérculos por muestreo, en la Figura 24 no se tomaron en cuenta las fechas en donde la cantidad de individuos muestreados fueron menores a dos (noviembre 2013, agosto 2014 y abril 2015).

Sin embargo, tomando en cuenta las fechas en donde solamente se colectó un individuo en el muestreo, se puede observar la posibilidad de más eventos de formación de anillos a lo largo de un año (Figura 25).



FIGURA 24. Porcentaje de opérculos con bordes hialinos y opacos por fecha de colecta en donde la cantidad de organismos colectados fue mayor a uno– para la población de *V. speciosa*.



FIGURA 25. Porcentaje del total de opérculos con bordes hialinos y opacos por fecha de colecta para la población de *V. speciosa.*

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en Vasula speciosa Gastropoda: Muricidae

Condición somática y crecimiento: Análisis del incremento marginal (AIM)

Se obtuvieron datos del nivel de clorofila-a (mg/m³) y temperatura superficial media (°C) mensuales de la zona de estudio otorgados por el GES DIS de la NASA (2016) los cuales se compararon con la razón del incremento marginal (RIM) (Figura 31), la cual se define como la división del incremento entre la longitud de la banda de crecimiento anterior (o la distancia del foco al anillo en los individuos con un solo anillo), tomando los valores medios como representaciones mensuales.

En la Figura 26 se puede apreciar visualmente una posible relación entre el RIM y los niveles de clorofila-a promedio por muestreo.

Fecha de colecta	Porcentaje de opérculos con borde hialino
13/ago/2013	71.4
13/nov/2013	100
24/ene/2014	66.6
21/feb/2014	80
21/mar/2014	88
25/abr/2014	50
23/may/2014	66.6
27/jul/2014	0
15/ago/2014	100
25/oct/2014	0
28/nov/2014	22.2
30/ene/2015	54.5
27/mar/2015	50
14/abr/2015	0
01/may/2015	75
12/jun/2015	100
21/ago/2015	100

CUADRO 10. Porcentaje de opérculos con borde hialino por muestreo.

En cuanto a la temperatura superficial media y la RIM, se puede observar que en algunos meses EN donde se registraron las temperaturas más bajas, en los meses siguientes la RIM registró valores altos, y en caso contrario, cuando se registraron temperaturas altas, la RIM disminuyó en los meses posteriores. (Figura 26).

Al comparar el IGSG con la RIM se puede apreciar visualmente un comportamiento mayormente inverso (Figura 27), es decir cuando los valores del IGSG se registraron altos, la RIM registró valores contrarios. En tanto que al comparar el IGSD (considerando el peso gonádico junto con el peso de la glándula digestiva) con la RIM, visualmente se aprecia una conducta contraria en los meses de febrero, agosto, y octubre del 2014, así como en marzo del 2015 (Figura 28); tanto los valores de la RIM así como los del índice presentan un comportamiento similar, cuando los valores del IGSD incrementan, la RIM también, en el resto de los meses la relación pareciera mostrar un comportamiento inverso.



FIGURA 26. Gráfico de la razón del incremento marginal – niveles de clorofila-a promedio-temperatura superficial media por muestreo.

J.

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en Vasula speciosa Gastropoda: Muricidae



FIGURA 27. Gráfico de la razón del incremento marginal – índice gonadosomático por muestreo.



FIGURA 28. Gráfico de la razón del incremento marginal – índice gonadosomático por muestreo. Tomando en conjunto el peso de la gónada + peso glándula digestiva para obtener el IGS. SI.
Un comportamiento parecido se encontró en la relación del Factor de Condición (K) con la RIM; cuando los individuos presentaron valores del factor de condición altos, los valores de la RIM se registraron altos durante o un poco después de este aumento en la condición. Por otro lado, cuando la condición disminuyó, los valores de la RIM también disminuyeron. (Figura 29). Además, si se compara el K con el IGSD e IGSG (Figura 30), se puede apreciar que en los periodos en que *V. speciosa* presentó mejores *condiciones reproductivas*, su condición somática disminuía, y visceversa..



FIGURA 29. Gráfico de la razón del incremento marginal – factor de condición por muestreo.

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en *Vasula speciosa* Gastropoda: Muricidae



FIGURA 30. Gráfico de la condición somática- índices gonadosomáticos por muestreo.

Composición por edades

Tomando en cuenta los resultados observados en los apartados sobre la validación del crecimiento de *V. speciosa*, probablemente la formación de anillos en el opérculo sea de tres marcas anualmente. Partiendo de esto, las edades abarcaron de los 3 a 13 años aproximadamente (Cuadro 11). En donde las edades mayormente observadas fueron los 3 y 4 años, con longitudes de concha promedio de 2.44cm±0.38. Sin embargo, no se encontraron individuos de 10 y 12 años. Por otro lado, conforme la edad aumenta, la cantidad de individuos encontrados disminuyó, hasta tener incluso solamente un individuo como representante de las edades 9, 11 y 13 años (Figura 31).

CUADRO 11. Composición por edades y sexo para individuos de V. speciosa.

Número de anillos en el opérculo																						
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	28	34	40	
	Edad estimada (años)																					
Sexo	3			4			5			6			7			8			9	11	13	Total
Μ	1	7	6	3	7	4	4	2	2	2	0	0	0	2	1	0	1	1	0	1	0	44
Н	2	2	5	4	6	3	4	5	0	2	1	3	2	0	3	1	1	0	1	0	1	46
I	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Total		26			27			18			8			9			4		1	1	1	95



FIGURA 31. Gráfico del porcentaje de machos, hembras e indeterminados de *V. speciosa* con respecto a la edad.

03

6)

Discusión

A la fecha las investigaciones realizadas dentro del campo de la esclerocronología aplicada al estudio de gasterópodos marinos en México, los estudios en los cuáles usan al opérculo como la estructura analizada para determinar el crecimiento y la edad han sido pocos en comparación con los realizados en peces. Además, éstos se han visto restringidos principalmente a especies del género *Astrea*, especialmente en los estados de Baja California y Baja California sur (Cupul-Magaña & Torres-Moye, 1996; Gluyas-Millán *et al.*, 1990; Gluyas-Millán & Martínez-Quiroz, 2010; Saito-Quezada, 2010).

En lo que respecta a estudios similares a los anteriormente mencionados sobre integrantes del género *Vasula*, en específico de *V. speciosa*, éstos resultan prácticamente inexistentes, ya que no se encontraron trabajos previos a nivel nacional e internacional, al menos en investigaciones publicadas en revistas y libros escritos predominantemente en idioma español e inglés. Por lo que como se ha mencionado anteriormente, la elaboración de trabajos como el presente son necesarios.

Por esta razón, la información obtenida en este trabajo fue analizada y comparada con algunas investigaciones internacionales encontradas, las cuales fueron realizadas en organismos pertenecientes a la familia Muricidae y en donde el opérculo fue utilizado como estructura para analizar el crecimiento.

Material de estudio y dimorfismo sexual

La información utilizada proviene de la pesca comercial artesanal, y, aunque en el caso particular de *V. speciosa*, que no es muy consumida como alimento por su menor tamaño en comparación con otras especies de caracoles atrapadas en el lugar, es apreciada por la ornamentación de su concha, por lo que los pescadores no realizan una selección exhaustiva en el tamaño del caracol al momento de la pesca. Sabiendo esto, se consideró pertinente hacer una prueba de bondad de ajuste para determinar la existencia de algún dimorfismo sexual en esta especie.

Y si bien al realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov no se encontraron diferencias morfológicas estadísticamente significativas entre machos y hembras en las variables tomadas para el presente estudio, es importante mencionar que tomando como base trabajos en este sentido realizados en organismos de la familia Muricidae, como el realizado por Fujioka (1984), existe la posibilidad que éste exista en otras características del animal, tales como en las características del largo de la rádula y características del diente.

Estructura de tamaños de población

Como se mencionó anteriormente, el esfuerzo de pesca en el caso de *V. speciosa* no está especialmente dirigido a un tamaño mínimo o algún tamaño específico de organismos, por lo que probablemente por esta razón la distribución de tallas que se encontró fue más o menos amplia, teniendo organismos desde 1.7 cm hasta los 4.2 cm de largo, en donde la media de la población fue 2.84 cm. Sin embargo, Seijo y colaboradores (1997) mencionan que usualmente las embarcaciones artesanales, por su autonomía y características físicas, ejercen su esfuerzo pesquero en zonas cercanas a la costa donde habitan juveniles o adultos jóvenes de especies de moluscos; quizás a esto se deba que los organismos que superaban los 4cm fueran solamente tres.

Por otro parte, es sabido que una manera ampliamente utilizada para analizar y representar gráficamente la distribución de una población es por medio de histogramas, se presentan éstos estimadores de densidad por fecha de colecta, sin embargo, para realizar un análisis más detallado de la distribución de la densidad, tanto los histogramas, así como el diagrama lineal de puntos, resultan un tanto burdos para este fin (Tarter y Kronmal, 1976, citados en Salgado Ugarte *et al.,* 2005).

Debido a que en el caso de los histogramas presentan varias complicaciones que los hacen poco adecuados para estimar la distribución de una población, para hacer inferencias y para hacer comparaciones entre distribuciones (Salgado-Ugarte, 2002), en este trabajo se analizó la estructura poblacional, la de machos y la de hembras por medio de estimadores de densidad por kernel (EDKs), los cuales se puede decir que son histogramas *mejorados* ya que resuelven dos de los problemas (dependencia del origen y discontinuidad) del histograma original.

En particular para éste trabajo, pese a la poca cantidad de datos que fueron muestreados, al analizar la distribución de tallas poblacional por medio de EDKs con una amplitud de banda de la mitad del óptimo de Silverman (*h=0.07*) se puede observar la presencia de multimodalidad en los datos (Figura 3), estas siete modas encontradas representan posibles cohortes, es decir grupos de individuos de edad semejante (Salgado-Ugarte *et al.*, 2002). Partiendo de esto, graficando la progresión modal en diferentes tiempos de muestreo puede ayudar a confirmar la edad relativa y el crecimiento de organismos de distintos tamaños por métodos específicos, como los presentados por Salgado-Ugarte y colaboradores (2005) sin embargo, esto resulta especialmente útil cuando se dispone de una gran cantidad de datos.

Por otro lado, en los gráficos de EDKs para hembras y machos (h=0.09 y h=0.07 respectivamente, amplitud de banda de la mitad de óptimo de Silverman), es destacable que en el caso de las hembras se encontraron seis posibles cohortes en donde la notablemente predominante tiene 3.06 cm de

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en Vasula speciosa Gastropoda: Muricidae

largo de la concha y la menos predominante 4.10 cm de largo. Mientras que para los machos se encontraron siete posibles cohortes, donde, a diferencia de las hembras, se encontraron tres notablemente predominantes siendo la mayor a los 2.88 cm de largo de la concha e, igualmente a diferencia de las hembras, se aprecia una posible cohorte notablemente menor a todas con 1.79 cm de largo, sin embargo, como se observó en las hembras, también las tallas más grandes fueron significativamente menos sobresalientes con 3.58 y 3.86 cm.

Salgado-Ugarte y colaboradores (2002) mencionan que, al estudiar la estructura de tallas, resulta difícil estimar la edad de los organismos más viejos, esto debido a que el crecimiento se hace más lento y las últimas modas pueden englobar a más de un grupo de edad. Esto se puede confirmar al contrastar los resultados obtenidos en la sección de *estructura de tamaños poblacional* con la *validación del crecimiento,* así como la *composición por edades*, en donde se encontraron nueve probables grupos de edad observados versus las siete posibles cohortes encontradas en la estructura de tallas poblacional. Reafirmando así la importancia de la estimación de la edad por medio de marcas periódicas en estructuras duras.

Por otro lado, resulta interesante que al graficar EDKs por fecha de muestreo tanto para hembras como para machos (figuras 6 y 7 respectivamente), ambos muestran un probable reclutamiento en noviembre del 2014, esto al distinguir una pequeña cohorte de individuos de talla pequeña surgir durante este mes. Aunque el muestreo se llevó a cabo durante casi tres años, y al observarse un único reclutamiento durante este lapso de tiempo, éste pudiera ser explicado en gran parte por la reducida cantidad de individuos que se logró colectar durante algunos meses, como lo fueron noviembre del 2013, agosto del 2014 y abril del 2015; en donde el tamaño de muestra afecta la interpretación más cercana de la población.

Proporción sexual

Las proporciones mensuales y total de *V. speciosa* no resultaron ser significativamente diferentes a 1M:1H. No obstante, los resultados obtenidos realizados en especies de la familia Muricidae han sido variados: 1M:1H en *Thais chocolata* (Castellanos & Cosavalente, 1999) en Perú; 1M:1.3H, 1M:1.4H y 1M:0.8H en *Bolinus brandaris* (Ramón & Amor, 2001) en España; 1.24M:1H en *Hexaplex trunculus* (Vasconcelos *et al.*, 2008) en México; 1.6M:1H en *Rapana venosa* (Sağlam *et al.*, 2009) en Turquía; 1M:1H y de 1M:0.76H a 0.96M:1H en *Plicopurpura pansa* (Michel, 2000; Flores-Garza *et al.*, 2012) en México. Como se aprecia, no se puede hablar acerca de un sesgo marcado por uno u otro sexo en la proporción de individuos de éstas especies de la familia Muricidae, sin embargo, para el caso específico de *V. speciosa*, esto podría explicarse debido a que, como se mencionó anteriormente, no presenta un dimorfismo sexual respecto al tamaño de la concha, y que al

momento de la pesca, los buzos no discriminan en distintas tallas de caracoles a ser atrapados como se ha visto en especies de mayor tamaño y con un marcado dimorfismo sexual en donde las hembras son significativamente más grandes que los machos, dirigiendo así el esfuerzo de pesca a éstas preferentemente que hacia los machos (Paemoeller & Stevens, 2013).

Relación peso-longitud

J.

La relación entre la talla de la concha y el peso total de *V. speciosa* presentaron valores de pendiente (*b*) menores a 3 (machos 2.56, hembras 2.86, poblacional 2.73) revelando que el crecimiento presentó un sesgo negativo, mostrando un crecimiento en la concha superior al crecimiento en peso total

Una posible explicación a lo anterior es que, a diferencia del crecimiento en peso, el cual puede variar más por la energía disponible, la tasa de crecimiento en la concha está definido por un límite intrínseco de producción de la misma antes que de la ingestión de energía o de un límite de producción de tejido (Palmer, 1981) ya que, en términos de costo energético, resulta más conveniente invertir la energía en la producción de la concha al ser ésta la protección del cuerpo blando del animal. Los resultados en este aspecto sobre otros murícidos han sido variados: la población de *Thais chocolata* también presentó un crecimiento de tipo alométrico negativo (*b*=2.91) (Castellanos & Cosavalente, 1999), mientras que la población de *Acanthina monodon* presentó un crecimiento de tipo alométrico positivo (*b*=3.48) (Soto *et al.*, 2004).

Como se ha mencionado, la concha de *V. speciosa* se encuentra muy frecuentemente con algas adheridas a ella, debido a que la presencia de éstas varió de caracol en caracol en la muestra y con fines comparativos, se procedió a analizar también la relación entre el peso blando y el largo de la concha. En esta relación, los valores de *b*, y por tanto el tipo de crecimiento, resultaron diferentes a los encontrados anteriormente, ya que las hembras presentaron un crecimiento de tipo alométrico con sesgo positivo (*b*= 3.20), sugiriendo un crecimiento en el peso blando superior al crecimiento en largo de la concha, la población presentó un tipo de crecimiento isométrico con una ligera tendencia al sesgo positivo (*b*=3.09), indicando un crecimiento en peso blando y largo de la concha muy similares (Figura 16); mientras que el tipo de crecimiento visto en los machos fue de tipo alométrico negativo (*b*= 2.75) al igual que en la relación PT-LAR, sugiere un mayor crecimiento en la concha que en el peso blando.

Posiblemente la diferencia en el tipo de crecimiento entre las relaciones PT-LAR y PB-LAR se pueden explicar debido a variables no consideradas para el presente trabajo: el peso de la concha y la profundidad a la que se recolectó cada individuo; según Palmer (1981), en algunos

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en Vasula speciosa Gastropoda: Muricidae

gasterópodos se ve influenciado el grosor de la concha de acuerdo a la profundidad en la que el caracol se encuentra, por ejemplo en *Thais lamellosa* se demostró que tanto los organismos de concha *delgada*, como los organismos de concha *gruesa*, secretaban significativamente menos concha (-22.6%) y producían menos tejido (-25.2%) en la zona alta del intermareal que en la zona baja, esto pese a que ambos caracoles, de concha gruesa y delgada, tienen el mismo tamaño inicial y pesos casi iguales en ambos niveles de profundidad; además, se encontró que si bien los organismos tenían pesos totales similares, los organismos con concha *gruesa* presentaron conchas 50% más pesadas. En el caracol murícido *Rapana venosa*, por ejemplo, se ha estudiado la relación peso de la concha-peso total, en donde el crecimiento mostró ser de tipo alométrico positivo (*b*=3.20) (Jong-duk & Dong-Ki, 2009).

Si bien el principal objetivo —al menos en la zona de estudio—, de la pesca de *V. speciosa* es el explotar sus conchas como piezas de ornato, también se considera una especie de interés pesquero en otras zonas del pacífico mexicano (Flores-Garza, 2012), motivo por el cual también se analizó la relación entre el peso comestible —peso callo— y el tamaño en largo de la concha. En donde se encontró que el crecimiento en machos y para la población es de tipo alométrico negativo (b= 2.63 y b= 2.90 respectivamente), mientras que para las hembras la pendiente reveló un crecimiento isométrico con ligera tendencia al sesgo positivo (b= 3.05). Los resultados obtenidos en este aspecto difieren de los encontrados en la población de *Thais chocolata* (Muricidae) en donde se observó un crecimiento de tipo alométrico con sesgo positivo (b=3.27) (Castellanos & Cosavalente, 1999).

Modelación del crecimiento

Las marcas de crecimiento fueron observadas por medio de luz transmitida y luz reflejada en la superficie externa del opérculo, sin embargo, los datos analizados solamente contemplaron a los obtenidos mediante luz reflejada ya que fue el método con el mejor porcentaje de coincidencia con la segunda lectura de marcas de crecimiento. El porcentaje obtenido mediante luz transmitida fue menor al 30%, esto posiblemente a que el primer lector fue más estricto en los criterios para la lectura.

Como un primer análisis del crecimiento individual en la población, al visualizar en un diagrama de cajas el comportamiento de los anillos respecto a la distancia en que cada uno de éstos se va formando (Figura 17), se puede apreciar el aumento de la cantidad de anillos conforme el tamaño del opérculo es más grande. Graficando a los machos y hembras por separado (Figura 18 y 19 respectivamente), se observa que su comportamiento es muy similar. Además, resulta interesante que en los machos el máximo de marcas encontradas fueron 34, mientras que en

las hembras han sido 40. Al realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov para dos muestras no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el número de marcas encontradas en opérculos de hembras respecto a los machos ($D_{max}=0.17>> D_{0.05}=-0.02$; P= 0.475). Sin embargo, se hace notar la falta de datos conforme la cantidad de anillos aumenta, razón que puede afectar lo reflejado en esta prueba. En este contexto, cabe mencionar que se ha encontrado una tendencia estadísticamente significativa a encontrar organismos pertenecientes al género *Thais* (el cual se considera actualmente sinónimo de *Vasula*) de mayor tamaño a mayores profundidades (hasta 20 m en el caso de *T. lamellosa*, p de Spearman del 75%) (Butler, 1979), lo cual podría explicar la ausencia de tallas mayores en la muestra.

Parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy (FCVB) y 7² de Hotelling

La curva de crecimiento de von Bertalanffy muestra que conforme aumenta la edad del caracol, éste también crece en talla, y este crecimiento disminuye por unidad de tiempo conforme se aproxima a su longitud asintótica, es decir la talla es una función de la edad. En el análisis de la regresión no linear para esta función (Cuadro 8) se observó que los parámetros son estadísticamente significativos (P<0.05), en donde la ecuación resultante para expresar el crecimiento individual en la población de *V. speciosa* fue: Lt = $3.89(1 - e^{-0.083(t+1.707)})$; para machos: Lt = $3.74(1 - e^{-0.11(t-0.63)})$; y para hembras: Lt = $4.40(1 - e^{-0.050(t+5.61)})$. Partiendo de esto, presumiblemente *Vasula speciosa* es una especie de *muy lento crecimiento* (*k* =0.083), lo que posiblemente explicaría el haber encontrado una gran cantidad de marcas de crecimiento en el opérculo pese a las diferencias de tamaño entre ésta y otras especies de importancia comercial.

Este comportamiento ha sido observado también en poblaciones de otros caracoles murícidos, el más destacable *Plicopurpura pansa*, que ha presentado valores del parámetro de curvatura de entre 0.04 y 0.18 (Naegel & López-Rocha, 2007); así como también en *Rapana venosa* se ha visto un crecimiento lento (*K*=0.104) (Jong-Duk & Dong-Ki, 2009). No obstante, también se han observado murícidos de crecimiento *más rápido* como en *Concholepas concholepas* (*K*=0.55) (Rabí & Maraví, 1997), esto bajo condiciones de laboratorio, por lo que probablemente este parámetro sea menor en condiciones naturales.

Por otra parte, aun cuando los datos poblacionales, así como los de machos y hembras se lograron ajustar adecuadamente a la FCVB con un alto coeficiente de correlación (r=0.9823, r=0.9871 y r=0.9794 respectivamente), resulta interesante que en el caso de los machos se observaran dos organismos que superaron la L_{∞} estimada (3.74cm), afectando así el cálculo de los parámetros

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en Vasula speciosa Gastropoda: Muricidae

de la ecuación para la población en general, en donde se observaron cinco organismos que superaron la longitud asintótica (3.89cm); mientras que los valores de éste parámetro en las hembras (4.40cm) coinciden más con los valores máximos observados. En consecuencia, se debe de tener en consideración que el parámetro de L_{∞} es un valor que depende de los coeficientes de anabolismo y catabolismo, y que para postular este modelo, von Bertalanffy se basó en los argumentos de Püter (1920), quien establece que la tasa anabólica es proporcional a la potencia $\frac{2}{3}$ del peso y la tasa catabólica lo es al peso mismo, todo esto asumiendo que el organismo en cuestión crece isométricamente, razones que pueden considerarse en cierto grado limitantes para la correcta descripción del crecimiento en el caso de *V.speciosa*.

Además, al acoplar las curvas de crecimiento de machos y hembras (Figura 23) resulta interesante que las hembras muestran un crecimiento constante mientras que los machos, además de que mostraron un ritmo de crecimiento más rápido (k=0.116) comparado con las hembras (k =0.050), se aprecia que alrededor de los 20 anillos de edad su ritmo de crecimiento disminuye notablemente.

Al realizar la prueba estadística de T² de Hotelling con respecto a los parámetros de la FCVB de machos contra los parámetros de las hembras, se confirmó una diferencia significativa en el crecimiento de ambas muestras. También al observar este mismo gráfico (Figura 23) se podría asumir que inicialmente machos y hembras crecen a un ritmo similar ya que presentan casi los mismos valores en la medida de longitud de la concha entre los anillos 8 y 10. Sin embargo esta aseveración no puede ser corroborada debido a la falta de datos de organismos más pequeños; así como también para analizar el crecimiento a mayores edades es necesario contar con una mayor cantidad de datos de organismos más grandes.

A manera de comparación, cabe mencionar que en investigaciones sobre la edad y crecimiento de *Hexaplex trunculus* (Muricidae), se han encontrado con diferentes problemáticas, tales como la obtención de resultados irregulares en el conteo de las marcas en el opérculo –tanto en la superficie externa como interna de éste–; así como el encontrar una considerable variación en el número de conteos de marcas a una determinada longitud de la concha; además de contar con escasos opérculos con pocas marcas de crecimiento a pesar del esfuerzo de muestreo (como ocurrió en el presente trabajo con *V. speciosa*); por lo que Vasconcelos y colaboradores (2012) consideraron evidente que al ajustar los datos obtenidos al modelo de von Bertalanffy, se observaría una subestimación del coeficiente de crecimiento (k), y una sobreestimación en la longitud asintótica de la concha (L_{∞}), esto al compararlos con registros de talla-edad de individuos obtenidos por marcaje y recaptura y corroborarlos con individuos criados por acuacultura. Debido a estas complicaciones los autores sugieren interpretar estas marcas cautelosamente en *H. trunculus* ya que probablemente éstas no correspondan con mucha precisión con el crecimiento individual.

Validación del crecimiento

En el opérculo de *V. speciosa* la banda hialina fue considerablemente más ancha que la banda opaca, por lo que, con esto, aunado a las coincidencias entre el tipo de borde y los valores de IM, se puede asumir que la banda hialina presentó mayor crecimiento respecto a la opaca.

Sabiendo lo anterior, y que la característica del método cualitativo de análisis de característica del borde del opérculo radica en que permite identificar la estacionalidad del crecimiento mediante un seguimiento mensual de la característica del borde (Gluyas-Millán & Martínez-Quiroz, 2010), al graficar los valores del porcentaje de borde hialino y opaco por muestreo se aprecia que *V. speciosa* mostró un mayor crecimiento durante junio del 2015, en donde presentó un 100% de bordes hialinos en los opérculos, y al compararlo con los resultados obtenidos mediante el método cuantitativo para validar el crecimiento –el análisis del incremento marginal–, se observa una coincidencia entre éstos meses y un incremento observado en el opérculo, aunque éste no fue el periodo de máximo incremento registrado; sin embargo, los valores utilizados en éste gráfico contemplan solamente aquellos meses en donde la muestra fue mayor a un organismo.

Así, tomando en cuenta también los meses donde el tamaño de muestra fue de un organismo, se aprecia la posibilidad de que, durante los años de muestreo, *V. speciosa* haya presentado varios periodos de crecimiento, en noviembre del 2013; marzo, mayo, y agosto del 2014 y durante enero, mayo y junio del 2015.

Para una mayor significancia en los resultados del análisis de borde se podría asumir que los opérculos deberían encontrarse en un óptimo estado de conservación, con el menor daño posible en el borde, empero, un problema significativo que se suscitó en el laboratorio durante la elaboración de la presente tesis fue la complicada manipulación de los opérculos después de la disección del caracol, que es cuando aún presentaban algún grado de flexibilidad. Una vez secos, éstos se volvieron rígidos y varios de ellos presentaron forma cóncava, además de estar incompletos, dañados o erosionados tanto del foco como del borde, sobre todo en organismos más *viejos*. Esta vicisitud también se ha observado en otras especies de murícidos, tales como *Hexaplex trunculus* (Vasconcelos *et al.*, 2012) complicando así tanto la lectura de las marcas de crecimiento como el análisis de característica del borde en estas estructuras.

Por otra parte, el análisis de incremento marginal de *Vasula speciosa* mostró estar relacionado con su factor de condición, es decir, se observó un crecimiento tanto en el peso del caracol al mismo tiempo que en su opérculo, esto al parecer, de manera independiente a la temperatura. Además, el AIM reveló que la deposición en el opérculo no es anual, mostrando algunas marcas formándose en el opérculo cada año. Esto se ha observado también en el caracol murícido *Hexaplex trunculus* confirmándose en organismos criados en condiciones de laboratorio (Vasconcelos *et al.*, 2012). No

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en Vasula speciosa Gastropoda: Muricidae

obstante en el caso de *Rapana venosa* (Muricidae) se obtuvieron resultados mediante el mismo análisis que sugieren que la formación de un anillo en el opérculo ocurre una vez al año (Jong-duk & Dong-ki, 2009), sin embargo es importante mencionar que las marcas de crecimiento utilizadas en esa investigación fueron las que sobresalen de la superficie interna del opérculo, cuya función probablemente es el de fungir como soporte para el músculo abductor del caracol; por otro lado cabe destacar que estas marcas también se encontraron en *V.speciosa*, pero debido a la razón antes mencionada, éstas no se consideraron para los análisis.

En otro aspecto, en gasterópodos intermareales, resulta complicado hablar de una temperatura óptima para el crecimiento, debido a la adaptación a una amplia variedad de microhábitas de diferentes temperaturas que éstos presentan (McMahon & Britton, 1983 citados en Naegel *et al.*, 2007). Por ejemplo, en el caracol murícido de *muy lento* crecimiento, *Plicopurpura pansa*, se ha encontrado evidencia de un crecimiento estadísticamente significativo más rápido entre los 26° y 30°C, esto en condiciones de laboratorio (Naegel *et al.*, 2007).

Considerando que *V. speciosa* es un caracol de hábitos carnívoros, y aunque en el presente estudio no se puede hablar de una correlación significativa entre el IM y la TSM, ésta última sí puede repercutir en el crecimiento de manera indirecta al estar relacionada con los niveles de clorofila-a registrados, ya que éste es un parámetro de la cantidad de *alimento disponible* para los productores secundarios, y se ha encontrado una estrecha relación entre esta productividad primaria y el tamaño de poliplacóforos, moluscos herbívoros como *Chiton articulatus* que son presas de gasterópodos carnívoros como *Plicopurpura pansa* (García-Ibáñez *et al.*, 2014) que también resultan ser potenciales presas de *V. speciosa*. Por lo tanto, es necesario mencionar que de acuerdo con los datos climáticos reportados por Martínez y colaboradores (2017), sobre fenómenos ENOS y tormentas registradas en México, si bien durante el año 2013 no ocurrieron fenómenos climáticos de oscilación de los parámetros meteorológicos en la zona de estudio, sí ocurrieron tormentas invernales durante noviembre (1) y diciembre (2), coincidiendo con un progresivo aumento en la productividad primaria en estos meses.

Durante el 2014 se registró el fenómeno climático El Niño Oscilación del Sur, generando un aumento considerable en la TSM desde abril, además, acontecieron tormentas invernales durante febrero (1) y marzo (1) coincidiendo con el aumento de clorofila-a que se había estado presentando desde finales del 2013, llegando a su máximo en febrero del 2014, mes en donde se registraron los valores más altos del IM, además de suscitarse otra tormenta más en diciembre de ese año, coincidiendo igualmente con un aumento en la productividad. Este fenómeno climático también se presentó durante el 2015, en donde se observa un aumento considerable en la TSM a partir de marzo, además, se registraron tormentas invernales durante enero (5), febrero (2), marzo (2), abril (1), en donde los efectos de estas constantes tempestades se ven reflejadas en un súbito aumento de la productividad primaria en abril de ese año, teniendo un descenso abrupto durante mayo y junio.

No obstante, durante este aumento de productividad primaria no se observó un aumento inmediato en el IM, por el contrario, ocurrió un descenso en la RIM hasta mayo, mostrando un nuevo aumento en junio. Esto se puede explicar por la buena condición reproductiva (IGSG, IGSD) que *V. speciosa* presentó durante el aumento de productividad primaria que, en conjunto con el aumento de la TSM, conformaron un ambiente idóneo para la reproducción, concentrando la localización de la energía obtenida del alimento en esfuerzos reproductivos antes que en crecimiento somático. Algo muy similar se ha observado en *Hexaplex trunculus* (Muricidae), ya que su crecimiento marginal mostró una evidente variación mensual, pero sin una clara relación estacional, en cambio, existe una clara relación entre su ciclo reproductivo con un marcado decrecimiento del incremento marginal (Vasconcelos *et al.*, 2012). Estos comportamientos también han sido reportados en otras familias de gasterópodos de la familia Turbinidae, en donde el opérculo mostró un lento crecimiento durante la temporada reproductiva (Miranda *et al.*, 2008).

Resulta intrigante las diferencias encontradas en la relación entre el IGSGD y el IM y así como en el IGSG y el IM, que a simple vista parecieran comportarse de manera un poco diferente, sin embargo esto puede deberse a que al disectar la gónada y separarla de la glándula digestiva, se quedara tejido gonadal aún unido a la glándula, en cuyo caso los valores del IGSG estarían infravalorados, o por el contrario, pudieron haber existido casos en donde tejido de la glándula digestiva permaneciera unido a la gónada, sobrevalorando entonces los valores del IGSG. Este tipo de error de laboratorio puede deberse a la incorrecta identificación de ambos órganos al ser éstos similares; a que éstos se encuentran separados por finas capas epiteliales como se mencionó anteriormente, además de que en el laboratorio en varias ocasiones no se observó una clara separación a simple vista entre un órgano y otro.

En este contexto, cabe mencionar que El-Ayari y colaboradores (2015) han observado en el caracol murícido *Stramonita haemastoma* que la presencia de epibiontes en la concha provoca fluctuaciones significativas en el IGS tanto en machos como en hembras, aunque éste índice también pudo verse influenciado por otros factores como las variaciones en el peso de la glándula digestiva después de la ingestión de comida. Sin embargo, comparando las fotos mostradas en la investigación citada con lo observado en el laboratorio en *V. speciosa*, el caracol *S. haemastoma* se presenta más invadido de epibiontes, y de especies más grandes y diferentes de moluscos incluyendo juveniles de ostras.

A reserva de lo explicado, se observó un comportamiento especialmente contrario entre el IGSG y el IM, el cual resulta esperado, debido a que como se mencionó anteriormente, durante la temporada reproductiva el caracol invertiría preferencialmente su energía a esfuerzos reproductivos antes que al crecimiento somático. Además, esta hipótesis toma más peso al comparar estos valores con los obtenidos en la estructura de tamaños de población, en donde se encontró un posible reclutamiento durante el mes de noviembre del 2014. Así, es posible asumir que durante el periodo de mejor condición gonadosomática del mismo año, ocurrida en agosto,

CAPÍTULO 4. Estimación de la edad y modelación del crecimiento en Vasula speciosa Gastropoda: Muricidae

los organismos de *V. speciosa* posiblemente se encontraron en época reproductiva, dando lugar al desove poco tiempo después, posteriormente ocurriría el asentamiento de las larvas de la nueva cohorte, lográndose identificar como probables reclutas en noviembre, fecha en la que el IGSG mostró un claro descenso, volviendo aumentar en los meses próximos. Pese a la coherencia de estos supuestos, debido a la falta de meses de muestreo y de un tamaño de muestra más grande no se puede afirmar que *V. speciosa* presentó un solo reclutamiento durante los tres años de muestreo.

Además, en este sentido, los murícidos presentan diferentes comportamientos en su ciclo reproductivo, por ejemplo, Aguillón (2011) menciona al caracol Murexiella lappa en su trabajo sobre variación espacio-temporal del reclutamiento en mollusca y echinodermata, como una especie que presenta un reclutamiento continuo o simicontinuo con picos estacionales de abundancia. Sin embargo, en el caso de Rapana venosa (Muricidae) el desarrollo gonádico muestra una periodicidad anual durante la temporada reproductiva, con un agudo decrecimiento en el IGS de hembras entre los meses de verano, Julio y Agosto (esto en el Mar Muerto) (Sağlam et al., 2009), además Cesari y Mizzan (1993) han registrado que su desove ocurre solamente en el verano, a temperaturas >18°C (18-23°C) en el lago de Venecia, Italia. En el murícido Thais chocolata, aunque su desarrollo gonadal se observó asincrónico, encontrando hembras maduras durante todo el año, se han registrado periodos de agregaciones copulativas masivas coincidiendo con periodos de temperaturas <15°C (esto en Chanavaya, Tarapacá, Chile), disminuyendo la actividad reproductiva con la temperatura (Cantillanez & Avendaño, 2013). Por lo que para confirmar y enriquecer los conocimientos acerca de los comportamientos reproductivos de V. speciosa presentados en la presente tesis son necesarios más análisis, tales como talla de la primera madurez, época de desove, fisiología de su reproducción, entre otros.

Complementario a lo anterior, resultaría enriquecedor la realización de investigaciones como la llevada a cabo por Góngora-Gómez y colaboradores (2020), quienes observaron una tasa de crecimiento de 0.024mm/d, 0.027mm/d y 0.049 g/d, para la longitud, ancho y peso, respectivamente en ejemplares de *Hexaplex nigritus* (gasterópodo marino perteneciente a la misma familia que *V. speciosa*: Muricidae), bajo condiciones de laboratorio durante 18 meses, y así reforzar la información que poseemos sobre los caracoles murícidos.

Composición por edades

Partiendo de los supuestos obtenidos en los apartados anteriores, se observa que *V. speciosa* presentó varios periodos de formación de marcas de crecimiento al año, en el caso de la presente investigación fueron tres, por lo que considerando esto, se puede agrupar a los individuos muestreados en grupos de edades que van desde los 8 hasta los 13 años, sin embargo, resultó

claro que las frecuencias de las edades fueron bastante irregulares, en donde las más observadas fueron los 3 y 4 años. Resultando interesante que no se encontraran *juveniles* de menos de 8 años, esto posiblemente a que al ser una especie de *muy lento* crecimiento y al ser de tamaño relativamente pequeño, no son fácilmente reconocibles a primera vista por los pescadores y, por el contrario, los organismos más grandes se encuentren a mayores profundidades (Bottemanne, 1972; Butler, 1979) las cuales resultarían igualmente difíciles de obtener.

Conclusiones

El largo de la concha (LAR) de los 191 individuos de *Vasula speciosa* presentó valores desde 1.73 cm hasta 4.24 cm, con promedio de 2.84 cm ± 0.49 cm. Al ser una especie de la que no se tiene conocimiento bioeconómico hasta ahora, su pesca no está regulada por lo que no se cuenta con una norma de talla mínima de captura legal.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las variables morfométricas obtenidas entre machos y hembras, por lo que no se puede afirmar que el dimorfismo sexual en esta especie existe, al menos en las variables analizadas.

Los EDKs mostraron una distribución multimodal en la estructura de tamaños tanto en la población general, como en machos y hembras, encontrando 7 probables cohortes en la población en donde la principal es representada por individuos de 2.91cm de talla; 7 en machos de las cuales se encontraron tres más representativas con organismos de 2.46cm, 3.24cm y principalmente 2.88cm de talla; y 6 en hembras en donde la principal representa organismos de 3.06cm de talla.

Mediante la prueba de bondad de ajuste de χ^2 se obtuvo que la proporción sexual no resultó estadísticamente diferente de 1M:1H (1.01M:1H).

Las relaciones PT-LAR reflejan un crecimiento alométrico negativo, indicando un mayor crecimiento en largo que en peso. Mientras que las relaciones PB-LAR reflejan un crecimiento alométrico positivo para la población y las hembras, indicando un mayor crecimiento en peso que en la talla; y un crecimiento alométrico negativo en machos, indicando un mayor crecimiento en talla que en peso). En tanto las relaciones PC-LAR muestran un crecimiento alométrico negativo para machos y la población e isométrico con ligero sesgo positivo para hembras.

Se utilizó el método esclerocronológico básico de lectura de marcas de crecimiento en opérculos de *V. speciosa* por medio de luz reflejada. La observación de estas marcas mostró edades de 8 a 13 años.

Tomando como criterio el coeficiente de relación obtenido en las relaciones morfométricas analizadas, los datos obtenidos de la biometría del largo del caracol y la lectura de marcas de crecimiento en opérculos, se ajustaron al modelo de von Bertalanffy resultando las ecuaciones: Lt = $3.89(1 - e^{-0.083(t+1.707)})$ para la población (r^2 =0.982); Lt = $3.74(1 - e^{-0.11(t-0.63)})$ para machos (r^2 =0.984); y Lt = $4.40(1 - e^{-0.050(t+5.61)})$ para hembras (r^2 =0.979).

La prueba de T² de Hotelling indicó que la función de crecimiento de machos es estadísticamente diferente de la función de crecimiento de las hembras. Ambos sexos crecen de manera diferente, esta diferencia estuvo marcada (valores críticos de *F*) por la diferencia de los parámetros de curvatura (*K*), las $t_{o'}$ y finalmente por las longitudes asintóticas. Sugiriendo estimaciones diferentes de los parámetros de curvatura y crecimiento inicial y no tanto de las longitudes asintóticas entre ambos sexos.

La banda hialina en el opérculo fue la que mostró mayor crecimiento en comparación con la banda opaca. El análisis de la característica de borde del opérculo sugirió más de un probable periodo de crecimiento durante el año en *V. speciosa*, confirmándose mediante el análisis de incremento marginal, sugiriendo la formación de tres anillos durante el año.

Los niveles de clorofila-a promedio tuvieron una relación significativa con el IM (P=0.05), por lo que los fenómenos climáticos que se suscitan en la zona de estudio parecen estar relacionados con el crecimiento de *V. speciosa* al generar surgencias que promueven el incremento de la productividad primaria produciendo a su vez un aumento en la abundancia de especies presa del caracol.

Se encontró una relación principalmente negativa entre el IGSG y el IM, mostrando que cuando la condición reproductiva de *V. speciosa* aumenta, el crecimiento somático en el opérculo se ve disminuido y viceversa, sin embargo, esta relación no fue estadísticamente significativa (P=0.98). Contrariamente, se encontró una relación significativa (P=0.03) entre el IGSD y el IM, mostrando generalmente un aumento en el crecimiento somático cuando la condición reproductiva también aumentaba.

El factor de condición (K) mostró una relación significativa leve con el crecimiento del opérculo (P=0.08), mostrando una mejor condición en los periodos de crecimiento y una disminución en el mismo cuando la condición del caracol también se vio disminuida. En tanto que, si bien no se encontró relación significativa entre el K y el IGSG y el IGSD (P=0.43 y P=0.69 respectivamente), se apreció una disminución en la condición reproductiva cuando la condición somática aumenta, y viceversa.

Se encontró un probable reclutamiento en noviembre del 2014 en los EDKs mensuales, coincidiendo con el incremento en la condición reproductiva que se dio un par de meses antes en *V. speciosa*. Sin embargo, debido a la falta de muestra durante algunos meses, no se puede asumir que éste fue el único que se suscitó durante el periodo de muestreo.

Las clases de edad más representativas se encontraron de 3 a 4 años con largo de concha promedio de 2.44cm±0.38cm.

Algunas consideraciones bioeconómicas

En un contexto global, es sabido que existen pocos estudios a detalle sobre la evolución de las prácticas de explotación y manejo de pesquerías a pequeña escala de invertebrados marinos, dentro de los cuales, los gasterópodos han mostrado serios problemas de sobreexplotación debido a su alto valor económico (Tegner, 1989; Castilla, 1996; Ponce-Díaz *et al.*, 1998; Hobday *et al.*, 2001).

En el caso de México, y en cuanto a captura y esfuerzo (operaciones y equipos) cabe mencionar que en Oaxaca, existen registrados en la Subdelegación de Pesca 4,268 socios, agrupados en 47 grupos en Solidaridad Mancomunada de Responsabilidad Ilimitada (GSMRI), 9 Sociedades en Solidaridad Social Pesqueras (SSSP), 81 SCPP que incluyen a las Cooperativas Pesqueras de Bienes y Servicios y 131 permisionarios, que pueden contar con varias lanchas que a su vez ocupe cada tripulación de 3 ó 4 pescadores. Por otra parte, de acuerdo con las pláticas con pescadores y a estimaciones visuales, existen aproximadamente 7,200 pescadores libres (Espino-Barr *et al.*, 2006). Todo esto, aunado al hecho de que el 60% de los caracoles capturados se encuentran por debajo de la talla mínima de captura (DOF, 2012), refuerza el hecho de la necesidad de hacer más estudios biológico-pesqueros de especies de gasterópodos, no solo los denominados con importancia pesquera, ya que cada especie cumple una función trófica en el ecosistema marino.

Además estas investigaciones no sólo beneficiarán al acervo del conocimiento biológico, sino también contribuirá a un mejor manejo de los recursos, ya que es claro que la evolución de la demanda del recurso en el corto y mediano plazo dependerá principalmente de factores como la tasa del crecimiento de la población y del ingreso disponible, los precios relativos del producto (por ejemplo el esfuerzo de pesca), consideraciones sobre captura o cultivos en acuacultura respecto a la relación costo-beneficio, etc.

En este contexto, *V. speciosa* al ser una especie que es capturada por medio de la pesca artesanal comercial en la zona de estudio, es necesario comentar que, de acuerdo con Seijo y colaboradores (1997), en pesquerías donde existen flotas artesanales o de pequeña escala y flotas industriales o mecanizadas que inciden sobre diferentes componentes de la estructura de la población de una misma especie objetivo, se generan interdependencias tecnológicas entre los dos tipos de flotas. Usualmente las embarcaciones artesanales, por su autonomía y características físicas, ejercen su esfuerzo pesquero en zonas cercanas a la costa donde habitan juveniles o adultos jóvenes

de especies de peces, crustáceos y moluscos, mientras que la flota mecanizada por su mayor autonomía y tamaño opera generalmente en aguas profundas, a mayor distancia de la costa, en zonas de ocurrencia de adultos.

Entonces, incrementos sustantivos en el esfuerzo pesquero efectivo de la flota artesanal causarán una disminución en la abundancia de adultos en períodos subsiguientes, generando externalidades negativas a pescadores de la flota mecanizada. Análogamente, el aumento del esfuerzo pesquero por parte de la flota mecanizada tenderá a disminuir el stock desovante, pudiendo afectar en períodos subsiguientes el reclutamiento de juveniles y adultos jóvenes en zonas donde opera la flota artesanal. Por lo que también se hace necesario el establecimiento de normas sobre talla mínima de captura de las especies explotadas, que deben estar fundamentadas en estudios biológicos tales como talla de la primera madurez sexual.

Si bien en México cada vez son más los estudios que se han hecho en estos temas, tanto por instituciones educativas y de investigación, es notable la falta de información en el litoral del pacífico, sobre todo para los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Colima (DOF, 2012). Por lo que se espera el aumento de trabajos como el presente que valgan como base para un buen manejo de los recursos marinos.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por abrirme sus puertas, nutrirme académicamente a través de sus profesores y permitirme realizar mis estudios de licenciatura. A la Dra. Verónica Mitsui Saito Quezada, quien junto con el Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte, me brindaron vasto conocimiento, guiándome por el camino adecuado para concluir esta etapa, por el gran apoyo, asesoría y paciencia constantes durante mi último año de carrera y durante la elaboración de esta tesis en el LBBP. Al M en C Ernesto Mendoza Vallejo, al M en C Armando Cervantes Sandoval y a la M en C Gabriela Selene Ortíz Burgos por las valiosas observaciones, disposición y tiempo dedicado a la revisión de este trabajo. A todos mis compañeros del LBBP por su ayuda y compañía. El trabajo original fue realizado con el apoyo de los proyectos PAPIME EN206213 y PE207417.

Capítulo 5

Estudio preliminar sobre la edad y crecimiento de equinoideos en Puerto Ángel, Oaxaca, México

Ana Gabriela González Castillo María Alicia Rivera Barrera Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte

INTRODUCCIÓN

a pesca como actividad del sector productivo primario requiere de generación de conocimiento como soporte a la administración del uso de los recursos pesqueros, y como política general, se define como objetivo el uso sustentable de los mismos (Arreguín & Arcos, 2011).

La mención cada vez más generalizada del deterioro de las pesquerías en el contexto mundial (FAO, 2010) y por extensión en el nacional, así como el efecto negativo de la pesca en los ecosistemas, todo esto dentro del marco de referencia de los acuerdos internacionales (y ya que México es signatario de los mismos para la pesca responsable (FAO, 1995), el enfoque precautorio) y el manejo basado en el ecosistema (FAO, 2008); y desde luego, con el objetivo global de una pesca sustentable.

La producción pesquera en México en los últimos 60 años ha aumentado de manera significativa. Durante el periodo de 1940 a 1970 el volumen de producción mantuvo una tendencia de constante crecimiento, hasta rebasar las 270 mil toneladas anuales. En la década de los 70 se registró un incremento tal que la producción, de ser de 275, 511 toneladas en 1970, alcanzó en

1980 un volumen de captura de 1,058,556 toneladas (aumentó un 380 por ciento). Sin embargo, tres años después se registró una disminución significativa de la producción alcanzando las 926 626 toneladas (FAO, 2010). Salvo las pesquerías de atún, sardina y camarón que son industriales, la pesca se lleva a cabo por las flotas ribereñas, artesanales o de pequeña escala. Algunos autores describen en detalle las pesquerías de México, artes de pesca, embarcaciones, especies que se capturan como pesca incidental, aspectos socioeconómicos y de mercado; los conflictos en la pesca, aspectos legales, administrativos e institucionales; así como la participación de las organizaciones no-gubernamentales y de agencias internacionales en el sector pesquero. También se discute el enfoque basado en el ecosistema e identifica retos tales como la necesidad de integración en los estudios de evaluación, carencia de visión de largo plazo, debilidad de las políticas pesqueras y falta de transparencia; uso de derechos de pesca, interdependencia de la pesca industrial y de pequeña escala con otros sectores y los subsidios a la pesca (Fernández *et al.*, 2011).

La extensión litoral de México y su gran diversidad de hábitats han permitido la existencia de 643 especies de equinodermos (datos de la Colección Nacional de Equinodermos, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México), aproximadamente el 10% del total mundial. La clase Crinoidea es la menos representada con 29 especies (4% del total para México), mientras que la clase Ophiuroidea presenta la mayor riqueza con 197 especies (31%); la clase Asteroidea es la segunda mejor representada con 185 especies (29%) y la clase Echinoidea es la tercera más rica con 119 especies (19%) reportadas para ambos océanos Pacífico y Atlántico (Solís, 2013).

Aunque los equinodermos del Pacífico de México han sido estudiados desde finales del Siglo XIX (Buitrón y Solís, 1993), estos estudios no han sido realizados en todos los estados de la república que comprenden el Pacífico Mexicano. Existen listados regionales actualizados y corregidos, para varias localidades, principalmente del norte del país (Bautista et al. 1994, Solís, et al. 1997, Cintra y Buenrostro, 2001), pero aún se carece de ellos para el resto del Pacífico Mexicano. Aun cuando el estado de Oaxaca representa solo el 4.8% de la superficie total de México, es la entidad con mayor diversidad biológica (Neyra y Durand, 1998). El estado cuenta con 598 km de litoral, una plataforma continental de 8 623 km2 y un vasto sistema hidrológico que lo ubica en el sexto lugar a nivel nacional con mayor superficie estuarina (145 000 Ha). Debido a esta compleja mezcla de unidades de paisaje, existe toda una variedad de ambientes, hábitat y tipos de vegetación como comunidades de manglar, arrecifes coralinos, fondos arenosos extensos y fondos rocosos, que le confieren al litoral una gran riqueza florística y faunística. No obstante, el conocimiento sobre el ambiente costero está rezagado y, a pesar de los esfuerzos institucionales, una extensión considerable del litoral de Oaxaca se mantiene virtualmente inexplorada. Particularmente, existe un total desconocimiento respecto a la rigueza, distribución y estado de conservación de muchos grupos de vertebrados (peces, tortugas, cocodrilos) e invertebrados (moluscos, artrópodos, equinodermos, cnidarios, poliquetos) costeros (Okolodkov et al. 2007).

En México, las principales especies que sostienen la pesquería de erizo, *Strongylocentrotus franciscanus* y *S. purpuratus*, muestran fuertes signos de sobreexplotación. Recientemente, se ha generado interés por las especies de aguas tropicales como una alternativa para la pesquería, sin embargo, se conoce muy poco acerca de la biología de sus poblaciones. *Echinometra vanbrunti y Toxopneustes roseus*, los cuales son erizos comunes y abundantes en el Pacífico Mexicano y pueden ser un candidato potencial para la pesquería. Por tal razón, se requiere generar información que contribuya a entender la dinámica poblacional para planes de manejo futuros (González-Peláez, 2004).

Antecedentes

Descripción de la especie

El phylum Echinodermata se encuentra divido en 5 clases: clase Crinoidea (lirios de mar), clase Asteroidea (estrellas de mar), clase Ophiuroidea (estrellas quebradizas y estrellas canasta), clase Echinoidea (erizos, galletas y bizcochos de mar) y la clase Holothuroidea (pepinos de mar) (Solís, 2013).

La palabra "Echinodermata" proviene de 2 vocablos griegos, "echinos" (= espina) y "derma" (= piel), debido a las estructuras calcáreas espinosas presentes en la piel de estos organismos. Los equinodermos son animales exclusivamente marinos, deuterostomados, que se caracterizan por poseer una simetría pentarradial, a veces enmascarada en una simetría bilateral; un esqueleto de carbonato de calcio (calcita) compuesto por placas intradérmicas independientes y articuladas o espículas calcáreas, y un sistema vascular acuífero (SVA) único que regula la alimentación, locomoción y otras funciones (Hyman, 1955; Brusca, 2009; Pawson, 2007). El SVA se encuentra abierto al medio a través de una madreporita y consiste en una red interna de canales y reservorios flexibles conectados a extensiones externas (Samyn et al., 2006). Los equinodermos poseen además un tejido conectivo flexible que permite cambiar de forma voluntaria y rápida la rigidez del animal (Hendler et al., 1995; Samyn et al., 2006), sistema circulatorio hemal, sistema digestivo completo y sistema nervioso descentralizado (Pawson, 2007). La talla de los equinodermos adultos es muy variable.

Estudios esclerocronológicos sobre edad y crecimiento de moluscos, equinodermos, peces y reptiles

Clasificación de las especies

Reino: Animal

Phyllum: Echinodermata Clase: Echinoidea Orden: Camarodonta Familia: Echinometridae Género: Echinometra Especie: *Echinometra vanbrunti*

Reino: Animal

Phyllum: Echinodermata Clase: Echinoidea Orden: Camarodonta Familia: Toxopnesutidae Género: Toxopneustes Especie: Toxopneustes roseus



FIGURA 1. Echinometra vanbrunti.



FIGURA 2. Toxopneustes roseus.

Justificación

El presente trabajo tiene como propósitos, además de dar a conocer información sobre la clase Equinoidea, sobre su importancia ecológica y como recurso potencial, el investigar sobre el patrón de crecimiento de estas especies por medio del análisis de las marcas en las placas del esqueleto. Lo anterior para contribuir a la consecución de un manejo sustentable de estos erizos marinos por medio de propuestas para el establecimiento de una regulación de su explotación en Puerto Ángel, Oaxaca, México.

Hipótesis

Tanto *Echinometra vanbrunti* como *Toxopneustes roseus* forman una marca de crecimiento al año durante los meses del verano y se podrá distinguir como una marca opaca en las placas al observarlas con iluminación transmitida.

CAPÍTULO 5. Estudio preliminar sobre la edad y crecimiento de equinoideos en Puerto Ángel, Oaxaca, México

Objetivos

General:

Estimar la edad por medio de la interpretación de placas esqueléticas y modelar el patrón de crecimiento por medio de funciones matemáticas asintóticas de los erizos marinos *Echinometra vanbrunti y Toxopneustes roseus* en Puerto Ángel, Oaxaca, México.

Particulares:

- Describir la estructura de tallas por medio de los estimadores de densidad por kernel y de sexos por la proporción sexual (Ji-cuadrada).
- Analizar las relaciones alométricas para conocer el tipo de crecimiento relativo de las especies Echinometra vanbrunti y Toxopneustes roseus.
- Utilizar esclerocronología para la lectura (interpretación) de las marcas de crecimiento en las placas del esqueleto.
- Ajustar los datos de talla edad a funciones de crecimiento (von Bertalanffy, Gompertz, Logístico, Richards) por medio de regresiones lineales y no lineales simples y ponderadas.

Método

Descripción del área de estudio

Puerto Ángel es una localidad situada en la costa del Océano Pacífico y perteneciente al estado de Oaxaca (Figura 3). Es un sitio turístico fundado a fines del siglo XIX y cada año recibe más de 25,000 visitantes en la época de vacaciones. Se encuentra a 230 km de la ciudad de Oaxaca de Juárez, capital del estado. El interior de la bahía ofrece un buen fondeadero para embarcaciones menores, con profundidades entre 7.4 y 13 m., con buena protección para los vientos. Dentro de la bahía existe un pequeño muelle rígido de concreto balizado con 48 m. de atraque por ambas bandas y 21 m. en la cabeza del muelle: con disposición marginal, de 50 m. de longitud, 15 m. de ancho, 5 m. de altura y 5 m. de profundidad.

Ubicado en situación geográfica Lat. 15° 39' 59.04" N, Long. 096° 29' 35.44" W. La población tiene como actividades económicas principales; la Pesca, los servicios turísticos, y en menor escala la agricultura. Puerto Ángel se localiza en la Región Marítima denominada "Pacifico Sur".

El clima predominante es cálido con una temperatura de 33° C, promedio en el año, con cielo despejado o con nubes dispersas, humedad relativa de 66% y con vientos de 21 km/h; siendo época de lluvia y huracanes de mayo a noviembre (PAO, 2017).

Puerto Ángel es un pequeño puerto de pescadores de una excepcional belleza rústica y se localiza en una pintoresca bahía de las costas oaxaqueñas del Pacífico Sur entre Puerto Escondido (80km) y las Bahías de Huatulco (50 km), rodeada de montes rocosos y playas de arena fina. Sus 5000 habitantes viven principalmente de la pesca y del turismo (García, 2017).



FIGURA 3. Zona de estudio: Puerto Ángel, Oaxaca, México.

CAPÍTULO 5. Estudio preliminar sobre la edad y crecimiento de equinoideos en Puerto Ángel, Oaxaca, México

Trabajo de campo

Se realizaron muestreos (en lo posible mensuales) en la localidad de Puerto Ángel del día 28 de abril del 2017 al día 20 de abril del 2018 de 9:30 de la mañana a 12:00 de la tarde, obteniendo la muestra de los pescadores basados en la pesquería artesanal. Una vez obtenidos se almacenaron los organismos en bolsas, y se metieron en recipientes térmicos con hielo y sal.

Una vez en el laboratorio, las muestras se conservaron en un frigorífico hasta su manejo.

Trabajo de laboratorio

Este proceso se realizó en el Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera en la FES Zaragoza campus II, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

A). Limpieza

Cada muestra de erizos se colocó en un bote con agua para su descongelamiento, por separado en una charola se trabajaron, antes de pelar los erizos se pesaron, con pinzas se les quitaron las espinas; posteriormente se procedió a pesar gónadas, parte del intestino, los dientes y el caparazón. Al término del pesaje se procedió a limpiar completamente el caparazón y los dientes. Una vez limpias, se enjuagaron y se les removió el exceso de humedad.

B). Almacenamiento

Una vez secos los caparazones y los dientes, se guardaron en pequeñas bolsas y se etiquetaron para su posterior interpretación (observación de anillos de crecimiento).

E). Lectura

Otro aspecto por considerar es que el conteo y medición de las marcas de crecimiento se tendrá que realizar con dos lectores con el objetivo de corroborar las marcas.

Para las lecturas se seccionaron los caparazones de forma simétrica y en la porción seccionada se marcaron con lápiz las marcas dentro de los caparazones, viendo sus marcas a contraluz (luz transmitida), se ubicaba el centro y las marcas de crecimiento (Figuras 4a y 4b) para su posterior medición con ayuda de un ocular micrométrico en un microscopio estereoscópico (Figura 5).







FIGURA 4. a) Observación de las marcas de crecimiento bajo luz transmitida y b) su marcaje para posterior conteo y medición en dos placas esqueléticas (L1 y L2).



FIGURA 5. Medición de la distancia entre marcas por medio de un ocular micrométrico.

Se realizaron conteos y mediciones simétricas en placas de ambos lados de las secciones (L1 y L2); para las estimaciones de edad sólo se consideraron aquellas estructuras en las que ambas medidas coincidieron.

Tratamiento estadístico

La determinación de la estructura poblacional por tallas se realizó mediante estimadores de densidad por kernel gaussiano (EDKs). Los EDKs son estimadores no paramétricos de la frecuencia que resuelven los problemas de punto de origen y discontinuidad presentados por los histogramas tradicionales (Chambers, et al.; Silverman, 1986; Härdle, 1991; Scott, 1992; Salgado-Ugarte, et al., 1993; Salgado-Ugarte, 2002; Salgado-Ugarte, 2013). Además, se realizó la evaluación no paramétrica de la multimodalidad de los datos (Silverman, 1981; Salgado-Ugarte et al. 1997).

Los EDKs son histogramas mejorados que en lugar de usar funciones constantes cuadradas para representar la frecuencia utilizan otro kernel, el cual, en lugar de ser cuadrado, es una función de densidad de probabilidad suave, simétrica y que integra a la unidad, por lo que produce figuras redondeadas en lugar de rectángulos, esto evita la discontinuidad entre intervalos de clase; además estos estimadores no dependen del origen de los intervalos. Debido a estas características los EDKs son considerados como un mejor procedimiento estadístico en el análisis de distribución de tallas en peces en comparación con los histogramas y los polígonos de frecuencia. (Salgado-Ugarte, 2002, 2013; Salgado-Ugarte et al., 2005).

Los estimadores de densidad por kernel se calculan mediante:

$$\widehat{f}(x) = \frac{1}{hn} \sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x - X_i}{h}\right)$$

En donde $\hat{f}(x)$ es la estimación de la densidad (frecuencia), *n* es el número de datos, *h* es la amplitud de banda (intervalo) y *K* es el "kernel" o sea la función que define el peso de cada dato en la estimación de frecuencia (forma de la curva para cada observación) (Salgado-Ugarte, 2002, 2013; Salgado-Ugarte, et al. 2005).

Los EDKs eliminan dos de los problemas de los histogramas: origen y discontinuidad. El problema de amplitud de banda persiste, pero se han propuesto expresiones prácticas y procedimientos de cómputo intensivo para determinarla.

Estos procedimientos se enfocan a encontrar la amplitud óptima al minimizar alguna medida del error estadístico con ciertas condiciones y suposiciones. Es posible, además, estructurar un EDK con amplitud de banda variable (Salgado-Ugarte, 2002).

Para el análisis de la composición por tallas en el presente trabajo se utilizaron los estimadores de densidad por kernel de amplitud fija considerando la longitud patrón y aplicando la amplitud de banda óptima de Silverman.

Silverman utiliza la distribución gaussiana como referencia. Si se emplea un kernel Gaussiano, la amplitud óptima de banda es estimada por medio de:

$$\hat{h} = 1.06 \ \hat{\sigma} \ n^{-1/5}$$

Dónde:

 $\hat{\sigma}$ = estimación de la desviación estándar

n = tamaño de muestra

La obtención de los EDKs se realizó mediante las rutinas computarizadas de Salgado-Ugarte et al. (1993, 1995a, 1995b, 1997); Salgado-Ugarte, (2002); Salgado-Ugarte, (2005) para el paquete estadístico Stata versión 11.

Relación peso-longitud

La relación peso-longitud se estimó según la ecuación estandarizada (Ricker, 1975):

 $P=aL^b$

Dónde:

<i>P</i> = peso del individuo	L = Longitud del organismo
<i>a</i> = constante	<i>b</i> = constante (índice alométrico)

Esta es una ecuación potencial cuyos parámetros ("a" y "b") pueden estimarse por medio de regresión lineal (mínimos cuadrados) al aplicar una transformación logarítmica:

El valor de la constante "b" fluctúa en especies pesqueras entre 2 y 4. En el caso de que los individuos mantengan su forma sin variación en sus proporciones durante su crecimiento (de manera isométrica), entonces el valor de b es igual a 3.0 (el peso aumenta en proporción geométrica respecto a la talla). Un valor significativamente menor o mayor a 3.0 indica un crecimiento alométrico. Un valor menor de 3 muestra que el organismo es menos pesado para la longitud que alcanza (forma alargada); un exponente mayor de 3 indica que el organismo llega a

ser más pesado para su longitud conforme incrementa en talla (forma más cercana a una esfera) (Laggler, 1956; Tesch, 1978; Ricker, 1979; Pauly, 1984; Weatherley y Gill, 1987; Wootton, 1990; Granado, 1996).

La relación permitió establecer el tipo de crecimiento relativo de *E. vanbrunti* y *T. roseus*; para ello se utilizaron los datos de altura y peso total.

Estimación de los parámetros de crecimiento mediante los modelos de Von Bertalanffy, Gompertz y Logística (FCVB)

Se puede definir un modelo como una representación matemática conceptual a escala de un fenómeno con el fin de analizar su naturaleza, desarrollar o comprobar hipótesis y permitir una mejor comprensión del fenómeno real al cual el modelo representa (Sparre y Venema, 1997).

Para describir cuantitativamente el crecimiento de un pez, se han desarrollado varias expresiones matemáticas. En biología pesquera, el modelo principal fue propuesto por Bertalanffy (1938).

La función de crecimiento de von Bertalanffy (FCVB) ha sido muy útil pues sigue cercanamente el crecimiento observado en un gran número de especies (Salgado-Ugarte, *et al.* 2005).

A). La expresión matemática de von Bertalanffy para el crecimiento, expresa la longitud (*L*) en función de la edad (*t*) del organismo:

$$L_t = L_{\infty} (1 - \exp[-K(t - t_0)])$$

Dónde:

 L_{∞} = La longitud infinita o asintótica interpretada como la longitud promedio máxima que un individuo podría alcanzar en caso de crecer hasta una edad muy avanzada (estrictamente infinita).

K = parámetro de la curvatura, que determina la rapidez con la que el organismo alcanza la L_{∞} .

 t_0 = "edad" hipotética que el organismo debiera haber tenido para que su longitud fuese 0, o el origen de la función.

 L_{t} = longitud a la edad "t".

B). La expresión matemática de Gompertz para el crecimiento, expresa la longitud (L) en función de la edad (t) del organismo:

 $L_t = L_{\infty} \exp(-\exp[-K(t-t_0)])$

Dónde:

 L_t = Longitud a la edad "t".

 L_{∞} = Longitud máxima promedio de la especie.

K = Constante de crecimiento.

$$t_0$$
 = Punto de inflexión de la curva.

t = Edad

C). La expresión matemática del modelo logístico para el crecimiento expresa la longitud (L) en función de la edad (t) del organismo:

$$L_t = \frac{L_{\infty}}{\left(1 + \exp\left[-K\left(t - t_0\right)\right]\right)}$$

Dónde:

 L_t = Longitud a la edad "t".

 L_{∞} = Longitud máxima promedio de la especie.

K = Tasa instantánea de crecimiento.

 t_0 = Punto de inflexión de la curva donde $L_t = L_{\infty}/2$.

t = Edad.

Resultados

Se capturaron 184 individuos de *Echinometra vanbrunti* y 188 de *Toxopneustes roseus* de abril 2017 a abril de 2018 durante 7 eventos de recolecta. Un resumen estadístico de las variables morfométricas medidas se presenta en la Tabla 1.

Distribución de tallas

En la Figura 6 se presentan los estimadores de densidad por kernel para el ancho del caparazón, variable que se consideró representativa del tamaño de los organismos recolectados. Tanto *E. vanbrunti* como *T. roseus* presentaron distribuciones no gaussianas con evidencia multimodal por lo que se empleó la mitad de la banda "óptima" de Silverman. Los anchos (en cm) de *E. vanbrunti* estuvieron concentrados en una moda principal (4.44), tres contiguas (3.96, 5.00 y 5.40) y dos a los extremos (3.28 y 5.80); *T. roseus* mostró una moda principal (7.52), dos contiguas menores (6.73 y 6.95) y cuatro en los extremos (5.28, 6.12, 8.49 y 9.15) (Tabla 2).



FIGURA 6. Estimadores de densidad por kernel para el ancho del caparazón (cm) de *E. vanbrunti* (Ev) y *T. roseus* (Tr).

TABLA 1. Resumen estadístico de las medidas consideradas por es	pecie.
---	--------

Medida	NO	Media	DE	Mínimo	Máximo				
Echinometra vanbrunti									
NI	182	-	-	1	184				
PT	182	57.23	20.73	19.10	125.53				
PLA	182	2.80	0.86	1.11	5.78				
PG	182	2.33	1.95	0.08	11.63				

X	TABLA 1. Resumen estadístico de las medidas consideradas por especie (continuación).										
6	Medida	NO	Media	DE	Mínimo	Máximo					
	Echinometra vanbrunti										
S S	PGL	182	4.11	3.22	0.26	19.01					
S	PC	182	11.49	4.38	2.87	24.05					
ČS S	PCS	182	7.36	2.81	1.80	15.57					
	Н	182	2.26	0.40	1.29	3.62					
	А	182	4.83	0.63	3.30	6.40					
	DB	182	2.05	0.27	1.42	2.68					
	PI	119	0.044	0.043	0	0.186					
	Toxopneustes roseus										
	NI	188	-	-	1	188					
	PT	188	91.12	30.29	12.45	169.70					
	PLA	188	7.93	2.11	2.55	13.22					
	PG	182	4.56	3.79	0.09	28.53					
	PGL	182	6.08	4.61	0.65	29.64					
	PC	188	24.32	9.59	7.77	59.49					
	PCS	187	14.26	5.70	3.98	31.71					
	Н	188	3.34	0.52	2.21	5.40					
	А	188	7.18	0.75	5.09	9.20					
	DB	187	2.73	0.47	1.91	7.78					
	PI	174	0.137	0.116	0.015	1.29					

Clave de abreviaturas: NO = Número de observaciones; DE = Desviación estándar; NI = número de individuo; PT = Peso total; PLA = Peso de la linterna de Aristóteles; PG = Peso de la gónada; PGL = Peso de la gónada con líquido; PC = Peso del caparazón; PCS = Peso del caparazón seco; H = Altura del caparazón; A = Ancho de caparazón; DB = Diámetro de la boca; PI = Peso del intestino.

CAPÍTULO 5. Estudio preliminar sobre la edad y crecimiento de equinoideos en Puerto Ángel, Oaxaca, México



FIGURA 7. EDKs por mes de recolecta para *E. vanbrunti* (izquierda) y *T. roseus* (derecha). Se indica el número de organismos entre paréntesis y la moda predominante (4.44 Eb y 7.52 Tr) como línea vertical de referencia.

Organismos de *E. vanbrunti* con anchos mayores que la moda principal predominaron en agosto, octubre de 2017 y marzo de 2018, mientras que los menores predominaron en abril 2017 y febrero 2018. Debido a que la moda principal tuvo un valor relativamente elevado para *T. roseus*, en general los anchos por debajo predominaron en varios meses, destacando octubre de 2017 y solo en abril de 2017 fueron más los organismos con anchos mayores que la moda principal (Figura 7).

50

	Echinomet	ra vanbrum	ti	Toxopneustes roseus					
Modas	Interval	o modal	Frecuencia	Modas	Interval	o modal	Frecuencia		
3.28	3.3	3.32	1	5.28	5.09	5.42	3		
3.96	3.32	4.16	30	6.12	5.42	6.25	18		
4.44	4.16	4.72	50	6.73	6.25	6.78	33		
5	4.72	5.24	47	6.95	6.78	7.22	42		
5.4	5.24	5.76	40	7.52	7.22	8.4	81		
5.8	5.76	6.4	14	8.49	8.4	9.11	10		
-	-	-	-	9.15	9.11	9.2	1		
Total			182				188		

TABLA 2. Modas, Intervalos modales (definidos por antimodas) y frecuencia modal.

Alometría

14 J

Para la relación peso-longitud se consideró al peso seco y al ancho del caparazón como medidas representativas de la masa somática y del tamaño de los organismos. En la Figura 8 se muestra esta relación para *E. vanbrunti* la cual manifiesta un crecimiento relativo hipoalométrico (2.84 con intervalo de confianza del 95% de 2.68 a 2.99).



FIGURA 8. Relación del ancho del caparazón con el peso del caparazón seco para E. vanbrunti.

CAPÍTULO 5. Estudio preliminar sobre la edad y crecimiento de equinoideos en Puerto Ángel, Oaxaca, México



FIGURA 9. Relación del ancho del caparazón con el peso del caparazón seco para T. roseus.

La Figura 9 muestra el crecimiento relativo hiperalométrico (3.54 con I. de C. del 95% de 3.29 a 3.79).

Estimación de la edad; Relación cuerpo-estructura

En total se hicieron 2,033 mediciones en placas interambulacrales del caparazón, de las que fue posible registrar 918 para *E. vanbrunti* y 1,091 para *T. roseus* (Tabla 3).

Los valores del ancho del caparazón con el largo de las placas esqueléticas consideradas para la estimación de edad presentaron una variación conjunta positiva con valores de correlación (*r*) significativos alto (0.71) para *E. vanbrunti* y moderado (0.40) para *T. roseus* (Figuras 10 y 11).
Echinometra vanbrunti								
	N	Media	D.E.	Min.	Max.			
Núm. Radio	917	7.958561	10.85245	1	30			
Radio	913	3.305038	1.639345	.5	8.7			
Medida 1	918	3.991285	.945592	1	6			
Medida 2	918	4.075163	.953564	1	7			
Toxopneustes roseus								
Núm. Radio	1,087	7.476541	9.801114	1	30			
Radio	1,087	5.048298	2.605727	.5	11			
Medida 1	1,091	5.180568	1.154738	3	9			
Medida 2	1,091	5.16407	1.188489	2	8			

TABLA 3. Resumen estadístico de las medidas de placas del caparazón.

Nota: El número de observaciones varía ya que en ocasiones no pudieron medirse algunas placas



FIGURA 10. Relación ancho del caparazón con el largo de la placa para *E. vanbrunti*. Se incluye el coeficiente de determinación (r²) lo que indica que el índice de correlación *r* es igual a su raíz cuadrada (0.70).

CAPÍTULO 5. Estudio preliminar sobre la edad y crecimiento de equinoideos en Puerto Ángel, Oaxaca, México



FIGURA 11. Relación ancho del caparazón con el largo de la placa para *T. roseus*. Se incluye el coeficiente de determinación (r^2) lo que indica que el índice de correlación r es igual a su raíz cuadrada (0.40).

Para la interpretación de marcas de crecimiento en las placas de ambas especies sólo se consideraron aquellas observaciones en que los conteos coincidieron en ambas observaciones. Para *E. vanbrunti* se contaron 6 marcas (Figura 12), mientras que se distinguieron 8 marcas en *T. roseus* (Figura 13). Los diagramas de violín muestran un incremento paulatino en los valores medianos de las marcas y distribuciones predominantemente unimodales.

Estudios esclerocronológicos sobre edad y crecimiento de moluscos, equinodermos, peces y reptiles



FIGURA 12. Diagramas de violín de las distancias (radios) del foco de la placa a la marca de crecimiento para *E. vanbrunti*.



FIGURA 13. Diagramas de violín de las distancias (radios) del foco de la placa a la marca de crecimiento para *T. roseus*.

O.Z

Start S

6))

CAPÍTULO 5. Estudio preliminar sobre la edad y crecimiento de equinoideos en Puerto Ángel, Oaxaca, México

Validación de la periodicidad de las marcas

La razón del incremento marginal se presenta en la Tabla 4 y las Figuras 14 (*E. vanbrunti*) y 15 (*T. roseus*). Sobre todo, en la primera especie se aprecian claramente dos periodos de disminución, uno en agosto-octubre y el segundo en marzo, lo que sugiere la formación de dos marcas por año.

N Ev	Mediana Ev	Media Ev	N Tr	Mediana Tr	Media Tr
11	1.6	1.759	17	1	1.258
15	1.125	1.231	7	0.83	1.207
10	1	1.24	8	0.718	0.964
17	1.375	1.48	4	0.694	0.991
8	1.333	1.277	8	0.871	0.98
12	1	0.987	10	0.525	0.515
14	1.077	1.102	9	0.714	1.035
	N Ev 11 15 10 17 8 12 14	N Ev Mediana Ev 111 1.6 15 1.125 10 1 17 1.375 8 1.333 12 1 14 1.077	N Ev Mediana Ev Media Ev 11 1.6 1.759 15 1.125 1.231 10 1 1.24 17 1.375 1.48 8 1.333 1.277 12 1 0.987 14 1.077 1.102	N Ev Mediana Ev Media Ev N Tr 11 1.6 1.759 17 15 1.125 1.231 7 10 1 1.24 8 17 1.375 1.48 4 8 1.333 1.277 8 12 1 0.987 10 14 1.077 1.102 9	N EvMediana EvMedia EvN TrMediana Tr111.61.759171151.1251.23170.831011.2480.718171.3751.4840.69481.3331.27780.8711210.987100.525141.0771.10290.714

TABLA 4. Valores medianos y medios de la razón de incremento marginal por fecha de muestreo.

Ev = Echinometra vanbrunti; Tr = Toxopneustes roseus



FIGURA 14. Medianas y medias de la razón del incremento marginal de las marcas de crecimiento para *E. vanbrunti*.



FIGURA 15. Medianas y medias de la razón del incremento marginal de las marcas de crecimiento para *T. roseus*.

Modelación del crecimiento

Las estimaciones de la edad y las tallas de los organismos se presentan en los diagramas de violín de las Figuras 16 (*E. vanbrunti*) y 17 (*T. roseus*). En general puede apreciarse que los valores medianos (círculos en las representaciones gráficas) de los tamaños a cada edad parecen seguir un crecimiento gradual que pudiera ajustarse a una función de tipo von Bertalanffy.

Los valores medios de ancho de caparazón (Tabla 5) de *E. vanbrunti* (Figura 18) y los de *T. roseus* (Figura 19) se ajustaron a la función de crecimiento de von Bertalanffy y las regresiones no lineales ponderadas resultaron en valores de $r^2 = 0.99$. Debido a que los individuos de mayor edad tuvieron una menor coincidencia entre las dos interpretaciones de las marcas además de su baja frecuencia, los últimos puntos parecen ser casos extraordinarios. No obstante, el algoritmo iterativo de regresión no lineal convergió a soluciones razonables:

Edad	N Ev	Mediana Eb	Media Ev	N Tr	Mediana Tr	Media Tr
1.0	2	4.105	4.105			
1.5	25	4.56	4.64			
2.0	41	4.93	4.855	22	6.79	6.818
2.5	17	5.14	5.05	34	7.385	7.316
3.0	2	5.83	5.83	5	7.77	7.608
3.5	2	5.175	5.175	1	7.9	7.9
4.0				1	9.2	9.2
4.5				2	7.845	7.845

TABLA 5. Valores medianos y medios de Ancho de caparazón por edad estimada.

Ev = Echinometra vanbrunti; Tr = Toxopneustes roseus



FIGURA 16. Diagramas de violín del ancho del caparazón a cada edad estimada para *E. vanbrunti*.

510

Ser Sta



FIGURA 17. Diagramas de violín del ancho del caparazón a cada edad estimada para T. roseus.



FIGURA 18. Función de crecimiento de von Bertalanffy (vB) para valores medios de ancho de caparazón (ACM) por edad estimada para *E. vanbrunti*

CAPÍTULO 5. Estudio preliminar sobre la edad y crecimiento de equinoideos en Puerto Ángel, Oaxaca, México



FIGURA 19. Función de crecimiento de von Bertalanffy (vB) para valores medios de ancho de caparazón (ACM) por edad estimada para *T. roseus.*

Para E. vanbrunti:

$$L_t = 5.84[1 - e^{-0.50(t+1.62)}]$$

y para T. roseus:

 $L_t = 8.50[1 - e^{-0.72(t+0.26)}]$

Retrocálculo

Con base en las relaciones entre el tamaño de la estructura con el ancho del caparazón, se (retro) calcularon las longitudes (promedio) a cada edad en las dos especies (Tabla 6) y los ajustes a la función de crecimiento de von Bertalanffy se presentan en las Figuras 20 (*E. vanbrunti*) y 21 (*T. roseus*). En ambos casos los ajustes fueron muy adecuados (coeficientes de determinación igual a 1) y las funciones resultantes fueron:

SI



Se incluyen además dos gráficos con figuras de los modelos ajustados para su comparación Figura 17 (E. vanbrunti) y Figura 18 (T. roseus).

moluscos, equinodermos, peces y reptiles

Edad	NEv	MediaEv	NTr	MediaTr	ARCEv	ARCTr
1	86	1.27	63	1.379	3.266	5.712
1.5	86	2.35	63	2.771	3.677	6.033
2	84	3.348	63	4.319	4.057	6.389
2.5	60	4.253	63	5.819	4.402	6.735
3	19	4.737	41	6.841	4.586	6.970
3.5	2	5.65	7	7.771	4.934	7.184
4			2	8.25		7.295
4.5			1	9.1		7.491

TABLA 6. Valores medios de radios a cada edad y su correspondiente ancho de caparazón retrocalculado.

Ev = Echinometra vanbrunti; Tr = Toxopneustes roseus; ARC = Ancho retro-calculado

CAPÍTULO 5. Estudio preliminar sobre la edad y crecimiento de equinoideos en Puerto Ángel, Oaxaca, México



FIGURA 20. Función de crecimiento de von Bertalanffy (vB) para valores retrocalculados (VRC) de ancho de caparazón por edad estimada para *E. vanbrunti*.



FIGURA 21. Función de crecimiento de von Bertalanffy (vB) para valores retrocalculados (VRC) de ancho de caparazón por edad estimada para *T. roseus*.

Los modelos por retro-cálculo se comparan en las figuras 22 (E. vanbrunti) y 23 (T. roseus).



FIGURA 22. Comparación de modelos de crecimiento de von Bertalanffy ajustados a valores medios de ancho de caparazón (ACM) y retrocalculados (VRC) para *E. vanbrunti*.



FIGURA 23. Comparación de modelos de crecimiento de von Bertalanffy ajustados a valores medios de ancho de caparazón (ACM) y retrocalculados (VRC) para *T. roseus*.

J.

Análisis de resultados

Los erizos marinos principalmente los erizos regulares que incluyen a los géneros *Strongylocentrotus*, *Loxechinus, Paracentrotus, Tripneustes, Evechinus y Echinometra,* son muy apreciados por sus gónadas, que son usadas para consumo humano en muchos países del Mediterráneo y Asia (Sloan, 1985). De los cuales Japón es el mayor consumidor, captando el 80% de la producción mundial (Agatsuma, 2003). El alto precio y la creciente demanda en el mercado japonés han propiciado el establecimiento de la pesca y cultivo del erizo en varios países, aún en aquellos en los que tradicionalmente no se consume este producto. Los principales países exportadores de gónada de erizo son Canadá, Estados Unidos, México, Chile, Perú, así como algunos países del Caribe (Kalvass & Hendrix, 1997).

En México actualmente la pesquería de erizo se practica exclusivamente en el estado de Baja California y está basada únicamente en dos especies *Strongylocentrotus franciscanus* y *S. purpuratus* (Anuario Estadístico de Pesca, 2000).

Para extender la pesca de erizo hacia otras regiones del país sería necesario dirigirlas a especies alternativas que permitan continuar y aumentar la producción. En adición a las especies actualmente explotadas se conoce la existencia de al menos cuatro especies que por su abundancia y distribución son potencialmente aprovechables en el litoral del Pacífico Mexicano: *Echinometra vanbrunti, Tripneustes depressus, Toxopneustes roseus* y *Diadema mexicanum* (Olguín & Espinoza, 2000).

No obstante, para determinar su potencial para la pesca o la acuacultura es necesario obtener información acerca de su biología ya que el uso de esta información es prioritario para el inicio de la explotación pues es necesario establecer planes de manejo que aseguren la sustentabilidad del erizo de mar como recurso (Caso, 1992).

La ley pesquera en nuestro país señala que los recursos deben ser evaluados para obtener permisos de extracción; sin embargo, la falta de información científica previa a la explotación de los organismos puede traer como consecuencia el agotamiento de las poblaciones naturales (Reinecke-Reyes, 1998, Saucedo-Monteforte, 1997 & Fajardo-León, 1998).

En las costas Oaxaqueñas, los erizos *Echinometra vanbrunti* y *Toxopneustes roseus* podrían ser candidatos potenciales para su aprovechamiento en la región ya que son comunes y llegan a ser abundantes.

En relación con la estructura de tallas, analizada por medio de los estimadores de densidad por kernel se encontró que las dos especies tuvieron distribuciones multimodales por lo que se utilizó la mitad del ancho de banda "óptimo" (Silverman, 1986; Scott, 2005; Salgado-Ugarte, 2002). Los

182 organismos de *Echinometra vanbrunti* presentaron cuatro modas a valores intermedios (de 3.96, 4.44, 5 y 5.4 cm) de ancho de caparazón con las mayores frecuencias (167 organismos), una pequeña (3.28 cm) y una a valores mayores (5.8 cm) con uno y 14 organismos respectivamente. Los 188 organismos de *T. roseus* se repartieron en tres modas intermedias (6.73, 6.95 y 7.52 cm) con las mayores frecuencias (156 individuos), dos modas a valores menores (5.28 y 6.12) con 21 organismos y dos a mayores (8.49 y 9.15) con 11 individuos.

Los datos mensuales de las frecuencias de tallas indican que existen diferencias en cuanto a ambas especies, siendo así que la aparición de reclutas para *E. vanbrunti* puede ocurrir a partir del mes de febrero mientras que para *T. roseus* el reclutamiento ocurre a partir del mes de abril, siendo esto complementario a la información de Abadía-Chanona (2013), la cual menciona que el reclutamiento para *T. roseus* ocurre de agosto a marzo en la zona litoral aledaña a Puerto Ángel y lo mencionado por González-Peláez (2004) para el reclutamiento de *E. vanbrunti* el cual ocurre de octubre a diciembre en el sur del Golfo de California.

Si se considera que comercialmente interesan anchos mayores a 5 cm de *E. vanbrunti* y (propuesta nuestra) mayores a 7.5 cm de *T. roseus*, entonces la muestra indica que el aproximadamente el 42 y 35 % de los individuos son potencialmente de interés comercial.

Los índices alométricos para la relación entre el caparazón seco con el ancho de caparazón indicaron un crecimiento relativo ligeramente hipoalométrico para *E. vanbrunti* (b = 2.84), es decir, tendencia a crecer más en ancho que en peso, mientras que *T. roseus* tuvo un crecimiento relativo hiperalométrico (b = 3.54) indicando un mayor crecimiento en peso en relación con el ancho (diámetro) del caparazón. En el primer caso, se tiene la misma conclusión a la que llegó González-Peláez (2004) si bien este autor consideró una medida ponderal diferente (peso del organismo drenado).

Referente al método esclerocronológico para la lectura de anillos se realizaron varios métodos sugeridos por Saito-Quezada V.M. (comunicación personal). Uno de ellos consistió en sumergir los cortes del caparazón en Xilol por 24 horas, el cual no tuvo efecto aclarante. Sin embargo, otro de los métodos propuestos por Saito-Quezada fue sumergir los cortes en cloro (hipoclorito de sodio) al 10% por 24 horas, el cual tuvo resultados positivos y fue el utilizado en este trabajo en el cual se obtuvieron las lecturas de los radios y se obtuvo la relación cuerpo-estructura de las especies de erizo trabajadas (Figuras 5 y 6).

La relación cuerpo-estructura tuvo menor dispersión en *E. vanbrunti* y se obtuvo un índice de correlación mayor (r = 0.7) que el de *T. roseus* (r = 0.4). Estas relaciones fueron la base para llevar a cabo el retrocálculo para la modelación cuantitativa del crecimiento de estas especies.

6

El análisis de la razón del incremento marginal sugirió la existencia de dos periodos de formación de marcas de crecimiento de las placas, una en octubre y la otra en marzo. Este comportamiento fue mas claro *en E. vanbrunti*. Por lo tanto, se decidió que cada marca indicaba aproximadamente medio año.

De esta forma, las edades estimadas para *E. vanbrunti* van desde 1 año para las tallas pequeñas, hasta los 3.5 años para las tallas grandes. De manera equivalente con *T. roseus* para tallas grandes la edad es de 4.5 y para las tallas pequeñas es de 2. La distribución de los anchos de caparazón por edad estimada se muestra mediante los diagramas de violín de las Figuras 11 y 12, en las cuales puede apreciarse un aumento gradual del tamaño con el paso del tiempo con ligeras desviaciones de la gaussianidad. Por tanto, considerando los valores medios de anchura para cada edad se ajustó el modelo de von Bertalanffy para el crecimiento de las especies por regresión no lineal ponderada. Estos ajustes fueron altamente significativos con coeficientes de determinación elevados (0.99) y se incluyen en las Figuras 13 y 14.

Además de la estimación del crecimiento anterior, se utilizó el retrocálculo para obtener ajustes alternativos para las funciones de crecimiento. Los valores retrocalculados de la Tabla 6 proporcionaron modelos alternativos para el crecimiento de *E. vanbrunti* y *T. roseus*.

Los modelos obtenidos fueron comparados gráficamente (Figuras 20 y 21) en las cuales puede notarse que el retrocálculo para *E. vanbrunti* produjo un ajuste con una longitud asintótica mayor y un crecimiento mas lento que el producido por los datos talla-edad, mientras que para *T. roseus* tanto la talla infinita como la curva de crecimiento estuvo por encima de los valores obtenidos del retrocálculo con excepción de los valores mas pequeños en talla y edad.

Como el crecimiento no tuvo inflexiones apreciables a tallas menores, no fue posible ajustar modelos sigmoidales como el Logístico o el de Gompertz siendo el de von Bertalanffy el que mejor describió el patrón de crecimiento observado para ambas especies.

Los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy obtenidos por González-Peláez (2004), quien utilizó las rutinas incluidas en el paquete Fisat (Bhattacharya) y SiZer (Significance of Zero crossings of the Derivative) propuesto por Chaudhuri y Marron (1999) para la función directa indicaron un tamaño mayor (L_{∞} = 77.58 mm) y un parámetro de curvatura (K = 0.36) intermedio entre las estimaciones del presente estudio Tabla 7). Esta diferencia puede atribuirse a un intervalo de talla menor de los especímenes recolectados en nuestro estudio (33.0 a 64.0 mm) en comparación con las del autor citado (4 a 73 mm).

No fue posible encontrar estimaciones de los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy para *T. roseus*, y por tanto, en la Tabla 7 se incluye sólo la talla máxima registrada

en Molina-Rodríguez (2016). De nuevo se aprecia que el intervalo de tallas del erizo rosa recolectado en nuestro estudio es menor (50.9 a 92.0 mm), en comparación con el del citado autor (4 a 120 mm) de acuerdo con su histograma del anexo 1 Molina-Rodríguez (2016). Esto puede explicar los valores relativamente bajos de L_{∞} (85 y 78.6 mm) obtenidos en nuestro estudio (Tabla 7).

TABLA 7. Cuadro comparativo de parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy del presente estudio con otros reportes (*E. vanbrunti*) y tallas máximas registradas (*T. roseus*).

Especie y fuente	<i>L</i> _ (mm)	К	t _o
E. vanbrunti			
Talla-edad	58.4	0.50	-1.62
Retro-cálculo	65.2	0.29	-1.41
González-Peláez, 2004	77.58	0.36	0
T. roseus			
Talla-edad	85.0	0.72	-0.26
Retro-cálculo	78.6	0.52	-1.21
Molina-Rodríguez, 2016	120	-	-

Conclusiones

La estructura de talla de ambas especies mostrada por los EDKs con la mitad de la banda "óptima" de Silverman, fue multimodal. *E. vanbrunti* con 6 modas listadas en orden de frecuencia decreciente: 4.44, 5.00, 5.4, 3.9, 5.8, 3.28 y *T. roseus* 7.52, 6.95, 6.73, 6.12, 8.49, 5.28 y 9.15.

Si se considera que comercialmente interesan anchos mayores a 5 cm de *E. vanbrunti* (Gónzalez-Peláez, 2004), y nuestra propuesta de mayores a 7.5 cm de *T. roseus*, entonces la muestra indica que aproximadamente el 42 y 35 % de los individuos, respectivamente, son potencialmente de interés comercial.

Tallas menores de *E. vanbrunti* se registraron en abril de 2017 y febrero de 2018 lo que sugiere un posible reclutamiento a fines de invierno y en primavera; T. roseus presentó tallas menores a partir del mes de abril, con reclutamiento sugerido a fines de primavera.

CAPÍTULO 5. Estudio preliminar sobre la edad y crecimiento de equinoideos en Puerto Ángel, Oaxaca, México

E. vanbrunti presentó un crecimiento relativo ligeramente hipoalométrico (b = 2.84) mientras que el de *T. roseus* fue hiperalométrico (b = 3.54).

El procedimiento que proporcionó buenos resultado de aclaramiento de las secciones esqueléticas fue el sumergirlas en hipoclorito de sodio al 10% por 24 horas, propuesto por Saito-Quezada (comunicación personal).

Ambas especies mostraron relaciones cuerpo-estructura estadísticamente significativas con valores de correlación alta (0.7 para *E. vanbrunti*) y moderada (0.4 para *T. roseus*) y fueron utilizadas para llevar a cabo el retro-cálculo.

La razón del incremento marginal de ambas especies indicó dos periodos de formación de marcas de crecimiento de las placas, una en octubre y otra en marzo, por lo que se consideró una periodicidad semestral.

De lo anterior, se estimaron edades de 1 a 3.5 años para *E. vanbrunti* y de 2 a 4.5 años para *T. roseus*.

Las ecuaciones de von Bertalanffy ajustadas por regresión no lineal ponderada para los datos de talla media contra edad fueron altamente significativas con valores de r2 mayores a 0.99 las cuales son:

E. vanbrunti: $L_t = 5.84[1 - e^{-0.50(t+1.62)}]$

T. roseus: $L_{t} = 8.50[1 - e^{-0.72(t+0.26)}]$

Las expresiones obtenidas por el retrocálculo fueron:

E. vanbrunti: $L_t = 6.52[1 - e^{-0.29(t+1.41)}]$ *T.* roseus: $L_t = 7.86[1 - e^{-0.52(t+1.21)}]$

La función de crecimiento por retrocálculo tuvo longitud asintótica mayor y crecimiento mas lento que la función por datos talla-edad en E. vanbrunti, mientras que la curva de crecimiento por retrocálculo de T. roseus estuvo por encima de la de talla-edad, excepto para los individuos más pequeños y jóvenes

Como para ambas especies, el patrón de crecimiento no mostró inflexiones a tallas menores, no fue posible el ajuste de modelos sigmoidales (lógístico, Gompertz o Richard).

En comparación con otros reportes, las tallas asintóticas ajustadas para *E. vanbrunti* y *T. roseus* en este estudio fueron menores. Es posible que las estimaciones aquí presentadas estén subestimando el valor promedio asintótico, lo que sugiere la ampliación de la muestra para verificar si el tamaño de los especímenes en Puerto Ángel es un poco menor que el de otras localidades (Golfo de California).

Esperamos que este reporte inicial sirva como base para la verificación de los resultados y permita el establecer lineamientos para un aprovechamiento sustentable de estos recursos potenciales, lo que traerá beneficios a los pescadores y buzos de la localidad.

Je St

Capítulo 6

Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos

Verónica Mitsui Saito Quezada José Luis Gómez Márquez

INTRODUCCIÓN

a captura de peces sin planeación adecuada, la perturbación del medio ambiente, especialmente sobre la captación del agua y la creciente contaminación, han dado como resultado la merma o incluso el agotamiento de las poblaciones ícticas silvestres. Aunado a esto, considerando, además las características ambientales, los problemas y necesidades del país (Morales, 1991), se puede decir que una de las contribuciones más importantes de la acuacultura es el cultivo de peces o piscicultura, la cual involucra particularmente el control de crecimiento y reproducción de estos (Lagler, 1956).

Por eso, el conocimiento de las especies acuáticas que habitan actualmente en nuestros embalses permite entre otras cosas, proponer estrategias de explotación encaminadas a su conservación y con esto, generar fuentes de proteínas de origen animal para el consumo humano, así como el incrementar las fuentes de trabajo derivadas del establecimiento de pesquerías (Arredondo, 1993).

En México la presa Emiliano Zapata, Morelos es un cuerpo de agua que es aprovechado no únicamente para la agricultura sino también para la acuicultura, donde se realiza de manera extensiva el cultivo de la tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757) (Gómez-Márquez y Peña-Mendoza, 1995) y se mantiene a través de programas de reploblamiento por parte de la Secretaría de Pesca del Estado. Así se resuelve de alguna manera la demanda de la producción alimenticia para la población local y regional.

Esta presa fue construida por el gobierno del Estado de Morelos en 1969 y 1970, para el aprovechamiento de las aguas de varios arroyos que fluyen al vaso, siendo los más importantes "La Joya", "La Piraña" y "El Grillo" y, de esta manera incorporar al riego 83 hectáreas de cultivo de propiedad ejidal (SARH, 1992).

Entre los aspectos biológicos más importantes que se requieren para conseguir un manejo adecuado de una población de peces está la determinación de la edad y el crecimiento. Estas características son determinantes para la propuesta de tamaños de malla de las redes que garanticen la captura de animales adultos con crecimiento lento y evitar el retirar de la población a los organismos antes de que se reproduzcan.

Existen dos métodos para determinar la edad de los peces: **directos**, que incluyen marcaje y recaptura, colocación de los peces con edad conocidas en cuerpos de aguas experimentales y la lectura é interpretación de marcas de crecimiento en estructuras óseas tales como escamas, otolitos hueso opercular, vértebras espinas radios de aletas y cleitrum, entre otros e **indirectos**, los cuales se basan en la distribución de frecuencia de tallas en la población de peces. La lectura de estructuras duras se basa en la formación de marcas periódicas que permiten, mediante su conteo, la asignación de edades a los organismos. Estas marcas periódicas están influenciadas por los cambios estacionales del ambiente (Gómez-Márquez, 1994).

En los climas tropicales donde los peces cíclidos (grupo al que pertenecen las tilapias) se encuentran predominantemente, los cambios estacionales no son muy marcados y el crecimiento de las especies tiende a ser continuo. Asimismo, la reproducción de las especies suele abarcar buena parte del año. Esto implica cierta desventaja en la aplicación de los métodos de análisis de frecuencia de tallas para la determinación de edad, ya que no se definen los grupos de peces con edad semejante por haber nacido en un lapso corto de tiempo una vez al año. Por otra parte, la uniformidad de las condiciones puede resultar en un atenuamiento de las marcas en las estructuras duras. No obstante, éstas pueden ser de utilidad si se define claramente su periodicidad en conexión con factores ambientales o endógenos, aunque no siempre se formen una sola vez al año como ocurre en especies de lugares templados (Weatherley y Gill, 1987; Morales-Nin, 1989).

El estudio las partes duras del cuerpo de los peces (por ejemplo, los otolitos), por lo general revela la presencia de anillos depositados como incrementos (a escala diurna, mensual y anual). Estas

estructuras proveen un significado de envejecimiento del pez para las especies tropicales (Pilling *et al.,* 2000).

La base fisiológica para la formación de distintas marcas en estructuras calcificadas de las especies tropicales ha sido asociada a factores bióticos, tales como las estaciones regulares variando en temperatura y clima (Karlou-Riga, 2000), fotoperiodo, alimentación, reproducción y periodo de reproducción (Morales-Nin, 1989).

Los otolitos probablemente contienen el mejor registro permanente del crecimiento ya que la reabsorción del hueso no se conoce que ocurra en el otolito y la acumulación de material parece ocurrir cada año (Chilton y Beamish, 1982) (sin embargo, ver Mugiya y Uchimura, 1989).

La función principal de los otolitos es el equilibrio además de intervenir en la percepción de ondas sonoras. Existen tres pares de otolitos en los teleósteos y cada uno de ellos difiere en localización, función, tamaño, forma y ultraestructura. Estos pares son los lapilli ó utricular, sagita o sacular y asterisci ó lagenar (Secor *et al.*, 1991).

Los otolitos sagita se localizan dentro del cráneo del pez de manera simétrica bilateral a excepción de algunos peces. El aparato vestibular que contiene a los otolitos, esta dividido en sacos dorsales (parte superior) y sacos ventrales (parte inferior); los otolitos sagita ocupan el vestíbulo sacular de la parte inferior y por lo general son los otolitos más grandes (Secor *et al.*, 1991).

La mojarra tilapia, en México tiene una importancia en biomasa ya que en 1999 se produjeron 70,719 toneladas, lo que la sitúa en el cuarto lugar de producción de las especies acuáticas (SEMARNAP, 2000).

La tilapia se distribuye naturalmente en el Rio Yarkon, Tel Aviv, el Nilo, Jebel Marra, la Cuenca del Río Chad, sistema Niger, Río Senegal, Lago Alberto, lago Eduardo, Kivu y en algunas partes del lago Tangañika; en el Lago Tuna (Tsana) y otros lagos de Etiopía, Río Ergino, Lago Turkana (Rodolfo), Río Suguta, Lago Baringio. No se localiza desde la Sierra Leona y Liberia desde Costa de Marfil excepto los tributarios superiores del Níger y Volta. Ausente desde Camerún excepto desde las partes de Camerún de la cuenca del Río Chad y el sistema Benue, ausente desde el oeste del Río Gabón, Río Muní, Zaire y hacia el sur y desde toda la corriente del Río de África en los lagos Victoria y Kioga hasta que fue introducida cerca del año de 1951-1953 (Morales, 1991).

Las investigaciones sobre tilapia fueron iniciadas en África a principios del siglo pasado (1900), época en que Cunnington preparó un inventario de las aguas continentales africanas, abriendo con ello el camino a la labor de Boulenger, quién en 1915 estableció las características sistemáticas de 96 especies. (Morales, 1991). Posteriormente en 1927 se despierta el interés por la ecología de este grupo tan interesante de peces. La labor taxonómica ha seguido verificando los resultados anteriores, así como registrando las nuevas especies endémicas. Como resultado de estas investigaciones, ha sido posibles la publicación de una monografía acerca de la biología de la tilapia en 1982 (Morales, 1991).

Además de las instituciones científicas europeas. (Museos Británico y de París) existen actualmente numerosas estaciones de investigación piscícola en varios países del mundo. Se han celebrado ya varias conferencias sobre piscicultura en África, acerca de estas especies, la primera en Elisabethville, en 1949, (hoy Lubumbashi, República de Zaire), las demás en diferentes países del mundo. A partir de entonces, gran cantidad de trabajos se ha desarrollado sobre el conocimiento de estas especies de los cuales vale la pena mencionar a los realizados por la Dra. Trewavas, excelente investigadora quien ha dedicado su vida al estudio de los cíclidos africanos de 1928 a 1983, en trabajos e taxonomía como asistente del Dr. Regan, quien en realidad fue el primero en hacer una diagnosis genérica de la tilapia en 1920 (Morales, 1991).

Posteriormente en 1938-39 la Dra. Trewavas analiza y describe las especies de ciclidos africanos descubiertas. En 1973, describe dos géneros distintos, basándose en los hábitos reproductivos y alimenticios de estos peces llamados *Tilapia* y *Sarotherodon* (Morales, 1991).

En 1982 la Dra. Trewavas, basándose en los estudios realizados sobre los hábitos reproductivos, así como la incubación bucal, relegado a las hembras, machos y a ambos, decide separar a las tilapias en seis géneros: *Tilapia, Tristamella, Danakilia, Sarotherodon, Oreochromis y Pelmatochromis*. La Dra. Trewavas realizó una labor excelente en cuanto a taxonomía de cíclidos se refiere, habiéndosele reconocido ampliamente en el ámbito mundial (Morales, 1991).

La tilapia o mojarra africana fue introducida en México el 1º de julio de 1964, con ejemplares procedentes de Auburn, Alabama, E.U.A., los cuales fueron depositados, en la Estación Piscícola de Temascal, Oax. En 1978 se introdujo la *T. nilotica* (= *Oreochromis niloticus*) en el mismo sitio procedente de Panamá. En 1986 nuevamente se hace otra introducción de tilapia roja de la especie *T. nilotica*, procedente de la Universidad de Stirling en Inglaterra, con dos variedades: negra y roja, depositándose en Zacatepec, Mor. (Morales, 1991).

El presente estudio se justifica si se considera que el conocimiento de la edad y el crecimiento de las poblaciones de los peces, aunado al análisis de las capturas y otras características como la mortalidad, es un requisito indispensable para realizar propuestas encaminadas hacia un manejo adecuado sostenible de dichas poblaciones como recursos pesqueros. Aunque existen varios reportes sobre la edad y el crecimiento de *O. niloticus* en cuerpos de agua cercanos (Garduño-Paredes y Avelar-Esquivel, 1996; Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago, 2002; Gómez-Márquez, 2002) no existen estudios previos sobre la lectura de otolitos para estimar la edad de los organismos de esta especie en la Presa Emiliano Zapata.

CAPÍTULO 6. Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos

Antecedentes

Fagade (1974), por medio de la lectura de anillos en opérculo, determinó la edad y crecimiento de *Tilapia melanotheron* de la laguna Lagos de Nigeria. Este autor encontró que los anillos leídos se relacionaban con los eventos de reproducción una vez al año de junio a octubre y que los organismos raramente pasaban los cuatro años de edad.

Jaramillo-Salazar y Sánchez-Vázquez (1991) hicieron la evaluación del crecimiento de la carpa (*Cyprinus carpio rubrofuscus*) y la tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum*) bajo condiciones de policultivo en el bordo de temporal Chavarría, Morelos. Para la tilapia, analizando la frecuencia de tallas y por medio de los métodos de Petersen y de Bhattacharya, estos autores determinaron las constantes de la función de crecimiento de von Bertalanffy (FCVB): L_{ω} = 148 mm, K = 0.4471 y t_{a} = -0.3201.

Ramos-Cruz (1995), presentó resultados sobre reproducción y crecimiento en *O. aureus* en la presa Benito Juárez, Oaxaca, México, reportó que los machos conformaban el 72.2% de la población y la madurez sexual la alcanzaban a los 235 mm de longitud total y los periodos de desove se registraron, de febrero a marzo, junio y julio y octubre. Para las constantes del modelo de von Bertalanffy reportó que para ambos sexos L_{∞} = 296 mm, *K* = 0.218, t_o = -0.904 y W_{∞} =500 g.

Flores (1994), para *O. niloticus*, determinó el crecimiento con fertilización inorgánica y orgánica en estanques de concreto en la ciudad de México. Las constantes de la función de crecimiento de von Bertalanffy durante el período de estudio fueron L_{∞} = 20.17 cm, *K* = 0.2038, t_o = 0.1194 y L_{∞} = 17.5 cm, *K* = 0.2139, t_o = -0.5913 para estanques con fertilización química y orgánica respectivamente.

Guzmán (1994), basándose en la lectura de anillos en escamas de *O. aureus* con organismos obtenidos de captura comercial de agosto de 1991 a julio de 1992 encontró seis edades. Así determinó la edad de esta especie en la presa "El Infiernillo" Michoacán-Guerrero y reportó las constantes de crecimiento para el modelo de von Bertalanffy: L_{∞} = 406.41 mm, *K* = 0.111 y t_o = -1.121.

Palacios (1995), por tres métodos indirectos (Petersen, Cassie y Bhattcharya), determinó la edad de *O. aureus*, reportando seis clases de tallas para cada sexo (Bhattacharya) en la presa Adolfo López Mateos (El Infiernillo). Encontró que las hembras presentan una *K* de 0.1309 menor que la de los machos de 0.1724, pero alcanzan una mayor longitud.

Garduño-Paredes y Avelar-Esquivel (1996) estudiaron la edad y el crecimiento de *Oreochromis niloticus* en la Laguna de Coatetelco Morelos mediante el análisis de la frecuencia de tallas y la lectura de escamas y opérculos. Encontraron que las constantes de la función de crecimiento de von Bertalanffy por frecuencia de tallas (L_{∞} = 27.81, K = .0665 y t_a = -0.5225) y por escamas

(L_{∞} = 27.76, K = 0.0727 y t_o = -0.5070) fueron similares, y que las estimaciones por hueso opercular (L_{∞} = 24.40, K = 0.0560 y t_o = -1.3574) resultaron en crecimientos menores (longitudes en cm).

Santiago-López y Jardón-Olvera (1997) llevaron a cabo un estudio biológico pesquero de cuatro especies de cíclidos en la presa "Cerro de Oro", Oaxaca. La edad y el crecimiento fueron estimados a partir de la lectura de escamas y en relación con *O. niloticus* encontraron que las constantes de la FCVB fueron: $L_{\infty} = 42.02$ cm, K = 0.1497 y $t_{\alpha} = -0.1044$.

Recientemente, en su informe recepcional, Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002) reportan estimaciones sobre la edad y crecimiento de *O. niloticus* en la Presa "Emiliano Zapata" basadas en la lectura de escamas. Estos autores reportan periodicidad semestral para formación de anillos coincidente con eventos reproductivos (en diciembre y julio). Las medidas correspondientes a los cinco anillos fueron utilizadas para estimar las constantes de la función de crecimiento de von Bertalanffy por medio de métodos tradicionales de linealización.

Como ejemplos de estudios más detallados sobre el crecimiento de estos cíclidos y sus otolitos pueden citarse a Tanaka *et al.* (1981) quienes reportan que para juveniles de *Tilapia nilotica* los incrementos diarios de otolitos muestran un ritmo de crecimiento bajo fotoperiodo de 24 horas (12 luz, 12 obscuridad) que tarda 6 días en recuperarse cuando se invierte. Cambios menores en la duración de luz-obscuridad o en las horas de alimentación no afectaron la formación de incrementos diarios. Zhang y Runham (1992a, 1992b y 1992c) estudiaron en detalle la microestructura de los otolitos de *O. niloticus*, encontrando que se forma una marca al eclosionar, un incremento cada día (zona discontinua en obscuridad y zona de incremento con luz) e influencia de la alimentación y temperatura en la formación de los incrementos diarios. Panfili y Tomás (2000) validaron la estimación de la edad y la longitud retro-calculada a partir de microestructuras de *Sarotherodon melanotheron y O. niloticus*. Estos autores confirmaron que, en ambas especies, los microincrementos tuvieron una periodicidad de un día y que el retro-cálculo sobreestima la longitud cuando el crecimiento de individuos y otolitos no está acoplado.

Diagnosis de la familia

La especie estudiada en la presente investigación, *Oreochromis niloticus*, pertenece a la familia Cichlidae. Esta es una gran familia de peces nativos de los ríos de Africa, América Central y del Sur, México, la porción suroccidental de los E.U.A. y con un género (*Etroplus*) que se encuentra en Asia. Los cíclidos son peces de acuario muy populares debido a su comportamiento reproductivo y a sus brillantes colores (Eddy y Underhill, 1984; Axelrod y Schultz, 1990). La mayoría de las especies son de agua dulce y unas pocas viven en aguas salobres y actualmente se reconocen cerca de 680 especies (Page y Burr, 1991).

Las tilapias presentan un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal. El cuerpo es generalmente comprimido, a menudo discoidal, raramente alargado; en muchas especies la cabeza del macho es invariablemente más grande que la hembra; algunas veces con la edad y el desarrollo se presentan en el macho tejidos grasos en la región anterior dorsal de la cabeza (dimorfismo sexual).

La boca protráctil generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; la mandíbula presenta dientes cónicos y en algunas ocasiones incisivos. Pueden o no presentar un puente carnoso (freno) que se encuentra en el maxilar inferior, en la parte media, debajo del labio. Presentan membranas branquiales unidas por cinco o seis radios branquióstegos y un número variable de branquispinas, según las diferentes especies. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta siempre, y consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, que en los machos suelen estar fuertemente pigmentados. La aleta caudal está redondeada, trunca o más raramente escotada.

La línea lateral en los cíclidos está interrumpida y se presenta generalmente dividida en dos partes; la porción superior se extiende desde el opérculo hasta los últimos radios de la aleta dorsal, mientras que la porción inferior, aparece varias escamas por de bajo de donde termina la línea lateral superior hasta el final de la aleta caudal. Presenta escamas tipo cicloideo. El número de vértebras aumenta con la edad y puede ser de 8 a 40 (Morales, 1991).

Son peces de rápido crecimiento, sumamente fértiles, adaptables a condiciones ambientales muy diversas, y de gran resistencia al manejo. Aunque pueden rebasar los 30 cm de longitud, alcanza la madurez sexual a los 11 ó 12 cm; esta precocidad se da en condiciones de sobre población, puede acarrear enanismo. Existen herbívoras, zooplanctófagas y omnívoras (Torres-Orozco, 1991).

Clasificación de Oreochromis niloticus

La especie objeto del presente estudio (Figura 1) se clasifica de acuerdo con la clasificación propuesta por Berg y modificada por Trewavas (1983) para las tilapias existentes en México, quedando situada de la siguiente manera:

Estudios esclerocronológicos sobre edad y crecimiento de moluscos, equinodermos, peces y reptiles

PHYLUM: CHORDATA SUBPHYLUM: VERTEBRATA SUPERCLASE: GNATHOSTOMATA SERIE: PISCES CLASE: ACTINOPTERYGII ORDEN: PERCIFORMES SUBORDEN: PERCOIDEI FAMILIA: CICHLIDAE GENERO: Oreochromis ESPECIE: O. niloticus (Morales, 1991).

FIGURA 1. Dibujo de *Oreochromis niloticus* tomado de Fishbase, http://www.fishbase/org, (Froese y Pauly, 2001).

Zona de estudio

La presa Emiliano Zapata se encuentra localizada en el ejido de Tilzapotla, perteneciente al municipio del Puente de Ixtla, en el extremo suroeste del estado de Morelos, situada entre los 18°30'00" latitud norte y 99°16'34" longitud oeste a una altitud de 899 msnm. (Figura 2). Tiene

S

CAPÍTULO 6. Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos

una cortina de tipo gravedad de sección semitrapecial con una capacidad de almacenamiento de 1,560,000 m³, la capacidad de azolve de 10,000 m³ y capacidad útil para riego de 1550 000 m³. El vaso tiene una pendiente media aproximada de 0.018 m (Anónimo, 1981).

Clima

El clima de la región de acuerdo con Köppen modificado por García (1981) es $Aw_o''w)(i')g$, es decir, cálido subhúmedo con cociente Precipitación/Temperatura < 43.2, porcentaje de lluvia invernal menor a 5, con canícula, poca oscilación térmica (entre 5 y 7) y marcha de temperaturas tipo Ganges (temperatura mayor del año antes del solsticio de verano). La precipitación media anual es de 923 mm y la temperatura media anual es de 25.8 °C. La precipitación máxima se registra en junio (206.1 mm), disminuyendo en julio (189 mm) y agosto durante la canícula (176.5) y se incrementa nuevamente en septiembre (187.6). Las mínimas precipitaciones (temporada seca) ocurren en febrero (0.5 mm) y marzo (0.3 mm). Las temperaturas más altas se registran en abril y mayo (29.1 y 28.9°C respectivamente) y las más bajas en diciembre y enero (23.2 °C) (datos de la estación Tilzapotla con registros de 18 años y tomados de García, 1981; Apéndice 1).

Geología

El vaso está circundado desde el lado poniente hasta el sureste por formación de rocas sedimentarias que han originado suelos consistentes de areniscas y conglomerados. Desde el extremo noroeste hacia el sureste se extienden formaciones de rocas ígneas extrusivas ácidas, pertenecientes a la edad Cenozoica del periodo Cuaternario.

Suelo

El tipo de suelo que constituye el vaso es de tipo aluvial, la unidad de suelo que se encuentra alrededor de la presa es Feozem háplico de textura media y Regosol eútrico, siendo sus principales usos: la agricultura temporal, permanentemente anual, paztizal inducido y potrero.

Vegetación

La vegetación circundante puede clasificarse como selva baja subcaducifolia, y las plantas que se presentan en la zona pertenece a *Bursera* sp., *Cassia* sp., *Ipomea* sp., *Aristida* sp.- *Stevia* sp., *Sporobolus* sp., *Leucaena* sp., y también matorrales de *Opuntia* sp. entre otras.

Hidrología

La presa tiene como principales afluentes a los arroyos El Grillo, La Piraña, La Joya y el Ranchito.

Desde un punto de vista ecológico (trófico) la presa puede clasificarse como un sistema eutrófico con tendencia a la hipertrofia, ya que de acuerdo con Dorantes-Gómez y Zavala-Montero (2003), presenta características eutróficas durante la temporada de secas y se hace hipertrófico durante las lluvias.

La información de este apartado se obtuvo de diversas fuentes: INEGI (1998), Anónimo (1981), González-Ramírez y López-García (1997), Dorantes-Gómez y Zavala-Montero (2003).



FIGURA 2. Ubicación de la zona de estudio y Mapa de la Presa "Emiliano Zapata" (Adaptado de González-Ramírez y López-García, 1997).

0

St.

Objetivo general

estimación de la edad por medio de la lectura de otolitos y de la función de crecimiento de von Bertalanffy de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Mor.

Objetivos particulares

- Obtener la relación peso-longitud para conocer el tipo de crecimiento (isométrico, alométrico) de la especie.
- Obtener las estructuras óseas para estimación de edad (otolitos sagita).
- Medir el peso y la longitud de los otolitos para el establecimiento de la relación cuerpootolito.
- Preparar (pulir) a los otolitos y leer los anillos de crecimiento para estimación de la edad.
- Estimar las longitudes a cada edad por medio de la relación cuerpo-otolito y retrocálculo.
- Estimar la función de crecimiento de von Bertalanffy y compararla por sexos.
- Analizar la formación de los anillos en relación con algunas condiciones ambientales del embalse.

Método

Campo

1.- Recolecta

Los especimenes se obtuvieron de la captura comercial efectuada por los lugareños, la cual se realiza con atarraya de 6.5 cm luz de malla. La colecta de organismos se llevó a cabo mensualmente de enero de 1998 a febrero de 1999.

2.- Biometría de especimenes

Una muestra de aproximadamente 100 organismos de la captura comercial fue medida y sexada. Posteriormente se obtuvo otra muestra de 30 organismos, los cuales fueron procesados en mayor detalle: se midieron (longitud total, longitud patrón y altura en cm \pm 0.1) se pesaron (balanza

Ohaus Triple Beam \pm 0.1 g) y se les determinó el sexo. A estos organismos se les extrajeron las vísceras, las cuales fueron separadas (gónadas, hígado y tracto digestivo), pesadas (balanza digital con precisión de 0.1 g) y fijadas (formol 10 %) para realizar estudios posteriores.



FOTOGRAFÍA 1. Medición de especímenes.

3.-Extracción de los otolitos

Ju St

Para extraer los otolitos de la colecta adicional de 30 individuos se hizo la disección de la cabeza de los peces. Para esto, se hacen dos cortes, uno en dirección dorsoventral a la altura del borde posterior de los opérculos y hasta la altura de los ojos y otro en dirección antero-posterior desde arriba de los ojos hasta el corte anterior, el cual corta la parte superior del cráneo, dejando expuesto el cerebro (Fotografía 2a). Se quita la masa encefálica para descubrir el oído interno y las cápsulas que se encuentran en el post-encéfalo inmediatamente por delante de la articulación de la primera vértebra con el cráneo (Fotografía 2b), quedando una a cada lado del cordón nervioso (Escoto, 1988). Con cuidado se procedió a sacar los otolitos, desprendiéndolos de la membrana transparente (sáculo) que los envuelve, así como la materia orgánica que los acompaña; se enjuagaron, se secaron con papel absorbente, se almacenaron en frascos de plástico y se etiquetaron para su análisis posterior en laboratorio.

CAPÍTULO 6. Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos



FOTOGRAFÍA 2. a) Corte de la cabeza de un espécimen exponiendo el cerebro y b) corte con el cerebro removido para poder observar los otolitos (señalados por las flechas).

Laboratorio

Los otolitos se limpiaron y secaron durante 24 horas en una estufa Riossa a 60 °C, para después pesarlos en una balanza analítica Bosch S2000. Además, se los tomaron las siguientes medidas (microscopio estereoescópico con un ocular micrométrico marca Nikkon):

Largo.- distancia desde el extremo anterior del rostro hasta el borde del margen posterior.

Ancho.- distancia entre el margen dorsal y el margen ventral.

Un análisis preliminar mostró que no había diferencias significativas en tamaño y peso de otolitos derecho e izquierdo. Considerando lo anterior y para la lectura de los anillos, se eligió el otolito derecho y solamente en caso de su rotura o cristalización se utilizó el otolito izquierdo.

El otolito se talló ligeramente con el dedo presionando en un ladrillo abrasivo, con inspecciones en microscopio hasta llegar al nivel apropiado (esclarecimiento de marcas periódicas). Debido a la forma curva y al grosor de los otolitos pulidos, no fue posible colocarlos sobre un portaobjetos de acuerdo a la recomendación de Brothers (1987), sino que se almacenaron en bolsas plásticas debidamente rotuladas. Los otolitos preparados debidamente fueron sumergidos en una caja petri con agua (índice de refracción semejante al de las zonas hialinas de los otolitos) con el lado cóncavo hacia arriba y observados con luz reflejada sobre un fondo obscuro. De esta forma las zonas hialinas se distinguían como obscuras de las opacas blanquecinas. El radio total (a la captura) R y los radios a cada uno de los anillos r_i se midieron a partir del foco (núcleo) en dirección al extremo anterior del otolito (Fotografía 3).

Para validar el tiempo de formación de los anillos se registró en cada medida, el tipo de margen (opaco o translúcido). Como un criterio de validación adicional se midió el incremento marginal (Casselman, 1987). Siguiendo las sugerencias de Hyndes, *et al.* (1992) y de este incremento se consideró como la distancia entre el borde externo de la última zona translúcida (hialina) y el margen del otolito. Este valor se expresó de dos formas: a) como una proporción de la distancia entre el foco y el borde externo de la zona translúcida cuando sólo una sola zona translúcida estaba presente y b) como la proporción de la distancia entre los bordes externos de las dos zonas translúcidas más exteriores cuando dos ó más zonas translúcidas estaban presentes. Esta división del incremento marginal entre el largo de la última banda de crecimiento ha sido denominada *razón de incremento marginal* Conrath, *et al.* (2002)



FOTOGRAFÍA 3. Medición de otolitos: F = foco del otolito, R = radio total (a la captura), r_1 y r_2 radios de los anillos respectivos. La razón de incremento marginal se calculó como $(F - r_2) / (r_2 - r_3)$. CAPÍTULO 6. Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos

Gabinete

El número de machos y hembras fue considerado para calcular la proporción sexual. Esta proporción fue sometida a una prueba de bondad de ajuste de χ^2 (a= 0.05), contra una distribución uniforme (proporción 1:1) con la corrección de Yates (Marques de Cantú, 2004).

En la estimación de la relación peso-longitud se aplicó la siguiente formula:

 $P=aL^b$

Donde:

P= Peso total (g)

L= Longitud patrón (cm)

a y *b* = constantes

Para analizar esta relación se aplican logaritmos, y así la ecuación se transforma en:

Log P =log a + b logL

Esta expresión lineal puede someterse a un análisis de regresión lineal simple por el método de mínimos cuadrados (Marques de Cantú, 1991) para obtener los valores de las constantes $a \ y \ b$. Cuando b = 3 se tiene un crecimiento isométrico, mientras que si es diferente de 3 el crecimiento es alométrico, negativo si b < 3, positivo si b > 3. (Ricker, 1975). Para probar estadísticamente la igualdad de las pendientes estimadas con el valor de tres se consideraron las pruebas correspondientes de la regresión con el estadígrafo t de Student (a= 0.05).

El análisis de la frecuencia de tallas se llevó a cabo por medio de histogramas suavizados ó estimadores de densidad por kernel (EDKs). Los EDKs son estimadores no paramétricos de la frecuencia que resuelven los problemas de punto de origen y discontinuidad presentados por los histogramas tradicionales (Chambers, *et al.*; Silverman, 1986; Härdle, 1991; Scott, 1992; Salgado-Ugarte, *et al.*, 1993). Para las estimaciones se utilizó el ancho de banda óptimo propuesto por Silverman (1986) para kernel gaussiano y los programas para el paquete estadístico Stata (StataCorp, 2001) escritos por Salgado-Ugarte, 1993, 1995a, 1995b y 1997). Detalles de estos estimadores y sobre la fórmula de amplitud de banda óptima se encuentran en Salgado-Ugarte (2002).

Para el retro-cálculo se siguieron las recomendaciones de Francis (1990) y Ricker (1992). Se calculó la regresión geométrica media (GMR) de la longitud patrón a la captura con el radio del otolito. Las longitudes retro-calculadas para cada edad se derivaron de la siguiente fórmula (Fraser, 1916 y Lee, 1920 citados en Bagenal y Tesch, 1978; Ricker, 1992):

$$L_i = \left(\frac{L_c - b}{O_c}(O_i)\right) + b$$

Donde:

L_i = estimación de la longitud a la edad i

L_c= longitud a la captura (cm)

 O_c = radio del otolito a la captura (mm)

 O_i = radio del otolito a la edad *i* (mm)

b = la intersección de la GMR calculada con el procedimiento de Ricker.

Por otra parte, también se usó la fórmula recomendada por Francis (1990) propuesta originalmente por Whitney y Carlander (1956), (Salgado-Ugarte, 1995).

$$L_i = [g(S_i)/g(S_c)]L_c$$

Donde:

 L_i = Longitud retrocalculada para la edad *i* (cm)

g = función de la longitud del cuerpo con el radio del otolito

 S_i = es el radio a la edad *i* (mm)

 S_c = largo del otolito a la captura (mm)

 L_c = longitud del pez a la captura (cm)

El crecimiento se expresó por medio de la función de crecimiento de von Bertalanffy (1938), cuya expresión es (Ricker, 1975):

$$L_t = L_{\infty} = (1 - e^{-K(t - to)})$$

CAPÍTULO 6. Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos

La ecuación ponderal es:

$$P = P_{\infty} (1 - e^{-\kappa (t-to)})^{b}$$

Donde:

 L_{m} = Longitud asintótico del pez (longitud promedio máxima para la especie).

P_w = Peso asintótico del pez (peso promedio máximo para la especie).

K= Parámetro de curvatura (determina que tan rápido se alcanza el valor de L_{∞}).

t = Edad.

 t_o = Tiempo teórico de inicio de crecimiento cuando L_t = 0 y W_t = 0

b = Exponente de la relación potencial de peso-longitud.

 L_{∞} , P_{∞} , k y t_{o} se calcularon por los métodos tradicionales de linealización, Ford (1933)-Walford (1946), Gulland (1969) y Beverton y Holt (1957) de acuerdo con lo indicado por diferentes autores (Gómez-Márquez, 1994; Gulland, 1971; Salgado-Ugarte, 1985; Sparre y Venema, 1992; King, 1995; Salgado-Ugarte *et al.* 2000). Asimismo, se empleó una rutina de regresión no lineal ponderada para obtener, en un solo paso, las constantes de la FCVB y todo el conjunto de valores estadísticos asociados (Salgado-Ugarte *et al.* 2000).

Las estimaciones de los parámetros de la FCVB fueron comparadas con la información contenida en la base de datos FISHBASE (Froese y Pauly, 2001). Los valores reportados en FISHBASE fueron analizados en su distribución por medio de EDKs con amplitud óptima de Silverman y función ponderal (kernel) gaussiana.

RESULTADOS

Material de estudio

En el cuadro 1 se presenta un resumen de los organismos considerados clasificados por fecha de muestreo y por sexo. En total se consideraron 444 individuos, de los cuales 147 fueron hembras, 293 machos y sólo 4 fueron indeterminados. Los tamaños variaron de 8.9 a 18.5 y de 10.4 a 21 cm de longitud patrón para hembras y machos respectivamente. En general, los machos fueron más abundantes que las hembras. La proporción macho:hembra total fue de casi dos machos por

hembra aunque pudo variar de 29 machos por hembra (octubre de 1998) hasta unas dos hembras por macho en enero de 1998 (si bien este último valor no fue estadísticamente significativo) (Cuadro 2).

CUADRO 1. Número de individuos por sexo y fecha de colecta. Se incluye la proporción sexual y su significancia estadística (χ^2 con corrección de Yates).

Sexo								
Fecha de colecta	Total	Indeterminados	Hembras	Machos	Proporción Macho:Hembra	χ^2 (Yates)	Р	
10/ENE/98	28	0	18	10	1.00:1.80	1.75	Ns	
14/FEB/98	30	0	19	11	1.00 : 1.73	1.63	Ns	
14/MAR/98	30	1	16	13	1.00 : 1.23	0.14	Ns	
18/ABR/98	30	0	10	20	2.00:1.00	3.33	Ns	
23/MAY/98	30	0	19	11	1.00 : 1.73	1.63	Ns	
12/JUN/98	30	0	17	13	1.00 : 1.31	0.30	Ns	
10/JUL/98	30	0	6	24	4.00:1.00	9.63	S	
13/AGO/98	30	1	2	27	13.50 : 1.00	19.86	S	
18/SEP/98	49	1	5	43	8.60 : 1.00	28.52	S	
17/OCT/98	30	0	1	29	29.00 : 1.00	24.3	S	
14/NOV/98	30	0	6	24	4.00:1.00	9.63	S	
11/DIC/98	27	0	5	22	4.40:1.00	9.48	S	
16/ENE/99	30	0	8	22	2.75 : 1.00	5.63	S	
16/FEB/99	40	1	15	24	1.60 : 1.00	1.64	Ns	
Total	444	4	147	293	1.99 : 1.00	47.78	S	

CUADRO 2. Resumen estadístico de longitud patrón (cm) por sexo.

Sexo	No. de individuos	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Hembras	147	13.53	1.706	8.9	18.5
Machos	293	13.04	1.560	10.4	21.0
Indeterminados	4	10.63	2.361	7.2	12.6
Total	444	13.18	1.650	7.2	21.0

CAPÍTULO 6. Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos

Una mejor vista de la distribución de tamaños de los individuos capturados se presenta en las Figuras 3 y 4 que muestran los estimadores de densidad por kernel (EDKs) ó histogramas suavizados utilizando amplitudes de banda óptimos (Salgado-Ugarte, *et al.* 1993; 1995a y 1995b).

Para las hembras puede observarse una moda principal a los 13 cm y la indicación de otra menor a los 16 cm de *LP*. En los machos se tiene una moda principal a los 12 cm y otra originada por lo que parece ser un caso extraordinario a los 21 cm de *LP* (valor máximo para los machos de 21 cm).

La Figura 5 muestra el EDK para el total de individuos capturados, el cual muestra una distribución con sesgo positivo con una moda principal a los 12 cm y otras que marcan los valores mínimo (7) y máximo (21); existen "hombros" que sugieren la presencia de grupos de organismos a los 14 y 15 cm de *LP*.



FIGURA 3. Estimador de densidad por kernel con banda óptima de Silverman h =0.51 para hembras de Oreochromis niloticus. La línea vertical indica la posición de la moda de la distribución.


FIGURA 4. Estimador de densidad por kernel con banda óptima de Silverman h = 0.42 para machos de *Oreochromis niloticus*. Las líneas verticales indican la posición de las modas de la distribución.



FIGURA 5. Estimador de densidad por kernel con banda óptima de Silverman h = 0.41 la población de *Oreochromis niloticus*. Las líneas verticales indican la posición de las modas de la distribución.

J.

Relación longitud patrón – longitud total

Con fines comparativos y para conversión entre una medida y la otra, se incluye la relación entre las longitudes tomadas a los especímenes. De esta forma es posible realizar comparaciones entre los tamaños reportados en el presente estudio con otros sobre la misma especie o similares. Un análisis de covarianza mostró que existieron diferencias entre machos y hembras ($F_{2,400} = 2.35, P < 0.1$), por lo que se consideró conveniente especificar las relaciones por sexo.

Sexo	Coeficiente	Error estándar	Valor de <i>t</i>	Prob. > <i>t</i>	Intervalo d del s	e confianza 95 %
Hembras N = 132 R ² = 0.97						
В	1.2077	0.0173	69.83	0.000	1.1735	1.2419
А	0.8731	0.2349	3.72	0.000	0.4084	1.3378
Machos N = 269 r ² = 0.94						
В	1.2265	0.0182	67.46	0.000	1.1907	1.2623
А	0.7174	0.2341	3.06	0.002	0.2565	1.1782
Población N = 404 $r^2 = 0.96$						
b	1.2119	0.0126	96.31	0.000	1.1872	1.2367
а	0.8754	0.1649	5.31	0.000	0.5513	1.1995

CUADRO 3. Parámetros de las regresiones de longitud total – longitud patrón por sexo y sus valores estadísticos (valores ajustados de *r*²).

0



FIGURA 6. Regresión longitud total – longitud patrón para las hembras de *Oreochromis niloticus*.



FIGURA 7. Regresión longitud total – longitud patrón para los machos de *Oreochromis niloticus*.

Je Je



FIGURA 8. Regresión longitud total – longitud patrón para la población de *Oreochromis niloticus*.

Relación peso-longitud

Para establecer esta relación se utilizó el peso total y la longitud patrón. Esta última se prefirió debido a que en no pocas ocasiones, durante el manejo de los especímenes, la aleta caudal resultó dañada, introduciendo un error para la medición de longitud total. Un análisis de covarianza no mostró diferencias para las regresiones entre sexos ($F_{2,400} = 0.41$, P = 0.66). Sin embargo, para fines comparativos y considerando los resultados de la sección anterior, así como el dimorfismo sexual de la especie se reportan las ecuaciones por sexo. Los ajustes para valores de logaritmo natural de las variables se presentan en el Cuadro 4.

Con los parámetros estimados del cuadro 4 se construyeron las Figuras 9, 10 y 11 una vez transformados a su escala original.

CUADRO 4. Parámetros de las regresiones para logaritmo natural de peso total – longitud patrón por sexo y sus valores estadísticos (valores ajustados de r^2).

Sexo	Coeficiente	Error estándar	Valor de t	Prob. > <i>t</i>	Intervalo de del S	e confianza 95 %
Hembras N = 132 R ² = 0.95						
b	2.8044	0.0580	48.36	0.000	2.6897	2.9192
а	-2.8040	0.1505	-18.63	0.000	-3.1017	-2.5062
Machos N = 269 R ² = 0.91						
В	2.7457	0.0518	53.02	0.000	2.6437	2.8477
А	-2.6599	0.1319	-20.17	0.002	-2.9195	-2.4002
Población N = 404 $R^{2} = 0.93$						
b	2.7753	0.0377	73.60	0.000	2.7012	2.8494
а	-2.7327	0.0966	-28.29	0.000	-2.9226	-2.5428











FIGURA 11. Relación peso total – longitud patrón para la población de *Oreochromis niloticus*.

SI

Determinación de edad

Relación longitud patrón – radio del otolito

De los 444 individuos capturados en el periodo de estudio, 384 fueron examinados en sus otolitos ya que no se pudieron recuperar los otolitos de los meses de marzo de 1998 y enero de 1999. De los 384 especímenes con otolitos, 316 proporcionaron otolitos legibles (aproximadamente el 82.3 %); 108 fueron de hembras y 206 de machos. Tan sólo dos otolitos fueron de organismos de sexo indeterminado. El otolito menor midió 2.40 mm y el mayor 4.68 (ambas hembras) (Cuadro 5).

La distribución de los tamaños de otolito resultó ser sesgada positivamente, con una moda a los 3.45 mm y un "hombro" a los 4 mm en las hembras y dos modas (a los 3.06 y 4.35 mm) con un hombro a los 3.3 mm en los machos (Figuras 12 y 13).

Sexo	No. de individuos	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Hembras	108	3.50	0.468	2.40	4.68
Machos	206	3.22	0.321	2.45	4.39
Indeterminados	2	2.95	0	2.95	2.95
Total	316	3.31	0.401	2.40	4.68

CUADRO 5. Tamaños de otolito (radio) en mm por sexo y valores estadísticos.



FIGURA 12. Estimador de densidad por kernel con banda óptima de Silverman h = 0.16 para hembras de *Oreochromis niloticus*. La línea vertical indica la posición de la moda de la distribución.



FIGURA 13. Estimador de densidad por kernel con banda óptima de Silverman h = 0.09 para machos de *Oreochromis niloticus*. Las líneas verticales indican la posición de las modas de la distribución.

510

CUADRO 6. Media, desviación estándar y frecuencia para tamaños de otolitos por fecha y sexo.

×	CUADRO 6. Media, desviación estándar y frecuencia para tamaños de otolitos por fecha y sexo.								
	Fecha	Indeterminados	Hembras	Machos	Total				
S)	10/01/1998	- - 0	3.5167 0.3039 18	3.2575 0.3332 8	3.4369 0.3298 26				
E.	14/02/1998	- - 0	3.6584 0.3395 19	3.3810 0.4543 10	3.5627 0.3981 29				
	18/04/1998	- - 0	3.3320 0.5049 10	3.2075 0.2043 16	3.2554 0.3473 26				
	23/05/1998	- - 0	3.5553 0.4797 17	3.2050 0.1963 10	3.4255 0.4297 27				
	12/06/1998	- - 0	3.6723 0.7076 17	3.4677 0.2310 13	3.5837 0.5558 30				
	10/07/1998	- - 0	3.4883 0.4078 6	2.9648 0.1826 21	3.0811 0.3269 27				
	13/08/1998	2.95 0 1	3.05 0 1	3.2213 0.3787 23	3.2036 0.3680 25				
	18/09/1998	2.95 0 1	3.1533 0.2237 3	2.8623 0.2368 22	2.8992 0.2452 26				
	17/10/1998	- - 0	3.4300 0 1	3.1819 0.2730 21	3.1932 0.2717 22				
	14/11/1998	- - 0	3.0675 0.2571 4	3.2653 0.2045 19	3.2309 0.2216 23				
	11/12/1998	- - 0	3.3860 0.3061 5	3.3729 0.2269 21	3.3754 0.2371 26				
	12/02/1999	- - 0	3.3057 0.4786 7	3.4286 0.2974 22	3.3990 0.3439 29				
	Total	2.95 0 2	3.5019 0.4684 108	3.2173 0.3212 206	3.3129 0.4009 316				

6)

Un resumen estadístico del tamaño de los otolitos por fecha de muestreo se presenta en el cuadro 6. Para las hembras, en agosto y octubre de 1998 sólo se pudo medir un otolito, mientras que en febrero del mismo año se analizaron 19. De los machos, el mínimo de otolitos (8) se midió en enero de 1998 y el mes con mayor abundancia de otolitos medidos fue agosto de 1998 con 23, si bien la gran mayoría de los meses, el número de estas estructuras analizadas fue muy cercano (19 a 22).

Las regresiones para la relación cuerpo – otolito se muestran en el cuadro 7 y los datos con sus respectivos ajustes se incluyen en las Figuras 14, 15 y 16.

			1			
Hembras N = 108 $r^2 = 0.65$	Coeficiente	Error estándar	Valor de <i>t</i>	Prob. > <i>t</i>	Intervalo d del S	e confianza 95 %
b	3.1689	0.2218	14.29	0.000	2.7293	3.6086
а	2.2942	0.7835	2.93	0.004	0.7409	3.8475
Machos N = 206 r ² = 0.27						
b	2.4759	0.2832	8.74	0.000	1.9174	3.0343
а	5.1248	0.9157	5.60	0.000	3.3193	6.9302
Población <i>N = 316</i> <i>r</i> ² = 0.42						
b	2.6500	0.1758	15.07	0.000	2.3040	2.9960
а	4.4031	0.5867	7.50	0.000	3.2487	5.5576

CUADRO 7. Parámetros de las regresiones lineales para longitud patrón – radio del otolito, por sexo y sus valores estadísticos (valores ajustados de re).

June 1



FIGURA 14. Relación longitud patrón – radio del otolito para hembras de *Oreochromis niloticus*.



FIGURA 15. Relación longitud patrón – radio del otolito para machos de *Oreochromis niloticus*.

5



FIGURA 16. Relación longitud patrón – radio del otolito para la población de *Oreochromis niloticus*.

Los radios de los otolitos se resumen en los cuadros 8, 9 y 10. Asimismo se presentan los diagramas de caja para las medidas correspondientes en las figuras 17, 18 y 19. Tanto en los cuadros como en los gráficos de caja, puede observarse claramente la tendencia al incremento, primero en forma marcada y menor en los radios mayores.

Los diagramas de caja (Figuras 17 a 19) indican distribuciones más o menos simétricas, excepto para el primer radio el cual mostró una tendencia hacia el sesgo positivo. Los machos no presentaron otolitos con cinco anillos. El quinto radio de los otolitos de las hembras tan sólo estuvo representado por 3 especímenes, lo que se aprecia claramente en las cajas sin bigotes para ese anillo en las Figuras 18 y 19 (hembras y población, respectivamente).

CUADRO 8. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores de radios por edad para hembras de Oreochromis niloticus.

	CUADRO 8. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores de radios por edad para hembras de <i>Oreochromis niloticus</i> .						
					Anillo		
	Edad	n	1	2	3	4	5
ST.	1	9	1.75 0.354 9				
	2	61	1.40 0.284 58	2.47 0.403 61			
	3	26	1.38 0.305 26	2.25 0.280 26	3.16 0.398 26		
	4	9	1.15 0.241 9	1.96 0.174 8	2.66 0.286 9	3.42 0.380 9	
	5	3	1 0 3	1.82 0.325 3	2.23 0.226 3	3.04 0.437 3	3.8 0.265 3
	Total	108	1.39 0.318 105	2.35 0.398 98	2.97 0.471 38	3.32 0.410 12	3.8 0.265 3

CUADRO 9. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores de radios por edad para machos de Oreochromis niloticus.

			An	illo	
Edad	n	1	2	3	4
1	69	1.54 0.294 69			
2	113	1.29 0.231 97	2.43 0.339 113		
3	22	1.29 0.231 21	2.13 0.289 22	2.98 0.288 22	

CUADRO 9. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores de radios por edad para machos de *Oreochromis niloticus (continuación)*.

			Ani	illo	
Edad	n	1	2	3	4
4	2	1.5 0 1	2.19 0.262 2	3.06 0.127 2	3.46 0.057 2
Total	206	1.38 0.280 188	2.375 0.347 137	2.98 0.278 24	3.46 0.056 2

CUADRO 10. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores de radios por edad para la población de *Oreochromis niloticus*.

				Anillo		
Edad	n	1	2	3	4	5
1	79	1.56 0.307 79				
2	175	1.33 0.256 156	2.44 0.363 175			
3	48	1.34 0.275 47	2.20 0.288 48	3.08 0.362 48		
4	11	1.19 0.252 10	2.01 0.203 10	2.73 0.305 11	3.42 0.341 11	
5	3	1 0 3	1.82 0.325 3	2.23 0.226 3	3.04 0.437 3	3.80 0.264 3
Total	316	1.39 0.293 295	2.365 0.369 236	2.97 0.405 62	3.34 0.381 14	3.80 0.265 3



FIGURA 17. Diagrama de cajas para radios de anillos de los otolitos de hembras de *Oreochromis niloticus*.



FIGURA 18. Diagrama de cajas para radios de anillos de los otolitos de machos de *Oreochromis niloticus*.



FIGURA 19. Diagrama de cajas para radios de anillos de los otolitos de la población de *Oreochromis niloticus*.

Validación de la periodicidad de marcas

a) Análisis de bordes

Con el fin de validar la periodicidad de la formación de las marcas encontradas en los otolitos se hicieron dos tipos de estudios. El primero involucró el registro de tipo de borde (opaco o hialino) de los otolitos. Los resultados para los individuos capturados se presentan en el Cuadro 11 y gráficamente en la Figura 20. En ella, puede distinguirse un periodo predominante de formación de marcas (alto porcentaje de otolitos con borde opaco y bajo con bordes hialinos) durante los meses de secas (de noviembre a febrero) y uno secundario durante los meses de lluvias, particularmente junio.

51.

CUADRO 10.	Porcentaje de	otolitos con	borde opaco	por fecha de	muestreo.
------------	---------------	--------------	-------------	--------------	-----------

Fecha de muestreo	Porcentaje de otolitos con borde opaco	Frecuencia
10/ENE/98	56.0	26
14/FEB/98	75.9	29
18/ABR/98	8.0	26
23/MAY/98	28.0	27
12/JUN/98	31.0	30
10/JUL/98	24.0	27
13/AGO/98	4.0	25
18/SEP/98	23.1	26
17/OCT/98	25.0	22
14/NOV/98	57.1	23
11/DIC/98	31.0	26
16/FEB/99	72.0	29
Total	43.2	316



FIGURA 20. Porcentaje de otolitos con bordes hialinos y opacos por fecha de muestreo para la población de *Oreochromis niloticus*.

 \bigcirc

b) Análisis del incremento marginal

El segundo enfoque utilizado para establecer la periodicidad de la formación de las marcas encontradas en los otolitos consistió en un análisis detallado de las medidas marginales obtenidas en la lectura de otolitos. Para esto se analizó la distribución de las medidas marginales por medio de histogramas mejorados (estimadores de densidad por kernel) para identificar a las modas predominantes y utilizarlas como representantes por fecha de muestreo. Los valores modales por fecha de muestreo se presentan en la Figura 21a. En ella pueden apreciarse un mínimo absoluto en los meses de secas (de noviembre a febrero) y otro menos marcado durante las lluvias (julio).



FIGURA 21A. Valores modales por fecha de muestreo para los valores de incremento marginal, población de *Oreochromis niloticus*.

Además del estudio de las medidas directas del incremento marginal, se analizó la *Razón de Incremento Marginal*, definida como la división del incremento entre la longitud de la banda de crecimiento anterior (o la distancia del foco al anillo en los individuos con un solo anillo). Como en el caso anterior, la distribución de estos valores en cada mes se analizó y se tomó la moda dominante como representante mensual. La figura 21b muestra de manera más clara las oscilaciones y de nuevo puede apreciarse que valores bajos ocurren en los meses de secas (noviembre a febrero) y a la mitad de la temporada de lluvias (julio).



FIGURA 21B. Valores modales por fecha de muestreo para los valores de razón de incremento marginal, población de *Oreochromis niloticus*.

Edad y crecimiento

St. St.

El cuadro 12 muestra los porcentajes de concordancia en la identificación de anillos entre las lecturas realizadas para el presente estudio. Cerca del 70 % de las lecturas coincidieron de manera exacta. El segundo lector en general determinó una cuenta menor a las de la autora del presente estudio con porcentajes aproximados de 19 y 3.8 para diferencias negativas de uno y dos anillos, respectivamente. Tan sólo un siete por ciento estuvieron por arriba de un anillo y no se tuvieron diferencias positivas mayores.

Diferencia entre lecturas	Porcentaje
-2	3.8
-1	19.6
0	69.3
1	7.3
2	0

CUADRO 12. Porcentajes de concordancia entre lecturas de otolitos.

El criterio utilizado finalmente para las estimaciones de edad fueron las medidas de los radios para cada anillo, es decir que se asignaba la edad de acuerdo con su semejanza con los valores medios de los radios a cada edad.

Estimación del crecimiento por retrocálculo

A continuación, se presentan los tamaños retro-calculados por la expresión de proporcionalidad corporal (Francis, 1990) propuesta por Whitney y Carlander (1956) en los Cuadros 13 (hembras), 14 (machos) y 15 (población). Puede notarse que la frecuencia es mayor al total de otolitos debido a que se tomó en cuenta todos los anillos de cada edad. Es decir, el renglón del anillo 1 contiene las medidas (para el anillo 1) de los otolitos con 1 a 5 anillos, el renglón del anillo 2 contiene medidas para el anillo 2 de los otolitos con 1 a 4 anillos, etc.

CUADRO 13. Resumen estadístico de longitudes retro-calculadas por la ecuación de proporcionalidad corporal (Hembras).

Anillo	Media de LP (cm)	Desviación estándar	Frecuencia
1	6.71	1.218	105
2	9.78	1.619	98
3	11.58	1.804	38
4	12.55	1.639	12
5	14.19	0.825	3

CUADRO 14. Resumen estadístico de longitudes retro-calculadas por la ecuación de proporcionalidad corporal (Machos).

Anillo	Media de LP (cm)	Desviación estándar	Frecuencia
1	8.56	1.079	188
2	11.14	1.556	137
3	13.39	1.664	24
4	16.63	0.419	2

CUADRO 15. Resumen estadístico de longitudes retro-calculadas por la ecuación de proporcionalidad corporal (Población).

	CUADRO 15. Resumen estadístico de longitudes retro-calculadas por la ecuación de proporcionalidad corporal (Población).						
	Anillo	Media de LP (cm)	Desviación estándar	Frecuencia			
$\overline{\mathbb{C}}$	1	8.08	1.110	295			
23	2	10.73	1.571	236			
EL.	3	12.52	1.745	62			
	4	13.45	1.979	14			
	5	14.42	0.813	3			

Con los valores medios retro-calculados para cada edad y por sexo, se estimaron los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy. Primeramente, por medio de los procedimientos tradicionales, es decir, los métodos basados en los gráficos de Ford-Walford y Gulland para estimar la longitud infinita y la constante de crecimiento; posteriormente y considerando que la periodicidad de los anillos es de dos al año, por medio del método de Beverton y Holt se estimó el valor de t_o .

Para los machos no fue posible calcular la FCVB debido a que las medias retrocalculadas no se ajustaron a los requerimientos impuestos por esta función. En particular, el problema estuvo originado por los escasos individuos de edades mayores. En el caso de los machos no se obtuvieron estimaciones de peces con cinco anillos (como en las hembras). Por otra parte, el incremento de longitud de los peces de edad estimada de tres a cuatro anillos fue mayor que el de dos a tres anillos, con lo que se violaron las condiciones impuestas por la FCVB al requerir que los incrementos cada vez sean menores. Ni los métodos tradicionales, ni la regresión no paramétrica condujeron a resultados razonables.

A continuación, se presentan los resultados para hembras y población.

Para las hembras, los gráficos tradicionales mencionados se presentan en las Figuras 22 a 24 y la FCVB se muestra en la Figura 25 y se incluye en la ecuación 1:

$$L_t = 16.38 \left[1 - e^{-0.70(t+0.24)} \right] \tag{1}$$

La regresión no lineal ponderada proporcionó un ajuste un poco más conservador en cuanto al tamaño asintótico para la especie (ecuación 2), el cual se presenta gráficamente en la Figura 26.

$$L_t = 14.60 \left[1 - e^{-0.97(t+0.13)} \right]$$
 (2)

Por los métodos tradicionales (Figuras 27, 28 y 29), la FCVB estimada para la población se muestra en la Figura 30 y se expresa de acuerdo a la ecuación 3:

$$L_t = 15.88 \left[1 - e^{-0.82(t+0.37)} \right]$$
(3)

La regresión no lineal ponderada aplicada a los datos de la población proporcionó un ajuste muy semejante (ecuación 4) el cual se presenta gráficamente en la Figura 31.

$$L_{t} = 15.65 \left[1 - e^{-0.87(t+0.34)} \right]$$
(4)

Los cuadros 16 y 17 muestran los parámetros estimados por los métodos tradicionales y regresión no lineal ponderada, respectivamente. Su representación gráfica se incluye en las Figuras 25, 26, 30 y 31.



FIGURA 22. Gráfico de Ford-Walford para las medias retrocalculadas de las hembras de *Oreochromis niloticus*.



FIGURA 23. Gráfico de Gulland para las medias retro-calculadas de las hembras de *Oreochromis niloticus*.



FIGURA 24. Gráfico de Beverton y Holt para medias retro-calculadas de las hembras de *Oreochromis niloticus* utilizando el valor estimado de L_∞ por Ford-Walford y Gulland.

S.



FIGURA 25. Función de crecimiento de von Bertalanffy estimada por métodos tradicionales a partir de las medias retrocalculadas para hembras de *Oreochromis niloticus.*



FIGURA 26. Función de crecimiento de von Bertalanffy estimada por regresión no lineal ponderada a partir de las medias retrocalculadas para hembras de *Oreochromis niloticus*.

SI



FIGURA 27. Gráfico de Ford-Walford para las medias retrocalculadas de la población de *Oreochromis niloticus*.



FIGURA 28. Gráfico de Gulland para las medias retrocalculadas de la población de *Oreochromis niloticus*.

S.



FIGURA 29. Gráfico de Beverton y Holt para medias retro-calculadas de la población de *Oreochromis niloticus* utilizando el valor estimado de L_∞ por Ford-Walford y Gulland.



FIGURA 30. Función de crecimiento de von Bertalanffy estimada por métodos tradicionales a partir de las medias retrocalculadas para la población de *Oreochromis niloticus.*

SI



FIGURA 31. Función de crecimiento de von Bertalanffy estimada por regresión no lineal ponderada a partir de las medias retrocalculadas para la población de *Oreochromis niloticus*.

CUADRO 16. Parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy estimados por métodos tradicionales.

	Hembras	Población
L	16.38	15.88
К	0.70	0.82
T _o	- 0.24	- 0.37

CUADRO 17. Parámetros de la FCVB estimados por regresión no lineal ponderada y sus valores estadísticos.

	Parámetro	Error estándar	t	P>t	[Intervalo de confianza del 95%]	
Hembras $r^2 = 0.99$						
L _∞	14.60	0.069	212.38	0.000	14.47	14.74
К	0.97	0.014	70.59	0.000	0.94	0.99
T _o	- 0.13	0.006	- 23.72	0.000	- 0.15	- 0.12
Población $r^2 = 0.99$						
L _∞	15.65	0.021	754.31	0.000	15.61	15.69
К	0.87	0.003	249.17	0.000	0.86	0.87
T	- 0.34	0.002	- 178.63	0.000	- 0.34	- 0.33

Crecimiento en peso

Las funciones de crecimiento en peso se presentan a continuación para hembras derivadas de métodos tradicionales y regresión no lineal (ecuaciones 5 y 6), y para la población (ecuaciones 7 y 8). Su gráfica se incluye en las figuras 32 a 35.

Hembras:

Por métodos tradicionales (Ford-Walford, Gulland, Beverton y Holt):

$$P_{t} = 154.05 \left[1 - e^{-0.70(t+0.24)} \right]^{2.80}$$
(5)

Por regresión no lineal ponderada:

$$P_{t} = 110.10 \left[1 - e^{-0.97(t+0.13)} \right]^{2.80}$$
(6)

Población

Por métodos tradicionales:

$$P_t = 139.93 \left[1 - e^{-0.82(t+0.36)} \right]^{2.77}$$
(7)

Por regresión no lineal ponderada:

$$P_t = 134.38 \left[1 - e^{-0.87(t+0.34)} \right]^{2.77}$$
(8)



FIGURA 32. Función de crecimiento ponderal de von Bertalanffy estimada por métodos tradicionales a partir de las medias retrocalculadas y la relación peso-longitud para las hembras de *Oreochromis niloticus.*



FIGURA 33. Función de crecimiento ponderal de von Bertalanffy estimada por regresión no lineal ponderada a partir de las medias retrocalculadas y la relación peso-longitud para las hembras de *Oreochromis niloticus*.



FIGURA 34. Función de crecimiento ponderal de von Bertalanffy estimada por métodos tradicionales a partir de las medias retrocalculadas y la relación peso-longitud para la población de *Oreochromis niloticus*.



FIGURA 35. Función de crecimiento ponderal de von Bertalanffy estimada por regresión no lineal ponderada a partir de las medias retrocalculadas y la relación peso-longitud para la población de *Oreochromis niloticus*.

51.

Composición por edades

En el Cuadro 18 y la Figura 36 se muestra la composición por edades para hembras, machos y total de individuos estudiados. Es evidente que predominan los individuos de un año de edad (2 anillos) en ambos sexos. En segundo término, se tienen a los ejemplares de 1.5 años en las hembras y de medio año en los machos. La Figura 37 presenta los porcentajes de machos y hembras para cada edad. Puede notarse que las hembras se hacen predominantes a edades mayores.

		Sexo		
Edad	0	1	2	Total
0.5	1	9	69	79
1	1	61	113	175
1.5	0	26	22	48
2	0	9	2	11
2.5	0	3	0	3
Total	2	108	206	316

CUADRO 18. Composición por edades por sexo para individuos de Oreochromis niloticus.



FIGURA 36. Composición por edades para hembras, machos y población de *Oreochromis niloticus*.



FIGURA 37. Porcentaje de individuos de cada sexo por edad. Los números de individuos para cada sexo y edad son los del cuadro 18.

Discusión

Material de estudio

En promedio, las hembras resultaron mayores que los machos. Sin embargo, al observar la distribución de tamaños en los histogramas mejorados (EDK's), puede notarse que las modas representarían mejor a los datos. Los tamaños de las hembras mostraron un ligero sesgo positivo, mientras que la distribución de los machos manifestó un sesgo positivo marcado con la existencia de casos extraordinarios. Los valores modales principales sugieren que las hembras en general son mayores que los machos, si bien, hubo la presencia de un macho muy grande (21 cm de longitud patrón). No obstante lo anterior, se tiene evidencia de que las tallas colectadas corresponden al intervalo de captura con el arte de pesca y su tamaño de malla (de 10 a 20 cm de longitud patrón).

Proporción sexual

En general los machos fueron más abundantes que las hembras. Cuando esto ocurrió, siempre se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas. Por otra parte, cuando las hembras llegaron a sobrepasar a los machos en número, estas diferencias no fueron significativas. Aunque variable

SI

10 A 10 A 10 A

de especie a especie, en general, se espera que la proporción de sexos sea aproximadamente 1:1 (Nikolsky, 1963). Para *O. niloticus* un mayor número de machos también fue detectado por Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002). Respecto a otra especie del mismo género (*O. aureus*), Ramos-Cruz (1995) afirma que la predominancia de machos en las capturas de algunos meses puede representar un mecanismo regulador de la proporción sexual (al removerse individuos de un solo sexo). La forma de crianza de *O. niloticus* puede explicar esta diferencia si se considera (de manera análoga al razonamiento de Ramos-Cruz, 1995) la posibilidad de que posterior a la fertilización de los huevos, los machos se quedan en las vecindades del nido en donde son capturados con las atarrayas mientras que las hembras emigran hacia otras zonas de la presa donde resultan menos susceptibles de ser capturadas. Por otra parte, otras fuentes señalan que la predominancia de machos en los cíclidos se considera como normal y no afecta a las pesquerías (Fryer e Iles, 1972 citado en Gómez-Márquez, 2002).

Relación longitud patrón – longitud total

Las regresiones para estas variables (Cuadro 3) todas fueron altamente significativas con elevados coeficientes de determinación, y los parámetros tuvieron valores bajos de dispersión (errores estándar), alta significancia estadística e intervalos de confianza angostos. Con estas expresiones es posible convertir cualquier longitud patrón incluida en el presente trabajo a longitud total para compararlo con los valores que pudieran encontrarse en la literatura. Este procedimiento se utilizó para hacer las comparaciones necesarias de lo aquí reportado con lo citado en otros estudios. Como se mostró anteriormente es claro que el incremento en LT por unidad de LP siempre fue mayor a 1 lo que indica que los individuos de *O. niloticus* aumentan más en su longitud total (con la aleta caudal incluida) que en la longitud de la parte carnosa del cuerpo.

Relación peso-longitud

Tanto machos como hembras mostraron una tendencia hacia el crecimiento alométrico negativo. El exponente de la relación peso-longitud siempre fue menor que 3 y este valor no quedó incluido en los intervalos de confianza del 95 % en ningún caso. La curva de esta relación para los machos muestra un claro caso influencial en la regresión (por ser de gran tamaño y peso). Mientras la mayor parte de los machos midieron entre 10 y 18 cm, un individuo alcanzó los 21 cm de longitud patrón. Crecimiento alométrico negativo para *O. niloticus* ha sido reportado previamente por Flores (1994) en condiciones de cultivo en estanques bajo condiciones de clima templado, por Garduño-Paredes y Avelar-Esquivel (1996) en la Laguna de Coatetelco, así como por Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002) para las hembras en el cuerpo de agua de la presente investigación (presa "Emiliano Zapata", Mor.).

Para esta especie, crecimiento de tipo isométrico ha sido reportado por Córdova (1994) para individuos juveniles bajo condiciones de laboratorio, lo que sugiere que la reproducción puede, en parte, explicar la alometría en general para la población. Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002) también encontraron que la población y los machos presentaron un crecimiento isométrico. Indicando la posibilidad de que el ambiente pudiera haber sido más favorable durante el tiempo de su estudio.

Por otra parte, se ha reportado para la especie en la presa Cerro de Oro, Oax. un crecimiento alométrico positivo (Santiago y Jardón, 1997). Estos autores atribuyen la diferencia con el estudio de Garduño-Paredes y Avelar-Esquivel (1996), quienes reportan crecimiento alométrico negativo, a que estos autores obtuvieron tallas de hasta 16 cm, mientras que en Cerro de Oro, se capturaron individuos de más de 30 cm de longitud patrón, lo cual puede aplicarse también al presente estudio.

Respecto a otras especies del mismo género, Guzmán (1994) y Palacios (1995) determinaron un crecimiento alométrico negativo para *O. aureus* en la Presa Infiernillo, Michoacán-Guerrero.

Por otra parte, no existe diferencia significativa entre los parámetros de esta relación por sexos. Esto puede apreciarse en el Cuadro 4 y en la Figura 38, donde los valores puntuales quedan incluidos en los intervalos de confianza y el traslape de puntos de las curvas. Es hasta los 15 cm de longitud patrón que las hembras empiezan a tener pesos ligeramente mayores a los de los machos del mismo tamaño, debido probablemente al incremento del peso de los ovarios.



FIGURA 38. Comparación de las curvas de la relación pesolongitud para machos, hembras y población.

Determinación de edad

Así como la distribución de los tamaños (longitud patrón), los radios de los otolitos tuvieron un sesgo positivo e indicación de algunas modas a valores mayores. Sólo dos otolitos fueron de individuos de sexo indeterminado por lo que la discusión se centrará en los otolitos de machos y hembras.

Relación longitud patrón – radio del otolito

En general, las regresiones entre el tamaño del pez con el radio de los otolitos presentaron valores bajos para el coeficiente de determinación. La dispersión de los puntos es apreciable en los diagramas bivariados, sobre todo en los machos. Esta gran variabilidad en los tamaños relativos de los especímenes y sus otolitos provocó el valor bajo de las r^2 . No obstante, es posible apreciar la tendencia al aumento paulatino de los radios de las marcas periódicas, si bien, en el caso de los machos puede notarse que tan sólo se pudieron caracterizar cuatro anillos.

Validación de la periodicidad de marcas

a) Análisis de bordes

La ocurrencia de bordes opacos en los otolitos no presenta una tendencia clara como suele ser el caso en latitudes templadas con estacionalidad marcada. No obstante, es posible notar la predominancia de bordes opacos durante la temporada de estiaje (diciembre a febrero) y un incremento de frecuencia menor durante los meses calientes (mayo y junio).

b) Análisis del incremento marginal

El incremento marginal está en concordancia aproximada con los resultados del apartado anterior. Durante los meses fríos del año se registraron los valores más bajos; de febrero a junio puede notarse un incremento, seguido por una disminución en julio, para alcanzar un máximo pronunciado en octubre y de nuevo disminuir drásticamente en noviembre y gradualmente hasta febrero del año siguiente. La razón de incremento marginal muestra un comportamiento parecido: valores bajos en la temporada seca (noviembre a febrero) y a la mitad de la temporada lluviosa (julio), valores altos en abril, pero sobre todo en octubre. Esta tendencia en ambos criterios sugiere la formación de los anillos durante el período seco del año (noviembre a febrero) y de manera menos marcada a mitad de la temporada lluviosa (julio).

Las evidencias de los apartados anteriores sugieren que la periodicidad de los anillos es de dos por año, uno muy claro formado en los meses de invierno (secos), y otro menor durante los meses calientes (lluvias).

Es interesante notar que el indicio de formación principal de los anillos coincide con la temporada de secas (noviembre a febrero). Durante estos meses, la temperatura es baja y el oxígeno disuelto se encuentra en concentraciones relativamente elevadas. Durante la parte caliente del año, se registró otro indicio de formación de anillo, comportamiento que coincide con el periodo de reproducción para la especie en la presa reportado por Cruz-Miguel *et al.* (2000). Estos autores reportan que *O. niloticus* se reproduce con mayor intensidad de julio a agosto y en menor escala de enero a febrero. Es posible entonces que el anillo se forme por la interacción de las variables fisicoquímicas del ambiente con los requerimientos de la temporada reproductiva (enfoque de energía para el desarrollo de gónadas y comportamiento territorial) en los meses cálidos de lluvias y la reproducción con las condiciones ambientales durante la época de secas. Al comparar las propiedades estadísticas del ambiente de la región (clima), es también notorio que tanto de noviembre a febrero como en julio-agosto, se tienen periodos secos (Apéndice 1). El primero es el principal del año y el segundo la canícula, es decir la temporada seca corta que ocurre en la mitad caliente del año, a la mitad de la temporada lluviosa.

Otro reporte de interés es el de Flores-Maldonado *et al.* (2000) quienes estudiaron a través de medias ajustadas por tamaño (longitud patrón) el contenido alimenticio, las gónadas, el hígado y el peso eviscerado. Observaron que el peso del contenido alimenticio bajó en junio y enero. Ellos atribuyen el primero al aumento del volumen del embalse que trae consigo una dilución que disminuye la disponibilidad de alimento. Un efecto relacionado con lo anterior es manifestado por Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002) al mencionar que durante los meses secos el volumen de la presa disminuye considerablemente, lo que podría provocar un crecimiento disminuido porque a pesar de la concentración el forrajeo continuo por los organismos provoca una disminución neta del alimento.

En latitudes tropicales o subtropicales no existe una estacionalidad marcada como la que ocurre en latitudes mayores. Por esto, en ocasiones no se forman marcas anuales en las estructuras óseas (Sparre y Venema, 1992). Sin embargo, los peces, en la zona intertropical, siguen ciclos de otra naturaleza. En particular, la formación de marcas se ha asociado con los eventos reproductivos, los cuales a su vez están en relación con variaciones ambientales como las lluvias, sequía y estas con la productividad de los cuerpos acuáticos y la disponibilidad de alimento (King, 1995). Gómez-Márquez (2002) señala la posibilidad de que para *O. niloticus* en Coatetelco, Mor. una de las marcas se atribuya a condiciones ligeramente desfavorables durante los meses fríos (secos) del año y la
otra se deba principalmente a la inversión energética para la reproducción durante los meses calientes y con lluvia. Este razonamiento puede aplicarse también al presente estudio.

En especies de la misma familia, Fagade (1974) para *Tilapia melanotheron* reportó que la formación de anillos coincidió con los eventos reproductivos durante secas y lluvias. La atribución de formación de marcas en escamas por eventos reproductivos también ha sido reportado por otros autores para cíclidos en localidades diversas: Garrod (1959); Holden (1995) citado en Blake y Blake (1978) (citado en Gómez-Márquez, 2002); Alejo-Plata *et al.* (1989) y Guzmán (1994).

Edad y crecimiento

Los porcentajes de concordancia entre lectores de marcas no fueron muy altas. Sin embargo, la concordancia exacta ocurrió en casi el 70 % de los casos. El segundo lector fue mas conservador en sus apreciaciones, lo que explica el 19.6 % de lecturas con diferencia de –1. Estas dos categorías abarcan un poco menos del 90% de las lecturas realizadas.

Estimación del crecimiento en longitud por retrocálculo

Se retro-calcularon las longitudes con base en el número de marcas identificadas en los otolitos por los dos métodos indicados en la sección de material y métodos. Ambas estimaciones fueron prácticamente idénticas por lo que se optó por presentar sólo las obtenidas por la proporcionalidad corporal (Francis, 1990; Whitney y Carlander, 1956).

Las medias retrocalculadas de machos no permitieron estimar los parámetros de la FCVB. La causa fue el elevado incremento en longitud entre las edades 3 y 4. Este valor elevado no se ajusta a los supuestos de la función de crecimiento de von Bertalanffy y debido a esto, ni por los métodos tradicionales ni por la regresión no lineal fue posible obtener estimaciones de los parámetros.

Tanto para hembras como para la población, los valores de longitud infinita fueron conservadores, siendo menores siempre los estimados por regresión no lineal. En el caso de las hembras se observa que la diferencia en los valores estimados por ambos métodos fue mayor (cerca de dos centímetros), mientras que para la población, ambas estimaciones fueron muy similares (diferencia de menos de una décima de centímetro).

Resulta interesante comparar estos valores con los reportados en otros trabajos. A continuación, en el cuadro 19, se presentan los valores incluidos en la base de datos Fishbase (Froese y Pauly,

CAPÍTULO 6. Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos

2001). A primera vista, parece conveniente comparar los valores promedios de dicho cuadro con las estimaciones obtenidas. Esta comparación resalta el carácter conservador de las estimaciones obtenidas en el presente trabajo. Sin embargo, un análisis más detallado de los valores muestra un panorama distinto. La figura 38, muestra un EDK para los valores de L_{$_{\infty}} (longitud estándar))$ reportados sin especificar sexo en dicha base de datos. Es muy claro el sesgo positivo en losvalores de longitud infinita con una moda predominante a los 13.64 cm y la otra, mucho menora los 52.08 cm de longitud estándar, con indicación de una moda intermedia alrededor de los 38cm. Claramente, el valor promedio de 20.37 no es representativo de los valores estimados en laliteratura, sino que está afectado por los casos extraordinarios existentes por el sesgo positivo. Losvalores obtenidos en el presente trabajo son algo mayores que la moda principal. Resulta evidenteque los trabajos incluidos en la citada base de datos ictiológicos han mostrado en la mayoría de loscasos peces con crecimiento reducido, seguidos por algunos con crecimiento intermedio y unospocos con crecimiento acentuado.</sub>

En el cuadro 20 se tiene un resumen numérico del cual podría interpretarse que los valores aquí reportados para la población son muy pequeños en comparación con el promedio total de las estimaciones (5.8). Sin embargo, el análisis detallado de la distribución (Figura 39) de estos valores muestra una repartición con tres modas: una moda con valores apenas mayores a cero, otra moda (la dominante en frecuencia) cerca de 10, y una moda pequeña cerca de 20. Los valores obtenidos en la presente investigación caen en la primera moda de valores pequeños. Lo anterior resulta entendible si se toma en cuenta que tamaños mayores y tasas de crecimiento aceleradas son obtenidos en cultivos intensivos de esta especie, y de que la presente investigación se enfocó en una población con sistema de cultivo extensivo.

Tipo de longitud Sexo	Total	Estándar
No especificado	33.111	20.377
	16.068	10.382
	18	53
Hembras	33.299	29.411
	0	12.969
	1	9

CUADRO 19. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores estimados para L_{∞} reportados en Fishbase (Froese y Pauly, 2001).

6)	CUADRO 19. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores estimados para L_{∞} reportados en Fishbase (Froese y Pauly, 2001) (<i>continuación</i>).							
	Tipo de longitud Sexo	Total	Estándar					
	Machos	30.600	21.982					
JE.		7.213	5.190					
		2	17					
	Ambos sexos	32.881	21.752					
		14.921	10.134					
		21	79					

CUADRO 20. Resumen estadístico (media, desviación estándar y frecuencia) de valores estimados para K reportados en Fishbase.

Tipo de longitud Sexo	Total	Estándar
No especificado	1.269	5.824
	2.045	4.253
	18	53
Machos	0.538	1.605
	0	1.634
	1	9
Hembras	1.444	5.966
	1.334	4.001
	2	17
Ambos sexos	1.251	5.374
	1.916	4.179
	21	79

CAPÍTULO 6. Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos



FIGURA 38. Estimador de densidad por kernel para los valores de L_{∞} , sin especificar sexo reportados en Fishbase para *O. niloticus*. Las líneas verticales presentan los valores obtenidos en el presente trabajo para la población por métodos tradicionales (15.88 cm) y regresión no lineal ponderada (15.65 cm).



FIGURA 39. Estimador de densidad por kernel para los valores de *K*, sin especificar sexo reportados en Fishbase para *O. niloticus*. las líneas verticales presentan los valores obtenidos en el presente trabajo para la población por métodos tradicionales (0.82) y regresión no lineal ponderada (0.87).

SIO

En el cuadro 21 se han incluido los valores de las constantes de la FCVB obtenidas por otros autores para *O. niloticus*. En este cuadro puede observarse que ningún estudio anterior ha tomado en cuenta a los otolitos para las estimaciones de edad. En general puede apreciarse que los estimados en el presente estudio son menores. Los valores más cercanos son los reportados para las hembras por Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002). Esto sugiere que la muestra del presente estudio estuvo dominada por organismos de talla pequeña y edad corta. Lo anterior se refuerza por el hecho de que no se obtuvieron machos de edad cinco. La tendencia encontrada con estos organismos llevó a un ajuste conservador en los valores de L_{∞} y valores altos de *K*. Estos valores elevados para el parámetro de curvatura de la FCVB (*K*) se aprecian claramente, ya que en general los valores para esta constante fueron menores a 0.3, mientras que en el presente estudio se tuvieron valores de 0.7 a 0.97, con excepción del trabajo de Huerta-Badillo y Navarro-Castro (2001) que reportan para la población una *K* = 0.93 si bien hay que considerar que este último estudio se hizo bajo condiciones de cultivo intensivo en jaulas con alimentación suplementaria.

La comparación con especies del mismo género se presenta de manera sintética en el cuadro 22. Como en el cuadro anterior, ningún estudio previo se basa en la lectura de otolitos para la estimación de la edad. En este cuadro puede apreciarse claramente que valores semejantes fueron obtenidos para *O. urolepis hornorum* en los trabajos de Guerra-Hernández y Peña-Mendoza (1985) y Jaramillo-Salazar y Sánchez-Vázquez (1991) y para *O. mossambicus* (Alejo-Plata *et al.* 1989). Definitivamente, las tallas asintóticas para *O. aureus* son mayores de 40 a 57 cm de LP y 746 a 1924 gr de PT (Blanco, 1990; Morales, 1991; Ramos-Cruz, 1995; Guzmán, 1994 y Palacios, 1995).

Crecimiento en peso

La inclusión del valor exponencial de la relación longitud-peso en las expresiones de crecimiento longitudinal resultó en ecuaciones para el crecimiento ponderal de hembras y de la población. El valor de peso asintótico (P_{o}) de las hembras obtenido por métodos tradicionales resultó ser mayor que aquél por regresión no lineal. Para la población los valores del peso asintótico fueron más semejantes, si bien resulta mayor el obtenido por métodos tradicionales de transformación lineal de la FCVB.

Los valores aquí obtenidos fueron menores que los reportados para la especie por Pérez-Ortiz y Patlani-Santiago (2002) e incluidos en el Cuadro 21. Estos autores encontraron valores de 156.8966 y 392.4661 para hembras y población respectivamente, en las muestras de febrero de 1999 a enero de 2000. Los métodos de colecta fueron semejantes, pero pudieron obtener peces de mayor talla y con mayor número de marcas en estructuras duras (escamas). No obstante, el elevado valor para el peso asintótico poblacional puede deberse a una sobre-estimación de los valores asintóticos para los machos (2,972.54 gr).

En general, del Cuadro 21, puede notarse que los pesos asintóticos reportados en otros estudios de la misma especie fueron mayores (de 200 a 500), pero el estudio de Santiago-López y Jardón-Olvera (1997) reportan un peso asintótico promedio de 3,471 gr.

Composición por edades

Considerando que la información obtenida de la lectura de otolitos sugiere una periodicidad de 6 meses, observando el cuadro 18 y la Figura 36, puede notarse que las capturas contienen predominantemente organismos de hasta un año de edad (2 anillos). Si se sabe, además, que los organismos de esta especie se reproducen por primera vez a tallas y edades pequeñas, un poco menores a 10 cm lo que implica una edad de 0.5 a 1 año (en condiciones de laboratorio, reportado por Peña-Mendoza y Domínguez-Casalá, 1999). Esto indica que la explotación se enfoca a los individuos que apenas se están reclutando a la población reproductora. Estos individuos pequeños, si bien pueden capturarse en cantidades considerables, individualmente tienen un precio bajo, por lo que sería recomendable capturar peces mayores que puedan alcanzar un mejor precio en el mercado.

Lo anterior permite proponer (en concordancia con lo propuesto por Ramos-Cruz, 1995, para *O. aureus* en la Presa Benito Juárez y por Gómez-Márquez, 2002 para *O. niloticus* en Coatetelco) que se aumente la abertura de malla de las redes que se utilizan para la captura con el fin de aumentar la talla y edad de los individuos capturados, asegurar que éstos se hayan reproducido y elevar el rendimiento en biomasa.

La captura, por otro lado, se enfoca en los machos y es hasta edades mayores que las hembras aumentan en la proporción de capturas. Pudiera sugerirse además el uso de artes de pesca y zonas diferentes de la presa.

CUADRO 21. Valores de crecimiento en longitud y peso para *O. niloticus* obtenidos por diferentes autores. Las significados de las abreviaciones son: L = tipo de longitud; LP = longitud patrón; LT = longitud total; H = hembras; M = machos; P = población; F = análisis de frecuencia de tallas; E = lectura de escamas; Op = lectura de opérculos; OT = lectura de otolitos, ajuste tradicional; ORNL = lectura de otolitos, ajuste por regresión no lineal.

Autor	Especie	L	Año	Sexo	Método	L_ (cm); P_ (gr)	к	t _o
Garduño- Orec	Oreochromis	LP	1996	Н	F	20.99; 203.15	0.1109	-0.2897
Paredes	niloticus			Μ	F	26.54; 366.80	0.0736	-0.6965
y Avelar- Esquivel				Р	F	27.81; 404.97	0.0665	-0.5525
- 1				Н	E	20.09; 183.03	0.1235	-0.0250
				Μ	E	26.35; 360.36	0.0828	-0.0913
				Р	E	27.76; 403.21	0.0727	-0.5070
				Н	Ор	21.40; 212.47	0.0683	-0.8982
				Μ	Ор	21.34; 218.45	0.0736	-0.8126
				Р	Ор	24.40; 296.96	0.0560	-1.3574
Santiago- López y Jardón-Olvera	Oreochromis niloticus	LP	1997	Ρ	E	42.02; 3,471.03	0.1497	-0.1044
Huerta- Badillo y Navarro- Castro (*)	Oreochromis niloticus	LP	2001	Ρ	С	30.00; 815.67	0.929	-0.150
Pérez-Ortiz	Oreochromis	LT 2002	2002	Н	E	21.16; 156.90	0.2865	-0.6170
y Patlani- Santiago	y Patlani- <i>niloticus</i> Santiago			Μ	E	56.56; 2,972.54	0.0478	-0.0178
				Р	E	28.82; 392.47	0.1365	-0.1295
Gómez-	Oreochromis	LP	2002	Н	F	23.04; 300.15	0.0848	-0.3050
Márquez	niloticus			М	F	26.54; 420.82	0.0741	-0.6965
				Р	F	27.80; 421.36	0.0649	-0.5225
				Н	E	24.27; 340.49	0.0871	-0.3409
				Μ	E	26.24; 425.99	0.0835	-0.0657
				Р	E	29.19; 552.36	0.0692	-0.4249
				Н	Ор	25.72; 392.27	0.0427	-0.1914
				М	Ор	26.79; 447.98	0.0492	-0.8904
				Р	Ор	25.75; 406.73	0.0509	-0.7451

CUADRO 21. Valores de crecimiento en longitud y peso para *O. niloticus* obtenidos por diferentes autores (*continuación*).

Autor	Especie	L	Año	Sexo	Método	L_ (cm); P_ (gr)	к	t _o	
Saito –	Oreochromis	LP	2004	Н	OT	16.38; 154.05	0.7000	-0.24	
Quezada	niloticus	loticus		Н	ORNL	14.60; 110.10	0.97	-0.13	
(este estudio)					Р	OT	15.88; 139.93	0.82	-0.37
				Р	ORNL	15.65; 134.38	0.87	-0.34	

(*) Nota: todos los trabajos incluidos en este cuadro se realizaron con individuos en cultivos extensivos, excepto el de Huerta-Badillo y Navarro-Castro que lo hicieron en cultivo intensivo.

CUADRO 22. Valores de crecimiento en longitud y peso para otras especies de Oreochromis obtenidos por diferentes autores. Las significados de las abreviaciones son: L = tipo de longitud; LP = longitud patrón; LT = longitud total; H = hembras; M = machos; P = población; F = análisis de frecuencia de tallas; E = lectura de escamas; N = no especificado.

Autor	Especie	L	Año	Sexo	Método	L __ (cm ó mm); P (gr)	к	t _o
Guerra-	Oreochromis	LP	1985	Н	F	13.80; 84.46	-0.4471	-0.4766
Hernández y Peña- Mendoza	urolepis hornorum			Μ	F	14.31; 91.08	-0.3705	-0.4363
Alejo-Plata, et al	Oreochromis mossamhicus	LP	1989	Н	F	13.96; 79.86	-0.1898	0.2969
et ul. mossumbleus			Μ	F	14.06; 87.79	-0.1518	0.0627	
Blanco (en Palacios)	Oreochromis aureus	LT*	1990	Р	Ν	37.25; 746.20	-0.3900	-0.36
Jaramillo- Salazar y Sánchez- Vázquez	Orechromis urolepis hornorum	LP	1991	Ρ	F	14.80; 123.50	-0.4470	-0.3201
Morales (en Palacios)	Oreochromis aureus	LT*	1992	Ρ	E	41.85	-0.3365	-1.95
Ramos-Cruz	Oreochromis aureus	LT	1993	Р	F	29.60; 500.00	-0.2180	-0.904
Guzmán	Orechromis aureus	LP	1994	Ρ	E	40.64; 1,172.23	-0.1110	1.121

ŞD

CUADRO 22. Valores de crecimiento en longitud y peso para otras especies de *Oreochromis* obtenidos por diferentes autores (*continuación*).

Autor	Especie	L	Año	Sexo	Método	L _。 (cm ó mm); P _。 (gr)	к	t _o		
Palacios	Oreochromis aureus	LT	1995	Н	F	56.84; 1,924.22	-0.1309	-0.2265		
				Μ	F	49.25; 1,496.19	01724	-0.6155		
Saito –	Oreochromis	LP	2004	Н	OT	16.38; 154.05	0.7000	-0.24		
Quezada	niloticus					Н	ORNL	14.60; 110.10	0.97	-0.13
(este			Р	OT	15.88; 139.93	0.82	-0.37			
estudio)					Р	ORNL	15.65; 134.38	0.87	-0.34	

Nota: todos los trabajos incluidos se llevaron a cabo bajo condiciones de cultivo extensivo.

Conclusiones

A ST CO

- Los machos predominaron en número sobre las hembras con una proporción sexual total de 2:1 ($\chi^2 = 47.78$, *P* < 0.05).
- Machos y hembras son diferentes en la relación longitud total longitud patrón ($F_{2,400} = 2.35$, P < 0.1). Pendientes mayores a la unidad indican un mayor aumento en longitud total por unidad de longitud patrón (mayor aumento de tamaño de la aleta caudal que la parte carnosa del cuerpo).
- La potencia de la relación peso total longitud patrón indicó un crecimiento alométrico negativo.
- Los otolitos fueron estructuras duras apropiadas para el estudio del crecimiento de *O. niloticus* (un poco más del 82 % de los especimenes fueron legibles).
- El análisis de bordes de otolitos para validación de periodicidad de marcas sugirió la formación de una marca en meses de secas (diciembre a febrero) y otra en meses cálidos de lluvias (mayo y junio).
- El análisis del incremento marginal sugirió un periodo de formación de marcas claramente en enero y febrero (meses secos) y otro menor en julio (mes de la estación lluviosa).

CAPÍTULO 6. Edad y crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos

- La periodicidad sugerida por el análisis de bordes e incremento marginal para la formación de marcas periódicas en los otolitos es de aproximadamente 6 meses.
- El porcentaje de concordancia entre los dos lectores de otolitos fue de aproximadamente 70
 %. Las estimaciones del segundo lector fueron más conservadoras y se tomó como criterio final las medidas de los radios para definir las estimaciones diferentes.
- Las hembras mostraron cinco marcas periódicas mientras que en los machos sólo se identificaron cuatro.
- Los valores medios retro-calculados para cada edad y para hembras y población permitieron determinar las expresiones para la función de crecimiento longitudinal de von Bertalanffy por métodos tradicionales de linearización (Ford-Walford; Gulland, Beverton y Holt) y regresión no lineal (ponderada).
- Las expresiones para la función de crecimiento longitudinal de von Bertalanffy por métodos lineales tradicionales para hembras y población fueron, respectivamente:

 $L_t = 16.38 [1 - e^{-0.70(t+0.24)}]$ $L_t = 15.88 [1 - e^{-0.82(t+0.37)}]$

Las expresiones para la función de crecimiento longitudinal de von Bertalanffy por regresión no lineal ponderada para hembras y población fueron, respectivamente:

$$L_t = 14.60 [1 - e^{-0.97(t+0.13)}]$$
$$L_t = 15.65 [1 - e^{-0.87(t+0.34)}]$$

Las expresiones correspondientes para el crecimiento ponderal derivadas por métodos lineales tradicionales para hembras y población fueron, respectivamente:

$$P_{t} = 154.05 [1 - e^{-0.70(t+0.24)}]^{2.80}$$
$$P_{t} = 139.93 [1 - e^{-0.82(t+0.37)}]^{2.77}$$

Las expresiones correspondientes para el crecimiento ponderal derivadas por regresión no lineal ponderada para hembras y población fueron, respectivamente:

$$P_t = 110.10 [1 - e^{-0.97(t+0.13)}]^{2.80}$$
$$P_t = 134.38 [1 - e^{-0.87(t+0.34)}]^{2.77}$$

- Los valores obtenidos de L_{∞} en este estudio son algo mayores que la moda principal encontrada en FISHBASE, propia de estudios efectuados en sistemas de cultivo extensivo.
 - Los resultados obtenidos indican que las tallas pequeñas capturadas condujeron a estimaciones de valores pequeños de L_{∞} y a valores elevados de K.

En las capturas predominan especímenes con dos marcas de crecimiento (de hasta un año de edad). A edades menores los machos predominan y a edades mayores la proporción de hembras en las capturas se incrementa.

ST P

Capítulo 7

Edad y crecimiento del huachinango (*Lutjanus peru*) por marcas de crecimiento en escamas en las costas de Guerrero, México

José Isoteco Palemón

I. Introducción

entro de las costas del Pacífico Central Mexicano se localiza el litoral de Guerrero, con una extensión de 540 km y una plataforma continental estrecha, con un promedio de 10 km (Carranza-Edwards *et al.* 1985; Nadal, 1996), lo que propicia que toda actividad pesquera se realice a corta distancia de la costa, razón por la cual todos los productos marinos sean extraídos por medio de la pesca artesanal (Cabrera-Mancilla *et al.* 2006), generando una considerable cantidad de empleos directos e indirectos relacionados con esta actividad (Villerías-Salinas y Sánchez-Crespín, 2010). La pesca costera es de suma importancia para las comunidades ribereñas y de acuerdo con el Anuario Estadístico de Pesca representa una valiosa fuente de alimento de alto valor nutricional y aporta más del 20% de la proteína de origen animal para el consumo humano (Fisher *et al.* 1995; SAGARPA, 2007).

A pesar de la estrechez del litoral guerrerense, cuenta con una gran diversidad ictiofaunística marina, por lo que se estima que la pesca comercial de ribera está conformada por aproximadamente 100 especies de escama (Cabrera-Mancilla *et al.* 2006), de las cuales las de mayor importancia pertenecen a las familias Lutjanidae, Haemulidae, Carangidae, Serranidae y Scombridae (Santamaría-Miranda *et al.* 2003).

La familia Lutjanidae es un componente importante de las capturas en las pesquerías costeras. A lo largo del mundo, se contemplan 17 géneros y 103 especies conocidos comúnmente con el nombre de pargos (Ponce-Palafox *et al.* 2005; Allen y Robertson, 1998). En el litoral del Pacífico mexicano, particularmente en el Pacífico central, el huachinango (*Lutjanus peru*, Nichols y Morphy, 1922) no es extraño que sea dominante en las capturas comerciales de la pesca artesanal ya que es una de las especies de pargos de alto valor comercial; se consume principalmente en los dos lugares de mayor importancia turística en el estado: Acapulco y Zihuatanejo (Cabrera-Mancilla *et al.* 2006), debido a sus excelentes características organolépticas y precio accesible, lo que hace que sea muy atractiva al consumidor. *Lutjanus peru* se considera una especie residente y dominante (Chiappa-Carrara *et al.* 2004) y forma parte de la comunidad bentónica en la costa guerrerense en donde coexiste con otras especies de pargos como el flamenco (*L. guttatus*), colmillón (*L. jordani*), listoncillo (*L. colorado*) y pargo amarillo (*L. argentiventris*), todos ellos de gran importancia en la captura comercial (Espino-Barr *et. al.* 2006).

La explotación comercial del huachinango como recurso pesquero ha sido una tradición para el pescador mexicano desde ya varios años. De acuerdo con el Anuario Estadístico de Pesca (SAGARPA, 2010), el volumen de producción de huachinango para los estados del Pacífico Mexicano fue de 3,842 toneladas, con un valor \$ 275,343,000 pesos, mientras que el estado de Guerrero ocupó el primer lugar en 2009 por la aportación de 741 toneladas a la producción de los estados del Pacífico mexicano.

Debido al aumento de la Unidad del Esfuerzo Pesquero que *Lutjanus peru* y otras especies de pargos sostienen en las zonas turísticas a lo largo del litoral guerrerense; Santamaría y Chávez (1999), remarcan que estas especies están siendo sometidas a una considerable explotación, por lo que se hace necesario estudiar su pesquería, con la finalidad de establecer una correcta evaluación y administración del recurso.

Dentro de los recursos pesqueros, los análisis de evaluación de stocks explotados de peces por lo general requieren de aspectos biológicos básicos tales como: la edad y el crecimiento (Salgado-Ugarte *et al.* 2005), los cuales resultan de gran importancia para la biología pesquera tanto en las regiones tropicales como en zonas templadas (Pauly, 1983), puesto que el crecimiento individual de los organismos constituye la fuente de suministro de las capturas extraídas por una pesquería (Ehrhardt, 1981). La determinación de la edad en los organismos acuáticos es la asignación de un tiempo de vida a un pez que cuenta con una talla o masa determinada (Rodríguez-Rojas, 2009). La importancia asignada a la determinación de la edad deriva del hecho de que mediante ella se llegan a definir: la longevidad de las especies, la identificación de las clases anuales que componen un efectivo, la edad de primera madurez y la tasa de reclutamiento (Gulland, 1971, citado en Salgado-Ugarte *et al.* 2005; Morales-Nin, 1991 y Gómez-Márquez, 1994).

El crecimiento significa cambio en magnitud. La variable de cambio puede ser la longitud u otra variable de dimensiones físicas, incluyendo el volumen, peso o masa de un organismo competo o partes de tejido corporal; puede estar relacionado con el contenido de proteína, lípidos u otro constituyente químico del cuerpo, o puede estar relacionado con el contenido calórico (energía) del cuerpo o de alguna parte de él (Weatherley y Gill, 1987).

El aprovechamiento de la biomasa de un recurso es un aspecto importante para la pesca comercial, a partir del cual existe un balance entre ingresos (ganancias en número y peso de los individuos debidos al reclutamiento, inmigración y crecimiento) y pérdidas (debidas a la mortalidad natural, a la pesca y a la emigración), aunado a las variables ambientales y factores denso dependientes como la depredación y competencia inter e intraespecífica, que actúan como elementos limitantes, alterando la dinámica poblacional (Csirke, 1989).

El conocimiento de las fluctuaciones a nivel poblacional y el entendimiento de los factores que afectan de manera negativa la conservación y la sustentabilidad de los recursos pescables requieren del análisis y comprensión de los parámetros poblacionales, a decir: reproducción, madurez gonádica, edad, crecimiento, mortalidad, reclutamiento, etc., ya que permiten evaluar los cambios favorables y desfavorables en la población (Csirke, 1989).

Por lo anterior, en el presente estudio se planteó determinar la edad y estimar el crecimiento del huachinango (*Lutjanus peru*), para contribuir a los estudios biológico-pesqueros de la especie en el estado de Guerrero, con la finalidad de generar información que contribuya a la evaluación del recurso para determinar su situación actual, no solo en el estado de Guerrero, sino a lo largo del Pacífico mexicano, con lo cual se dará un manejo adecuado al recurso.

II. Antecedentes

Los Lutjánidos son un recurso potencial explotable para las pesquerías y, los trabajos que se han realizado sobre esta familia son extensos, entre los que destacan los relacionados con claves y descripciones taxónomicas: Anderson (1987) elaboró un nomograma sistemática de los peces de la familia Lutjanidae; Allen (1987) presentó una sinopsis de peces circumtropicales del género *Lutjanus*; Allen y Robertson (1994) en su libro de peces del Pacífico Tropical Este, definieron las características principales de algunas especies de la familia Lutjanidae y Allen (1995) en la Guía FAO para la identificación de especies de peces describió las claves taxónomicas para fines de la pesca de la familia Lutjanidae. En el Pacífico Mexicano, principalmente para el litoral de Guerrero, una de las primeras descripciones taxonómicas biológico-pesqueras y ecológicas fue hecha por Ramírez y Páez (1965); Yañez-Arancibia (1978) y Amezcua-Linares (1985).

La reproducción de *Lutjanus peru* es uno de los procesos biológicos que ha ocupado un sitio relevante en las investigaciones. Lucano-Ramírez (1998) en su evaluación sobre el ciclo reproductivo de *L. peru* en las costas de Jalisco encontró que se reproduce en otoño principalmente en el mes de noviembre. En la ovogénesis definió siete fases de desarrollo de los ovocitos los cuales maduran asincrónicamente. La talla de la hembra madura más pequeña fue de 30.3 cm y la del macho de 28.6 cm. Las hembras maduras más pequeñas presentaron ovocitos en vitelogénesis secundaria, mientras que en los machos maduros había espermatozoides en el conducto seminal.

Lucano-Ramírez *et al.*, (2001) describieron las características histológicas de las fases de desarrollo de los ovocitos de *L. peru* en las costas de Jalisco. Consideraron siete fases de desarrollo: Fase I, ovocito cromatina nucléolo. Fase II, ovocitos en perinucléolo. Fase III, ovocitos con vesículas vitelinas. Fase IV, ovocitos en vitelogénesis primaria. Fase V, ovocitos en vitelogénesis secundaria. Fase VI, ovocitos en vitelogénesis terciaria y Fase VII, ovocitos maduros. En sus resultados estos autores asumen que la túnica ovárica penetra a la cavidad del ovario, formando las lamelas en cuyo interior se lleva a cabo el desarrollo de los ovocitos.

Santamaría-Miranda *et al.*, (2003) analizaron el desarrollo gonadal y ciclo reproductivo de *Lutjanus peru* en el litoral de Guerrero. Caracterizaron histológicamente cinco estadios de desarrollo gonádico y determinaron que el desarrollo gonádico es asincrónico, de manera que se pueden encontrar distintas fases de desarrollo de ovocitos en una misma gónada. El mismo trabajo reporta que la especie presenta un desove prolongado-fraccionado y estos ocurren dos a tres veces al año. *L. peru* de las costas de Guerrero desova con temperaturas superficiales del mar elevadas (27.5-30.5 °C). En el área de estudio existe una aparente relación del desove con la precipitación pluvial.

Dumas *et al.*, (2003) llevaron a cabo en el laboratorio la maduración gonádica inducida en *L. peru*. Los machos maduros fueron sometidos durante tres experimentos a una temperatura del agua de 17-22 $^{\circ}$ C de marzo a mayo. Las hembras maduras presentaron vitelogénesis en sus ovocitos con un diámetro de 400 μ m lo cual se le inyectaron la hormona Gonadotropina Coriónica Humana. Los huevecillos fertilizados fueron incubados a una temperatura de 25 $^{\circ}$ C y las larvas eclosionaron después de las 28 horas.

Pelcastre-Campos (2006) evaluó bajo condiciones de laboratorio el efecto del Factor Liberador de la Hormona Luteinizante (LHRHa) para la ovulación de hembras y la espermiogénesis en machos de *Lutjanus peru*, así como desarrollar las técnicas de almacenamiento de semen. Analizó el número de desoves, el tiempo desde la primera inyección hasta el desove y la fecundidad relativa del desove. Estimó el volumen de semen, la motilidad, la viabilidad espermática. Concluyó que el semen del huachinango puede ser refrigerado por 72 horas en solución salina balanceada de Hank (HBSS).

En lo que se refiere a la dinámica trófica, aspecto biologico importante, se encuentran algunos trabajos publicados de la especie *L. peru:* entre ellos la de Saucedo-Lozano *et al.,* (1998) quienes analizaron la alimentación natural de juveniles de *Lutjanus peru* en las costas de Colima y Jalisco. Las muestras fueron recolectadas con redes de arrastre tipo camaronero durante tres cruceros. Los juveniles presentaron una disposición espacial de tipo agregada. Aplicó el método de medias acumulativas registrando 41 componentes en el contenido estomacal, pertenecientes a cuatro taxa mayores. Los grupos más importantes en la dieta fueron los estomatópodos y los peces de la familia Congridae. Los juveniles presentaron un crecimiento de tipo isométrico.

En el litoral de Guerrero Rojas-Herrera *et al.*, (2004) analizaron la composición de la dieta del huachinango (*Lutjanus peru*) en el litoral de Guerrero. Identificaron 68 ítems alimentarios dentro de los cuales predominan los peces (porcentaje gravimétrico= 50.9), los crustáceos (porcentaje gravimétrico=35.6) y los moluscos (porcentaje gravimétrico=7.2). En su tesis doctoral comentó que la especie se considera depredador generalista, con amplio espectro de presas.

Zavala-Leal (2007) evaluó bajo condiciones de laboratorio el efecto de la temperatura en el desarrollo embrionario, eficiencia de la alimentación endógena, el efecto de la intensidad de luz, tipo y densidad de presas en la primera alimentación exógena de *Lutjanus peru*. Afirmó que la mejor temperatura de incubación es 26 °C, ya que permitió producir larvas más grandes y, que la mejor presa para la primera alimentación es el nauplio de copépodo (*Euterpina acutifrons*) a densidad de 10 nauplios/ml y una intensidad de luz de 2000 lux ya que con estas condiciones la eficiencia alimenticia es mayor.

En relación a estudios realizados sobre edad y crecimiento en *Lutjanus peru*, Castro (1981) realizó un estudio en las costas de B. C. S., mediante la lectura de anillos de crecimiento en escamas. Los parámetros encontrados fueron: L_{∞} = 66.71 cm de LT; k=0.232 año⁻¹ y t₀ = 0.54.

En Michoacán, Ruíz-Luna *et al.*, (1985) relacionaron la longitud total contra peso eviscerado indicando que el huachinango tiende a un crecimiento isométrico. No encontraron diferencias significativas entre método indirecto y por método del retrocálculo basado en escamas. Aplicando el modelo de von Bertalanffy para conocer los parámetros promedios de crecimiento aportan los siguientes valores: $L_{\infty} = 80.5$ cm de *Lt*; *k*=0.19 año⁻¹ y $t_o = 0.75$.

Por medio de la lectura de anillos de escamas, Aguilar-Salazar (1986) determinó la edad y crecimiento de *Lutjanus peru* en los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Remarcó que los anillos leídos se relacionaban con los eventos de reproducción, cuya ocurrencia se da dos veces al año: septiembre y abril. En su evaluación consideró siete grupos de edad y los parámetros encontrados fueron: $L_{\infty} = 66.26$ cm de *LT*; *k*=0.11 año⁻¹ y t_a = -1.48.

En la Bahía de la Paz y Aguas Adyacentes, B. C. S, Rocha-Olivares y Gómez-Muñoz (1993) analizaron la validación del uso de otolitos para determinar la edad y el crecimiento de *Lutjanus peru*. Mencionan que el tipo de crecimiento es alométrico negativo en la relación otolito-pez, que es reflejo de que la tasa de crecimiento en longitud de estos huesos tiende a disminuir en mayor proporción cuando el organismo avanza en edad. Apuntaron que la formación de las marcas es cada medio año y ocurre principalmente entre mayo y septiembre. Dicho período coincidió con el de mayor actividad reproductora reflejada por el índice gonadosomático.

A través de las capturas efectuadas en los cruceros de investigación frente a las costas de Sinaloa, Nayarit y en el Golfo de Tehuantepec (Océano Pacífico mexicano), Morales-Nin (1994) determinó el crecimiento mediante el análisis de frecuencias de tallas de 24 especies de peces demersales. Reportó que el crecimiento varió estacionalmente, con un crecimiento mínimo en primavera, y probablemente está relacionada con los cambios estacionales en las aguas de la zona. Los parámetros de crecimiento estimados mediante el modelo de von Bertalanffy específicamente para la especie *Lutjanus peru* son: L_{m} = 61.4 cm de *Lp* y una *k*=0.14 año⁻¹.

Cruz-Romero *et al.*, (1996) evaluaron el estudio biológico pesquero de tres poblaciones de un complejo de diez especies de pargos (entre las que se incluyen *L. peru*, *L. guttatus* y *L. argentiventris*) en el estado de Colima. En dicho estudio se usó el método de distribución de tallas, los parámetros aportados para *L. peru* fueron: L_{∞} =864.0 mm de *Lp*; *k*=0.156 año⁻¹ y t_o = 0.059. Concluyen que la familia Lutjanidae representa el 80% de la captura total y que el huachinango es la especie más sobresaliente de la familia.

Rocha-Olivares (1998) describió la edad y el crecimiento de *L. peru* en la costa del Sureste de Baja California, mediante la lectura de otolitos. Sus resultados sugieren que el modelo de crecimiento de von Bertalanffy describe satisfactoriamente el crecimiento de *L. peru*. Los parámetros fueron: L_{∞} = 97.32 cm, *k*=0.1111 año⁻¹ y t_o =-0.316 año. No hubo diferencias significativas en longitudedad entre sexos. El individuo con mayor edad fue de 31 años con una longitud total de 99.2 cm (macho).

Espino-Barr *et al.*, (1998) estimaron la edad y el crecimiento del huachinango *Lutjanus peru*, mediante la lectura de escamas en la costa del estado de Colima. Los datos obtenidos indican que el crecimiento de la especie es isométrico. Los valores que obtuvieron para el modelo de von Bertalanffy fueron: L_{∞} = 63.0 cm de longitud estándar; k= 0.1 año⁻¹ y t_0 = -0.1. La validación de los anillos de crecimiento fue a través del análisis del incremento marginal y muestra al mes de febrero como el período en que anualmente se forman las marcas en la escama, coincidente con el periodo de desove en los meses menos cálidos.

Santamaría y Chávez (1999) evaluaron la pesquería del huachinango *L. peru* en las costas de Guerrero. Por medio del método indirecto estimaron los parámetros de crecimiento del modelo

de von Bertalanffy (L_{∞} =80.8 cm; k=0.1442 año⁻¹; t_o =-0.23) y objetaron nueve grupos de edades en la población en nueve años de datos de captura.

Ramos-Cruz (2001) estimó el crecimiento del huachinango *L. peru* en las costas de Oaxaca, mediante el análisis de frecuencias de tallas. Los resultados muestran que el modelo de von Bertalanffy es el que más se ajusta para esta especie. Los parámetros de crecimiento fueron los siguientes resultados: L_{∞} = 618 mm de *LT*, *k*=0.153 año⁻¹ y t_{o} = -0.303.

Rojas-Herrera (2001) estimó la edad y crecimiento de *L. peru* en base a la lectura de otolitos y arguyó que el modelo de von Bertalanffy se ajusta bien para esta especie. Determinó una periodicidad semestral, coincidente con eventos reproductivos (mayo y diciembre). Las constantes de la función de von Bertalanffy son: L_{∞} =85.8 cm de longitud patrón; *k*=0.17 año⁻¹ y t_o = -0.66. Sus resultados indicaron que la marca se forma en el periodo de desove que ocurre en los meses menos cálidos.

A partir de información de las capturas comerciales Cabrera-Mancilla *et al.* (2006) utilizaron los datos de longitud total de *Lutjanus peru*, y por medio del método de Bhattacharya reportaron ocho grupos de edad en el estado de Guerrero de los cuales, las clases 2 y 3, con una longitud total promedio entre los 24 y 29.6 cm, son los que conforman el 60% de las capturas. Los parámetros de crecimiento estimados fueron L_{∞} =82.5 cm de *LT*, *k*=0.084 año⁻¹ y t_{o} =-2.0217.

Hernández-Montaño *et al.* (2006) trabajaron con ejemplares de *L. peru* en las costas de Michoacán, con el objetivo de determinar parámetros de crecimiento. Para ello emplearon el análisis de frecuencia de tallas, los valores estimados de los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy son L_{∞} =76.5 cm de longitud patrón, con un parámetro de curvatura de *k*= 0.18 año⁻¹. Sugieren que la especie se reproduce en dos periodos: el primero, de mayor intensidad, es de abril a mayo, y el segundo de septiembre a diciembre.

Sarabia-Méndez (2007) estimó la edad y crecimiento del huachinango en Michoacán, mediante la lectura de anillos en escamas, cuyos parámetros son L_{∞} = 81.12 cm, k=0.12 años⁻¹ y t_0 = -0.78. La especie presentó un máximo pico reproductivo en época de lluvias y otro en épocas de secas, el cual se relaciona con la formación de anillos de crecimiento, donde básicamente se presentan dos anillos al año.

Gallardo-Cabello *et al.* (2010) estimaron la edad y el crecimiento del huachinango, *L. peru*, en el estado de Michoacán; reportaron que la relación peso-longitud tiende a un crecimiento de tipo isométrico. Conforme a la lectura de escamas identificaron cuatro grupos de edad. Los parámetros estimados para la función de crecimiento de von Bertalanffy obtenidos por el método lineal simple fueron: L_{∞} =81.12 cm, *k*=0.24 años⁻¹ y t_a =-0.39 años.

En el Golfo de México, Leonce-Valencia (1994), estimó la edad y crecimiento del huachinango de castilla (*Lutjanus campechanus*) en base a otolitos, el cual identificó 22 años y la formación del anillo se da entre los meses de junio y julio. El ajuste lineal del modelo de crecimiento de von Bertalanffy a través del método CAST (Stamatopoulus y Caddy, 1989) permitió obtener los siguientes valores: L_{∞} = 91 cm; *k*= 0.17 años⁻¹ y *t_a*= -0.05 años para longitudes retrocalculadas.

Otros trabajos donde también se hace referencia a *Lutjanus peru* es el de Ramírez y Rodríguez (1990) quienes definieron a los lutjánidos como el grupo dominante en la captura comercial en Baja California Sur y, nuevamente, al huachinango como el principal representante de la familia.

Madrid *et al.* (1997) analizaron las capturas artesanales con el fin de obtener patrones posibles en las comunidades a través de las actividades pesqueras, realizadas en Michoacán, a partir de 1987 a 1992. A los datos se les aplicaron dos procedimientos: el primero fue el método del orden de Kendall, el cual mostró que las comunidades fueron significativamente diferentes a un nivel de abundancia y rango y distinguió dos grandes grupos, que representan el verano y el invierno y también grupos asociados con el fenómeno de El Niño / ENSO 1991-1993 y la Niña de 1988. El otro fue el análisis de varianza bifactorial por rangos de Friedman el cual mostró que para el verano y para los grupos de El Niño no hubo diferencias significativas. El invierno y los grupos de La Niña fueron significativamente diferentes. La especie *Lutjanus peru* fue más abundante durante el período de La Niña.

Saucedo-Lozano *et al.* (1998) estudiaron la distribución y densidad de juveniles de *L. peru* en la costa de Jalisco y Colima. Los juveniles presentaron una disposición espacial de tipo agregada. Sostuvieron dos grupos de tallas durante los cruceros de mayo a junio y marzo, mientras que sólo se distinguió un grupo de noviembre a diciembre.

Espino-Barr *et al.* (2001) caracterizaron la tendencia de talla del huachinango *L. peru* en las costas de Colima. Se observó una pendiente negativa a lo largo del tiempo pero tan pequeña que estadísticamente no es diferente de 0 y por lo tanto, no se concluyó que la población del huachinango, a pesar de pescarse continuamente, se haya visto afectada negativamente.

Del Monte-Luna *et al.* (2001) realizaron un trabajo sobre el máximo rendimiento sostenible y esfuerzo óptimo del huachinango *L. peru*; aplicaron los modelos en equilibrio de producción excedente de Schaefer y Fox a datos de captura, esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo. Se determinó que el modelo más adecuado es el de Schaefer porque se ajusta mejor a los datos debido al tipo de distribución del recurso.

Del Monte-Luna *et al.* (2001) hicieron un análisis de los recursos que están sujetos a la pesca artesanal en la Cruz de Huanacaxtle, Nayarit, México, con datos obtenidos de los avisos de arribo de la oficina de Pesca del lugar comprendidos en el periodo 1987-1997. A partir de esto, se define

que la especie más capturada y de mayor valor comercial es el huachinango (*Lutjanus peru*) que representa más del 60% de la captura y valor total en el estado y el 80% de la captura y ganancias totales de la región.

Rocha-Olivares y Sandoval-Castillo (2003) en B. C. S, contribuyeron a esclarecer la diversidad mitocondrial y estructura genética en poblaciones alopátricas del huachinango del Pacífico *Lutjanus peru*. Encontraron altos niveles de diversidad haplotípica (h=0.966) y nucleotípica (π =3.23%). La mayor fracción de la variabilidad fue detectada con sólo una de las cinco enzimas de restricción utilizadas. No se detectó ningún patrón filogeográfico en un árbol génico reconstruido por Neighbor-Joining.

Chiappa-Carrara *et al.* (2004) analizaron la coexistencia de *L. peru* y *L. guttatus* con relación a variación temporal en el reclutamiento en las costas de Guerrero. Los resultados indicaron que el mecanismo que favorece la coexistencia de estas especies es el de la separación temporal en los picos máximos del reclutamiento y apoyan la hipótesis de que el desfase temporal de los eventos reproductivos y por lo tanto, del reclutamiento, explica la coexistencia de estas especies.

Díaz-Uribe *et al.* (2004) analizaron la pesquería del huachinango con un modelo de simulación estructurado por edades. Los resultados del modelo mostraron que la pesquería no tiene posibilidades de desarrollarse si la mortalidad natural y mortalidad por pesca continúan sin ser reguladas como hasta ahora. De acuerdo al modelo, la pesquería podría desarrollarse mediante una regulación efectiva de ambas fuentes de mortalidad, lo que implica medidas de control tanto para la flota artesanal, como para la flota camaronera.

Ponce-Palafox *et al.* (2005) realizaron una sinopsis de antecedentes, distribución en el mundo, taxonomía, estadísticas de producción y exportación de los pargos, destino de producción, planta industrial, artes de pesca, estrategias de manejo de la pesquería, características generales del entorno costero, antecedentes de la pesquería del huachinango en Guerrero.

Espino-Barr *et al.* (2006) describieron un breviario sobre la especie *Lutjanus peru* desde la costa de Jalisco, Michioacán, Guerrero y Oaxaca, analizaron para ello la importancia de la especie dentro de la pesca ribereña, biología, las principales artes de pesca que se usa para su captura, la tendencia histórica de la captura, el estado de su pesquería, su comercializacón, proyecto de manejo y perspectivas. Los puntos anteriores fueron especificados para cada estado.

Villerías-Salinas y Sánchez-Crespín (2009) examina la activiadad pesquera desde un punto de vista territorial, en uno de los litorales más marginados del trópico mexicano: la Costa Chica de Guerrero. Entre los hallazgos de investigación relevantes se consideró lo siguiente: el predominio de explotación referido a unas cuantas especies con alto valor comercial, como el ostión; la primacía de Acapulco como centro de acopio de los productos pesqueros y una débil organización de las cooperativas pesqueras.

III. Objetivos

3.1 Objetivo general

Estimar la edad y crecimiento del huachinango (*Lutjanus peru*) mediante la lectura de anillos en escamas y por medio del análisis de distribución de frecuencia de tallas, así como estimar la función de crecimiento con diferentes modelos: von Bertalanffy, Gompertz y Logístico.

3.2. Objetivos particulares

- a) Determinar la relación peso-longitud.
- b) Analizar la relación entre la longitud de la escama y la longitud total del pez.
- c) Calcular la edad mediante los anillos de crecimiento en escamas.
- d) Estimar la edad mediante el modelo del retrocálculo.
- e) Obtener la estructura de edades por distribución de frecuencias de tallas mediante el análisis de la distribución de sus frecuencias por medio del paquete FISAT.
- f) Validar la periodicidad de las marcas en escamas por análisis del incremento marginal (IM)
- g) Determinar la función de crecimiento que mejor se ajuste a los datos tamaño-edad (von Bertalanffy, Gompertz o Logística).
- h) Relacionar las variaciones de temperatura superficial del mar con la formación de los anillos de crecimiento en las escamas de *Lutjanus peru*.

IV. Posición taxónomica

4.1. Familia Lutjanidae

Los pargos son peces de tamaño pequeño a mediano, con el cuerpo oblongo. Cabeza grande, generalmente triangular, hocico puntiagudo; boca terminal, bastante grande y levemente protráctil; maxilar más ancho posteriormente, la mayor parte de su borde superior oculto bajo el hueso preorbitario; 2 orificios nasales en cada lado; mentón sin poros evidentes; parte anterior de la cabeza (hocico y zona preorbitario) sin escamas, mejilla y opérculo con escamas; preopérculo generalmente aserrado, membranas branquióstegas separadas, libres de istmo, dientes mandibulares generalmente en varias hileras, cónicos y aguzados. Otras características

incluyen una sola aleta dorsal no escotada que puede ser con una hendidura en el centro o algunas veces con incisiones profundas entre las espinas; generalmente presenta X a XI espinas y 9 a 15 radios blandos, aleta anal levemente más corta que la porción blanda de la dorsal con III espinas y 7-9 radios blandos; aletas pélvicas con I espina y 5 radios blando, situadas bajo las pectorales; aleta caudal ahorquillada. Cuerpo cubierto con escamas ctenoides. Color variable, pero frecuentemente rojo o gris obscuro a pardo o negruzco, con la región ventral más clara (Allen, 1985; Nelson, 1994).

El género *Lutjanus* es el más numeroso con 64 especies, incluyendo nueve representantes del Pacífico Oriental. La mayoría de los pargos vive en aguas someras o de profundidad intermedia (hasta 100 m) en los alrededores de arrecifes, aunque hay algunas especies principalmente confinadas a profundidades entre 100 y los 500 m. Son depredadores activos, que se alimentan principalmente durante la noche de variedad de organismos, pero los peces dominan la dieta en la mayoría de las especies. Otros alimentos comunes incluyen cangrejos, camarones y otros crustáceos, gasterópodos, cefalópodos y organismos planctónicos, particularmente urocordados. La máxima duración de vida de los pargos se estima entre cuatro a 21 años de edad, basada en estudios de anillos de crecimiento de estructuras óseas como otolitos, escamas y vértebras. Se consideran de muy buena calidad para su consumo y con frecuencia se ofrecen en mercados y restaurantes (Allen y Robertson, 1998).

4.2. Biología de Lutjanus peru

Es de cuerpo alargado y comprimido, hocico puntiagudo, fuerte y resistente, con boca alargada y grande en posición horizontal con mandíbula inferior ligeramente proyectada hacia delante. Su mandíbula superior posee una línea interior con dientes de tipo canino y cuatro dientes de mayor tamaño sobresalen de la mandíbula superior. La aleta dorsal presenta 10 espinas con 12 radios; la aleta anal tres espinas; ocho radios y entre 47 y 52 escamas en serie horizontal bajo la línea lateral. Color: predominantemente rojo con reflejos plateados, aletas rojizas (Allen, 1985).

Es una especie conocida como continental asociada a fondos rocosos de 120 a 150 metros de profundidad aproximadamente (Thompson *et al.* 2000). Con respecto a su actividad trófica, se considera un depredador generalista (Parrish, 1987) capaz de ingerir un amplio espectro de especies (Chiappa-Carrara *et al.*, 2004; Rojas-Herrera *et al.*, 2004). Se alimentan de organismos planctónicos (urocordados) y, en menor proporción de moluscos, crustáceos y peces (Saucedo-Lozano *et al.* 1998).

Las características reproductivas de *L. peru*, reportadas hasta el momento, indican que es un organismo que presenta dos épocas de desove al año y un desarrollo de tipo asincrónico de los oocitos, con desoves parciales (Santamaría-Miranda *et al*, 2003; Lucano-Ramírez, 1998). Su

época de desove está correlacionada con los meses de mayor temperatura del agua y lluvias más constantes (Santamaría-Miranda *et al.* 2003; Sarabia-Méndez, 2007). Se ha descrito el desarrollo de los oocitos durante su ciclo de maduración gonádica mediante técnicas histológicas encontrando siete fases: 1) Oocito con cromatina condensada, 2) Oocito perinucleolar, 3) Oocito con vesículas vitelinas, 4) Oocito con previtelogénesis, 5) Oocito en vitelogénesis, 6) Oocito en vitelogénesis avanzada, 7) Oocito maduro (Lucano-Ramírez *et al.* 2001).

Son de crecimiento lento, aumentan su talla entre 5 y 10 cm durante sus primeros años de vida (Rojas-Herrera, 2001). Después de madurar sexualmente su incremento en talla va de uno a tres cm por año. Presentan dos épocas de reproducción: la importante y muy marcada en verano y una segunda menos abundante entre noviembre y marzo. La talla de la primera madurez sexual para el huachinango es de 30 cm de LT (Rojas-Herrera *et al.* 2000 y Rojas-Herrera, 2001) con edades aproximadamente entre 1.5 y 2 años; según la latitud y el clima llegan a vivir hasta 20 años y alcanzan tallas máximas que se reportan de 63 cm (Espino- Barr *et al.* 1998) a 99.2 cm (Rocha-Olivares y Gómez-Muñoz, 1993).

4.3. Distribución de L. peru

El huachinango del Pacífico *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922) se distribuye desde Bahía Magdalena en el Golfo de California hasta las costas de Perú y es una especie comercial de reconocida importancia (Allen, 1985).



FIGURA 1. Distribución de Lutjanus peru en el continente americano (Modificado de Allen, 1985).

4.4. Clasificación

La especie primeramente fue nombrada como *Neomaenis peru;* posteriormente Nichols y Murphy (1922) lo reclasificaron como *Lutjanus peru,* nombre que se utiliza hasta la fecha (Froese y Pauly, 1997). *L. peru* es conocido como huachinango del Pacífico. Se utilizó la clasificación taxonómica propuesta por el ITIS (Integrated Taxonomic Information System, 2011) así también se hizo uso a base de American Fishesires Society (AFS) (Nelson *et. al.* 2004).

Phylum: Cordata

Subphylum: Vertebrata Superclase: Pisces Clase: Osteichthyes Subclase: Actinopterygii Orden: Perciforme Familia: Lutjanidae Género: Lutjanus (Bloch, 1790) Especie: Lutjanus peru (Nichols y Murphy, 1922).



FIGURA 2. Huachinango (Lutjanus peru) (Foto: Cabrera-Mancilla, E.).

V. Caracterización de la zona

5.1. Coordenadas geográficas

El área de Guerrero tiene una extensión territorial de 64, 282 km² (3.3% del territorio nacional), se encuentra enmarcada dentro de la vertiente sur del Eje Neovolcánico, entre la Sierra Madre del Sur y la Llanura Costera del Océano Pacífico. Situada entre 16º 18' y 18º 48 de latitud Norte y 98° 29' y 102º 10' de longitud Oeste. Cuenta con 500 kilómetros de litoral y su plataforma continental es de 5,402 km². En su división política se encuentran 76 municipios agrupados en regiones, de los cuales 12 cuentan con litorales (INEGI, 2001). La llanura costera está agrupada en tres regiones conocidas como a). Costa Grande, que comprende seis municipios (La Unión, José Azueta, Técpan de Galeana, Petatlán, Benito Juárez y Coyuca de Benítez), b). Acapulco y, c). Costa Chica que cuenta con tres municipios que se dedican a la extracción de recursos pesqueros marinos (Copala, Marquelia y Cuajinicuilapa), con litorales pesqueros desde la Casa de Piedra hasta Punta Maldonado (Cabrera-Mancilla *et al.* 2006; Villerías-Salinas, 2009).



FIGURA 3. Ubicación del estado de Guerrero en la República Mexicana.

El litoral del estado de Guerrero, que es el área de estudio, presenta dos tipos de costas: la de acantilados con elevaciones topográficas, en donde la costa es muy sinuosa y presenta salientes e islotes y la segunda es la de playas de propagación, las que presentan en general, una línea de costa recta y abierta.

La plataforma continental es sumamente angosta con una anchura media de 10 km; su parte más extensa se localiza en la región de Punta Maldonado y la más estrecha en las regiones de la Bahía de Petacalco y al Oeste de la Bahía de Acapulco (Carranza-Edwards *et al.* 1985).

5.2. Hidrografía

La Sierra Madre del Sur es el sistema montañoso más importante, que influye en la formación del sistema hidrológico, que descarga sus aguas tanto a las lagunas costeras, como al océano Pacífico, los que enlistan de noroeste hacia el sureste de la costa: Balsas, La Unión, Ixtapa, San Jerónimo, Coyuquilla, San Luis, Nuxco, Tecpan, Atoyac, Coyuca, De la Sabana, Papagayo, Nexpa, Copala, Marquelia y Ometepec (Figura 4).



FIGURA 4. Principales ríos y lagunas en el estado de Guerrero (Tomado de INEGI, 2001).

A lo largo del litoral se encuentran sistemas de lagunas costeras, con una superficie de 19,030 ha, cuya comunicación con el mar es muy reducida, listándose desde la desembocadura del río Balsas hacia el sudeste están las lagunas: Potosí, Salinas de Cuajo, Nuxco, Tular, Mitla, Coyuca, Tres Palos, San Marcos, Tecomate, Chautengo y Salinas de Apozohualco (INEGI, 2001).

5.3. Clima

El clima que predomina en la zona costera según la clasificación de Koppen es el tipo tropical subhúmedo con lluvias en verano (Aw) y sequía en invierno (Tamayo, 1970). La variación anual de la temperatura no excede los 5 °C. La precipitación anual promedio es de 1200 mm anuales, temperatura máxima 34 °C con una media anual de 27.5 °C (García, 1973). Los vientos presentan un flujo de aire marítimo del sureste durante los meses de abril a octubre (primavera-verano), este flujo es inverso de noviembre a marzo (otoño-invierno) (Figueroa de Cotín, 1980).

5.4. Relación entre la temporada de captura y la Temperatura Superficial del Mar (TSM)

En el Pacífico Mexicano, el núcleo de la Alberca Cálida Mexicana mantiene temperaturas superiores a 28°C todo el año. Sin embargo, las temperaturas superficiales presentan un ciclo anual en extensión superficial y muy cercana a la costa. Asimismo, en el Pacífico Central Mexicano, del cual Guerrero forma parte, la variación anual de la temperatura superficial fluctúa entre los 26 – 28 °C, además de que carece de vientos constantes que inducen surgencias costeras en latitudes medias a lo largo de su litoral (Trasviña-Castro *et al.* 2002).

Durante el ciclo anual de temperatura superficial del mar, entre noviembre y abril, frente a las costas de Michoacán y Guerrero, hay una entrada de agua fría proveniente del norte, ocasionando temperaturas del mar de 23 a 25°C, lo cual se debe a la influencia de la Corriente de California; de abril a junio la corriente se retrae. La temperatura de verano en la región alcanza dos máximos relativos en junio y agosto; esto es debido a interacciones entre el régimen de corrientes, la radiación solar, los vientos y la precipitación, en un proceso típico de interacción entre el océano y la atmósfera. Estas fluctuaciones en la temperatura superficial del mar modulan la actividad convectiva en el sur de México (Saucedo-Lozano *et al.* 1998).

Lo anterior se puede distinguir con las imágenes de satélite, donde se observa en el periodo de invierno la entrada de una corriente costera fría proveniente del norte cuya influencia es mayor en

los meses de marzo y abril (Figura 5). A partir de junio, se presenta un calentamiento costero por efecto de la entrada de agua cálida de tipo tropical proveniente de la Corriente Mexicana (parte de la Corriente Costera de Costa Rica) que provoca que la temperatura de la zona costera se iguale con la oceánica (Cabrera-Mancilla *et al.* 2006).

En este sentido, Badan (1997) describe el sistema de circulación de la Corriente Costera de Costa Rica (CCCR) y de California (CC) en las diversas estaciones del año y refiere que entre los meses de mayo a agosto la CCCR se intensifica y fluye de Tehuantepec hasta la boca del Golfo de California donde se mantiene hasta diciembre. Hacia el mes de enero, esta corriente se debilita y aparece como una extensión de la CC que ahora provee la mayor parte del agua para la Corriente Norecuatorial. Del mismo modo, hace notar que ésta última posición de la confluencia es inferida, pues no existen mediciones directas que hayan demostrado la extensión de la CC por debajo de los 21 °N, cerca de la costa, frente a Cabo Corrientes.

A este respecto, además de las imágenes de satélite, hay evidencias de que la CC sea la responsable del enfriamiento del agua costera de Guerrero, como es la presencia de ballenas y leones marinos frente a Zihuatanejo y Acapulco, que como se sabe son migratorios y por lo tanto siguen las corrientes.

De esta forma se puede mencionar que en el litoral de Guerrero se presentan dos periodos, el "frío" de enero a mayo que está influenciado por la Corriente de California y otro "cálido" de junio a diciembre, regido por la Corriente Mexicana (Cabrera-Mancilla *et al.* 2006).

Con este comportamiento de la TSM, los dos periodos detectados a lo largo de los meses del año tienen una relación con las capturas comerciales, por lo que se observa que la CPUE y temperatura muestran que la tendencia de la primera es a disminuir conforme aumenta la TSM y viceversa, de tal forma que presenta una relación inversa variando en intensidad para cada año (Figura 6). Asimismo, los valores menores de temperatura coinciden con los de mayor captura. El huachinango, como cualquier recurso marino, está sujeto a las variaciones ambientales como es la temperatura del mar. Entre sus efectos se encuentran los cambios en la presencia-ausencia, abundancia, distribución, composición y reproducción de especies (Cabrera-Mancilla *et al.* 2006).

Estudios esclerocronológicos sobre edad y crecimiento de moluscos, equinodermos, peces y reptiles



FIGURA 5. Promedio mensual de la temperatura superficial del mar de la costa de Guerrero para el periodo 1996-2003 (Tomado de Cabrera-Mancilla *et al.* 2006)

02

No.

6

En la tabla 1 se observa la correlación entre abundancia y Temperatura Superficial del Mar (TSM) el cual se puede apreciar que existe una relación significativa negativa entre ambas variables.

TABLA 1. Correlación entre abundancia y TSM.

Abundancia	1.0000
Temperatura	-0.4881 1.0000 0.0201



FIGURA 6. Relación temperatura con la abundancia de *Lutjanus peru* (Tomado de Cabrera-Mancilla *et al.* 2006).

VI. Materiales y método

Ser S

El siguiente diagrama de flujo (Figura 7) representa de manera general las tres fases que integraron el trabajo:



FIGURA 7. Diagrama de flujo que representa las etapas del trabajo.

Los trabajos relacionados con la identificación de los anillos de crecimiento en escamas se realizaron en las Oficinas Centrales del INAPESCA y para la validación de la marca de crecimiento se emplearon los métodos y los programas realizados por Salgado-Ugarte *et al.,* (2005), por medio del paquete Stata, en el laboratorio Biometría y Biología Pesquera de la FES Zaragoza, UNAM.

6.1. Actividad de campo

El huachinango se captura a lo largo del litoral de Guerrero con líneas de mano (anzuelos) y, con redes de enmalle. Las capturas se desembarcan en los diferentes varaderos (Figura 8). Las visitas a la zona de colecta se llevaron a cabo mensualmente durante los primeros ocho días de cada mes, de acuerdo al plan de muestreos del proyecto de Pesca Ribereña en el estado de Guerrero de la Dirección General de Investigación Pesquera en el Pacífico Sur (DGIPPS) del Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA), que se relaciona con la evaluación de los recursos pesqueros de mayor importancia que se extraen a lo largo de los litorales de la Región.



FIGURA 8. Diagrama de flujo que representa las etapas del trabajo.

En primer término se tomaron los datos biométricos y medidas ponderales de peces en la captura comercial y se separaron por recurso.

Se tomaron las morfometrías de 742 organismos de *L. peru*, y de éstos, se extrajeron las escamas de 87 individuos para su tratamiento posterior en el laboratorio.

La morfometría se tomó con la ayuda de un ictiómetro de 60 cm con precisión de ±0.1mm y fue:

- Longitud total (LT). Se colocó al ejemplar sobre su costado derecho, con el hocico a la izquierda, sobre el ictiómetro, el cual permitió comprimir suavemente el hocico del pez en el momento de medirlo. Se le cerró la boca, el cuerpo y la cola se enderezaron siguiendo la línea de la escala, luego de lo cual se tomó la lectura de ésta, a partir de la posición de la sínfisis maxilar hasta el extremo final de la aleta caudal (Laevastu, 1980)
- Longitud patrón o estándar (Lp). Se colocó al ejemplar de la misma manera como se hizo para medir la longitud total, sólo que se tomó la medida desde la posición de la sínfisis maxilar hasta el extremo del hueso hipural (uróstilo).
- Longitud de Horquilla o Furcal (Lh). Se midió desde la posición de la sínfisis maxilar hasta el extremo cartilaginoso del rayo más corto o mediano de la aleta caudal (Holden y Raitt, 1975).
- Altura (A): Se hizo la lectura desde la perpendicular a las anteriores en dirección dorsoventral, a nivel del margen anterior de la espina dorsal anterior.

Además, con la ayuda de una balanza digital de 0.5 g de precisión se tomó el peso total (Pt) del pez y en algunos casos, el peso eviscerado (Pev), que se refiere al peso del pescado sin vísceras (estómago, gónadas, etc.), las cuales son extraídas para su desembarque.

Las mediciones se hicieron trabajando en pareja, el primero colocó los peces en la tabla de medir y en la balanza y leyó cada vez la escala, mientras que el otro registró las lecturas en el formato correspondiente.



FIGURA 9. Medición realizada en los organismos y toma de escamas. La línea azul indica la longitud total en cm y las punteadas muestra el lugar preciso de la extracción de escamas.

Posteriormente, se procedió a separar los organismos de la especie *L. peru* para extraer las escamas. De 87 individuos se obtuvieron de 10 a 15 escamas de cada uno (Ruiz-Durá *et al.* 1970), las cuales fueron extraídas de una pequeña zona debajo de la línea lateral a nivel del origen de la aleta pectoral izquierda (Holden y Raitt, 1975; Gómez-Márquez, 1994). Las escamas se guardaron en un sobre de papel seco y etiquetado, que incluyó los datos de la localidad, fecha y número de espécimen.

En el formato también se registró información referente al arte de pesca empleado y alguna observación durante el muestreo.

6.2. Actividad de laboratorio

Esta fase se realizó en su mayor parte en las Oficinas Centrales del INAPESCA, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

a) Limpieza

Cada muestra de escama se colocó por separado en una caja de Petri, se lavaron en agua corriente y detergente, posteriormente se procedió a limpiarlas con un cepillo de cerdas suaves para eliminar residuos de materia orgánica e inorgánica (Holden y Raitt, 1975; Espino-Barr *et al.* 1998). Una vez limpias, se enjuagaron y se les removió el exceso de humedad.

b) Montaje

Una vez secas, fueron montadas entre dos portaobjetos de diez a quince escamas por ejemplar, se sellaron los portaobjetos con cinta adhesiva en ambos extremos (Ruiz-Durá *et al.* 1970; Holden y Raitt, 1975; Guerra-Sierra y Sánchez-Lizaso, 1998) y se etiquetaron con los datos del número de ejemplar, lugar y fecha de muestreo (Bagenal y Tesch, 1978).

c) Selección

Posteriormente, se procedió a la selección con la ayuda de un microscopio estereoscópico y se descartaron las escamas que se encontraron regeneradas o dañadas, esto es, sólo se tomaron en cuenta las escamas que tuvieron un foco bien definido (Ruiz-Durá *et al.* 1970).

d) Lectura (interpretación)

Finalmente, fueron observadas por medio de un proyector de transparencias (Kodak Ektagraphic) con un lente de 127 mm, con la finalidad de seleccionar las escamas en mejor estado y con foco bien definido, además de identificar los radios en cada una de ellas. Para medir los radios de las escamas, se utilizó un proyector de perfiles (Profile Projector V-10 marca Nikon), con un lente de 20x y siguiendo los criterios enlistados por Joseph (1962; citado en Espino-Barr *et al.* 2008 y Ruiz-Durá *et al.*, (1970)

- a) Los verdaderos anillos (o annuli) se observan en todo el derredor de la escama, a excepción de la parte posterior o externa;
- En las zonas laterales posteriores, donde nace cada anillo, se observa un "doblez" o engrosamiento de las líneas;
- c) En la parte anterior de la escama, el anillo se forma por la agregación de varias líneas de una densidad tal, que no permiten el paso de la luz, por lo que se observa como una franja obscura con luz transmitida.

Las dimensiones se tomaron y registraron de la siguiente forma: a). La distancia del foco al margen anterior, llamado radio total (r_n) y, b). La distancia del foco a cada anillo de crecimiento (r_n) (Figura 10) (Salgado-Ugarte *et al.* 2005). Este procedimiento se repitió para todas las escamas de un mismo individuo y a partir de estas medidas, se obtuvo un promedio. Lo anterior se recomienda hacer para disminuir los errores en las mediciones.

Otro aspecto que se consideró fue que el conteo y medición de los anillos de crecimiento lo realizaron tres lectores; cuando la primera lectura no coincidía con la segunda, lo cual sucedió en pocas ocasiones, la muestra fue analizada de nuevamente. Lo anterior se llevó a cabo para evitar sesgos en la identificación de los anillos.



FIGURA 10. Mediciones de la escama. Se muestra la distancia del foco de la escama (f) a cada uno de los anillos de crecimiento: al primero (r1) y al segundo (r2) y (rm) representa la distancia del foco del anillo al borde de la escama, esta distancia se considera como la longitud de la misma estructura.





Todas las lecturas se registraron en una hoja de cálculo de Excel, para su tratamiento estadístico posterior. Para verificar la coherencia de la identificación y lectura de los anillos, de los datos registrados se obtuvo el intervalo, la media y la desviación estándar del foco de la escama a cada anillo de crecimiento.

6.3. Actividad de gabinete

Para verificar la consistencia en el número y existencia de anillos verdaderos, se obtuvieron el intervalo, el promedio, la media y la desviación estándar del foco de la escama a cada anillo, a partir de las medidas tomadas en cada una de las escamas.
6.3.1. Relación peso–longitud

La relación longitud-peso se estimó según la ecuación estandarizada para peces (Ricker, 1975):

Expresión potencial:

 $P=aL^b$

Donde:

- P = peso del individuo
- L = Longitud total del organismo
- *a* = Constante
- *b* = Constante (índice alométrico)

Para ajustar los datos a una regresión lineal o "linearización" de los parámetros "a" y "b", los mismos datos se convirtieron a logaritmos de base 10, por lo que se obtuvo:

$$Log P = Log a + b Log L$$

Con esta transformación permite la determinación de las constantes empíricas (*a* y *b*), utilizando el método de regresión lineal (mediante el método de mínimos cuadrados) aplicado a los valores logarítmicos de Pt y LT. La relación permitió establecer el tipo de crecimiento que presentó el huachinango; para ello se utilizaron los datos morfométricos de longitud total y peso total.

Para calcular el valor de t que se utilizó para probar si "b" calculado es igual o significativamente diferente a 3. La ecuación utilizada para obtener el estadístico de t (Salgado-Ugarte *et al.* 2005):

$$t = \frac{e.s_x}{e.s_y} * \frac{|b-3|}{\sqrt{1-r^2}} * \sqrt{n-2}$$

Donde:

e.s, = es la desviación estándar del logaritmo de L

e.s, = es la desviación estándar del logaritmo del peso

n = es el número de peces utilizados en el análisis

r = es coeficiente de correlación de la relación peso-longitud

6.3.2. Morfología de la escama

En este apartado se describió la escama del huachinango (*Lutjanus peru*) capturado comercialmente en el estado de Guerrero; para ello se identificó el número aproximado de radios, el foco, la zona pectinada, área anterior, área posterior y los anillos de crecimiento, indicando mediante líneas sus respectivos nombres.

6.3.3. Relación longitud del pez-radio de la escama

Todas las lecturas se registraron en una hoja de cálculo de Microsoft Excel 2007, para su tratamiento estadístico posterior.

Para considerar la lectura de los anillos en las escamas como válida para determinar la edad en *Lutjanus peru*, se estableció la relación entre la longitud total del pez y el radio de la escama, utilizando para ello diferentes expresiones (lineal, potencial, exponencial, cuadrática). La expresión que mejor se ajustó a los datos fue la lineal:

y = a + bx

Donde:

y = radio de la escama

a = ordenada al origen

x = longitud total del pez

b = pendiente.

6.3.4. Análisis de distribución de frecuencias aplicando FiSAT

Para determinar el grupo de edad para cada talla, se utilizaron los datos de las longitudes totales de 742 organismos de *Lutjanus peru*. La separación de grupos modales se realizó a partir de la distribución de frecuencia de tallas propuesto por Bhattacharya, utilizando para ello el paquete FiSAT.

Para utilizar este método se ingresaron los datos de la distribución total de tallas al paquete FiSAT y se procedió a separar las distribuciones normales de la distribución de frecuencias total, cuidando

de que cada distribución contara con un ajuste cercano a 1.0 y que su índice de separación indicó que la distribución no se encimaba a otra ya calculada; cada moda correspondió una cohorte de peces. El procedimiento se inició comenzando por el lado izquierdo de la distribución total. Una vez que fue determinado el primer grupo, se eliminó del grupo total y se repitió el procedimiento hasta que ya no fue posible separar otras distribuciones de la total (Sparre y Venema, 1997).

6.3.5. Estimación de edad mediante escamas

Para la estimación de la edad mediante los anillos en las escamas, se formaron grupos de acuerdo al número de anillos presentes en las escamas, esto es, organismos con escamas que presentaron un anillo se agruparon en la edad o grupo 1 y así sucesivamente. Para cada grupo de edad se calculó el valor medio de la longitud del radio y su desviación estándar.

Para mostrar el comportamiento de los radios de cada grupo se utilizaron los diagramas de caja y bigotes (Salgado-Ugarte, 1992).

6.3.6. Periodicidad de formación de los anillos de crecimiento

Con el fin de estimar la época de formación de los anillos de crecimiento y asignar una unidad de tiempo a los grupos de edad se utilizó el incremento marginal; esto es, la distancia existente entre el último anillo formado y el margen de la escama. Dicho incremento debe ir aumentando de mes en mes hasta que empieza aparecer un engrosamiento en el borde reflejando la aparición del nuevo anillo (Espino-Barr *et al.* 2008; Gallucci *et al.* 1996), con la fórmula:

$$IM = \frac{(R - r_n)}{(r_n - r_{n-1})}$$

Donde:

IM = incremento marginal

R = radio de la escama

 r_n = longitud del foco al último anillo de crecimiento en la escama

 r_{n-1} = longitud del foco al penúltimo anillo.

Los valores así obtenidos se graficaron mensualmente y el valor mínimo indicó la época de formación de anillo de crecimiento.

6.3.7. Estimación de edad mediante el modelo del retrocálculo

Con la relación obtenida entre la longitud total del pez contra el radio de la escama se utilizó el método del retrocálculo, el cual consiste en conocer las tallas de los organismos cuando cada uno de los anillos se formó. Se consideró el método de Fraser-Lee que asume una correspondencia entre el crecimiento de la escama y la longitud del pez con un intercepto diferente a cero, de acuerdo a la ecuación (Araya y Cubillos, 2002; Espino-Barr *et al.* 2008):

$$LTi = c + \left(\frac{LT - c}{RE}\right) * R_i$$

Donde:

- LT = Longitud total al momento de la captura
- LT_i = Longitud total del pez a la edad i
- RE = Radio de la escama al momento de la captura

R_i =Radio de la escama a la edad i

c = intercepto de la regresión RE-Lt.

A partir de las tallas retrocalculadas, se obtuvo la clave edad-talla, la cual permitió identificar el espectro de tallas, que incluye aquellas sobre las que se ejerce mayor presión de pesca.

Las diferencias en el crecimiento dan lugar a la presencia de distintas edades, por lo que el principio básico de la clave consiste en establecer, para cada grupo de tallas, la proporción de organismos correspondiente a cada edad comprendida en ese grupo, lo cual está claramente influenciado por el crecimiento. Esto es necesario construir porque si todos los peces crecieran exactamente de la misma manera, todos los ejemplares del mismo tamaño tendrían la misma edad y los peces de un determinado grupo de tallas serían diferentes en cuanto a su edad sólo en el tiempo necesario para crecer del límite inferior al límite superior de ese grupo (Gulland y Rosenberg, 1992).

Con los valores medios de la longitud-edad resultantes del retrocálculo se estimaron los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy, Gompertz y Logístico (Salgado-Ugarte *et al.* 2005).

6.3.8. Estimación de los parámetros de crecimiento mediante los modelos de von Bertalanffy, Gompertz y Logística

Se puede definir un modelo como una representación matemática conceptual a escala de un fenómeno con el fin de analizar su naturaleza, desarrollar o comprobar hipótesis y permitir una mejor compresión del fenómeno real al cual el modelo representa (Sparre y Venema, 1997).

Un modelo de crecimiento apropiado debe suministrar información sobre parámetros que puedan ser interpretados biológicamente (López *et al.,* 2000). Por lo que en la determinación del crecimiento individual de *Lutjanus peru* se hicieron uso de tres modelos que a continuación se presentan:

A). El modelo de crecimiento de von Bertallanfy en longitud (Bertalanffy, 1938; Guerra-Sierra y Sánchez-Lizaso, 1998; Pauly, 1983; Csirke, 1989):

$$L_t = L_{\infty} [1 - e^{-k(t-t_0)}]$$

Donde:

 L_{∞} = La longitud infinita o asintótica interpretada como la longitud promedio máxima que el pez podría alcanzar en caso de crecer hasta una edad muy avanzada

K = parámetro de la curvatura, que determina la rapidez con la que el pez alcanza la L_{∞}

 t_o = "edad" hipotética que el pez debiera haber tenido para que su longitud fuese cero, dicho de otra manera determina el punto teórico o edad relativa en que el pez tienen longitud 0, o el origen de la función.

 L_t = longitud a la edad "t".

B). El modelo de Gompertz (1825 citado en Moreau, 1987):

$$L_t = L_\infty exp(-e^{-k(t-t_0)})$$

Donde:

 L_{t} = Longitud total a la edad t

 L_{∞} = Longitud máxima promedio de la especie.

k = Constante de crecimiento

 t_o = Punto de inflexión de la curva

t= Edad.

C). El modelo de Logístico (Verhulst, 1938, citado en Guerra-Sierra y Sánchez-Lizaso, 1998; Moreau, 1987):

$$Lt = \frac{L_{\infty}}{1 + e^{-k(t-t_0)}}$$

Donde:

Lt = Longitud total a la edad t

 L_{∞} = Longitud máxima promedio de la especie.

k = Tasa instantánea de crecimiento

$$t_a$$
 = Punto de inflexión de la curva donde L = L /2

t = Edad

6.3.9. Métodos para la estimación de las constantes de crecimiento de la función de von Bertalanffy

Los siguientes métodos presentados a continuación explican la forma de obtener los parámetros k, t_o y L_{∞} (Gómez-Márquez, 2004; Sparre-Venema, 1997 y Salgado-Ugarte *et al.* 2005).

a) Gráfico de Ford-Walford

Una de las formas más simples para la estimación de parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy para la representación de datos a intervalos iguales de tiempo es mediante el Método de Ford-Walford.

Analíticamente la curva de crecimiento se puede obtener mediante la diferencia de medias que corresponda a los tiempos t + 1 y t. De esta manera se tiene que:

$$I_{t+1} - I_t = L_{\infty} (1 - e^{-k(t+1)}) - L_{\infty} (1 - e^{-kt})$$
$$= -L_{\infty} e^{-k(t+1)} + L_{\infty} e^{(-kt)}$$
$$I_{t+1} = -L_{\infty} e^{(-kt)} (1 - e^{(-k)})$$
Ec 2.1

de la ecuación original de von Bertalanffy se tiene:

Estudios esclerocronológicos sobre edad y crecimiento de moluscos, equinodermos, peces y reptiles

$$I_{\infty} - I_t = L_{\infty} e^{-k(t-t_0)}$$
 Ec 2.2

Sustituyendo 2.2 en 2.1:

Le Lo

$$I_{t+1} + I_t = (L_{\infty} - I_t)(1 - e^{-k})$$
 Ec 2.3
$$I_t - I_t = L_{\infty}(1 - e^{-k}) - I_t + I_t e^{-k}$$

Suprimiendo el término *I*, se tiene:

 $I_{t+1} = L_{\infty}(1 - e^{-k}) + I_t e^{-k}$

Esto es una ecuación lineal y sugiere que la talla a edad $t(I_t)$ puede ser graficada contra la talla a un año después (I_{t+1}) . Esto genera una línea recta, donde esta bisectriz corta la línea de 45º (pendiente igual a 1) define el valor de L_{∞} , puesto que en este punto $I_t = I_{t+1}$, y esto ocurre cuando la curva ha alcanzado la asíntota en el infinito. La línea recta que se ajusta a estos datos tendrá una pendiente $b = e^{-k}$ de y un intercepto de $a = L_{\infty}(1 - e^{-k})$. De esta forma es posible estimar k y L_{∞} como (Gómez-Márquez, 1994):

$$L_{\infty} = \frac{a}{(1-b)}$$

b) Gráfico de Gulland

Este método es una variación del gráfico de Ford-Walford y fue propuesto por Chapman (1961) y después por Gulland (1969). Se basa en el uso de un intervalo de tiempo constante Δt . Puede demostrarse que la FCVB implica que:

$$I_{t+\Delta t} - I_t = L_{\infty}(1 - e^{(-k\Delta t)}) - I_t(1 - e^{(-k\Delta t)})$$

Por tanto, puesto que k y L_{∞} son constantes, permanecerá constante y la ecuación vuelve una función lineal y=a + bx, donde:

$$a = L_{\infty}(1 - e^{(-k\Delta t)})$$
 y $b = -(1 - e^{-k\Delta t})$

Los parámetros de crecimiento son entonces derivados de (Sparre y Venema, 1997):

$$k = -\left(\frac{1}{\Delta t}\right)\ln(1+b) \ y \ L_{\infty} = \frac{-a}{b} \ o \ \frac{a}{(1-e^{-k\Delta t})}$$

c). Método de Beverton-Holt

Este método (Berverton y Holt, 1957) es usado para estimar k y t_0 para una L_{∞} dada, la cual puede provenir de cualquiera de los métodos presentados anteriormente. De la FCVB podemos obtener (Salgado-Ugarte *et al.* 2005):

$$L_{\infty} - L_{t} = L_{\infty}(e^{-k(t-t_{0})})$$
$$In(L_{\infty} - L_{t}) = \ln L_{\infty} - kt + kt_{0}$$

$$ln(L_{\infty}-L_{t}) = ln L_{\infty}-kt_{0}-kt$$

De nuevo, esta es una función lineal (y= a – bx) de t contra $\ln(L_{\infty} - L_{t})$ que permite la recuperación de los parámetros mediante:

$$k = -b y a = \ln L_{m} + kt_{o}$$

Despejando t_0 , se obtiene:

$$t_0 = \frac{a - lnL_{\infty}}{k}$$

(Gómez-Márquez, 1994)

d). Método de CAST (Stamatopoulos y Caddy, 1989)

Se utilizó también este método para estimar k, L_{∞} y t_{α} , usando la regresión lineal simple.

Dado la información de talla y edad:

$$(t_1, L_1), (t_2, L_2), ..., (t_n, L_n)$$

Se puede mostrar, que dado el valor de k, el tamaño puede ser expresado linealmente de manera general:

$$L_t = a_0 + a_1 X_t \qquad \text{Ec 2.1}$$

Donde:

 a_0 y a_1 = parámetros de la regresión lineal simple.

 X_t = es la variable independiente (una función de t).

La ecuación (Ec 2.1) de tamaño-edad no depende del conocimiento de los parámetros secundarios L_{a} y t_{0} . La constante a_{0} representa el tamaño de cualquier edad t_{a} y el coeficiente a_{1} se refiere el incremento de tamaño sobre el periodo t_{a} y cualquier otro edad t_{b} .

La expresión general (Ec 2.1) puede tomar dos formas:

 $a_0 = L_{\infty}; \quad a_1 = -L_{\infty}e^{kt_0} \quad y \quad X_t = e^{-kt}$ Ec 2.1.1

$$a_0 = L_0; \quad a_1 = L_0 - L_{\infty} \quad y \quad X_t = e^{-kt} - 1$$
 Ec 2.1.2

La expresión (Ec 2.1.1) es familiar de la función de crecimiento de von Bertalanffy, acomodado de Beverton (1954) y Beverton-Holt (1957). Donde representa la edad cuando la longitud es cero y es la longitud asintótica que el pez podría alcanzar en caso de crecer hasta una edad avanzada. La expresión (Ec 2.1.2) es la ecuación original de von Bertalanffy (1938), usando los mismos parámetros (asintótica) y (constante expresado teóricamente la longitud a edad cero).

El parámetro de curvatura (k) es un valor por el cual R² es cercano a 1. La k óptima puede ser estabilizada por los parámetros secundarios: L_{∞} , t_0 y L_0 , pueden calcularse directamente, usando las expresiones (Ec 2.1.1) y (Ec 2.1.2), el valor de la k óptima y cualquiera de las dos tamaños estimados L_i y L_i (Stamatopoulos y Caddy, 1989; Cadima, 2003).

Para la obtención de los parámetros de crecimiento, mencionados anteriormente, se utilizó el paquete VONBIT (FAO, 2005).

e). Regresión no lineal

De acuerdo con Sparre y Venema (1997), la regresión no lineal por mínimos cuadrados es un método superior a cualquiera de los procedimientos lineales para estimar los parámetros de la FCVB. El método estima los parámetros de crecimiento en una forma tal que la suma de los cuadrados de las desviaciones de las observaciones respecto del modelo es minimizada.

6.4.0. Estimación de los parámetros de crecimiento ponderal de von Bertalanffy

Para la determinación del crecimiento ponderal se utilizó la ecuación que deriva del modelo de von Bertalanffy (Csirke, 1980):

$$P_t = P_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)})^b$$

Donde:

L_{$_{\infty}$} = Longitud asintótica a la longitud máxima que el pez puede alcanzar cuando t $\rightarrow \infty$

P_t = Peso a la edad (peso promedio máximo para la especie).

k = Parámetro de curvatura o constante de crecimiento (determina que tan rápido se alcanza el valor de la L_s.

t = Edad.

 t_o = Tiempo teórico de inicio de crecimiento cuando L_t=0 y W_t=0.

b = Exponente de la relación potencial de peso-longitud.

 L_{t} = Longitud del pez a la edad t.

 $P\infty$ = Peso máximo teórico promedio

Para la obtención de P_{∞} se aplicó la relación $P_{\infty} = aL_{\infty}^{b}$.

Con los valores medios retrocalculados para cada edad se estimaron los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy, Logistica y Gompertz. Primero se obtuvieron mediante procedimientos lineales, es decir, por el gráfico Ford-Walford, gráfico de Gulland para la estima de la longitud infinita y la constante de crecimiento; posteriormente y considerando que la periodicidad es anual, por medio del método de Beverton-Holt se estimó el valor de t_o (Gómez-Márquez, 1994; Sparre y Venema, 1997; Guerra-Sierra y Sánchez-Lizaso, 1998). Asi también se aplicó el método de la ecuación no lineal simple y la no lineal simple ponderada por mínimos cuadrados y un procedimiento Iterativo de Gauss-Newton (Royston, 1992, citado en Salgado-Ugarte *et al.* 2005). Todos los cálculos se llevaron a cabo con las rutinas de Salgado-Ugarte *et al.*, (1992, 1997 y 2005) insertadas en Stata (Stata Corporation, 2001). Este paquete computarizado representa una herramienta muy útil para el estudio del crecimiento de stocks explotados o no (Rodríguez-Rojas, 2009).

VII. Resultados

7.1. Análisis biométrico

Se procesaron los datos biométricos de 742 organismos, obtenidos de los muestreos de las capturas comerciales, lo cual permitió conocer la estadística básica de la especie *Lutjanus peru*, como son promedios de tallas y pesos (Tabla 2). El intervalo de talla se encontró entre 14.2 a 84.0 cm de longitud total y el peso total de 43.0 a 7391.5 g. Asimismo, se contó con datos de peces que fueron desembarcados eviscerados, de los cuales se obtuvieron registros de organismos de hasta 86.5 cm LT y un peso de 7223 g.

	Peso total					
Numero de Individuos	742					
Medida	L. Total (cm)	P. Total (g)				
Mínimo	14.2	43.00				
Máximo	84.0	7391.50				
Promedio	27.7	374.40				
Des. Stad.	8.15	556.78				

TABLA 2. Valores mínimos, máximos y promedios considerados en la biometría de *Lutjanus peru*.

7.2. Relación peso total–longitud total

A partir de los datos de peso y longitudes totales se realizó el análisis de regresión para obtener los valores de las constantes "a" y "b" de la relación peso-longitud para la población total, en donde a partir de "b" se determinó el tipo de crecimiento. La gráfica obtenida para la base de datos de *L. peru* muestra que tienen un comportamiento potencial de una muestra de 742 organismos. La relación talla-peso de *L. peru* quedó descrita por la función Pt= 0.0145L^{2.974} (Figura 12).

Los valores estimados del análisis de regresión potencial indican que el valor del exponente es igual a 2.974, encontrándose un alto valor para el coeficiente de determinación, $r^2 = 0.9799$ (Figura 12) y con base en los resultados de la prueba t de Student (P<0.05) sobre la pendiente de la relación entre longitud total y el peso se concluyó que los organismos presentan crecimiento alométrico negativo, los organismos crecen más en longitud que en peso.

TABLA 3. Prueba t Student aplicada a la pendiente obtenida de la relación peso-longitud en *L. peru*. Ν tn-2, 0.025 Ho:b=3 b Tc Tipo de (Tamaño de (Hipótesis nula) crecimiento (constante) (t calculada) (t de tablas) la muestra) Alométrico 2.97 742 -2.65 -1.96 Se rechaza negativo



FIGURA 12. Relación entre la longitud total con respecto al peso total del pez.

7.3. Lectura de escamas

A partir de los muestreos biológicos de las capturas comerciales se tomaron muestras de escamas de 87 especímenes, de los cuales fueron incluidos organismos tanto de tallas comerciales como aquellos que se utilizan para engorda en jaulas flotantes y organismos de talla mayor a la comercial o platillera, por lo que contó con la representación de la mayoría de las tallas.

De un total de 87 organismos, aproximadamente a 69 de ellos se les apreciaron las marcas de crecimiento con bastante claridad, mientras que 18, fueron descartadas sus escamas por varias razones, sobre todo las escamas grandes, debido al apilamiento de los anillos, lo que dificultó la identificación de todos los anillos de crecimiento. Otra razón de descarte fue la relacionada con deformidades debido a regeneraciones, roturas y focos poco definidos o ausentes.

A partir de las lecturas fue posible diferenciar las zonas claras de las oscuras, las cuales se presentaron a distancias asimétricas con relación al foco. En las zonas laterales posteriores, donde nace cada anillo, se observó un engrosamiento de las líneas, mientras que en la parte posterior de la escama, el anillo se formó por la agregación de varias líneas de una densidad tal, que no permiten el paso de la luz, por lo que se observó como una franja obscura con luz transmitida.

7.4. Morfología de la escama

Las escamas del huachinango (*L. peru*) fueron de tipo ctenoide, por su forma redondeada y su borde superior dentado. El foco se encuentra donde termina la parte insertada de la escama y la parte superior posee ctenii (dentículos pronunciados que determinan el carácter pectinado en las escamas ctenoides (Laevastu, 1980; Gómez-Márquez, 1994). Presentaron radios que convergen a partir del foco de la escama y se prolongan hacía la parte anterior formado pequeños lóbulos. El número de radios varió de 12 a 16. El anillo de crecimiento se observó como una banda obscura en los márgenes laterales, que se prolonga al margen anterior en forma de anillo hialino, arqueado entre los radios, con concavidad dirigida hacia el foco. Se determinaron de 1 a 10 anillos. Las estructuras generales señaladas con nombre se muestran en la Figura 13.



FIGURA 13. Escama del huachinango, Lutjanus peru.

7.5. Determinación de edad

7.5.1. Longitud total vs el incremento del radio de la escama

El análisis de regresión entre la relación del radio de la escama y la longitud total del pez para la población total de *L. peru*, presentó una tendencia lineal con un alto coeficiente de determinación, que explica el 93% de la correlación entre ambas variables. La regresión se realizó mediante el método de los mínimos cuadrados. Se consideró la talla como variable dependiente, porque es a partir del radio del otolito que se desea encontrar la longitud del pez (Bagenal y Tech, 1978).

Se identificaron diez anillos en las lecturas de escamas, sin embargo, la distancia entre un anillo y otro disminuyó a partir del foco y la lectura de las escamas que presentaron grupos edades avanzados se tornó más difícil, esto es, los primeros anillos de crecimiento fueron muy notorios, de tal manera que no existió dificultad en la lectura; sin embargo, conforme se avanzaba con los grupos de edad mayores, las marcas de crecimiento se presentaron muy cercanas, haciendo confusa y difícil la lectura.

Los resultados indican que existe una relación lineal entre estas dos variables con un alto índice de correlación ($r^2 = 0.93$). Ello mostró que el crecimiento del individuo es directamente proporcional al de sus escamas (tabla 4, Figura 14), lo cual valida el uso de esta estructura para determinar la edad en *Lutjanus peru*.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Número F (1, 253	Número de observación =255 F (1, 253) = 3194.52			
Modelo	54270.48	1	54270.48	Probabilidad >F = 0.00 R-cuadrada= 0.9926 R- cuadrada aiustada= 0.926				
Residuos	4298.12	253	16.98					
Total	58568.60	254	230.58	Error de estimación = 4.121				
Longitud		Error			[Intervalo de confianza 95 %]			
pez	Coeficiente	estándar	t	P> t	- %]			
pez Radio escama	Coeficiente 5.668	estándar 0.100	t 56.52	P> t 0.000	%] 5.470	5.865		

TABLA 4. Relación entre el radio de la escama y la longitud total del pez.





FIGURA 14. Análisis de regresión lineal entre el radio de la escama (distancia entre el foco y el borde) y la longitud total de *L. peru* en el estado de Guerrero.

El análisis estadístico de las mediciones de los radios de las escamas se integró en la tabla 5, donde se observó que los intervalos de los promedios de los anillos mostraron consistencia entre la distancia de éstos y su número, esto es, a mayor radio de la escama, mayor número de anillos, lo cual significa que se presentó un patrón de crecimiento en las escamas.

A partir de los resultados de la tabla anterior, se construyó el diagrama de caja para las medidas correspondientes de los anillos uno a diez (Figura 15), el cual mostró los diez grupos de edad bien definidos e indicó que no hubo diferencias significativas entre las clases al no haber existido traslape entre las cajas.

TABLA 5. Resumen estadístico (media y desviación estándar) para Lutjanus peru.

	TABLA 5. Resumen estadístico (media y desviación estándar) para Lutjanus peru.										
Edad	n		_			ļ	Anillo				
Luau		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	12	3.021 0.564									
1	14	3.277 0.792									
2	13	3.045 0.622	4.617 0.748								
3	12	3.716 0.500	4.982 0.443	6.192 0.445							
4	8	3.732 0.388	5.055 0.447	6.516 0.441	7.555 0.745						
5	1	3.875 0.007	5.255 0.007	6.245 0.007	7.325 0.007	8.275 0.007					
6	3	4.365 0.182	5.850 0.270	7.038 0.269	8.275 0.224	9.550 0.059	10.318 0.231				
8	2	4.194 0.117	5.510 0.112	6.835 0.360	8.281 0.578	9.375 0.550	9.991 0.648	10.368 0.544	10.720 0.557		
9	3	4.062 0.912	5.396 0.134	6.450 0.116	8.030 0.164	10.100 0.112	10.430 0.098	10.557 0.134	11.160 0.110	11.347 0.074	
10	1	3.455 0.007	5.715 0.007	7.535 0.007	9.525 0.007	10.505 0.007	11.775 0.007	12.365 0.007	13.295 0.007	13.955 0.007	14.795 0.007
Total	69	3.747 0.337 69	5.297 0.259 43	6.687 0.192 30	8.165 0.306 18	9.561 0.229 10	10.62 0.283 9	11.096 0.280 6	11.725 0.292 6	12.651 0.047 4	14.795 1

GO



FIGURA 15. Análisis exploratorio de los grupos de edad observados en radios de anillos de las escamas de *Lutjanus peru*.

Cabe mencionar que el grupo siete que aparece en el diagrama, se obtuvo a partir de las escamas que tuvieron anillos ocho, nueve y diez, es decir, que es la derivación de estos últimos tres grupos de peces, ya que no se encontraron organismos de este grupo en los muestreos comerciales de la especie en valoración.

La tabla 6 muestra la clave edad-talla construida a partir de las escamas recolectadas durante el periodo de estudio, analizadas para estimar la composición por edades de *L. peru*.

La dispersión de las edades es grande, y los individuos de III años son los más abundantes tanto en el grupo de II como en el de IV, lo cual equivale a organismos que se encuentran en el intervalo de la talla comercial o "platillera" y esto probablemente valdrá para cualquier composición por edades de la población.

TABLA 6. Edad-talla para Lutjanus peru.									St				
Longitud	Frec.						Edad						
total (cm)		0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Х	E
13-14	2	2											
15-16	4	3	1										
17-18	8	1	3	4									
19-20	5	1	2	2									
21-22	2		2										
23-24													
25-26	6	2	1	3									
27-28	4	1	2	1									
29-30													
31-32	4	1	1	1	1								
33-34	1		1										
35-36	4		1	1	2								
37-38	10	1		1	8								
39-40	1				1								
41-42	1					1							
43-44													
45-46	2					2							
47-48	2					2							
49-50	2					2							
51-52													
53-54	1					1							
55-56													
57-58													
59-60	1						1						
61-62	2							2					
63-64	1							1					
65-66	1									1			
67-68													
69-70	1									1			
71-72	2										2		
73-74	1										1		
75-76													
77-78	1											1	
TOTAL	69	12	14	13	12	8	1	3	0	2	3	1	

TABLA 6. Edad-talla para Lutjanus peru.

XO

7.6. Periodicidad de formación de los anillos de crecimiento

7.6.1. Índice de incremento marginal

La validación de la edad es llevada a cabo tradicionalmente por estudios de marcado-recaptura, identificación y seguimiento de clases anuales, frecuencia de tallas y análisis del borde de escamas a través de un ciclo anual. La finalidad de estos estudios es demostrar la periodicidad de formación de los anillos o marcas de crecimiento.

La validación de los anillos de crecimiento a partir del análisis del incremento marginal (IM) de escamas de 57 individuos se puede apreciar en la Figura 16 la cual muestra el comportamiento de este incremento a partir de los valores de las medianas, expresados en días (Tabla 6); para el análisis los valores de los organismos de edad 0 quedaron excluidos.

La validación muestra que el valor más bajo se da en el mes de abril, mientras que en el mes de diciembre se registró un incremento marginal superior, tal marcación permitió sugerir la formación de un anillo anual en abril. Asimismo, se puede observar que los meses de mayor crecimiento fueron entre julio y septiembre. Esta marcación coincide con el periodo de actividad reproductiva reportado por Ochoa *et al.,* 1991; Cruz-Romero *et al.,* 1991; Madrid, 1990; Ruíz *et al.,* 1982; Aguilar-Salazar, 1986; Rojas-Herrera, 2001, Sarabia-Mendez, 2007 y Gallardo-Cabello *et al.,* 2010, el cual además es precedido por un fenómeno ambiental relacionado con la disminución de la temperatura superficial a partir del mes de diciembre.

Fecha de muestreo	Días	Mediana	Std. Dev.	Frecuencia
31-mayo-2009	0	0.073	0.023	35
01-julio-2009	31	0.170	0.138	16
22-septiembre-2009	114	0.158	0.123	23
24-septiembre-2009	116	0.091	0.019	33
28-octubre-2009	150	0.077	0.021	12
13-diciembre-2009	196	0.085	0.003	4
28-abril-2010	332	0.057	0.017	20
08-noviembre-2010.	526	0.053	0.006	12

TABLA 7. Fechas de muestreo con sus respectivas medianas de los incrementos marginales



FIGURA 16. Mediana donde muestra los incrementos marginales mensuales observados en *Lutjanus peru.* 0= 31/05/09; 31= 01/07/09; 114=22/09/09; 116= 24/09/09; 150=24/09/09; 166= 28/10/09; 332= 28/04/10 y 526= 08/11/10

El análisis anterior se basa en que el incremento debe ir aumentando de un mes al siguiente, hasta que empieza a aparecer un engrosamiento en el borde, significando un nuevo anillo (Espino-Barr *et al.,* 2008), por lo que, de acuerdo con el gráfico de la Figura 16, el valor más bajo del cálculo del IM correspondió al mes de abril.

7.7. Método indirecto

7.7.1. Análisis de distribución de frecuencias aplicando FISAT

A partir de los datos de longitud total de 742 individuos de *L. peru*, se aplicó el método de Bhattacharya para determinar grupos de edad, por lo que se distinguieron nueve grupos modales (Figura 17), que se resumen en la tabla 8. Las dos clases de mayor frecuencia correspondieron a los grupos 2 y 3 (23.36 y 36.55 cm LT), donde recaen el 50.9 y 22.4% de la captura, respectivamente, lo cual equivale a las tallas comerciales de mayor demanda en el mercado.



FIGURA 17. Clases modales del huachinango obtenidas por el método de Bhattacharya.

TABLA 8. Resultado del análisis de Bhattacharya de los componentesmodales del huachinango en las costas de Guerrero.

GRUPO	N	Media de la LT	Desv. Std.	I. S
1	76	18.70	0.59	n.a.
2	329	23.36	3.10	2.09
3	145	36.55	2.10	2.46
4	25	45.85	1.00	2.31
5	13	55.89	1.83	2.31
6	40	62.83	0.77	2.15
7	7	71.12	1.56	2.19
8	4	78.31	1.36	2.12
9	7	84.67	1.35	2.09
n a - No anlica				

7.8. Método directo

7.8.1. Estimación de edad mediante el modelo del retrocálculo

El crecimiento puede ser estimado no sólo a partir de la talla del organismo sino también a través de alguna estructura que se relacione con la talla. Esta técnica permite estimar las longitudes teóricas en edades anteriores a la de captura en base a la relación que existe entre el tamaño de la estructura considerada y la talla del pez. La condición para utilizar el retrocálculo es que exista una correlación entre la talla del pez y el tamaño de la estructura de crecimiento.

Los parámetros "a" y "b" estimados de la relación longitud total de pez y radio de la escama se sustituyeron en la expresión de proporcionalidad corporal (Bagenal y Tech, 1978; Francis, 1990), a fin de obtener la longitud total promedio para cada anillo (retrocálculo). El valor medio de talla por edad dentro de cada grupo y su desviación estándar se muestran en la tabla 9. Lo anterior con la finalidad de reconstruir la historia temprana y determinar el momento de formación del primer anillo de crecimiento en escamas.

Anillo	Edad	Frecuencia	LT observada (cm)	Desv. Std.
1	1	14	18.90	4.01
2	2	13	27.40	4.03
3	3	12	35.94	3.73
4	4	8	45.24	3.91
5	5	1	56.67	4.78
6	6	3	60.57	3.75
7	7	0	64.21	3.46
8	8	2	67.31	4.25
9	9	3	71.68	1.17
10	10	1	74.54	0.001

TABLA. Resumen estadístico de longitudes pretéritas calculadas por la ecuación de la proporcionalidad corporal.

Así también, se desglosan los resultados calculados para cada uno de los 10 grupos de edad estimados. Los grupos de edad 1, 2, 3 y 4, fueron los que presentaron mayores frecuencias, con una talla de 18.9 a 45.24 cm de LT, dentro de este intervalo se incluyen las tallas que se les conoce como "de orden" o "platilleras" que son a las cuales el pescador dirige sus artes de pesca para la captura de esas tallas.

Se observó que mediante el método indirecto se obtuvieron nueve cohortes, mientras que por el método directo se extrajeron 10 grupos de edad (Tabla 10). Al hacer la comparación de los grupos de edad obtenidos por ambos métodos, existe una correspondencia de los siete primeros grupos de edad, por lo que el método indirecto fue otra forma de validación para los grupos de edad obtenidos por medio de la lectura de escamas.

Grupo	Método directo (LT cm)	Método indirecto (LT cm)
1	18.90	18.70
2	27.40	23.36
3	35.94	36.55
4	45.24	45.85
5	56.67	55.89
6	60.57	62.83
7	64.21	
8	67.31	
9	71.68	71.12
10	74.54	
11		78.31
12		84.67

TABLA 10. Tallas medias correspondientes obtenidos por método directo e indirecto.

Asumiendo que la periodicidad de los anillos de crecimiento en esta especie es cada año, los valores medios de longitud-edad resultantes del retrocálculo fueron utilizados para determinar las constantes y se realizaron con el programa computacional denominado Stata, en primera instancia, por medio de procedimientos lineales (Ford-Walford, Gulland, Beverton-Holt y Stamatopoulos-Caddy) para el caso de von Bertalanffy así como no lineales (para la logística, Gompertz y v. Bertalanffy).

7.9. Estimación de parámetros mediante procedimientos lineales para el caso de von Bertalanffy

Los métodos lineales en donde todos los componentes tienen el mismo peso, sin embargo, son fáciles de utilizar y aloja valores aproximados bastante buenos, además los datos que se requieren se pueden obtener de diversas fuentes lo que facilita su uso, pero por diversas causas es posible que no se cuente con una completa determinación de los grupos de edad, por lo que dichos métodos pierden su utilidad, pues es necesario que las edades que se incluyan en el análisis sean consecutivas y el intervalo de tiempo en que se tomaron sea el mismo.

TABLA 11. Estimación de los valores L∞ y k mediante el gráfico de Ford-Walford.

Intercepto = 12.933	Intercepto = 12.933
R- cuadrada = 0.985	R- cuadrada = 0.985
L∞=93.353 años	L∞=93.353 años

7.9.1. Gráfico de Ford-Walford

En la tabla 11 se muestran los parámetros crecimiento $(L_{\infty} y k) y$ en la Figura 18 se graficaron las medias correspondientes a la edad t en el eje de las x, y las mismas medias, pero de la edad t+1, en el eje de las y. De esta manera se generó una línea recta y donde esta línea cortó a la recta de 45^o se determinó el valor de L_{∞}. En este caso la bisectriz interceptó en 95.3530, el cual equivale a la L_{∞}





FIGURA 18. Gráfico de Ford-Walford para las medias retrocalculadas de Lutjanus peru.

7.9.2. Gráfico de Gulland

Este gráfico es muy similar al método anterior, para lo cual se aplicó una regresión lineal y se definió el incremento en tamaño ocurrido durante el periodo (t+1) - t, y después obtuvo otra relación lineal entre ΔL y L. Finalmente las constantes "a" y "b" se estimaron por medio de mínimos cuadrados. En la tabla 12 se muestra la obtención de los parámetros de crecimiento (L_w y k).

TABLA 12. Estimación de los valores de L∞ y k mediante el gráfico de Gulland (1969).

Intercepto = 12.933	Pendiente = -0.135
R- cuadrada = 0.621	R- cuadrada ajustada = 0.567
L∞ = 93.353 años	k = 0.145 años ⁻¹



FIGURA 19. Gráfico de Gulland para las medias retrocalculadas de Lutjanus peru.

7.9.3. Método de Beverton-Holt

Un tercer método, el de Beverton-Holt (1957) se utilizó para la estima de k y t₀. Sin embargo, este método requirió de una estimación de L_{∞} como dato de entrada (King, 1995; Sparre y Venema, 1997; Salgado-Ugarte *et al.* 2005) y así se tomó la L_{∞} (95.3530) del gráfico de Ford-Walford.

TABLA 13. Estimación de los valores de k y to mediante el gráfico de Beverton-Holt.

Intercepto = 4.485	Pendiente = -0.147			
R- cuadrada = 0.993	R- cuadrada ajustada = 0.990			
k = 0.147	t ₀ = -0.486			
Función de crecimiento de von Bertalanffy (FCVF)				
Lt = 95.353 * (1-exp(-0.147 * (t + 0.486)))				

La tabla anterior (13) muestra los parámetros de crecimiento mediante el método citado, así también se observan los diez grupos de edades encontrados en *L. peru*.



FIGURA 20. Gráfico de Beverton y Holt para medias retrocalculadas de *Lutjanus peru* utilizando el valor estimado de L_{∞} por Ford-Walford y Gulland.

El gráfico de la Figura 21 muestra la tendencia de la curva de crecimiento de von Bertalanffy, cuyos parámetros fueron calculados mediante el gráfico de Ford-Walford y método de Beverton-Holt, donde se observó un buen ajuste de la curva, con una correlación alta (r^2 =0.99). Los valores obtenidos fueron sustituidos en la ecuación de von Bertalanffy la cual se expresa de la siguiente manera:



FIGURA 21. Función de crecimiento de von Bertalanffy estimada por métodos tradicionales a partir de las medias retrocalculadas para *Lutjanus peru*.

7.9.4. Método de Stamatopoulos-Caddy (1989)

Con este método se calcularon los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy (L_{∞} , k y t_{o}) haciendo uso de la regresión lineal simple. Para ello la ecuación de von Bertalanffy se expresó como una relación lineal de L_{t} contra e^{-kt} (Figura 22).



FIGURA 22. Función de crecimiento de von Bertalanffy estimada por el método de Stamatopoulos y Caddy (1989) a partir de las medias retrocalculadas para *Lutjanus peru*.

Este método aporta la longitud estimada, en la Figura 23 se aprecian las dos curvas (la longitud observada y la estimada) y puede observarse que ambas tienen un comportamiento similar. La función de crecimiento de von Bertalanffy para este método quedó expresada de la siguiente forma:

$$Lt = 90.69[1 - e^{-0.170(t+0.234)}]$$

A partir de los datos estimados para cada grupo de edad y con ayuda del paquete Von Bit, se obtuvieron la curva de crecimiento y las constantes para la ecuación de von Bertalanffy. Como se observa en la Figura 22, la L^{∞} estimada fue de 90.689 cm de LT, k= 0.1 año-1 y t_o = -0.234. Además, se estimó la longevidad de la especie que fue de 24.68 años.

A partir de estas estimaciones, se puede observar que el punto de inflexión o cambio de la tasa de crecimiento en longitud se produce a las edades IV y V, lo cual indica que conforme el pez crece, la tasa de crecimiento va en disminución. La Figura 23 muestra ambas curvas, la estimada y la observada, donde se aprecia que entre las edades antes mencionadas que la tasa de crecimiento comienza a disminuir, lo cual traza la curva de crecimiento (Figura 22).





Con las longitudes estimadas con el paquete Von Bit se puede observar como la tasa anual de crecimiento va en disminución conforme se avanza la edad (Tabla 15).

En la tabla 16 se presenta el resumen de los parámetros que fueron estimados a partir de las longitudes totales estimadas con la lectura de escamas y mediante los métodos tradicionales de Ford-Walford (1949), Gulland (1969) y Beverton-Holt (1957), así como también por medio de la regresión no lineal simple y ponderada, con la cual se pudo obtener la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy (1938).

TABLA 14. Resumen estadístico de longitudes pretéritas calculadas por laecuación de la proporcionalidad corporal.

Anillo	Edad	L. observada (cm)	L. estimada (cm)	Desv. Std.	Frecuencia
1	1	18.90	17.2	4.011	57
2	2	27.40	28.6	4.0318	43
3	3	35.94	38.4	3.735	30
4	4	45.24	46.5	3.916	18
5	5	56.67	53.4	4.780	10
6	6	60.57	59.3	3.753	9
7	7	64.21	64.2	3.463	6
8	8	67.31	68.3	4.250	6
9	9	71.68	71.8	1.170	4
10	10	74.54	74.7	0.001	1

TABLA 15. Longitudes totales observada y estimada para *Lutjanus peru* y el incremento en talla para cada grupo de edad (método de Von Bit).

Edad	L. observada (cm)	L. estimada (cm)	Tasa anual (cm)
1	18.90	17.2	
2	27.40	28.6	11.4
3	35.94	38.4	9.8
4	45.24	46.5	8.1
5	56.67	53.4	6.9
6	60.57	59.3	5.9
7	64.21	64.2	4.9
8	67.31	68.3	4.1
9	71.68	71.8	3.5
10	74.54	74.7	2.9

51.

TABLA 16. Parámetros obtenidos por diferentes métodos para Lutjanus peru.

A O	TABLA 16. Parámetros obtenidos por diferentes métodos para Lutjanus peru.								
	Desussión				Parán	netros			
	Regresion	ivietodos	а	b	r2	L∞	k	t0	
~		Ford-Walford	0.864	12.93	0.983	95.35	0.145		
EL.		Gulland	-0.13	12.93	0.567	95.35	0.145		
	Lineal	Beverton-Holt	-0.14	4.485	0.990	95.35	0.147	-0.48	
		Stamatopoulos y Caddy			0.992	90.689	0.170	-0.170	
	No. lineal	Simple			0.9998	91.365	0.1668	-0.2567	
	No lineal	Ponderada			0.9991	105.63	0.1206	-0.5678	

7.10. Obtención de los parámetros de crecimiento por los tres modelos (von Bertalanffy, Logístico y Gompertz)

7.10.1. Parámetros de von Bertalanffy mediante método de regresión no lineal simple

La diferencia entre la regresión lineal y no lineal con ponderación ajusta mejor los datos que la no ponderada, debido a que se usa el número de individuos o frecuencia de cada componente como factor de peso, por lo que se considera la representación de cada grupo, así también permite la estimación de los tres parámetros de manera simultáneo, además de que se obtiene la matriz de varianza-covarianza y la suma de cuadrados residuales, que se toman como base para los siguientes análisis estadísticos multivariados (Salgado-Ugarte, 2010). A partir de los valores de los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy obtenidos por el método de regresión no lineal simple, utilizando un método numérico de Gauss-Newton (Salgado-Ugarte et al., 2005) (tabla 17) se generó la curva de crecimiento correspondiente (Figura 24).

TABLA 17. Resumen de los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy obtenidos porregresión no lineal simple para datos de longitudes de Lutjanus peru.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Número de observación = 10 F (3, 7) = 2827.61
Modelo	30653.28	3	10217.76	Probabilidad >F = 0.00
Residuos	25.29	7	3.61	R-cuadrada= 0.999 R- cuadrad aiustada = 0.998
Total	30678.58	10	3067.85	Error de estimación = 1.900
				Desviación residual = 37.65

Función de crecimiento de von Bertalanffy, longitud promedio a edad t = L ∞ * (1- exp (- k * (edad - t₀)))

Radio	Coeficiente	Error estándar	t	P> t	[Intervalos de Confianza 95 %]	
L∞	91.365	6.368	14.35	0.000	76.305	106.424
k	0.166	0.027	6.01	0.001	0.101	0.232
t _o	-0.256	0.228	-1.13	0.297	-0.796	0.282

(Errores estándares de P, Intervalos de Confianza y correlaciones son aproximaciones asintóticas.



FIGURA 24. Función de crecimiento de von Bertalanffy estimada por regresión no lineal simple a partir de las medias retrocalculadas para *L. peru.*

7.10.2. Parámetros de von Bertalanffy mediante método de regresión no lineal ponderada.

TABLA 18. Parámetros de la FCVB estimados por regresión no lineal ponderada y sus valores estadísticos.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Número de observación = 57 F (3, 54) = 20234.57
Modelo	90820.846	3	30273.615	Probabilidad >F = 0.000
Residuos	80.791	54	1.496	R-cuadrada= 0.999 R- cuadrad aiustada= 0.999
Total	90901.637	57	1594.765	Error de estimación = 1.223 Desviación residual = 206 681

Función de crecimiento de von Bertalanffy, longitud promedio a edad t = L ∞ * (1- exp (- k * (edad - t_o)))

Radio	Coeficiente	Error estándar	t	P> t	[Intervalos de Confianza 95 %]	
L∞	105.633	3.861	27.36	0.000	97.891	113.375
k	0.120	0.007	15.20	0.000	0.104	0.136
t _o	-0.567	0.065	-8.73	0.000	-0.698	-0.437

(Errores estándares de P, Intervalos de Confianza y correlaciones son aproximaciones asintóticas.



FIGURA 25. Función de crecimiento de von Bertalanffy estimada por regresión no lineal ponderada a partir de las medias retrocalculadas para *L. peru.*

Con la obtención de los parámetros de crecimiento por el método de la regresión no lineal ponderada, se obtuvo la curva de crecimiento (Figura 25), donde se aprecia que los promedios observados se ajustan a la curva.

7.10.3. Parámetros de la logística mediante método de regresión no lineal simple

Con los valores medios de longitud total por grupo de edades en años se estimó mediante regresión no lineal simple, los parámetros correspondientes para el modelo logístico correspondiente para toda la población capturada en el muestreo. Además se estimó el valor de la longitud asintótico, con lo cual se pudo transcribir el modelo de crecimiento en longitud (Figura 26).

TABLA 19. Parámetros del modelo logístico estimados por regresión no lineal simple y sus valores estadísticos.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Número de observación = 10 F (3, 7) = 4413.96
Modelo	30662.371	3	10220.790	Probabilidad >F = 0.000
Residuos	16.208	7	2.315	R-cuadrada= 0.999 R- cuadrad aiustada= 0.999
Total	30678.580	10	3067.858	Error de estimación = 1.521 Desviación residual = 33.20853

Función de crecimiento de Logístico de 3 parámetros, longitud promedio a edad t = $L \propto / (1 + \exp(-k * (edad - t_{o})))$

Radio	Coeficiente	Error estándar	t	P> t	[Intervalos de Confianza 95 %]	
L∞	75.161	1.537	48.88	0.000	71.524	78.797
k	0.501	0.033	14.92	0.000	0.422	0.581
t _o	3.125	0.126	24.77	0.000	2.826	3.423545

(Errores estándares de P, Intervalos de Confianza y correlaciones son aproximaciones asintóticas.

Se observa que mediante este método el valor de L_{$_{\infty}$} se subestima, sin embargo, cuando el valor de L_{$_{\infty}} es bajo, el otro parámetro que es t₀ es alto, además el índice de correlación es muy significativo (r²=0.999).</sub>$



FIGURA 26. Función de crecimiento de Logística y estimada por regresión no lineal simple a partir de las medias retrocalculadas para *L. peru.*

7.10.4. Parámetros de Logístico mediante método de regresión no lineal ponderada

TABLA 20. Parámetros del modelo logístico estimados por	regresión no
lineal ponderada y sus valores estadísticos.	

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Número de observación = 57 F (3, 54) = 79174.23
Modelo	90880.975	3	30293.658	Probabilidad >F = 0.000
Residuos	20.661	54	0.382	R-cuadrada= 0.999 R- cuadrad ajustada= 0.999
Total	90901.637	57	1594.765	Error de estimación = 0.618 Desviación residual = 128.956

Función de crecimiento de Logístico de 3 parámetros, longitud promedio a edad t = $L \propto / (1 + \exp(-k * (edad - t_0)))$

Radio	Coeficiente	Error estándar	t	P> t	[Intervalos de Confianza 95 %]	
L∞	75.280	0.391	192.19	0.000	74.495	76.066
k	0.499	0.005	85.13	0.000	0.487	0.511
t _o	3.159	0.027	113.73	0.000	3.103	3.215

(Errores estándares de P, Intervalos de Confianza y correlaciones son aproximaciones asintóticas.

En la Figura 27 se observa que los valores de la longitud del pez sobre el número de anillos (o edad en este caso) presentan el mismo comportamiento que la obtenida a partir de los demás métodos.



FIGURA 27. Función de crecimiento de Logística y estimada por regresión no lineal ponderada partir de las medias retrocalculadas para *L. peru.*

7.10.5. Parámetros de Gompertz mediante método de regresión no lineal simple

A partir de la aplicación del modelo de Gompertz para obtener los parámetros de crecimiento, se observa que con este modelo el valor de L∞ es menor (79.37), comparada con el método de von Bertalanffy (Tabla 21). En la Figura 28 es posible observar que el crecimiento sigue una tendencia semejante a las otras curvas obtenidas con los modelos anteriores, en la que a mayor edad se tiene una mayor talla de los individuos.
TABLA 21. Parámetros del modelo de Gompertz estimados por regresión no lineal simple y sus valores estadísticos.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Número de observación = 10 F (3, 7) = 4788.87
Modelo	30663.639	3	10221.213	Probabilidad >F = 0.000
Residuos	14.940	7	2.134	R- cuadrad ajustada= 0.999
Total	30678.580	10	3067.858	Error de estimación = 1.460 Desviación residual = 32.393

Función de crecimiento de Gompertz, longitud promedio a edad t = L ∞ * exp (-exp (- k * (edad - t₀)))

Radio	Coeficiente	Error estándar	t	P> t	[Intervalos de Confianza 95 %]	
L∞	79.373	2.193	36.19	0.000	74.187	84.559
k	0.333	0.026	12.77	0.000	0.271	0.395
t _o	2.163	0.111	19.44	0.000	1.900	2.426

(Errores estándares de P, Intervalos de Confianza y correlaciones son aproximaciones asintóticas.



FIGURA 28. Función de crecimiento de Gompertz y estimada por regresión no lineal simple a partir de las medias retrocalculadas para *L. peru.*

7.10.6. Parámetros de Gompertz mediante método de regresión no lineal ponderada

TABLA 22. Parámetros del modelo de Gompertz estimados por regresión no lineal ponderada y sus valores estadísticos.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Número de observación = 57 F (3, 54) = 54634.55
Modelo	90871.698	3	30290.566	Probabilidad >F = 0.000
Residuos	29.938	54	0.554	R-cuadrada= 0.999 R- cuadrad aiustada= 0.999
Total	90901.637	57	1594.765	Error de estimación = 0.744 Desviación residual = 150.097

Función de crecimiento de Gompertz, longitud promedio a edad t = L^{∞} * exp (-exp (- k * (edad - t_o)))

Radio	Coeficiente	Error estándar	t	P> t	[Intervalos de Confianza 95 %]	
L∞	81.780	0.754	108.38	0.000	80.267	83.293
k	0.305	0.005	53.48	0.000	0.293	0.316
t _o	2.286	0.034	65.41	0.000	2.216	2.356

(Errores estándares de P, Intervalos de Confianza y correlaciones son aproximaciones asintóticas.



FIGURA 29. Función de crecimiento de Gompertz y estimada por regresión no lineal ponderada partir de las medias retrocalculadas para *L. peru.*

Los grupos de edad estimados por medio de la lectura de escamas (Figura 29) reflejan que el incremento en longitud del organismo a través del tiempo (edad) va en disminución, es decir, que el pez en los primeros cuatro años crece rápidamente y a partir de la edad cinco la tasa de crecimiento va en disminución.

Como se mencionó anteriormente se obtuvieron los diez grupos de edad en el sistema (1 a 10). De tal forma que los valores para la longitud asintótica para el caso de von Bertalanffy se ubican entre 90.7 de longitud total, por método de CAST y 91.4 para la regresión no lineal simple; mientras que el índice catabólico (k) fue semejante para ambos métodos (0.17). Lo anterior, pone de manifiesto que el método de la lectura de escamas en peces es preciso, como es el caso del huachinango en valoración.

En lo que respecta a la lectura de escamas, los parámetros de crecimiento estimados por los tres modelos (von Bertalanffy, Logístico y Gompertz) son semejantes, aunque para fines de evaluación de la especie, desde el punto de vista pesquero, el modelo de von Bertalanffy es el que más se utiliza para obtención de las constantes de crecimiento. En el presente estudio se tomó en cuenta el método de CAST (Stamatopoulos-Caddy, 1989) (L₂=90.689 cm de LT, k= 0.1 año⁻¹ y t₀= -0.234) y la ecuación no lineal simple de von Bertalanffy (L₂= 91.36 cm de LT; k= 0.33 años⁻¹ y; t₀=-0.12), pues ambas proporcionaron la mejor correlación y una L₂ que se ajusta en mayor proporción a los datos observados para *Lutjanus peru*.

TABLA 23. Valores correspondientes a los parámetros de los modelos de
crecimiento de von Bertalanffy, logístico y Gompertz, estimados mediante
regresión no lineal, para los 69 organismos capturados comercialmente.

Modelo de crecimiento	L	k	t _o	r ²
von Bertalanffy (RnoLS)*	91.37	0.17	-0.26	0.999
von Bertalanffy (RnoLP)**	105.63	0.12	-0.57	0.999
v. Bertalanffy (CAST)	90.69	0.17	0.23	0.992
Logístico (RnoLS)	75.16	0.50	3.13	0.999
Logístico (RnoLP)	75.28	0.50	3.16	0.999
Gompertz (RnoLS)	79.37	0.33	2.16	0.999
Gompertz (RnoLP)	81.78	0.31	2.29	0.999
*RnoLS: Regresión no lineal simple	** RnoLP: Regr	esión no lineal po	onderada	

TABLA 24. Parámetros de crecimiento de Lutjanus peru obtenidospor varios autores en diferentes áreas.							X A	
			Р	arámetro	os		·	
Zona de Estudio	Autor(es)	Método	L __ (cm)	k (año ⁻ ¹)	t₀ (años)	Longevidad (años)	ø	GU S
BCS	Castro (1981)	E	66.71	0.23	0.54	13	3.01	(A Contraction of the contracti
La Paz, BCS	Rocha y Muñoz (1993)	0	90.80	0.13	-0.03	21	2.95	
SE-BCS	Rocha-Olivares (1998)	0*	97.32	0.11	-0.31	23	3.03	
Jal	González-Ochoa (1997)	0	70.50	0.009	0.50	34	2.65	
Jal	Espino-Barr et al. (2006)	FT	121.79	0.14	-0.04	21	3.33	
Col	Cruz-Romero et al. (1996)	FT	81.73	0.15	0.02	19	2.81	
Col	Espino-Barr et al. (1998)	FT	69.72	0.13	-0.02	23	2.83	
Col	Espino-Barr et al. (1998)	E	79.43	0.10	-0.03	30	2.80	
Mich	Ruiz-Luna et al. (1985)	E y FT	80.50	0.19	0.75	17	3.09	
Mich	Madrid (1990)	E	81.50	0.19	0.78	17	3.10	
Mich	Hdez-Montaño et al. (2006)	FT*	76.50	0.18	-0.75	16	3.21	
Mich	Gallardo-Cabello et al. (2010)	E	81.12	0.24	-0.39	12	3.20	
Mich, Gro y Oax	Aguilar-Salazar (1986)	E	85.02	0.11	-1.57	26	2.90	
Gro	Rojas-Herrera (2001)	0	92.51	0.09	-1.66	31	2.90	
Gro	Rojas-Herrera (2001)	FT	80.00	0.13	-0.66	21	2.90	
Gro	Cabrera-Mancilla et al. (2006)	FT	82.50	0.08	-2.53	33	2.70	
Gro	Santamaría y Chávez (1999)	FT	80.80	0.14	0.23	22	2.96	
Gro	Este trabajo (RnoLS)**	E	91.36	0.17	-0.25		3.15	
Gro	Este trabajo (CAST)**	E	90.69	0.17	-0.23	25	3.14	
Oax	Ramos-Cruz (1996)	FT	61.80	0.15	-0.30	19	3.31	

* Longitud estándar; E (Escamas); O (Otolitos); FT (Frecuencia de tallas).

** De acuerdo con los métodos aplicados, los modelos de RnoLS y CAST fueron los que tuvieron un mejor ajuste a los datos observados para L. peru.

510

Las estimaciones de edad y crecimiento para *Lutjanus peru* se han obtenido tanto por métodos directos (escamas y otolitos) e indirectos (distribución de frecuencias). En la tabla 24 se resumen los resultados de los parámetros de crecimiento (L^{∞} , k y t_0) obtenidos mediante el modelo de la función de crecimiento de von Bertalanffy (FCVB), calculados por diferentes autores para diferentes lugares, principalmente en el Pacífico mexicano, incluyendo los del presente trabajo.

Finalmente, las ecuaciones que representan el crecimiento de *L. peru* en longitud total, de acuerdo a los métodos de Regresión no lineal simple (v. Bertalanffy) y CAST (Stamatopoulos-Caddy, 1989), y al sustituir los valores de L ∞ , k y t_o, fueron:

Regresión no lineal simple de von Bertalanffy

Método CAST (Stamatopoulos-Caddy, 1989)

7.11. Crecimiento en peso

De relación entre talla-peso (b=2.974), además del valor de la longitud asintótica o infinita obtenida por la regresión no lineal simple (91.361) se determinó el peso asintótico para el peso total (W_.):

 $P_{\star} = 9833.9[1 - e^{-0.1668(t + -0.2567)}]^{2.974}$

VIII. Discusión

8.1. Muestreo

La actividad pesquera de los pargos, entre ellos el huachinango, se lleva a cabo durante todo el año, sin embargo existen varios factores que dificultan su captura, entre ellos fenómenos hidrodinámicos: mareas, corrientes, oleaje; la temporada de lluvias y los procesos de mezcla horizontal y vertical debido al acercamiento de agua fría proveniente del Golfo de California (masa de agua fácilmente identificada por su baja salinidad, bajas temperaturas y alto contenido de oxígeno disuelto), lo que propicia el desplazamiento del stock hacia los caladeros muy cercanos a la costa, mientras que con la entrada de aguas con temperaturas cálidas, provenientes de la Corriente de Costa Rica, se observa un alejamiento de la costa y hacia las zonas más profundas, que es donde permanecen los especímenes de tallas más grandes (Morales-Nin, 1994; Cabrera-Mancilla *et. al.* 2006). Otro aspecto que influye en la captura del recurso es el estrés por las gónadas en reproducción, ya que el organismo no toma la "carnada" del anzuelo, lo cual se

CAPÍTULO 7. Edad y crecimiento del huachinango (*Lutjanus peru*) por marcas de crecimiento en escamas en las costas de Guerrero, México

traduce en bajos volúmenes de captura, lo anterior sugiere que esto posiblemente se deba a que la gónada ocupa toda la cavidad abdominal e impide la ingestión de alimento y optan por utilizar las reservas, principalmente los fosfolípidos (vitelogenina que es acumulado dentro del oocito bajo la forma de glóbulos de vitelo) producidos en el hígado o bien reabsorber los ovocitos que no llegaron madurar a tiempo (Lucano-Ramírez, 1998). Sparre y Venema (1997) plantean que las embarcaciones comerciales son siempre hasta cierto punto sesgadas de la población, ya que los pescadores nunca intentan tomar muestras al azar del stock, lo cual se debe a que ya cuentan con caladeros donde los peces suelen ser más abundantes, de tamaño comercial y el arte de pesca está dirigido a la especie objetivo. Además, a diferencia de las comunidades en zonas templadas, en las regiones tropicales son característicamente diversas con un gran número de especies y complejas interacciones, particularmente la fauna de peces también se apega a esta generalización como las han llamado varios autores (Espino-Barr, 1998; Santamaría y Chávez, 1999; Rojas-Herrera, *et al.,* 2004; Chiappa-Carrara *et al.,* 2004; Cabrera-Mancilla *et al.* 2006), resultado que conlleva en algunos casos, a que las capturas no reflejen un rendimiento o beneficio al pescador, debido a que la captura de cada una de las especies resulte poco abundante, a pesar de su elevado esfuerzo.

8.2. Relación peso total – longitud

La longitud está a menudo íntimamente relacionada con otras características tales como: peso, edad, madurez, etc. La relación talla-peso también es usada para conocer la forma del cuerpo como reflejo de los cambios fisiológicos que sufre a través de su vida (Jiménez-Badillo, 1996).

A partir de los datos de los muestreos efectuados a lo largo del litoral de Guerrero, el huachinango presentó una tendencia potencial con valores muy altos del coeficiente de determinación. Los valores obtenidos del coeficiente "b" por medio del método de regresión lineal evidenció un crecimiento relativo alométrico negativo, minorante o hipoalométrico (b= 2.974), lo que significa que Lutianus peru es menos pesado para la longitud que tiene en las primeras etapas de su crecimiento y, posteriormente disminuye en la etapa adulta (Ricker, 1975). Los valores obtenidos se ven apoyados por un índice de correlación 0.97 y este mismo tipo de crecimiento relativo ha sido reportado por Lucano-Ramírez et al., (2001) en el estado de Jalisco que indicaron que la especie tiene un comportamiento alométrico con una pendiente (b=2.95); por su parte, Hernández-Montaño et al., (2006) reportó una relación de tipo alométrico negativo (hipoalométrico) con un valor de pendiente de b=2.787 para el estado de Michoacán; los resultados generados por Santamaría y Chávez (1999) mencionan un crecimiento relativo hipoalométrico (b=2.27); Cabrera-Mancilla et al. (2006) reportaron una pendiente b=2.94 para individuos del estado de Guerrero y consideraron que el crecimiento relativo tiende a una isometría; por su parte Rojas-Herrera (2001) graficó la longitud estándar contra peso total obteniendo una pendiente b=2.84 que indica un crecimiento relativo hipoalométrico para la misma área.

Sin embargo, lo anterior difiere con lo reportado para esta especie por Rocha-Olivares (1998) (b=2.905); Saucedo-Lozano *et al.*, (1998) para la misma especie (b = 3.04) en Jalisco y Colima; Gallardo-Cabello *et al.*, (2010) con una pendiente (b = 2.82) en Michoacán y Aguilar-Salazar (1986) (b=2.88) en el estado de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, señalan que el tipo de crecimiento relativo presentado por estos organismos resultó ser de tipo isométrico.

Es difícil establecer la razón de las diferencias entre los resultados. El crecimiento relativo isométrico indica un aumento proporcional en longitud y peso o que el pez conserva la misma forma a medida que crece; por otro lado, el crecimiento relativo hipoalométrico sugiere que el pez llega a crecer más en longitud que en peso. La forma del cuerpo de L. peru puede justificar el tipo de crecimiento hipoalométrico; sin embargo, el número de muestras y la amplia gama de medidas biométricas de los organismo en el que se basan los análisis, dificultan la comparación entre resultados. Bagenal y Tesch (1978) señalan que pueden existir diferencias en la relación longitud-peso a nivel de sexo, madurez, estación e incluso la hora del día como consecuencia del llenado estomacal. Por consiguiente, los cambios en el valor de "b" ocurren entre fases de desarrollo, en la primera madurez sexual y con cambios ambientales importantes. A este respecto también otros autores relacionan los factores externos propios del área al que pertenecen (Tresierra y Culquichicon 1993; Rojas-Herrera, 2001; Gómez et al., 2002 y Sarabia-Méndez, 2007), mientras que Margalef (1989) y Cushing (1975) indican que las diferencias de las relaciones se deben a la época del año, desove, sexo, a factores genéticos de las especies, hábitat, etc. Por su parte, Pauly y Caddy (1985, citado en Salgado-Ugarte et al., 2005) sostienen que la forma en la cual las muestras se toman y miden tendrá un impacto significativo en los resultados.

8.3. Longitud total vs el incremento del radio de la escama

La regresión aplicada a los datos de la longitud total del pez contra el radio de la escama determinó que existe una relación directa entre las variables al obtener un valor de r^2 =0.90, con lo cual los datos se validaron para obtención de las longitudes retrocalculadas para cada grupo de edad. Esta relación coincide con lo que reportó Espino-Barr (1996) donde discutió que el crecimiento de la escama se considera proporcional al tamaño del pez, por lo que se puede utilizar con métodos de retrocálculo en la determinación de edades anteriores. Por su parte Rocha-Olivares y Gómez-Muñoz (1993) determinaron que en la relación entre el tamaño del otolito y la talla del pez hay una relación alométrico, al obtener una r^2 = 0.97 y menciona que el otolito es una estructura que sirve para determinar la ecuación de von Bertalanffy.

Rojas-Herrera (2001) utilizó el retrocálculo de las longitudes pretéritas del huachinango, con lo que obtuvo las ecuaciones de regresión entre el radio de los otolitos y la longitud del pez; con el nomograma construido se reflejó una relación y la proporcionalidad directa entre ambas variables.

De acuerdo a Pauly (1967, en Aguilar-Salazar, 1986) la aplicación de la fórmula de Lea con la corrección de Lee, puede ser usada con resultados satisfactorios en los estudios de crecimiento de los Lutjánidos.

La relación entre el crecimiento de la escama con respecto al tamaño del pez mostró una tasa directamente proporcional, esto es, conforme el organismo crece en tamaño, sus escamas tienden a crecer en la misma proporción, lo que valida la confiabilidad de utilizar las escamas para determinar la edad y puede ser utilizado para retrocalcular la longitud a edades pretéritas.

8.4. Análisis de escamas

Las escamas y los otolitos son dos de las estructuras que más se utilizan para la determinación de edad (Holden y Raitt, 1975). La relación entre el crecimiento de la escama con respecto a la longitud del organismo mostró un crecimiento directamente proporcional, lo cual indicó que conforme el organismo incrementa de tamaño, sus escamas crecen a un tamaño de crecimiento igual, lo que comprueba la confiabilidad de esta estructura en la interpretación de la edad (Campana y Neilson, 1985).

Castro (1981); Aguilar-Salazar (1986); Espino-Barr (1998), Sarabia-Méndez (2007) y Gallardo-Cabello *et al.*, (2010) remarcaron que las escamas ctenoides circulares de la especie *Lutjanus peru* son adecuadas para la determinación de la edad y crecimiento, aparte de que presenta una proporcionalidad entre la magnitud de la escama respecto a la longitud del pez.

Por lo anterior, en este trabajo se utilizó un método directo por ser el que mejor refleja de una manera más asertiva a la edad y crecimiento (Gómez-Márquez, 1994). Utilizar las escamas para la determinación de edad se considera muy práctico, por su facilidad en la remoción y almacenaje; otra ventaja de esta técnica se basa en que los peces no necesitan ser sacrificados (Salgado-Ugarte *et al.,* 2005); otra factibilidad es que se puede trabajar con un muestreo menor, que aloja alta representatividad a diferencia del método indirecto (frecuencia de tallas) que obliga a trabajar con muchos datos (Espino-Barr *et al.* 2008b). Sin embargo, la desventaja es que la observación de los anillos en *L. peru* es difícil, ya que en individuos de tallas mayores éstos no están claramente definidos, probablemente debido a una calcificación deficiente o a que la variación de los factores que influyen en la diferente incorporación de minerales durante el crecimiento a lo largo del año no es tan marcada (Torres-Aguilar, 2002).

De las tallas registradas entre 18.9 a 84 cm de *LT* en *Lutjanus peru* fue posible identificar los anillos de crecimiento, con los que fue posible determinar su edad. En el recuento de los anillos de crecimiento en escamas, se logró reconocer 10 anillos con una distancia media para cada

organismo de: 18.90, 27.40, 35.94, 45.24, 56.67, 60.57, 64.21, 67.31, 71.68 y 74.54 cm de *LT*. Cabe destacar que la edad cero tuvo intervalo de 14.2 a 18 cm *LT*, por lo que este trabajo a la vez de contar con una muestra biológica que corrobore la ecuación obtenida de L_{∞} von Bertalanffy (1938), aporta la talla mínima (cm *Ls* y *Lt*) encontrada en Jalisco y Colima (Tabla 26).

Se puede observar que la talla promedio a través de un tiempo en una especie explotada comercialmente es uno de los indicadores más simples del nivel de presión que se ejerce en una pesquería en particular (Espino-Barr *et al.* 2008b). Lo anterior se observó en los datos de las muestras obtenidas de escamas y datos biométricos, ya que la mayor parte de ellos corresponden a las edades uno a tres, que equivalen a intervalo de tallas entre los 18 y 36 cm *LT*, por lo que se confirma que la pesca está dirigida a estas tallas, entre las cuales están las que corresponden al producto de "orden" o "platillero".

El recuento de los anillos de crecimiento en escamas, permitió establecer diez grupos de edad (1+, 2+, 3+, 4+, 5+, 6+, 7+, 8+, 9+ y 10+.), mientras que por el método de Bhattacharya (frecuencia de tallas) se determinaron nueve grupos de edad, de los cuales, siete coinciden con los grupos de edad estimados por análisis lepidológico. Estos resultados son similares a los obtenidos por Aguilar-Salazar (1986) que en su estudio definió siete grupos de edad para *L. peru* en las costas de Michoacán, Guerrero y Oaxaca, mediante el recuento de anillos en escamas; asimismo, Santamaría-Miranda y Chávez (1999) reportaron nueve grupos de edades con lecturas en otolitos; por su parte Gallardo-Cabello *et al.*, (2010) registraron cuatro marcas de crecimiento en escamas en *L. peru* en las costas de Michoacán.

7000	Autor	Talla			
2011a	Autor	Mínima (cm)	Máxima (cm)		
Colima	Cruz-Romero <i>et al.,</i> (1991)	10 (Ls)	71.5 (Ls)		
Colima	Espino-Barr et al., (1998)	9 (Lt)	71.5 (Lt)		
Jalisco	Lucano-Ramírez <i>et al.,</i> (2001)	15 (Lt)			
Jalisco	Espino-Barr <i>et al.,</i> (2003, 2004)	22 (Ls)	74 (Ls)		
Guerrero	Presente trabajo	14.2 (Lt)	84 (Lt)		

TABLA 26. Tallas mínimas y máximas registradas para Lutjanus perucapturados con diferentes artes de pesca.

CAPÍTULO 7. Edad y crecimiento del huachinango (*Lutjanus peru*) por marcas de crecimiento en escamas en las costas de Guerrero, México

Respecto al uso de la distribución de frecuencias de tallas por el método de Bhattacharya, Cabrera-Mancilla, *et. al.* (2006) determinaron ocho grupos de edad para *L. peru* en Guerrero, lo cual se atribuye a que los datos disponibles estuvieron en función de organismos con tallas comerciales de mayor demanda en el mercado. En el presente trabajo ya se contó con información de organismos de tallas de 14.3 a 86 cm de *LT*; el hecho de contar con información de organismos de tallas menores se debe a que se utilizan para proyectos de engorda de huachinango en jaulas flotantes, mientras que los individuos de tallas mayores a 50 cm de *LT*, corresponden a organismos que se acercan a la costa en temporada de agua fría (migración o "corrida") por la presencia de la jaiba y calamar, de los cuales se alimenta, incluso los pescadores capturan estos organismos para utilizarlos como carnada (observación en campo y comunicación personal). Derivado de lo anterior, en el presente estudio se contó con un espectro más amplio de tallas, lo cual permitió identificar nueve grupos con el método indirecto.

	Método				
Grupo	Directo (<i>LT</i> cm)*	Indirecto (<i>LT</i> cm)**			
1	18.90	18.70			
2	27.40	23.36			
3	35.94	36.55			
4	45.24	45.85			
5	56.67	55.89			
6	60.57	62.83			
7	64.21				
8	67.31				
9	71.68	71.12			
10	74.54				
11		78.31			
12		84.67			

TABLA 27. Tallas medias por edad.

Esta información se pudo comparar con grupos de edad obtenidos a partir del método directo por medio de la lectura de anillos de crecimiento en escamas, con el que se determinaron diez grupos de edad. Al hacer la comparación de los grupos de edad obtenidos por ambos métodos (Tabla 27) se estableció que las longitudes medias estimadas de los primeros siete grupos coinciden para

ambos métodos, mientras que en los casos de los grupos ocho a diez que corresponden a tallas mayores no hay coincidencia. Lo anterior se debe a que la lectura de anillos en organismos de tallas superiores a los 80 cm se hace cada vez más complicada debido a que los anillos se sobreponen y la mayor parte de las escamas están regeneradas. Por otro lado, en el análisis de frecuencia de longitudes se tiende a agrupar las clases de edad mayores al estar cercanas entre sí. En tales casos es impreciso distinguir las edades más grandes y el mejor enfoque pudiera suponer que todos los peces más allá de cierta edad forman un solo grupo (Salgado-Ugarte *et al.,* 2005).

El hecho de que se haya podido contar con información de organismos de tallas menores se debe a que los individuos pequeños que se acercan a la costa se pueden utilizar en proyectos de engorda de huachinango en jaulas flotantes, por lo que se aprovechó la ocasión para medir y tomar muestras de sus escamas. Mientras que los de tallas mayores a 50 cm de LT, son organismos que se aproximan en grandes cardúmenes en temporada de agua fría y por la presencia de jaiba o calamar, fenómeno al que los pescadores llaman "corrida" y que constituye una migración del huachinango para aprovechar estas presas para alimentarse (observación en campo y comunicación personal).

8.5. Índice de Incremento Marginal

En investigaciones sobre edad que incluyen la lectura de cualquier estructura dura de los peces como los otolitos y escamas principalmente, es de suma importancia la validación de la aparición de las marcas de crecimiento (Beamish y McFarlane 1987).

El análisis del incremento marginal permitió establecer la formación de un anillo de crecimiento anual. Las medianas de los incrementos marginales (IM) mensuales mostraron el valor mínimo en el mes de abril, lo cual permitió establecer la formación del anillo de crecimiento. Las causas de esta periodicidad son imprecisas; algunos autores los relacionan con los periodos de freza (Manooch III, 1987) y otros con los cambios de la temperatura del agua (Espino-Barr *et al.* 1998 y Gallardo-Cabello *et al.* 2010). Dado que los anillos de crecimiento están presentes en peces inmaduros, es probable que la formación siga un ritmo interno de crecimiento sincronizado con las oscilaciones estacionales del medio. Lo anterior se sustenta con los datos de temperatura superficial del mar (Figura 5), ya que los meses de febrero y marzo se presentan generalmente temperaturas bajas debido a la entrada del agua fría del norte hacia el sur y en el mes de mayo, esta porción de agua comienza a retirarse por efecto de la entrada de agua cálida proveniente del sur. Esto sugiere que la formación de la banda obscura en la escama se puede dar alrededor del mes de abril, cuando las temperaturas superficiales del mar son menos cálidas.

A este respecto, Morales-Nin (1989) ha demostrado la existencia de marcas periódicas en las estructuras duras, que reflejan la dinámica anual del ritmo de crecimiento de los peces tropicales.

CAPÍTULO 7. Edad y crecimiento del huachinango (*Lutjanus peru*) por marcas de crecimiento en escamas en las costas de Guerrero, México

A su vez, los resultados obtenidos en el presente trabajo coinciden con otros estudios realizados en *Lutjanus peru*, donde se menciona que la formación de anillos es anual y esto ocurre en los meses menos cálidos, donde el descenso de la temperatura es un factor que influye en la formación de la marca (Espino-Barr, 1998; Rojas-Herrera, 2001 y Gallardo-Cabello *et al.* 2010).

Existen otros estudios indicando que la formación del anillo se relaciona con las épocas de desove, tales como el de Ruíz *et al.* (1982) y Madrid (1990), durante el seguimiento de formación de anillos a través del año, definieron dos periodos principales de deposición, uno en mayo y otro en diciembre.

De acuerdo con Aguilar-Salazar (1986) en Guerrero, Oaxaca y Chiapas los periodos de reproducción del huachinango se presentan entre abril-mayo (pico de desove masivo) y a los meses de septiembre-diciembre (desove menor), por lo que determinó que la formación de anillos de crecimiento en *Lutjanus peru* es coincidente con eventos reproductivos principalmente. Rocha-Olivares y Gómez-Muñoz (1993) mencionan que en B. C. S. en el mes de julio ocurre la época en que se marca una línea con los otolitos que coincide con la reproducción. B. C. S.

Así mismo, Cruz-Romero *et al.*, (1991); Madrid (1990); Ruíz *et al.*, (1982) mencionan que la formación de los anillos de crecimiento en *Lutjanus peru*, posiblemente esté relacionada con las variaciones del metabolismo causadas por el desarrollo gonadal y los gastos de energía producto del desove, debido a que el menor valor de incremento marginal coincide con la época de reproducción. A este respecto, y de acuerdo con los datos procesados en el presente trabajo se contó con individuos inmaduros de *L. peru* que se agrupan en las edades uno a tres, los cuales corresponden a individuos que no han madurado sexualmente (Rojas-Herrera, 2004), por lo que es más probable que las marcas anuales se relacionan con cambios de temperatura (Espino-Barr, 1998; Rojas-Herrera, 2001; Gallardo-Cabello *et. al.* 2010).

8.6. Estimación de los parámetros por medio de los modelos von Bertalanffy, Gompertz y Logístico

El estudio del análisis de escamas permitió la identificación de 10 años de edad en *Lutjanus peru*. Los primeros anillos de crecimiento fueron muy notorios, sin embargo la amplitud de los anillos de crecimiento fue en disminución conforme aumentaba la edad, haciendo cada vez más delicada su lectura.

La edad y crecimiento del huachinango ha sido estimado a partir del análisis de frecuencias en longitud (Ruíz-Luna *et al.* 1985; Cruz-Romero *et al.* 1996; Espino-Barr *et al.* 1998; Santamaría y Chávez, 1999; Rojas-Herrera, 2001; Hernández.-Montaño *et al.* 2006; Cabrera-Mancilla *et al.* 2006;

Espino-Barr *et al.* 2006), de otolitos (Rocha-Olivares y Gómez-Muñoz, 1991; González-Ochoa, 1997; Rocha-Olivares, 1998; Rojas-Herrera, 2001) y escamas (Castro, 1981; Ruíz-Luna *et al.* 1985; Aguilar-Salazar, 1986; Madrid, 1990; Espino-Barr *et al.* 1998; Sarabia-Méndez, 2007 y Gallardo-Cabello *et al.* 2010).

Al calcular los parámetros de crecimiento del huachinango, utilizando los grupos de edad obtenidos por los métodos tradicionales (Ford-Walford, 1947, Gulland, 1969 y Beverton-Holt, 1957) se obtuvo un valor de L_{∞} = 95.35 cm LT, mientras que al aplicar el método de Stamatopoulos y Caddy se contó con una L_{∞} =90.69 cm LT. Mediante el método de regresión no lineal simple se generó una L_{∞} = 91.32 cm *L*T y a partir del método de regresión no lineal ponderada proporcionó una L_{∞} = 105.63 cm *L*T. Por lo anterior, las variables que mejor ajustaron a la biología de la especie y a lo reportado por otros autores, aquellas obtenidas por el método de Stamatopoulos y Caddy (1989) y de regresión no lineal simple fueron las que mejor explican el comportamiento de la especie.

De acuerdo a Leonce-Valencia y Defeo (1994) y Leonce-Valencia (1992) el método de CAST (Stamatopoulus y Caddy, 1989) para el modelo de von Bertalanffy permite obtener parámetros con un buen ajuste y las estimaciones poseen menor variabilidad y más semejantes a aquellas reportadas en la literatura.

Lo anterior se consiguió a partir de la comparación de los valores de la ecuación de von Bertalanfy de crecimiento con los reportados en otros estudios para la misma especie, observando que si bien no son exactamente iguales si presentaron ciertas aproximaciones, en particular en relación al valor del coeficiente catabólico *k*.

Cabe mencionar que a pesar de que se obtuvo una longitud infinita ($L_{a}=91.365$ cm de *LT*) a partir del método de lectura de escamas, durante los muestreos de las capturas comerciales se obtuvieron individuos de 86.5 cm *LT*; aunque, por comunicación personal con los pescadores, se ha capturado organismos con una talla máxima de 90 cm de longitud total, talla que coincide con lo reportado por Ficher *et al.*, (1995) para el Pacífico Central y Espino-Barr (2000) quien reporta una longitud máxima de 91 cm LT en la costa de Colima, el cual se ajusta completamente a la curva de crecimiento aquí propuesta para esta especie.

Los parámetros del crecimiento obtenidos por otros autores (Tabla 23), usando estructuras diferentes para la determinación de la edad, son similares a los de este estudio. Sin embargo, estos difieren de los resultados de Espino-Barr *et al.*, (2006) por ser superiores e inferiores por Castro (1981); Ramos-Cruz (1996) y González-Ochoa (1997) respecto al parámetro de L ∞ .

A este respecto, Sparre y Venema (1997) mencionan que los parámetros de crecimiento de una especie en particular pueden variar de una población a otra e incluso, pueden crecer de forma diferente, según las condiciones ambientales.

CAPÍTULO 7. Edad y crecimiento del huachinango (*Lutjanus peru*) por marcas de crecimiento en escamas en las costas de Guerrero, México

El coeficiente catabólico de crecimiento determinado por el método de regresión no lineal simple ($k = 0.1668 \text{ año}^{-1}$) y mediante el método de Stamatopoulos y Caddy ($k = 0.170 \text{ año}^{-1}$), indican que la especie posee un crecimiento moderadamente lento, coincidiendo con lo señalado por Ruíz-Luna *et al.* (1985); Madrid, (1990); Hernández-Montaño *et al.* (2006).

A su vez, Gulland (1971, citado en Salgado-Ugarte *et al.*, 2005), señala que el coeficiente de crecimiento (k) de la ecuación de von Bertalanffy guarda cierta proporcionalidad con la mortalidad natural de la población, es decir, un pez que alcanza la longitud asintótica rápidamente (k elevado), es probable que tenga una mortalidad natural elevada, mientras que un pez que crece lentamente (*k* bajo), es posible que tenga una baja mortalidad natural.

La curva de crecimiento para el huachinango (*L. peru*) aquí observada se puede interpretar como una especie longeva debido a que la tasa de crecimiento es baja (k =0.1668), pues los valores altos en la L_∞ son determinados por una constante k baja (Sparre y Venema, 1997). Lo anterior se corrobora con la longevidad estimada por el método de Stamatopoulos-Caddy (1989) que fue de 24.68 años.

Con respecto al valor de *k*, la revisión bibliográfica revela que hay diferencias en las tasas de crecimiento obtenidas para *L. peru* en diferentes localidades. Lo anterior se debe, muy probablemente, a la variación de la temperatura, la latitud a la cual se encuentran los organismos y a aspectos reproductivos propios de la especie. Estas diferencias en el índice catabólico, a su vez se verán reflejadas en la longevidad, talla de primera captura, índice de mortalidad natural de dos o más poblaciones en un área determinada (Sarabia-Méndez, 2007).

Taylor (1958, 1959, 1960, citado en Wiff y Quiñones, 2004) ajustó a la ecuación de von Bertalanffy a datos de crecimiento para el bacalao (*Gadus callarias*) y dos bivalvos (*Siliqua patula y Cardium corbis*) en diferentes latitudes, encontrando una alta correlación entre la constante de crecimiento k y el promedio anual de la temperatura.

Las diferencias encontradas entre los parámetros de crecimiento estimados para la especie de *Lutjanus peru* en diversas áreas de distribución se deben a primera instancia por el tipo y época de muestreo, latitud, método y tallas utilizadas para la determinación los valores de las constantes; así como trama trófica y el ecosistema que ocupan (Cushing, 1975).

Es importante destacar que éste es el primer reporte que existe sobre la edad y crecimiento del huachinango (*L. peru*) en el estado de Guerrero basado en lectura de escamas, lo cual sienta un precedente para la especie, ya que estas estimaciones presentan un soporte sólido.

De los tres métodos (von Bertalanffy, Gompertz y Logística), aplicados a los datos obtenidos por las lecturas de escamas, con el modelo de von Bertalanffy, se obtuvo un mejor ajuste de la L ∞ ,

además de un alto coeficiente de determinación (r^2 =0.999). Este modelo, von Bertalanffy, es el más utilizado para la determinación del crecimiento en poblaciones pesqueras debido a que satisface los tres más importantes criterios: a) significado acorde con el proceso biológico del crecimiento, b) exhibe un mejor ajuste a la mayoría de las poblaciones de peces y c) permite incorporar fácilmente sus constantes a modelos de rendimiento y evaluación pesquera (Csirke, 1989; Sparre y Venema, 1989; King, 1995). Además, sus parámetros se pueden incorporar en la ecuación de rendimiento pesquero de Beverton y Holt (1957).

Por otro lado, el modelo de Gompertz se ajusta mejor al crecimiento en moluscos de acuerdo con Weymouth y Millan (1931), y siempre es una curva de forma sigmoidea (S), presentando un punto de inflexión (pi) dado por Ricker (1975). Esta función de crecimiento es más eficaz en la descripción del crecimiento durante las etapas de larva y juvenil de los peces (Lomes-Olmo, 2002). Finalmente, la función logística proporciona una representación matemática de la ley autocatalítica fisiológica y química. Esta función plantea que la talla evoluciona con el tiempo y que ha sido ocasionalmente usada para describir el crecimiento individual de un pez (Moreau, 1987).

8.7. Relación entre la temporada de captura y la Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Los factores ambientales abióticos (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, profundidad, turbidez, tipo de substrato, etc.), los procesos biológicos (competencia y depredación) y las características inherentes a las poblaciones (patrones de reclutamiento y respuestas tróficas) juegan un papel importante en la determinación de la abundancia de peces (Castillo-Rivera, 1995; Castillo-Rivera y Zárate Hernández, 2001); sin embargo, entre las diferentes variables que afectan la distribución de los recursos acuáticos, la temperatura superficial del mar es considerada una de las más relevantes (White y Walker 1974; Espino-Barr *et al.* 2008b).

Las costas de Guerrero donde se desarrolla la pesquería artesanal del huachinango, se ubica dentro de la región oceanográfica denominada como Pacífico Tropical Mexicano (Lavín *et al.* 2001), donde existe la influencia de las corrientes y de cambios asociados a la Temperatura Superficial del Mar (TSM). De acuerdo a Madrid *et al.* (1997) estos factores son considerados como los eventos más importantes que tienen influencia sobre la estructura de las comunidades de peces en el Pacífico Central Mexicano. De igual manera, Morales-Nin (1994) afirma que estas dos corrientes aumentan el afloramiento, la productividad, la disponibilidad de alimentos y el contenido de oxígeno, lo cual podría explicar el crecimiento más rápido en los peces.

Por otro lado, en la región Centro del Pacífico mexicano, Madrid (1999, citado en Espino-Barr *et al.* 2008b) menciona que existen cambios en las abundancias con respecto a las variaciones interanuales: durante el verano aumenta la riqueza específica y durante el invierno se incrementa

la abundancia. Cabe señalar que la abundancia de algunas especies tiene una relación positiva directa con la TSM; tal es el caso del dorado (*Coryphaena hippurus*) en donde las tasas de captura más altas se presentaron durante los meses más cálidos (julio a octubre) para el estado de Sinaloa (Zúñiga-Flores, 2002).

Entre 1992 y 1993 González-Becerril (1997 *In* Espino-Barr *et al.* 2008b) determinó que en la bahía de Manzanillo existe una relación funcional entre la abundancia de la captura artesanal de peces y el hidroclima.

En relación a los cambios biológicos con respecto a la TSM en el estado de Guerrero, Castro (1991) indica que el primer periodo de reproducción ocurre por la disminución de la temperatura, y el segundo por el efecto de la época de lluvias. Por el contrario, Santamaría-Miranda *et al.*, (2003) observaron que el desove del huachinango se lleva a cabo entre los 27.5 y los 30.5 °C, lo cual correspondió a la época en la que las temperaturas fueron más altas durante un ciclo anual en la zona por la influencia de la corriente de la Contracorriente Norecuatorial. Así también, Sarabia-Méndez (2007) indicó que el máximo desove de *L. peru* en Michoacán, fue en los meses de octubre (secas) y abril (Iluvias), cuando la temperatura superficial del mar se encontraba entre los 27 y 28 °C. Por su parte, Rojas-Herrera *et al.*, (2000; 2001) reportaron que el principal pico de desove para *L. peru* en el litoral de Guerrero ocurre dos veces al año: junio (época de Iluvias), cuando la temperatura del agua alcanza un máximo y la producción primaria neta es muy alta ya que se asocia con una surgencia costera y el otro periodo reproductivo ocurre en diciembre (periodo seco).

De acuerdo con Holden y Raitt (1975) los valores de la temperatura influyen mucho en la distribución geográfica de una especie, ya que los peces se agrupan porque el alimento se acumula en la zona de afloramiento o divergencia.

Por otra parte, la precipitación pluvial pudiera inferir de manera directa, debido a que arrastra una gran cantidad de nutrientes, vía fluvial, que se incorporan en la cadena biológica, por lo que se espera una gran cantidad de alimento favoreciendo el crecimiento de alevines Santamaría-Miranda *et al.*, (2003).

Con lo anterior en el área de estudio se ve influenciada de enero a abril cuando hay una disminución de las temperaturas superficiales y la circulación oceanográfica, hecho que se relaciona con la presencia de *Lutjanus peru* cerca de las costas, por lo que hay un incremento en las capturas. Mientras que en los meses de mayo a diciembre las condiciones cambian debido a la influencia de agua cálida proveniente de la Corriente Costera de Costa Rica, que tiene como consecuencia una disminución en la disponibilidad del recurso, debido a que éste se dirige a zonas más profundas, por lo hay una reducción del esfuerzo de pesca. Lo anterior se agudiza con la temporada de lluvias y ciclones, temporada en la cual casi no existe esfuerzo dirigido al huachinango.

IX. Conclusiones

S.

- La utilización de dos diferentes artes de pesca permitió tener una visualización más completa de la dinámica de la población.
- El análisis de regresión potencial entre longitud y peso totales presentó un coeficiente de determinación de 0.97 y la ecuación que representa esta relación es: y=0.0145x^{2.974}, lo cual indicó un crecimiento relativo hipoalométrico.
- Las escamas observadas del huachinango (*L. peru*) fueron de tipo ctenoide, por su forma redondeada y su borde superior dentado. El número de radios varió de 12 a 16.
- La relación longitud total radio de la escama indicó una relación lineal entre estas dos variables con un alto índice de correlación ($r^2 = 0.93$), lo cual validó el uso de esta estructura para determinar la edad en *Lutjanus peru*.
- El índice de incremento marginal que se determinó en abril, coincide con el término del periodo de agua "fría" y el proceso de reproducción con lo que se dedujo que la formación de los anillos de crecimiento anuales pudieran corresponder a un periodo de disminución de metabolismo por el periodo de desgaste energético provocado por el desove y por tanto la formación del anillo en este mes, lo cual significaría que la población de *L. peru* tiene un periodo de vida de 24.7 años.
- Mediante el método indirecto por medio de distribución de frecuencias se pudieron identificar nueve grupos correspondientes a nueve cohortes, respectivamente y donde los grupos 2 y 3 (23.36 y 36.55 cm *LT*), recaen el 50.9 y 22.4% de la captura.
- A partir de la lectura de anillos de crecimiento en escamas se detectaron diez grupos de edad que van de 0 a 10 años con intervalos de 1.0 años: 18.90, 27.40, 35.94, 45.24, 56.6717, 60.57, 64.21, 67.31, 71.68 y 74.54 cm de LT.
- Las ecuaciones del modelo de von Bertalanffy en longitud, además de Gompertz y Logístico generados por la lectura de anillos de crecimiento en escamas son:

$L_t = 91.365[1 - e^{-0.166(t+0.256)}]$	von Bertalanffy
$L_t = 75.161/[1 + e^{-0.501(t-3.125)}]$	Logístico
$L_{\star} = 79.373[e^{e-0.333(t-2.163)}]$	Gompertz

- El modelo de von Bertalanffy resultó ser el que mejor explica el crecimiento de *L. peru*.
- Respecto a la relación entre la temporada de captura y la Temperatura Superficial del Mar (TSM), se observó que existe una correlación negativa significativa entre ambas

variables, esto es, que con la disminución de las temperaturas superficiales la abundancia de *Lutjanus peru* es alta, mientras que, cuando la temperatura superficial del mar es más cálida hay una disminución en las capturas del stock.

X. Recomendaciones

Es necesario dar continuidad a este estudio, incrementando el número de muestras utilizadas para la estimación de las edades, particularmente de organismos de tallas grandes. Es conveniente también complementar la verificación de bandas de crecimiento en escamas por medio del uso de otras técnicas, como los rayos X, que permiten comparar y corroborar las edades asignadas.

Realizar en un futuro un proceso de validación de la formación anual de los anillos de manera directa es de gran importancia, ya sea por medio de marcaje con oxytetraciclina y recaptura o con mantenimiento de organismos en cautiverio, así como estudios que permitan conocer los patrones de calcificación en esta especie.

Finalmente, utilizar el análisis de frecuencia de tallas con la finalidad de comprobar su correspondencia con métodos directos.



FIGURA 33. Escama de Lutjanus peru sin anillo de crecimiento.



FIGURA 34. Escama de Lutjanus peru con un anillo en el borde anterior



FIGURA 35. Escama de Lutjanus peru con dos anillos de crecimiento.

Anexo

CAPÍTULO 7. Edad y crecimiento del huachinango (*Lutjanus peru*) por marcas de crecimiento en escamas en las costas de Guerrero, México



FIGURA 36. Escama.



FIGURA 37. Escama de Lutjanus peru con cuatro anillos de crecimiento.



FIGURA 38. Escama regenerada de Lutjanus peru.

51.

Reg

Capítulo 8

Estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis* (Peters, 1869) por lectura de escamas, en Puerto Ángel, Oaxaca, México

Eduardo Palma Barrón

1. Introducción

L estado de Oaxaca cuenta con 598 km de litoral lo que representa el 5.15% del total nacional (SAGARPA, 2013). De manera general la pesca que se desarrolla en la entidad es la llamada pesca artesanal, la cual se lleva a cabo por medio de técnicas tradicionales con poco progreso tecnológico, es multiespecífica y presenta una delimitación y apropiación de espacios de pesca comúnmente manejados mediante arreglos comunitarios.

En producción pesquera esta entidad ocupa el número 15 a nivel nacional con 15,314 toneladas, entre las principales especies que se explotan están los pargos (Lutjanidae). Los pargos representan una parte importante de la pesca; para el año 2013 se pescaron 6,053 toneladas (SAGARPA, 2013). Dentro de las siete especies de pargos explotadas en el Pacifico se encuentra *Lutjanus inermis*.

Para poder tener un manejo sustentable de esta especie y demás recursos pesqueros el estudio de la dinámica de las poblaciones es fundamental para las pesquerías. Dentro de estos estudios, la determinación de la edad de los peces es la base para hacer los cálculos que permiten conocer el crecimiento, mortalidad y otros parámetros fundamentales de una población (Everhart y Youngs, 1981).

Los métodos directos para conocer la edad de los peces están basados en las capas proteicocalcáreas depositadas en las estructuras esqueléticas. La edad de muchas especies se determina a partir de la observación de las discontinuidades que ocurren en estas estructuras, que pueden deberse a cambios fisiológicos o del ambiente en que vive el pez. Las estructuras más usadas para determinar la edad de los peces son las escamas y otolitos porque son fáciles de recolectar y reflejan los cambios en el crecimiento (Salgado-Ugarte, et al. 2015).

Las escamas son estructuras óseas tegumentarias de origen dérmico donde la cara interna y externa están cubiertos de osteoblastos responsables de su crecimiento continuo; se forman a partir de un foco alrededor del cual se depositan capas concéntricas que forman estriaciones los *circuli*; estos están espaciados y delimitan a los anillos de crecimiento los *annuli* con los que se determina la edad de los organismos. Los tejidos que contribuyen a la formación de estas son el óseo, la dentina y el esmalte (Langler *et al.,* 1990).

En la mayoría de las escamas del tipo cicloideo y ctenoideo se reconoce una zona central el foco; esta es la primera zona en desarrollarse dentro de la dermis. Una vez formado el foco los círculos se van depositando uno a uno sobre superficie de la escama en relación con el crecimiento.

Para verificar que la escama es una estructura útil para describir el crecimiento debe de existir una correlación entre las dimensiones del pez y de la escama. Además, deben de existir marcas (anillos) en las escamas. Posteriormente debe de validarse la periodicidad de formación de estas marcas. Las pruebas de validación más adecuadas son las que se obtienen del examen de las estructuras de peces de edad conocida, si esto no es posible se pueden usar métodos indirectos de validación como es medir el incremento marginal de la estructura calcificada; si el incremento es pequeño esto indica que el anillo acaba de formarse (Salgado- Ugarte *et al.*, 2005), (Beltrán – Álvarez *et al.*, 2009). En sitios con clima templado y estacionalidad marcada, estas marcas se forman una vez al año y se manifiestan durante periodos alternados de rápido y lento crecimiento.

2. Diagnosis de la familia y la especie

Los miembros de la Familia Lutjánidae se encuentran distribuidos en aguas tropicales y subtropicales; se les localiza desde las aguas someras hasta profundidades de 640 m; la mayoría viven asociadas al fondo y se encuentran confinadas a la plataforma y al talud continental. Las fases larvarias tempranas son todavía desconocidas (Druzhinin, 1970). Después de la diferenciación sexual, el sexo permanece constante. Los pargos son depredadores activos, alimentándose principalmente durante la noche de una gran variedad de organismos, pero fundamentalmente de peces pequeños (Gutiérrez-Vargas, 1990).

CAPÍTULO 8. Estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis* (Peters, 1869) por lectura de escamas, en Puerto Ángel, Oaxaca, Méxicoo

Lutjanidae. Se reconocen cuatro subfamilias, diecisiete géneros y ciento cinco especies; el género *Lutjanus* cuenta con sesenta y cuatro especies. Tienen cuerpo alargado levemente comprimido, cabeza grande, triangular; hocico puntiagudo; boca terminal, ligeramente protráctil; mentón sin poros; dos orificios nasales; preopérculo aserrado, con siete radios branquiostegos. Aleta dorsal con doce espinas y de ocho a doce radios, anal con tres a siete espinas y siete a once radios; aletas pélvicas insertadas justo detrás de la base pectoral con una espina y cinco radios. Escamas ctenoides de tamaño mediano, ausentes en el hocico, preorbital y mandíbula inferior (Amezcua, 2008), (Fischer *et al.*, 1995).

Phyllum Chordata

Subphyllum Vertebrata

Clase Actinopterygii

Orden Perciforme

Famila Lutjanidae

Lutjanus inermis (Peters, 1869) (Figura 1).

Lutjanus inermis: Cuerpo alargado, perfil dorsal curvo, casi recto; hocico puntiagudo; boca pequeña, maxilar amplio que alcanza la parte anterior del ojo; ojos grandes; dientes mandibulares pequeños, cónicos, dos superiores y tres caninos débiles a cada lado inferior; de catorce a quince branquiespinas en la rama inferior del primer arco. Color rojizo con bandas angostas marrón en el costado; pedúnculo y base de la aleta caudal amarillo (Amezcua, 2008), (Fischer *et al.*, 1995). Esta especie es endémica del Pacífico Oriental, y se encuentra desde la boca del Golfo de California a Ecuador (Figura 2).



FIGURA 1. Imagen de Lutjanus inermis.



FIGURA 2. Distribución de *Lutjanus inermis*. Tomado de http://www.iucnredlist.org/details183282/0

3. Justificación

A. S. C.

La familia Lutjanidae es un componente importante tanto a nivel ecológico como económico. En México la pesquería de los pargos se compone de 13 especies de las cuales 7 están en el Pacífico (SAGARPA, 2013), entre ellas esta *Lutjanus inermis*; en la actualidad las normas que regulan su pesca son poco estrictas (Granado, 2002); por lo tanto, el conocimiento biológico-pesquero es de suma importancia. En 2010 *Lutjanus inermis* apareció en la lista roja de especies sobreexplotadas (GREENPEACE México, 2010).

El conocimiento de esta especie es escaso y si se compara con la manera como es explotada, resulta importante y urgente realizar trabajos de determinación de la edad y el crecimiento; ya que estos son fundamentales para la realización de modelos que nos permitan explicar y entender la dinámica de su población (Cruz-Vázquez *et al*, 2012). Así como generar información que permita a corto plazo desarrollar planes de manejo pesquero.

4. Antecedentes

Existen numerosas investigaciones acerca de la familia Lutjanidae las cuales se pueden dividir en: taxonómicas y las que buscan los parámetros biológicos-pesqueros.

CAPÍTULO 8. Estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis* (Peters, 1869) por lectura de escamas, en Puerto Ángel, Oaxaca, Méxicoo

En las taxonómicas encontramos a Allen (1995) en la guía FAO para la identificación de especies de peces donde proporciona claves taxonómicas para la familia.

Amezcua (2008) en "Peces Demersales del Pacífico Mexicano", presenta la descripción de la familia Lutjanidae y de *Lutjanus inermis*.

En las investigaciones biológicas-pesqueras para *Lutjanus inermis* se cuentan sólo con dos: i) Lucano-Ramírez *et al.* (2011), abordan su biología reproductiva en las costas de Jalisco. Estos autores contribuyen con los primeros reportes referentes al desarrollo gonádico; encontraron que la talla de la primera madurez ($L_{50\%}$) es de 23.9 cm de longitud total (*LT*) para hembras y 23.6 cm *LT* para machos y hallaron dos periodos reproductivos, de febrero-abril y septiembre-noviembre. ii) Salgado-Cruz (2015) aborda la determinación de la edad, el crecimiento individual, y la talla de primera madurez poblacional ($L_{50\%}$) del pargo amarillo *Lutjanus argentiventris* y la rabirrubia *Lutjanus inermis* en la costa de Oaxaca. Donde reporta para la población de *Lutjanus inermis* que presentó un crecimiento isométrico *P*=0.015**LT*^2.94 y una estructura de edad conformada por organismos de 1 a 7 años; los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy: *L*∞=39.14 cm; *k*=0.26 años-1 y t_0 = -1.51 años y *P*∞= 696 g. La longevidad estimada fue de hasta 10 años. Este autor observó actividad reproductiva a lo largo de todo el año con máximos en otoño-invierno y una $L_{50\%}$ =20.5 cm *LT* que en promedio se alcanza a los 1.5 años de edad.

5. Objetivos

Objetivo general

Estimar la edad y modelar el crecimiento de *Lutjanus inermis* mediante la lectura de anillos de escamas.

Objetivos particulares

- Determinar estructura por tallas y por sexos.
- Establecer la relación peso-longitud.
- Determinar la relación longitud de la escama longitud del organismo.
- Validar la periodicidad de formación de marcas de crecimiento (análisis de incremento marginal).
- Ajustar el modelo matemático de von Bertalanffy para expresar el crecimiento de Lutjanus inermis por medio de regresión no lineal y los métodos tradicionales.

Ser

6. Materiales y métodos

6.1 Zona de estudio

Puerto Ángel pertenece al municipio de Pochutla en el estado de Oaxaca en las coordenadas 96° 29 ' 27.1" oeste 15° 29 ' 56.1" norte (Figura 3). Puerto Ángel y sus zonas aledañas forman parte de la región prioritaria de biodiversidad costera # 35, perteneciente a la provincia Panámica, cuyo fondo marino posee cañones submarinos y una plataforma continental muy angosta (Arriaga-Cabrera *et al*, 1998). Posee un clima tipo Aw_o(w)igw" que corresponde a un clima cálido, el más seco de los subhúmedos, con un régimen de lluvias en verano, presencia de canícula, isotermal, y una marcha de temperatura tipo Ganges (temperatura media mensual más alta antes del solsticio de verano). La temperatura promedio es de 28 °C la mayor parte de los cambios de temperatura en la zona se dan de manera anual, debido a que sólo hay dos épocas climáticas: estiaje (noviembre-abril) y lluvias (mayo-octubre) (García, 2004).



FIGURA 3. Puerto Ángel Oaxaca, México.

CAPÍTULO 8. Estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis* (Peters, 1869) por lectura de escamas, en Puerto Ángel, Oaxaca, Méxicoo

Durante los meses de octubre a marzo se presentan intensos vientos del Norte, llamados "Tehuanos", que propician una mezcla de la capa oceánica superior, alterando las temperaturas superficiales y la circulación oceanográfica local (Trasviña y Barton, 1997). Estos vientos se producen cuando existe una diferencia de presión atmosférica entre el golfo de México y el Pacífico tropical, lo que origina un flujo de viento a través del istmo de Tehuantepec que sale en forma de abanico sobre las aguas del Golfo de Tehuantepec (Steenburgh *et al.* 1998, Romero–Centeno *et al.* 2003). Los tehuanos son de tal intensidad que generan remolinos y enfriamiento en el océano cerca de la costa (Barton *et al.* 1993).

6.2 Actividades de campo

La colecta de los organismos se realizó de agosto 2015 a agosto de 2016 a partir de la captura comercial artesanal de la zona.

De manera general la pesca de varias especies de Lutjánidos se realiza por medio de trasmallos, que son redes fijas constituidas por tres redes de diferentes tamaños; una red de malla pequeña en el centro rodeada de dos redes de malla grande, sujetas a flotadores colocadas en las zonas de paso de las especies de interés (Bjordal, 1996).



FIGURA 4. Ejemplo de una red de trasmallo según Bjordal.

6.3 Actividades de laboratorio

Los ejemplares obtenidos se guardaron en una hielera con una mezcla frigorífica de hielo con sal para conservarlos durante su transporte al laboratorio.

Una vez en el laboratorio los organismos fueron colocados en un frigorífico y 24 horas antes de ser procesados fueron cambiados a un refrigerador con el fin de que se descongelen.

A los organismos se les tomaron los siguientes datos biométricos: longitud (total, patrón y furcal) con una cinta métrica; peso (total, del hígado, de las gónadas y eviscerado) con una balanza digital marca Acculab modelo vic-303 con una precisión de 0.01 (Figura 5); adicionalmente se determinó el sexo de los individuos y se registró el estado de desarrollo gonádico usando la tabla de Everson, 1989 (Tabla 1):

Estado	Descripción
Inmaturo (I).	Ovarios y testículos cerca de ½ de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos translucidos. Testículos blancuzcos. Huevos invisibles a simple vista.
Virgen madurando y recuperando (II).	Ovarios y testículos cerca de la frac12 de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos translucidos. Testículos, más o menos simétricos. Huevos invisibles a simples vista.
Madurando (III).	Ovarios y testículos cerca de frac23; de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios de color rosáceo amarillo con aspecto granular; testículos blancuzcos a crema. No hay huevos transparentes o translúcidos visibles.
Maduro (IV).	Ovarios y testículos ocupan de ⅔ a toda la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios de color naranja rosáceo con vasos sanguíneos superficiales visibles. Grandes huevos maduros, transparentes. Testículos blancuzcos crema, blandos.
Después de la puesta (V).	Ovarios y testículos contraídos a cerca de ½ de la longitud de la cavidad abdominal. Paredes flojas. Los ovarios pueden contener restos de huevos opacos, maduros, en desintegración, obscurecidos o translúcidos. Testículos sanguinolentos y flácidos.

TABLA 1. Estado de madurez gonádica según Everson, 1989.



FIGURA 5. Mediciones tomadas en Lutjanus inermis modificado de Fischer 1995.

Al tratarse de peces con espinas y radios (Perciformes) se extrajeron las escamas de los organismos por debajo de la línea lateral y por la parte posterior de la aleta pectoral de acuerdo a lo recomendado por Gómez-Márquez, 1994; usando una goma de borrar para evitar daños en la escama. Las escamas se guardaron en botes de plástico con agua y una etiqueta que contenía el número de registro del organismo y su fecha de muestreo (Figura 6).



FIGURA 6. Botes de plástico que contienen escamas de *L. inermis* con su correspondiente rotulado.

Las escamas de cada ejemplar se lavaron con agua, hipoclorito de sodio y jabón, durante un periodo de cinco a diez minutos dependiendo de la suciedad presente en la escama; con ayuda de un cepillo de cerdas suaves se removió el tejido y materia orgánica adheridos a la escama.

Por último, las escamas que presentaron el foco bien marcado se eligieron para ser montadas entre dos portaobjetos de vidrio uniéndolos con cinta adhesiva. Sobre la cinta se anotaron el número de registro del ejemplar correspondiente (Figura 7).



FIGURA 7. Escamas montadas en medio de dos portaobjetos.

El conteo de los anillos fue hecho por dos personas independientemente, las lecturas que no coincidieron se descartaron. Con una cámara de video análoga (JVC modelo TK-C1380U) adaptada a un estereoscopio (Nikon) y conectada con una interfase a una computadora personal se obtuvieron imágenes para su posterior procesamiento; teniendo cuidado de manejar el mismo aumento en el estereoscopio. La medición y procesamiento de imágenes se llevaron a cabo en ImageJ versión 1.50i considerándose las distancias del foco a cada marca de crecimiento y el radio total de la escama (Gómez-Márquez *et al.*, 2016) (figura 8).

CAPÍTULO 8. Estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis* (Peters, 1869) por lectura de escamas, en Puerto Ángel, Oaxaca, Méxicoo



FIGURA 8. Medidas tomadas en las escamas.

6.4 Actividades de gabinete

Proporción de sexos

El número de machos y hembras se consideró para calcular la proporción sexual, por mes y total, se usó una prueba de ajuste chi-cuadrada con corrección de Yates (Marques, 2004) para saber si provienen de una distribución uniforme (1:1).

$$\chi^{2} = \sum \frac{\left[(O-E) - 0.5\right]^{2}}{E} \qquad \begin{array}{c} X^{2} = Chi \text{ cuadrada} \\ O = \text{ observados} \\ E = \text{ esperados} \end{array}$$

Composición de tallas

Se usaron histogramas suavizados o estimadores de densidad por Kernel (EDKs), que son estimadores no paramétricos de la frecuencia que resuelven los problemas de punto de origen y discontinuidad además de proporcionar indicaciones adecuadas para elegir la amplitud y número de intervalos (bandas) presentados por los histogramas tradicionales (Salgado-Ugarte, 1993).

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$$

Donde f (x) es la estimación de la densidad, n es número de datos, h es la amplitud de la banda, y K es el Kernel la función que define el peso de cada dato es la estimación de la frecuencia (Rosenblath, 1956; Silverman, 1986; Salgado-Ugarte, 2003).

La elección de la amplitud de ventana en las estimaciones por Kernel es equivalente a la selección de la amplitud del intervalo en histogramas. Siguiendo la guía de Tukey (1977), Scott (1979) y Silverman (1986), puede emplearse a la distribución gaussiana como un estándar de referencia. Donde *h* puede escogerse como:

 $h=0.9s n^{1/5}$

Donde s es la menor de dos estimaciones de parámetro o de dispersión de la distribución gaussiana.

Relación longitud- peso

Con el fin de conocer qué tipo de crecimiento (alométrico o isométrico) presentan los organismos a estudiar se llevó a cabo la relación longitud-peso. Para esto, se realizaron regresiones lineales (transformación logarítmica de los datos) y regresión no lineal (función potencial).

Regresión potencial (Ricker, 1975):

 $P=aL^b$

Donde:

P=peso total en gramos.

a y *b*= constantes.

L=longitud en cm.

Para analizar esta relación se aplica logaritmos y la ecuación se transforma en:

Log P=log a +b logL

Esta expresión lineal puede someterse a un análisis de regresión lineal simple por el método de mínimos cuadrados para obtener los valores de las constantes $a \neq b$. Cuando b = 3 se tiene un crecimiento isométrico, mientras que si es diferente de 3 el crecimiento es alométrico, negativo si b<3, positivo si b>3. (Ricker, 1975). Para probar estadísticamente la igualdad de las pendientes estimadas con el valor de tres se consideró las pruebas correspondientes de la regresión con el estadígrafo t de Student.

Relación longitud organismo-escama

Se realizó una correlación para determinar el grado de relación de ambas variables.

CAPÍTULO 8. Estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis* (Peters, 1869) por lectura de escamas, en Puerto Ángel, Oaxaca, Méxicoo

Validación de los anillos de crecimiento

Para determinar el periodo y la frecuencia de formación de los anillos en las escamas se analizó la razón del incremento marginal, que básicamente es la distancia existente entre el último anillo formado y el margen de la escama.

Usando la relación propuesta por Lai y Liu (1979). La ecuación es:

$$IM = (R - r_{n}) / (r_{n} - r_{n1})$$

R=radio de la escama.

r_=distancia del foco al borde inferior del último anillo.

 $r_{p,1}$ = distancia del foco al penúltimo anillo.

Modelo de von Bertalanffy

Se aplica para el crecimiento individual de los organismos y se ha demostrado es ajustable al crecimiento observado en la mayoría de los peces. Este modelo considera que la talla del cuerpo es una función de la edad y que los factores ambientales son constantes. La curva del modelo representa una forma exponencial inversa. Puede incorporarse fácilmente a modelos de evaluación poblacional más complejos (Sparre y Venema, 1997).

La expresión de este modelo es (Ricker, 1975):

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

 L_t = longitud del pez a la edad t

 L_{∞} = longitud asintótica o longitud máxima que el pez puede alcanzar.

K= coeficiente de crecimiento.

t = edad.

 t_o = representa la edad que supuestamente tiene el pez para que su longitud sea igual a cero.

La ecuación ponderal:

$$P_{t} = P^{\infty} (1 - e^{-K(t-t0)})^{b}$$

Donde:

 P_t = peso a la edad (peso promedio para la especie a la edad t).

P∞=peso máximo teórico.

 $L \approx$, $P \approx$, $k \neq t_o$ se calcularon por los métodos tradicionales linealizados, Ford (1933), Walford (1946), Gulland (1969) y Beverton y Holt (1957) de acuerdo con lo indicado por distintos autores (Gómez-Márquez, 1994; Salgado-Ugarte, 1985; King, 1995; Salgado-Ugarte, et al. 2000); así como por regresión no lineal ponderada (Sparre y Venema, 1997; Salgado-Ugarte, *et al.*, 2005).

Comparación de los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy.

Para determinar si existen diferencias entre machos y hembras se realizaron pruebas de T^2 de Hotelling (Bernard, 1981). El estadígrafo T^2 es:

$$T^{2} = \frac{N_{1}N_{2}}{N_{1} + N_{2}} \begin{bmatrix} \overrightarrow{P_{1}} & - & \overrightarrow{P_{2}} \end{bmatrix}' S^{-1} \begin{bmatrix} \overrightarrow{P_{1}} & - & \overrightarrow{P_{2}} \end{bmatrix}$$

Donde N_1 y N_2 son el número de peces en cada grupo, $[P_1 - P_2]'$ es la traspuesta (vector fila) de $[P_1 - P_2]$ y S^{-1} es la inversa de la matriz conjunta de varianza covarianza

$$S = \frac{(N_1 - 1)S_1 + (N_2 - 1)S_2}{N_1 + N_2 - 2}$$

Donde S_1 y S_2 son las matrices de varianza- covarianza estimada de L_{ar} K y t_0 de cada uno de los grupos de peces.

Todas las pruebas se realizarán con el uso de las rutinas para Stata presentadas por Salgado-Ugarte, *et al.*, (2005) que corrigen a las expresiones incorrectamente escritas en el artículo de Bernard (1981).

7. Resultados

7.1 Material de estudio

En el cuadro 1 se muestra un resumen de los organismos por fecha de muestreo y por sexo. Se obtuvo un total de 213 individuos, de los cuales 103 fueron hembras, 107 machos y 3 indeterminados. El intervalo de talla para hembras fue de 18.4 a 34.4; para machos de 18.3 a 34.3 cm y de 15.4 a 34.4 para el total de organismos en longitud total *LT* (cuadro 2). En general la proporción macho: hembra total fue uno a uno.

7.2 Proporción sexual

CUADRO 1. Número de individuos por sexo y muestreo. Se incluye la proporción sexual (Hembra:Macho) y su significancia estadística (χ^2 con corrección de Yates); I = indiferenciados; H = hembras; M = machos.

Fecha.	I	Н	М	Proporción.	χ²	Р
22/08/2015	0	5	8	1:1.6	0.69	0.405
26/09/2015	3	24	14	1:1.71	2.63	0.104
17/10/2015	0	11	10	1:1.1	0.04	0.827
04/12/2015	0	14	24	1:1.71	2.63	0.104
12/02/2016	0	17	18	1:1.05	0.02	0.865
01/04/2016	0	2	2	1:1	0	1.000
01/05/2016	0	8	19	2.37:1	4.48	0.034
01/06/2016	0	15	8	1:1.87	2.13	0.144
27/08/2016	0	7	4	1:1.75	0.81	0.365
Total.	3	103	107	1:1.03	0.07	0.782



FIGURA 8. Relación entre los sexos por fecha de muestreo.

SI
Sexo	No. de individuos	Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo
Hembras	103	25.70	2.89	18.4	34.4
Machos	107	25.00	2.84	18.3	34.3
Indeterminados	3	16.90	1.50	15.4	18.5
Total	213	25.33	2.90	15.4	34.4

CUADRO 2. Longitud total de organismos por sexo.

7.3 Distribución de tallas

Se usaron estimadores de la densidad por kernel, donde la elección del ancho de banda (h) determina las características cualitativas de la densidad (Salgado-Ugarte, 2002). Un enfoque sugerido por Tarter y Kronmal (1976) es variar h hasta que resulte una figura satisfactoria. Esto es un procedimiento subjetivo, pero adecuado para propósitos exploratorios (Silverman, 1986). En el presente trabajo se usó un ancho de banda óptimo propuesto por Silverman (1986) para Kernel gaussiano.

En la distribución de tallas de los individuos capturados (EDKs) para el total de la muestra se distinguen cuatro modas a los 18, 23 y 33.95 cm y una moda principal a los 25.8 cm. de longitud total (Figura 11). Al separar por sexos se observa para las hembras una moda principal a los 25.44 cm y en los machos dos a los 25.53 y la principal a los 33.92 cm de longitud total (Figura 9 y 10).



FIGURA 9. EDK para las hembras de Lutjanus inermis.



FIGURA 10. EDK para las machos de Lutjanus inermis.



FIGURA 11. EDK para total de la muestra de Lutjanus inermis.

610

7.4 EDKs por mes

6)

Para las hembras se observa que la mayor densidad (frecuencia) a lo largo del estudio se presenta entre los 25 y 27 cm de longitud patrón (*LP*) debido a la selectividad del arte de pesca; en octubre y agosto se registraron las modas principales con la *LT* mayor, mientras que los meses de septiembre y febrero las modas que representaron las *LT* más bajas (Figura 12).





En el caso de los machos se puede observar que la mayor densidad a lo largo del periodo de muestreo está ubicada a los 20 y 25 cm LT lo que es coherente debido a la selectividad del arte de pesca; destaca la presencia de organismos de LP mayor al promedio en los mes de mayo (Figura 13). Para el total de la muestra las modas se concentran 23 y 25 cm LT (Figura 14).



FIGURA 13. EDK mensuales para los machos de L. inermis.

50



FIGURA 14. EDK mensuales de la muestra de Lutjanus inermis.

O.S

A S S

6 X

7.5 Relación peso-longitud

Para establecer la relación peso-longitud se usó el peso total y la longitud total. En el cuadro 3 se presentan los valores obtenidos de las regresiones de los logaritmos naturales.

CUADRO 3. Parámetros de las regresiones (logaritmo natural) de peso total – longitud total y regresión no lineal por sexo y sus valores estadísticos (valores ajustados de R²).

Hembras							
n=103 <i>r</i> ²=0.91	Coeficiente	Error estándar	Valor de t	Prob. > t	l. de C. del 95 %		
b	2.571	0.078	32.90	0.000	2.416, 2.726		
а	-2.679	0.239	-11.21	0.000	-3.154, -2.205		
Machos							
n=107 <i>r</i> ²=0.91	Coeficiente	Error estándar	Valor de <i>t</i>	Prob. > t	l. de C. del 95 %		
b	2.577	0.077	33.47	0.000	2.424, 2.729		
а	-2.672	0.233	-11.45	0.000	-3.135, -3.390		
Total de organismos							
n=213 <i>r</i> ²=0.91	Coeficiente	Error estándar	Valor de <i>t</i>	Prob. > t	l. de C. del 95 %		
b	2.587	0.054	47.63	0.000	2.479, 2.694		
а	-2.716	0.165	-16.44	0.000	-3.041, -2.390		

El valor de r^2 en todas las regresiones es de 0.91 %, los valores de *b* para ambos sexos fueron de 2.57 (Figura 15 y16) y para todos los organismos de 2.58 (Figura 17) lo cual indica que la especie tiene un crecimiento hipoalométrico. Al realizar la prueba de *t* se confirma que el valor de *b* es diferente de 3 (cuadro 3).



FIGURA 15. Relación peso total-longitud patrón para las hembras de Lutjanus inermis.



FIGURA 16. Relación peso total-longitud patrón para los machos de Lutjanus inermis.

SI CAPÍTULO 8. Estimación de la edad y modelación del crecimiento de Lutjanus inermis (Peters, 1869) por lectura de escamas, en Puerto Ángel, Oaxaca, Méxicoo \$ Longitud total (cm) o observados calculados

FIGURA 17. Relación peso total-longitud patrón para el total de la muestra de *L. inermis*.

7.6 Resumen de las fases de desarrollo gonádico registradas por fechas de muestreo

fases	22/08/2015	26/09/2015	17/10/2015	04/12/2015	12/02/2016	01/04/2016	01/05/2016	01/06/2016	27/08/2016
1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
2	0	2	3	6	0	0	0	3	0
3	5	8	11	19	12	2	11	10	5
4	0	13	5	9	16	2	12	2	1
5	7	14	2	3	6	0	3	7	5

CUADRO 4	. Fases de desarroll	o gonádico de L	. inermis.
-----------------	----------------------	-----------------	------------



FIGURA 18. Fases de desarrollo gonádico registradas por meses de muestreo.

7.7 Descripción de la escama

St.

De manera convencional las escamas son examinadas a través de un microproyector o de un proyector de transparencias (Granado, 2002). Cailliet y colaboradores 1986 recomiendan la digitalización de las escamas para facilitar el manejo y estudio de las estructuras.

Las escamas de *Lutjanus inermis* fueron de tipo ctenoideo, por su forma rectangular y su borde superior dentado. El foco o área central está bien definido, se ubica al centro de la escama recargado al margen posterior; con presencia de ctenii, pequeñas placas alargadas o dentículos pronunciados que determinan el carácter pectinado en las escamas ctenoides (Gómez-Márquez, 1994). Los ctenii se encontraron en el margen posterior de la escama. Los radios convergen a partir del foco de la escama y se prolongaban hacia la parte anterior formando pequeños lóbulos. El número de radios varió de 12 a 18, sin embargo, se presentaron con mayor frecuencia escamas con 16 radios.

Los anillos de crecimiento fueron identificados como una línea continua uniformemente espaciada (figura 19).



FIGURA 19. Descripción de una escama de L. inermis.

7.8 Relación longitud patrón-radio de la escama

La correlación es una medida de la relación (covariación) lineal entre dos variables aleatorias (x, y). La manera más sencilla de saber si dos variables están correlacionadas es determinar si co-varían (varían conjuntamente) (Devore, 2004).

Esta medida o índice de correlación r puede variar entre -1 y +1, ambos extremos indicando correlaciones negativas y positivas respectivamente. Un valor de r = 0 indica que no existe relación lineal entre las dos variables. Una correlación positiva indica que ambas variables varían en el mismo sentido. Una correlación negativa significa que ambas variables varían en sentidos opuestos. Se considera el grado de relación entre x, y dependiendo del valor de r:

- correlación despreciable: r < |0.1|
- correlación baja: |0.1| < r <= |0.3|</p>
- correlación mediana : |0.3| < r <= |0.5|
- correlación fuerte o alta: r > |0.5| (Marques dos Santos, 2004; Devore, 2004).

Hembras							
Edad	Media	Desv. estándar	Frecuencia				
1	3.28	0.47	31				
2	3.74	0.68	22				
3	3.49	0.10	5				
Machos.							
Edad	Media	Desv. estándar	Frecuencia				
1	3.34	0.53	20				
2	3.29	0.33	31				
3	3.22	0.39	5				
	Total	de la muestra.					
Edad	Media	Desv. estándar	Frecuencia				
1	3.30	0.49	51				
2	3.43	0.50	53				
3	3.33	0.31	10				

CUADRO 5. Resúmenes estadísticos de los valores de los radios de escamas.

7.9 Análisis de incremento marginal

Se tomaron las medidas de 120 escamas que correspondieron al mismo número de individuos, se seleccionaron solo aquellas con el foco bien definido; para obtener la Razón del Incremento Marginal (RIM) a lo largo de un ciclo anual. En la figura 20 se observa que la formación del anillo es anual iniciándose su formación en el mes de septiembre.



FIGURA 20. Valores medios de la RIM por fecha de muestreo.

7.10 Parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy (FCvB)

Existen varios modelos utilizados para expresar el crecimiento, la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy es la más usada posiblemente porque ha sido incorporada a la ecuación de rendimiento pesquero de Beverton y Holt (1957).

También debido a que satisface dos importantes criterios se ajusta fácilmente a los datos observados de crecimiento y puede integrarse a los modelos de evaluación de poblaciones (Everhart y Youngs, 1981). Otra característica importante de esta ecuación es que el número de constantes no es excesivo y estas constantes tienen significado biológico (Gulland, 1971).

 P_{ω} ó L $_{\omega}$ Peso o longitud asintótica: *"el peso o la talla media de un pez muy (en teoría infinitamente) viejo"; k* es el *"parámetro de curvatura"* que determina la rapidez con la que el pez alcanza L_{ω} ; t_{o} *"parámetro de condición inicial"* es el tiempo teórico (edad) en el cual el organismo tiene longitud cero (Gulland, 1971; Everhart y Youngs, 1981; Pereiro, 1982).

CUADRO 6. Parámetros de función de crecimiento de von Bertalanffy por regresión no lineal para el total de la muestra.

6	regresión no lineal para el total de la muestra.							
	r²=0.9902	Coeficiente.	Error estándar.	t	P > <i>t</i>	Intervalo de confianza 95%		
	L	22.814	0.745	30.61	0.000	21.338 - 24.290		
JE.	k	1.048	0.353	2.97	0.004	0.349 - 1.747		
	t _o	-1.080	0.443	-2.45	0.016	-1.9660.210		



FIGURA 21. Gráfico de von Bertalanffy para toda la muestra de L. inermis.

CUADRO 7. Parámetros de función de crecimiento de von
Bertalanffy por regresión no lineal para las hembras.

r2=0.98	Coeficiente	Error estándar	t	P>t	Intervalo de confianza 95%
L∞	25.201	2.299	10.96	0.000	20.598 - 29.804
k	0.683	0.359	1.90	0.063	-0.037 - 1.403
t _o	-1.433	0.698	-2.05	0.045	-2.830 - 0.035

J.

6)



FIGURA 22. Gráfico de von Bertalanffy para las hembras de L. inermis.

CUADRO 8. Parámetros de función de crecimiento de von Bertalanffy por regresión no lineal para los machos.

r2=0.98	Coeficiente	Error estándar	t	P>t	Intervalo de confianza 95%
L∞	22.070	0.933	23.65	0.000	20.200 - 23.940
k	1.034	0.525	1.97	0.054	-0.018 - 2.087
t0	-1.239	0.709	-1.75	0.086	-2.660 - 0.182

SI



FIGURA 23. Gráfico de von Bertalanffy para los machos de L. inermis.

CUADRO 9. Parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy estimados por métodos tradicionales.

	Población	Machos
L	29.17	25.398
k	0.341	0.356
t _o	-2.762	-4.156

C S





FIGURA 24. Gráfico de Gulland-Holt para los machos de L. inermis.



FIGURA 25. Gráfico de Gulland para los machos de L. inermis.

510



FIGURA 26. Gráfico de Beverton-Holt para los machos de L. inermis.



FIGURA 27. Gráfico de Gulland para el total de L. inermis.

6

and the for

Grafico de ford-Walford, L_inf = 29.17; K = 0.34





FIGURA 29. Gráfico de Gulland-Holt para el total de L. inermis.



FIGURA 30. Gráfico de Beverton-Holt para el total de L. inermis.

7.11 Crecimiento en peso

Ecuación calculada por regresión no lineal.

Hembras.

AL S

 P_t =385.83 (1- $e^{0.32(t+0.44)}$)^{2.58}

Machos.

 $P_t {=} 278.11 \, (1{-}\mathrm{e}^{0.44(t+0.71)})^{2.576}$

Total organismos.

 P_{t} =461.19 (1- $e^{0.21(t+0.86)}$)^{2.571}

Crecimiento peso métodos tradicionales.

Hembras.

 $P_{*}=390.4 \ (1-e^{0.55(t+0.29)})^{2.571}$

Machos

 $P_t = 278.8 (1 - e^{0.55(t+0.66)})^{2.576}$

Total organismos.

 $P_t = 450.96 (1 - e^{0.23(t+1.08)})^{2.58}$

7.12 T² de Hotelling

Cuando se comparan dos grupos de peces se utiliza la T^2 de Hotelling para probar las diferencias entre grupos; los parámetros L_{ω} , K y t_o están correlacionados y no deben estimarse independientemente (Bernard, 1981; Salgado-Ugarte et al. 2015). El método de T^2 se basa en los valores de los vectores paramétricos y sus matrices de covarianza suponiendo una distribución multivariada conjunta. No son necesarias tablas de T^2 ya que sus valores se relacionan con la distribución F de Fisher.

De acuerdo con los valores del Cuadro 10, se puede concluir que machos y hembras crecen de manera diferente significativamente (T^2 calculada= 180.66 > > T^2 de tablas= 0.116); y los intervalos de confianza Roy-Bose indican diferencia significativa en los parámetros L_{ω} , K y t_o ya que no incluyen al cero (cuadro 11). Los valores críticos de F muestran que el parámetro más significativo que contribuye a la diferencia es L_{ω} seguida de t_o y al final k.

Matri	iz de varianza-covarianza		Inversa de S		
2.321	-6.935	-1.870	1.176	-0.456	2.615
	169.485	32.664		0.337	-1.816
		6.535			9.980
-3.2335 2.77	27 1.4504 = [P1 - P2]'				
$T^2 = 180.6636$	$T^{2}_{0.99:3,143} = 0.1161 F_{0.99:3,143}$	= 0.0382			
				F critica	
-3.3191	<= L_inf1 - L_inf2 <=	-3.1478		54.3671	
2.0406	<= K1 - K2 <=	3.5048		0.5474	
1.3067	<= t_01 - t_02 <=	1.5942		3.8844	

CUADRO 10. Prueba de T² de Hotelling para comparación de parámetros de la FCVB de machos y hembras de *L. Inermis.*

7.13 Composición de edades

Las edades predominantes son los dos y tres años (1 y 2 anillos) (figura 31) solo se presentaron tres organismos de edad cero que corresponden a los organismos indeterminados que al ser muy jóvenes es imposible saber su sexo (cuadro 1).

CUADRO 11. Composición por edades y sexo para individuos de L. inermis.

<u>Covo</u>	Edad						
Sexu	0	1	2	3	Total		
1	0	20	31	5	56		
2	0	31	22	5	58		
3	3	0	0	0	3		
Total.	3	51	53	10	117		



FIGURA 31. Porcentaje de hembras y machos por edad.

8. Discusión

8.1 Material estudio

La información usada en el presente trabajo proviene de la pesca comercial artesanal en consecuencia los intervalos de talla están determinados por la selectividad del arte de pesca. En promedio las hembras son más grandes que los machos lo cual coincide con lo reportado por Lucano-Ramírez et al. (2011); los EDKs separados por sexos muestran que la moda principal de las machos presenta una longitud total (LT) mayor que las hembras; en ambos casos los EDKs presentaron un sesgo negativo; destacando que no se encontraron casos extraordinarios. El intervalo de las tallas para la población fue de 15.4 a 34.4 con una talla principal a los 25.8 cm LT este intervalo difiere a lo reportado por Espino-Barr et al. (2004) para la costa de Jalisco (18.6-37.3) y a la de Salgado-Cruz, (2015) en las costas de Oaxaca (13.5-38.) que reporta un organismo de 38 cm longitud total. Sin embargo es la talla más alta de este trabajo 34.4 difiere de las encontradas por Lucano-Ramírez de 27.7 y 28.8 provenientes de la pesca comercial con red agallera. Los EDKs mensuales muestran una moda principal a lo largo del año ubicada en un intervalo de 23 y 25 cm LT. En el caso de las hembras las modas de mayor densidad se presentan entre los 25 y 27 cm LT; en octubre y agosto se encontraron las modas principales con la LT mayor, mientras que los meses de septiembre y febrero las modas de LT bajas. Para los machos se puede observar las modas de mayor densidad a los 20 y 25 cm LT; destaca le presencia de organismos de LT mayor al promedio en el mes de mayo.

8.2 Proporción sexual

En general la proporción entre machos y las hembras fue la esperada de 1:1 (1.0H: 1.03M) (Figura 8); coincidiendo con los resultados obtenidos por Lucano-Ramírez *et al.* (2011) que encontró una la relación entre sexos de 1:1 (1H: 0.88M) al igual Salgado-Cruz, (2015) reporta una relación 1:1 (1H: 0.8M).

A lo largo del trabajo se encontró una diferencia en la proporción de sexos en los meses de septiembre, diciembre, mayo y junio; siendo mayo donde se presenta la discrepancia más grande (2.37M:1.0H). La dominancia de los machos es un fenómeno frecuentemente observado en los lutjánidos (Grimes, 1987). Se ha sugerido que las diferencias en la proporción de sexos pueden estar ligadas a la diferencia en la supervivencia de los sexos, la distribución y preferencia del hábitat, la profundidad, la distribución por tallas (juveniles/adultos), y los aspectos alimenticios y reproductivos (Nikolsky 1976, Cruz- Romero *et al.* 1996, Rojas *et al.* 2004, Piñón *et al.* 2009).

8.3 Relación peso-longitud

Las relaciones fueron de alta significancia estadística, tanto machos como hembras mostraron una tendencia hacia el crecimiento hipoalométrico, es decir que esta especie crece más en talla que en peso; esto difiere con lo reportado por Salgado-Cruz (2015) quien reporta un crecimiento isométrico para esta especie. Al realizar la prueba de *t* se puede negar el crecimiento isométrico.

Esta diferencia en los valores se asocia a la falta de clases de edad, lo que determina que la expresión no ajuste a la población, sino a ciertas cohortes (Ricker, 1979). Cuando se quiere obtener la relación pesolongitud para una población, se debe hacer un gran esfuerzo para capturar a los peces en un amplio intervalo de tallas. El presente trabajo cuenta solamente con un corto intervalo de clases, los parámetros estimados pueden estar desviados de los valores de la población por efecto de la variabilidad del muestreo (Granado, 2002). Por otro lado, estudios realizados en distintas especies y ambientes, permiten asegurar que el valor de esta constante en condiciones naturales fluctúa en especies pesqueras entre 2.5 y 4 siendo en raras ocasiones igual a 3 (Gómez-Márquez *et al.*, 2016).

8.4 Fases de desarrollo gonádico

A lo largo del muestreo se registraron las fases del desarrollo gonádico (cuadro 4, figura 18) para el total de la muestra; los organismos inmaduros (fase 1) solo se encontraron en septiembre y diciembre; en el caso de los organismos vírgenes madurando y recuperando (fase 2) se registraron de septiembre a diciembre y junio; todos meses se observan peces madurando (fase 3), el número de estos organismos crece hasta su punto máximo en diciembre para bajar en abril y después volver a subir en los meses siguientes; los organismos maduros (fase 4) no fueron registrados en agosto; septiembre, febrero y mayo cuentan con el mayor número de organismos maduros; durante abril no se encontraron organismos en fase 5. Se sabe que *L. inermis* presenta un desarrollo asincrónico según Lucano *et al.,* 2012, similar al que presentan otras especies que se distribuyen en regiones tropicales y subtropicales estos peces por lo general desovan en varias ocasiones en una temporada reproductiva prolongada (Nagahama *et al.* 1995, Maack & George 1999) y los ovarios contienen ovocitos en diferentes fases de desarrollo.

8.5 Determinación de la edad

Los porcentajes de concordancia entre lectores de marcas fueron altos. La concordancia exacta ocurrió en casi el 89 % de los casos.

Las escamas se tomaron de acuerdo a las recomendaciones de Gómez–Márquez, (1994); se eligieron solo las que presentaron el foco bien definido con el propósito de eliminar escamas regeneradas (figura 32).



FIGURA 32. Comparación de escamas de *L. inermis* a) escama regenerada b) con foco bien marcado

8.6 Relación longitud patrón-radio de la escama

En general, las regresiones entre el tamaño del pez con el radio de las escamas presentaron valores bajos para el coeficiente de determinación.

Esta gran variabilidad en los tamaños relativos de los especímenes y sus escamas provocó el valor bajo de las *r*.

Sin embargo, la relación lineal nos muestra una tendencia a la proporcionalidad entre el crecimiento somático y el crecimiento de la estructura dura del organismo; por lo tanto se demuestra es válido usar las escamas para la determinación de la edad (Hare & Cowen 1995, Meekan *et al.* 1998).

8.7 Análisis del incremento marginal

De acuerdo con los valores medios mensuales de la *RIM* se puede concluir que el crecimiento de *L. inermis* es anual. Lo que coincide con lo reportado para la misma especie por Salgado-Cruz (2015) quien encontró al analizar el incremento marginal que los valores más bajos se observan de diciembre a marzo, y la formación de la marca de crecimiento es anual.

Las medias de las temperaturas superficiales del agua durante el estudio en Puerto Ángel varían de 31.25 °C (septiembre) a 27.82 °C (marzo) (Sea Surface Temperature at 11 microns, Origen: Giovanni 4.21.6). Al comparar la temperatura superficial contra la razón del incremento marginal (RIM) se puede apreciar que el punto más bajo del RIM coincide con una temperatura de 31.25 (Figura 33).

Rocha Olivares & Gomez-Muñoz (1993) y Espino-Barr (1996) comentaron que en el caso del huachinango se puede relacionar el incremento del índice gonadosomático (IGS) y la disminucion del factor de condicion (Kr) a la formacion de una marca de crecimiento.

Estos son indices morfométricos que estan basados en medidas corporales tales como el peso total, evicerado, peso de las gonadas y tracto digestivo, en general estan correlacionadas positivamente con el tamaño. Por ejemplo de esta forma se puede relacionar el peso de las gónadas con la madurez y el desove, los cuales dependen a su vez del sexo , la madurez y temporada del año. Para el caso del indice gonadosomatico (*IGS*) (Maddock & Burton, 1998) es ampliamente usado como un indicador del periodo reproductivo, bajo el supuesto de que los valores promedio máximos indican madurez gonádica (Sánchez-Cárdenas *et al.* 2007). Mientras que el factor de condicion (*Kr*) se usa para estimar la condición (robustez o grado de bienestar del animal) suponiendo que los individuos más pesados a una longitud dada están en mejor condición (Ricker, 1975).

Para el presente trabajo los meses donde se ven los valores más bajos del *RIM* es septiembre y el mes de valor más alto es mayo. Comparado con el *IGS* y *Kr* podemos apreciar una tendencia mientras los índices suben el *RIM* baja y viceversa, los valores bajos del *IGS* coinciden con el periodo de inicio de formación del anillo (figuras 35 y 36).

El *IGS* tiene sus puntos más altos en febrero seguido por los meses octubre y diciembre lo que coincide con las temperaturas más bajas (28.13 °*C*) a lo largo del muestreo (Figura, 34) y con lo reportado por Lucano-Ramírez (2012); los puntos bajos se encuentra en la temperaturas más altas (31°*C*). Otros Lutjánidos como *L. peru* desovan con temperaturas superficiales del agua de entre 27.05 y 30.5 °*C* (Santamaría-Miranda, 2003). En la mayoría de los Lutjánidos el desove parece estar positivamente relacionado con la temperatura del agua y el fotoperiodo (Carter y Perrine, 1994). El factor de condición a lo largo del año se encuentra entre 0.90 y 1.1, donde el valor más alto se presenta en febrero y en octubre el más bajo (figura 36). Ambos índices tienen un comportamiento esperado cuando los puntos más altos del *IGS* se presentan también se registra una baja en la condición de los organismos.







FIGURA 34. Gráfica de la temperatura y el índice gonadosomatico.





FIGURA 35. Gráfico de los valores medios del IGS y RIM por fecha de muestreo.



FIGURA 36. Gráfico de los valores medios del Kr y RIM por fecha de muestreo.

Or

6)

8.8 Parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy

Los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy *(FCvB)* fueron calculados por regresión no lineal ponderada y por los métodos tradicionales linealizados, Ford (1933), Walford (1946), Gulland (1969) y Beverton y Holt (1957) (Gómez-Márquez, 1994; Salgado-Ugarte, 1985; Sparre y Venema, 1992; King, 1995, Salgado-Ugarte, *et al. 2000*) obteniéndose los siguientes resultados:

Los parámetros de crecimiento para von Bertalanffy calculados por regresión no lineal ponderada.

Total de los organismos		
L _∞	k	t _o
22.814	1.048	-1.080
$I = 22.81*[1 - e^{-1.048*(t+1.08)}]$		

Hembras		
L	k	t _o
25.201	0.683	-1.433

$$L_{t} = 25.20 * [1 - e^{-0.683 * (t+1.43)}]$$

Machos		
L _∞	k	t _o
22.070	1.034	-1.239

 $L_t = 22.07^* [1 - e^{-1.034^*(t+1.239)}]$

Por métodos tradicionales.

Total organismos		
L_{∞} k t_{o}		t _o
27.63	0.341	-2.769

 $L_{t}=27.63*[1-e^{-0.341*(t+2.769)}]$

Estudios esclerocronológicos sobre edad y crecimiento de moluscos, equinodermos, peces y reptiles

Machos		
L _∞	k	t _o
25.39	0.356	-4.150
$L = 25.39*[1 - e^{-0.356*(t+4.15)}]$		

Los parámetros para la *FCvB* para las hembras no se pudieron calcular por métodos tradicionales al no ajustarse a los supuestos del modelo. Los valores obtenidos por la regresión no lineal resultaron ser bajos a comparación de los métodos gráficos linealizados.

Se considera que los valores altos de *k* describen a una especie de vida corta que alcanza su longitud asintótica en un par de años, mientras que valores bajos de *k* describen especies que necesitan muchos años para acercarse a su máxima longitud asintótica (Salgado-Ugarte, 2005). Por lo tanto, los valores de *k* obtenidos se consideran relativamente bajos ya que la longitud de los peces se acerca al valor asintótico en pocos años.

La L_{∞} fue mayor en las hembras que en los machos por lo que al alcanzar mayores tallas el índice catabólico k es más bajo comparado con los machos, por esta razón los machos alcanzan su L_{∞} más rápido (figura 37).



FIGURA 37. Comparación de curvas de crecimiento entre sexos.

Al compararlos con los reportados para la población por Salgado-Cruz en (2015) estimados en las costas de Oaxaca, México, por medio de la lectura de escamas; es claro el carácter conservador de los parámetros reportados en este trabajo (figura 38). Lo anterior pudiera ser explicado por los las tallas que reporta este autor en su estudio, en el cual dispuso de una gama de organismos que van desde 13.5 cm hasta un caso extraordinario con 38 cm de longitud total.

 $L_t = 39.14 * \left[1 - e^{(-0.26*(t+1.51))}\right]$

FIGURA 38. Parámetros de FCvB reportados para la población (Salgado-Cruz, 2015).

8.9 Crecimiento en peso

El valor del peso asintótico P_{∞} resultó ser muy similar entre ambos métodos incluso llegando a ser casi igual en los machos. La diferencia más amplia se obtuvo en la población. Al compararlos con lo reportado por Salgado-Cruz (2015) los valores de este trabajo están subestimados (figura 39). Las diferencias en los parámetros de crecimiento para esta especie podrían deberse, entre otras razones, a los métodos de laboratorio, a diferencias genéticas, a condiciones ambientales (*e.g.*, temperatura del agua, disponibilidad de alimento, niveles de explotación) (Davis *et al.* 2008) y a la escasez de organismos pequeños y grandes en el presente trabajo (Campana, 2001).

Parámetros calculados por regresión no lineal.

	Hembras.	Machos.	Población.
P _∞	385.83	278.11	461.19
k	0.23	0.44	0.21
t _o	-0.44	-0.71	-0.86

Métodos tradicionales.

	Hembras.	Machos.	
P _∞	390.4	278.8	450.96
k	0.55	0.55	0.23
t _o	-0.29	-0.66	-1.08

 $Pt = 696 * \left[1 - e^{\left(-0.263 * (t+1.51)\right)}\right]^{2.93}$

FIGURA 39. Valores estimados en las costas de Oaxaca México, por medio de la lectura de escamas reportados por Salgado-Cruz, (2015).

8.10 T² de Hotelling

La *FCvB* indica que machos y hembras crecen de manera diferente (T^2 calculada= 180.66 >> T^2 de tablas = 0.116). Tanto $L\infty$ como k son diferentes (los intervalos de confianza no incluyen al cero) lo que indica que las hembras alcanzan tallas mayores y crecen más lentamente que los machos.

Las diferencias en crecimiento entre los dos grupos de peces se hacen manifiestos por altos valores de F_o para cada parámetro, mientras más alto, mayor será la significancia en la diferencia (el parámetro más significativo que contribuye a la diferencia es L_{∞} 54.36, seguida de t_o 3.88 y al final k 0.54.)

8.11 Distribución de edades

Se observaron cuatro grupos de edad las dominantes son uno y dos años seguido con tres años, solo se presentaron tres organismos con cero años (anillos) que son los organismos más jóvenes y de sexo indeterminado, lo que concuerda con Salgado-Cruz, (2015) que encontró que las edades dominantes son dos y tres años (80%); también reporta un organismo con siete años (anillos). El presente estudio muestra tener baja representación en edades mayores y menores, esto relacionado con la selectividad del arte de pesca al solo capturar tallas correspondientes organismos con ese número de anillos.

9. Conclusiones

la proporción sexual observada fue 1:1.

La relación Longitud-Peso indica un crecimiento alométrico negativo (hipoalométrico).

Se comprobó que las escamas son estructuras adecuadas para la estimación de la edad.

La formación del anillo crecimiento de L. inermis es anual.

Las expresiones para la función de crecimiento de von Bertalanffy por regresión no lineal fueron:

Hembras:	$L_t = 25.20^* [1 - e^{683^*(t+1.43)}]$
Machos:	$L_t = 22.07*[1 - e^{-1.034*(t+1.239)}]$
Total de organismos:	$L_{t} = 22.81 * [1 - e^{-1.048 * (t+1.08)}]$

Las expresiones derivadas por métodos lineales tradicionales fueron:

Machos:	$L_t = 25.39^{*}[1 - e^{-0.35^{*}(t+4.15)}]$
Total de organismos:	$L_t = 27.63 * [1 - e^{-0.34 * (t+2.761)}]$

El crecimiento en peso calculado por regresión no lineal:

Hembras:	$P_t = 385.83 (1 - e^{0.32(t+0.44)})^{2.58}$
Machos:	$P_t = 278.11 (1 - e^{0.44(t+0.71)})^{2.576}$
Total de organismos:	P_t =461.19 (1- $e^{0.21(t+0.86)}$) ^{2.571}

Por métodos lineales tradicionales:

Hembras:	$P_t = 390.4 (1 - e^{0.55(t+0.29)})^{2.571}$
Machos:	$P_t = 278.8 (1 - e^{0.55(t+0.66)})^{2.576}$
Total de organismos:	$P_t = 450.96 (1 - e^{0.23(t+1.08)})^{2.58}$

Existe una diferencia en los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy entre machos y hembras de acuerdo con la prueba de T^2 de Hotelling

El valor más alto del *IGS* se presentó en febrero.

Capítulo 9

Uso de otolitos para estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis*

Pérez Olivares Iztzel

Introducción

entro de las pesquerías nacionales una las familias más explotada es Lutjanidae, pero a pesar de esto, no se cuentan con datos suficientes o los mínimos necesarios para todas las especies que conforman esta gran familia, un ejemplo de esto es *Lutjanus inermis,* la cual tiene una importancia en las pesquerías artesanales de México y en específico en las costas del sur del Pacífico, de esta especie solo se tiene la investigación realizada por Salgado-Cruz en el 2015, en dicha investigación da a conocer algunos datos de la edad y crecimiento, determinados a partir de la lectura de escamas.

Es importante destacar que los datos de edad y la modelación del crecimiento son prerrequisitos para lograr una adecuada explotación de poblaciones, por lo cual es importante y necesario el realizar este tipo de estudios.

Para la estimación de la edad en peces existen dos métodos, los indirectos y los directos; los primero suelen ser los más utilizados, ya que estos pueden resultar menos laboriosos y costosos en comparación a los directos (Petersen, 1891 En: Morales-Nin, 1991), los métodos indirectos se basan principalmente en la distribución de tallas de una población de peces, asumiendo que múltiples modas se hacen evidentes en las distribuciones de longitud de muestras de peces, las cuales representan varios grupos de edad. Si bien este tipo de métodos son útiles, se deben

considerar varios aspectos como: los grupos de edad deben estar bien definidos y separados en la distribución de la frecuencia de tallas (Basson *et al.*, 1988; Gulland y Rosenberg, 1992); además es necesario contar organismos desde tallas muy pequeñas hasta las tallas más grandes; con el fin de poder confiar que se cuentan con todas las edades de la población representadas.

Por otro lado los método directos permiten obtener una información más cercana a la realidad de la especie en comparación a los indirectos, existen diversos tipos, pero dentro de estos la interpretación y conteo de capas depositadas en estructuras duras, es el más usado en la ciencia pesquera, debido a que las discontinuidades observadas son producto de cambios en el metabolismo de los peces, siendo la reproducción y/o desove los que más influyen en la aparición de estas marcas (Everhart, 1981, en Gómez-Márquez, 1994) en las estructuras duras.

Si bien se puede hacer uso de una gran variedad de estructura duras para la determinación de la edad (Fig,1), dentro de estas se encuentran los otolitos que son concreciones de carbonato de calcio (principalmente en forma de aragonita) y otras sales inorgánicas, que se encuentran contenidos en el oído interno de los peces (García-Godos, 2001).



FIGURA 1. Esquema de las diferentes estructuras duras que se pueden obtener en un pez (Modificado de Panfili, 2002).

Los otolitos se encuentran en pares, *saggita, lapillus* y *asteriscus;* cada par se ubica en diferentes regiones del laberinto membranoso; la parte superior que se denomina utrículo se ubica el otolito

Ô

más pequeño *lapillus*; debajo del utrículo se ubica el sáculo en el cual está contenido el *sagitta* y en la bolsa más pequeña la lagena que se conecta con el sáculo contiene el último par de otolito el *asteriscus* (García-Godos, 2001).

De los tres pares de otolitos, el más utilizado para determinar la edad son los *saggita* (Fig. 2). Esto se debe a que en la mayoría de las especies de peces es el de mayor tamaño, además de poseer una gran variabilidad morfológica (Tuset *et al.*, 2008).



FIGURA 2. Localización del otolito Sagitta, modificado de Tuset et al. 2008.

El uso de otolitos para la determinación de edad es debido a que se ha observado que a menudo estas estructuras presentan una proporcionalidad directa (que puede ser una relación lineal) con respecto a la edad del organismo; lo cual sugiere que es una estructura constante a lo largo del crecimiento y por lo tanto permite estimar la edad de los organismos al contar las marcas en los otolitos.

Para lograr la lectura de los otolitos se pueden utilizar diferentes técnicas, dichas técnicas puede resultar complejas debido a que el éxito de la técnica depende de la obtención de los otolitos completamente libres de daños y en algunos casos los otolitos son tan delicados que la extracción y manipulación resulta difícil y consume mucho tiempo. (Green *et al.,* 2009).
En el presente capítulo se explicará el uso de dos técnicas que permitieron ver las marcas de crecimiento a mayor detalle y que involucraron el pulido y aclarado de los otolitos (procedimientos que se explican a detalle en la sección de método) y su lectura (interpretación) por la observación bajo luz reflejada, la cual permite distinguir dos tipos de bandas en el otolito: hialinas y opacas que se van añadiendo alternadamente, permitiendo visualizar anillos de crecimiento (Leta y Kim, 1982).

Una vez estimada la edad a través de la lectura de otolitos y conociendo la talla de los organismos, se hizo uso de modelos matemáticos que permitieron evaluar cuantitativamente el crecimiento individual de los organismos de la especie.

Uno de los modelos más utilizado para la modelación del crecimiento en peces es el de von Bertalanffy, pero se ha observado que en ocasiones esta función puede no resultar adecuada para algunas especies. Esto hace necesario la consideración de más de un modelo de crecimiento, para así poder elegir el más adecuado con base parámetros y/o pruebas estadísticas. En este capítulo se mostrará la comparación de los parámetros de tres modelos de crecimiento: von Bertalanffy, Logístico y Gompertz, los cuales son de tipo asintótico y con una complejidad semejante (mismo número de parámetros). Con esto se pretende hacer un estimado de crecimiento más robusto para *Lutjanus inermis.*

Material y métodos

D S S

Para realizar las diferentes pruebas presentadas en el presente capitulo se obtuvieron muestras de *Lutjanus inermis* en periodos aproximadamente mensuales de abril del 2014 a diciembre del 2015 de la captura comercial de Puerto Ángel, Oaxaca, México.

Se analizaron un total de 209 organismos: 102 machos, 104 hembras y 3 indiferenciados, en intervalos de tallas (longitud patrón) para machos de 15.1cm a 28.2, para hembras 15 a 29.7 cm y para indiferenciados 15.4 a 18.5 cm (Cuadro 1).

Cada organismo fue eviscerado y se pesaba el tracto digestivo, hígado, gónadas y el pescado eviscerado y a las gónadas se les asignó un estadio de madurez con base en la escala de madurez de cinco puntos para los reproductores parciales de Holden y Raitt (1975) y la de González *et al.* (2001) para *Lutjanus campechanus*; esto debido a que para la especie no hay una escala gonádica específica.

Sexo	Organismos	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	
Machos	102	21.15	2.37	15.1	28.2	
Hembras	104	21.59	2.36	15	29.7	
Indiferenciados	3	16.9	1.552418	15.4	18.5	

CUADRO 1. Total, de organismos por sexos con intervalos de tallas.

Una vez pesados, a los organismos se les extrajeron los otolitos, los cuales se limpiaban, medían (largo y alto) etiquetaban y almacenaban, para su posterior procesamiento.

Para la observación de los anillos de crecimiento en los otolitos, se hizo uso de dos técnicas: aclarado y pulido. La primera consistió en sumergir los otolitos en Xilol durante 12 hrs. y transcurrido ese tiempo se observaron al microscopio para determinar si era necesario el uso de la técnica de pulido o no.

De ser necesario el pulido, se realizaba con un rectificador Dremel 3000 de velocidad variable y el accesorio utilizado fue una piedra de amolar de silicio (esmeril) utilizando la velocidad 2; el otolito se colocó con la cara interna hacia arriba en una superficie dura y plana, y se adhirió con pequeños trozos de material adhesivo (Polibutileno) para evitar que se moviera al momento de pasar el rectificador. El rectificador se pasaba por la superficie del otolito tres o cuatro veces, dependiendo de su grosor y pulirlos siguiendo la forma de estos, sin tocar las orillas del mismo (Fig.3.).

Posterior a esto, se observaron en el microscopio estereoscópico para determinar si era necesario o no pulido adicional; de requerir más pulido se utilizó un ladrillo para pulir de grano fino el cual se humedecía varias veces con agua, para mantenerlo limpio y así lograr un mejor pulido.



FIGURA 3. Pulido de los otolitos con rectificador Dremel 3000.

Finalmente, para la lectura, los otolitos se sumergieron en una caja Petri con agua con el lado cóncavo hacia arriba y se observaron con luz reflejada sobre un fondo obscuro; se midió el radio total (R) y los radios a cada uno de los anillos (r_r) a partir del foco (núcleo) en dirección al extremo anterior del otolito (Fig. 4).



FIGURA 4. Medición de los radios en el Otolito con dos anillos de crecimiento y borde opaco. (F = foco, R = radio total, r_1 = radio 1, r_2 = radio 2, r_3 = radio 3, r_2 = incremento marginal).

Para eliminar riesgo de influencia subjetiva en la interpretación de los anillos de crecimiento en los otolitos, la lectura se efectuó por dos lectores independientes. Después de la segunda lectura se descartaron los casos de desacuerdo, así como aquellos que resultaron ilegibles.

Actividades de gabinete

Proporción de sexos

La proporción entre machos y hembras se contrastó con una prueba de bondad de ajuste de χ^2 , con alfa = 0.1, partiendo de la hipótesis nula de que la proporción de sexos es 1:1 (distribución uniforme).

Composición de tallas

Para conocer la distribución de tallas de la especie, se utilizaron estimadores de densidad por kernel (*EDKs*).

El cálculo de los EDKs y el cálculo de bandas "óptimas" se realizaron mediante las rutinas computarizadas de Salgado-Ugarte *et al.* (1993, 1995a, 1995b, 1997); Salgado-Ugarte (1995; 2002), Salgado-Ugarte *et al.* (2000b; 2002; 2005), Salgado-Ugarte (2013) y Mosqueda-Romo y Salgado-Ugarte (2011) para el paquete estadístico Stata (*StataCorp, 2013*).

Relación peso eviscerado-longitud patrón

Con el fin de conocer qué tipo de crecimiento relativo presentan los organismos se llevó a cabo la relación peso-longitud. Para esto, se realizó una regresión no lineal (función potencial) con una confianza del 95%, se usó la siguiente fórmula:

$$Pe = aLp^b \tag{1}$$

En donde **Pe** es el peso eviscerado en gramos; **Lp** es la longitud patrón en centímetros y **a** y **b** son las constantes, coeficiente y exponente respectivamente (índice alométrico). Para el cálculo de esta función se utilizó una rutina de ajuste numérico (Gauss-Newton) y el programa específico para función potencial (Salgado-Ugarte, *et al.*, 2000) para Stata (*StataCorp, 2013*).

Modelos de crecimiento

Con los datos de talla y edad que se obtuvieron, se estimaron los parámetros para cada modelo de crecimiento a probar que fueron los siguientes:

von Bertalanffy se calculó con la siguiente ecuación (von Bertalanffy, 1938; Ricker, 1975):

$$L_{t} = L_{\infty} (1 - e^{-\kappa(t - t_{0})}) \qquad (1.2)$$

Donde L_t son la longitud en la edad t; L_{∞} se interpreta biológicamente como "la talla media de un pez muy viejo (en sentido estricto: infinitamente viejo)"; k es el "parámetro de curvatura" que determina la rapidez con la que el pez alcanza L_{∞} y es una constante relacionada con la tasa metabólica; t_o a veces llamado "parámetro de condición inicial", es el tiempo teórico en el cual el organismo inicia su crecimiento (es decir, la edad cuando tiene longitud igual a cero) y carece de significado biológico ya que el crecimiento comienza a nivel larval (Gulland, 1971, Everhart y Youngs, 1981, Sparre y Venema, 1997; Salgado-Ugarte, *et al.*, 2005; Ogle, 2016).

L, P, k y t_o se obtuvieron por regresión no lineal (Sparre y Venema, 1997; Salgado-Ugarte, et al., 2000b; 2005).

Gompertz, se calculó con base a la siguiente fórmula:

$$L_{t} = L_{\infty} e^{-e - k(t - t_{0})}$$
 (1.3)

Y por último el logístico calculado con la siguiente fórmula:

$$L_{t} = L_{\infty} / (1 + e^{-k(t - t_{0})}) \qquad (1.4)$$

En ambos modelos L_{∞} es la longitud asintótica del pez (longitud promedio máxima para la especie); k es el parámetro de curvatura (determina que tan rápido se alcanza el valor de L_{∞}); t es la Edad y t_{o} es el tiempo teórico de inicio de crecimiento cuando $L_{t} = 0$.

Para dichos análisis, se consideraron sexos separados (machos y hembras) y para determinar si existen diferencias entre machos y hembras; se realizaron pruebas de T^2 de Hotelling, y de razón y máxima verosimilitud (Kimura, 1980; Roff, 2006), con el uso de las rutinas para Stata presentadas por Salgado-Ugarte *et al.* (2005).

Selección de modelo

Para seleccionar los modelos se consideraron dos criterios. Primeramente se tomó en cuenta el valor de R^2 (coeficiente de determinación): entre más cercano al 100 %, mayor es el ajuste del modelo ya que básicamente cuantifica que tanto por ciento de variabilidad explicada por el modelo sobre la variable de respuesta.

El otro método usado fue el análisis de residuales; los residuales son los valores realizados u observados de los errores del modelo que se está aplicando. Por tal razón el análisis de residuales es una forma eficaz de descubrir diversos tipos de inadecuación de un modelo (Montgomery *et al.*, 2002). El análisis de residuales se basa en los supuestos de normalidad, independencia y homocedasticidad (homogeneidad de varianzas) de los errores, que permiten establecer criterios sobre éstos (Guerra, *et al.* 2003); para poder verificar los supuestos anteriores se realizó una inspección visual de los residuales a partir de una serie de gráficos para determinar que los supuestos se cumplen, y con ello, validar el ajuste y hacer confiables las predicciones el modelo (Montgomery *et al.*, 2002).

Métodos de validación de la periodicidad de las marcas

Para validar la periodicidad de las marcas se midió el incremento marginal (Casselman, 1987) y se siguieron las sugerencias de Hyndes, *et al.* (1992). Este incremento se consideró como la distancia entre el borde externo de la última zona hialina y el margen del otolito; lo que se espera es que un incremento relativamente pequeño, indique que el anillo acaba de formarse (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).

Adicionalmente se analizó la Razón de Incremento Marginal a partir de la siguiente fórmula:

$$RIM = (R - r_n) / (r_n - r_{n-1})$$
 (1.5)

En dónde, **R** es el radio total; **r**_n es la longitud del foco al último anillo de crecimiento en el otolito y **r**_{n-1} es la longitud del foco al penúltimo anillo.

Para determinar la relación que puede existir entre el crecimiento y variables ambientales como: Temperatura Superficial del Mar y la concentración de Clorofila α se compararon dichas variables con la *RIM*.

Los valores mensuales para cada variable ambiental se obtuvieron de: Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, National Aeronautics and Space Administration (GES DISC

- NASA), 2016. Monthly average of the sea surface temperature at daylight, expressed in Celsius degrees. Raster digital data available at http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/. Published at http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/. Published at http://www.icmyl.unam.mx/uninmar/. Consulted on 2016/06/01.

Y para determinar si la época reproductiva afecta el crecimiento se calcularon el Índice Gonadosomático (*IGS*) y el Factor de Condición relativo (*Kr*); para esto se utilizaron las siguientes fórmulas:

En dónde Pg es el peso de la gónada y Pe es el peso eviscerado, ambos en gramos.

$$Kr = Pe / (aLp^b)$$
(1.7)

En dónde **Pe** es peso eviscerado en gramos; **Lp** es longitud patrón en centímetros; **a** es la ordenada al origen de la relación P-L logarítmica y **b** es la pendiente de la relación P-L logarítmica o exponente de la relación P-L potencial.

Resultados

Distribución de las tallas

En los EDKs de machos y hembras se observan tres modas con base a la longitud patrón: 15.6, 20.8 y 27.7 cm y 14.6, 20.4 y 27.1 cm (**Gráfica 1**) respectivamente. En el caso de los indiferenciados se observa una única moda a los 15 cm. A pesar de ser pocos organismos, las tallas son más pequeñas en comparación a los machos y hembras (**Gráfica 1**).

CAPÍTULO 9. Uso de otolitos para estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis*



GRÁFICA 1. EDKs generales por sexos.

Los EDKs mensuales para ambos sexos muestran que el intervalo de tallas se concentra entre los 20 cm y los 25 cm longitud patrón; para ambos sexos las tallas más pequeñas se registraron en marzo 2014, octubre y diciembre 2015 con organismos de tallas menores a 20 cm (**Gráfica 2**), mientras las tallas mayores a 25 cm se registraron en las muestras de agosto y septiembre de 2015 (**Gráfica 2**).



GRÁFICA 2. EDKs mensuales por sexos.

ter of O the s

Jacob Contraction

Proporción sexual

De acuerdo con los valores estimados para la prueba de χ^2 por fecha de muestreo y para el total de la muestra las proporciones entre machos: hembras no se apartan significativamente de la relación 1:1 (**Cuadro 2**).

Fecha	Machos	Hembras	Proporción	X ²	Р
24/03/2014	7	11	1.00:1.57	0.88	0.345
24/05/2014	5	10	1.00:2.00	1.66	0.196
16/08/2014	7	8	1.00:1.14	0.066	0.796
18/10/2014	11	7	1.00:0.64	0.88	0.345
25/01/2015	2	2	1.00:1.00	0	1
24/06/2015	5	8	1.00:0.63	0.69	0.405
22/08/2015	16	11	1.00:1.45	0.92	0.335
26/09/2015	14	24	1.00:0.58	2.63	0.104
17/10/2015	12	9	1.00:1.33	0.42	0.512
04/12/2015	23	14	1.00:1.64	2.18	0.138
Total	102	104	1.00:0.98	0.019	0.889

CUADRO 2. Proporción sexual por fecha de muestreo y total.

Relación peso-longitud

Para el análisis de regresión no lineal se usaron los datos en su escala original **Gráfica 3** (Salgado-Ugarte, *et al*, 2005) y los ajustes para valores de la regresión se presentan en el **Cuadro 3**.

CUADRO 3. Parámetros de la regresión no lineal de peso eviscerado- longitud patrón por sexo.

Sexo	Coeficiente	Error estándar	Valor t	Prob. > <i>t</i>	Intervalo de confianza 95%
Machos N=102					
R ² = 0.9985 b a	2.760 0.394	0.249 0.017	11.18 23.09	0.000 0.000	2.268 3.252 0.360 0.428
Hembras N=104					
R ² = 0.9986 b a	2.549 0.407	0.195 0.014	13.05 28.13	0.000 0.000	2.162 2.937 0.378 0 .435





Adicionalmente la relación peso eviscerado- longitud patrón, se realizó por mes y sexos; donde se observó para la mayoría de los meses que el valor de **b** es menor a tres (**Cuadro 4**), para machos en los meses de agosto, 2014; enero y junio 2015 y en hembras octubre, 2014; agosto y octubre 2015, se observan valores iguales a tres o mayor.

CUADRO 4. Valores de *b* de la relación peso eviscerado-longitud patrón por mes y sexo.

Valores de b		NA
Machos	Hembras	Ivies
2.728	2.845	Marzo, 2014
2.537	2.014	Mayo, 2014
3.095	2.776	Agosto, 2014
2.815	3.036	Octubre, 2014
3.053	2.764	Enero, 2015
3.231	2.400	Junio, 2015
3.155	3.105	Agosto, 2015
2.469	2.792	Septiembre, 2015
2.631	3.813	Octubre, 2015
2.833	2.984	Diciembre, 2015

Razón del incremento Marginal (RIM)

Los valores de *RIM* más bajos se registraron en octubre 2014, así como en octubre y diciembre 2015; esto sugiere que la formación de anillos es anual.

Al comparar *RIM* con el índice Gonadosomático (*IGS*) se observa una relación negativa entre estos, de tal forma que los valores altos de *IGS*, se corresponden con los valores bajos de *RIM* (**Gráficas 4A**). Al comparar *RIM* con *Kr*, se observa una relación positiva entre estos; lo cual indica que al bajar la condición de los organismos disminuye el crecimiento sómatico (**Gráfica 4B**).



GRÁFICA 4. Relación **A)** *RIM* con *IGS* **B)** RIM con porcentaje de individuos maduros **C)** *RIM* con *Kr.*

La *RIM* también se comparó con dos variables ambientales: la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila a. Para la primera no se observa una relación clara, se logra distinguir un poco que cuando la *RIM* registra valores bajos (octubre 2014-2015) la temperatura también baja (**Gráfica 5A**), para la segunda se observa una relación positiva (**Gráfica 5B**).

CAPÍTULO 9. Uso de otolitos para estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis*



GRÁFICA 5. Relación **A**) *RIM* con Temperatura superficial del mar **B**) *RIM* con concentración de Clorofila a.

Modelos de crecimiento

Con el fin de identificar el modelo que mejor describa el crecimiento de *Lutjanus inermis* se compararon tres. A continuación, se muestran el ajuste y el análisis de residuales de cada uno. Lo cual permitió elegir la mejor opción.

Con base en los valores de *R* el modelo que mejor se ajusta en ambos sexos es el de von Bertalanffy con un valor de 0.9937 para machos y 0.9924 para hembras (**Cuadro 5**).

	Machos (valor de <i>R</i>)	Hembras (Valor de <i>R</i>)
Gompertz	0.9936	0.9912
Logístico	0.9929	0.9910
Von Bertalanffy	0.9937	0.9924

CUADRO 5. Valores de *R* obtenidos por sexos para cada modelo.

Los gráficos obtenidos de residuales de cada modelo se muestran en las **gráficas 6-8** y también las curvas de crecimiento para cada uno.

Adicionalmente de la evaluación visual de los residuales de cada modelo, también se les aplicó una prueba de normalidad la de SHAPIRO-WILK, los resultados se muestran en el **Cuadro 6**, los valores de *p* indican que para el caso de los machos los residuales de los tres modelos tienen una distribución normal y en las hembras pasa lo contrario.

CUADRO 6. Valores de *p* calculados en la prueba de SHAPIRO-WILK por sexos para los residuales de cada modelo.

	Machos (Valor de <i>p</i>)	Hembras (Valor de <i>p</i>)
Gompertz	0.09696	0.00219
Logístico	0.08392	0.00000
von Bertalanffy	0.10595	0.00257

A continuación, se muestran las funciones para cada modelo, por sexos, así como el análisis visual de residuales para cada uno:



GRÁFICA 6. Función de crecimiento del modelo Gompertz A) Machos B) Hembras.

CAPÍTULO 9. Uso de otolitos para estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis*



GRÁFICA 6.1. Gráficos del análisis de residuales para modelo de Gompertz
 A) machos B) hembras. a) Diagrama caja y bigote de los residuales b) residuales vs valores ajustados c) Q-Q plot d) EDK de los residuales.



GRÁFICA 7. Función de crecimiento para el modelo Logístico A) Machos B) Hembras.



GRÁFICA 7.1. Gráficos del análisis de residuales para modelo Logístico
A) machos B) hembras. a) Diagrama caja y bigote de los residuales
b) residuales vs valores ajustados c) Q-Q plot. d) EDK de los residuales.

CAPÍTULO 9. Uso de otolitos para estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis*







GRÁFICA 8. Función de crecimiento para el modelo von Bertalanffy A) machos B) hembras.





GRÁFICA 13.1. Gráficos del análisis de residuales para modelo de von Bertalanffy
 A) machos B) hembras. a) Diagrama caja y bigote de los residuales b) residuales vs
 valores ajustados c) Q-Q plot. d) EDK de los residuales

Se compararon los valores obtenidos de L_{∞} , k y $t_{o'}$, obtenidos de cada modelo (**Cuadro 7**), donde se observa que los valores más altos para cada variable se obtuvieron con el modelo de *von Bertalanffy*, y siendo que este modelo es el que presenta el valor de R^2 más cercano a uno y sus residuales tuvieron una distribución cerca a la normal este es el modelo que mejor describe el crecimiento *Lutjanus inermis*.

	Variables	von Bertalanffy	Gompertz	Logístico
Machos	L_{∞}	26.72 (16.67 36.78*)	25.65 (18.75 32.54*)	23.19 (20.67 25.71*)
	k	0.23 (0.12 0.59*)	0.32 (-0.05 0.67*)	0.58 (0.14 1.01*)
	t _o	-3.82 (-8.07 0.44*)	-2.15 (-3.78 -0.51*)	-1.09 (-2.09 -0.105*)
Hembras	L	22.60 (20.87 24.32)	22.14 (20.84 23.43*)	22.04 (21.25 22.84*)
	k	0.82 (0.10 1.54)	1.07 (0.17 1.97*)	1.44 (0.52 2.36*)
	t _o	-0.35 (-1.85 1.14)	0.11 (-1.05 1.27*)	0.53 (-0.11 1.17*)

CUADRO 7. Parámetros de la función de crecimiento para cada modelo (* Intervalos de confianza del 95%).

Las expresiones para la función de crecimiento longitudinal de von Bertalanffy por regresión no lineal para hembras y machos fueron, respectivamente:

 $L_{t} = 26.72 [1 - exp{-0.23(t - 3.82)}] y L_{t} = 22.60[1 - exp{-0.82(t - 0.35)}].$

Después de la selección del modelo que mejor se ajusta que fue von Bertalanffy, se realizaron las pruebas de T^2 de Hotelling los resultados se muestran en el **Cuadro 8**.

CUADRO 8. Prueba de *T*² de Hotelling para comparación de parámetros del modelo von Bertalanffy.

Matriz de varianza-covarianza (S)			Inversa de S		
9.890	-0.548	-4.243	0.505	4.946	0.304
	0.038	0.287		299.723	-27.169
		2.391			4.216

[2.2678 -0.1203 -0.7584] = [P1 - P2]

AL AN

T² = 24.7520 T²_0.01: 3,146 = 11.917 F_0.01: 3,146 = 3.9186

			F critica
0.494	<= Linf1 - Linf2 <=	4.041	6.407
-0.231	<= K1 - K2 <=	-0.010	4.647
-1.630	<= t ₀ 1 - t ₀ 2 <=	0.113	2.964

Con base a la prueba se concluye que machos y hembras crecen de manera diferente (T^2 calculada =24.7520 >> T^2 tablas = 11.917). Además, L_{∞} y K son diferentes (los intervalos de confianza no incluyen al cero) y solo t0 pudiera tener el mismo valor (los intervalos de confianza incluyen al cero) en ambos sexos. Por otro lado, los valores críticos de F indican que el parámetro que más contribuye a la diferencia es L_{∞} seguido de K.

Además de la prueba de T^2 de Hotelling se aplicaron las pruebas razón de verosimilitud de Kimura (1980) y de máxima verosimilitud de Roff (2006) las cuales indican que existe una diferencia significativa (P = 0.002) en los modelos por sexo y además se tuvo: diferencia significativa para los L_{∞} (P = 0.036) y K (P=0.030) y no significativo para t_{α} (P = 0.140) (**Cuadro 9 y 10**).

Los resultados de las pruebas multivariadas y de razón de verosimilitud son semejantes, las cuales indican que existe una diferencia de sexos significativa, originada principalmente por los valores de L_{ω} , seguidos por el parámetro de curvatura K y sin diferencia entre las estimadas de t_{o} . La prueba de máxima verosimilitud no mostró diferencias entre las funciones por sexo con una significancia del 0.05.

recimiento de <i>Lutjan</i>	ius inermis				9	
CUADRO 9. Pruebas de razón de verosimilitud para las FCVBs para machos (1) y hembras (2).						
Restricciones lineales	Modelos equivalentes	SCR	χ²	gl	Р	
Ninguna	$L_{j} = 74.41[1 - exp\{-0.037(t+06.444)\}]$	2.34				GU
	L _{2j} = 26.28[1-exp{- 0.398(t+1.178)}]					J.S.
$L_{\infty_1} = L_{\infty_2}$	$L_{1j} = 34.60[1 - \exp\{-0.141(t + 4.166)\}]$	3.49	4.38	1	0.036	
	L _{2j} = 34.60[1-exp{- 0.159(t+2.792)}]					
$K_1 = K_2$	$L_{1j} = 35.04[1-exp\{-0.138(t+4.180)\}]$	3.60	4.72	1	0.030	
	$L_{2i} = 36.52[1-\exp\{-0.138(t+3.093)\}]$					
$t_{_{O1}} = t_{_{O2}}$	L _{1j} = 36.39[1-exp{- 0.128(t+4.276)}]	4.07	6.09	1	0.140	
	L _{2i} = 48.94[1-exp{- 0.075(t+4.276)}]					
$L_{\infty 1} = L_{\infty 2}$ $K_{1} = K_{2}$ $t_{01} = t_{02}$	$L_j = 77.28[1 - \exp\{-0.035(t + 6.194)\}]$	9.00	14.81	3	0.002	

CUADRO 10. Pruebas de máxima verosimilitud (F) para dos FCVB: machos (1) y hembras (2).

Restricciones lineales	Modelos equivalentes	SCR	F	GI	Р
Ninguna	$L_{ij} = 74.41[1-exp\{-0.037(t+06.444)\}]$	2.34			
	$L_j = 26.28[1 - \exp\{-0.398(t + 1.178)\}]$				
$L_{\infty 1} = L_{\infty 2}$ $K_{1} = K_{2}$ $t_{01} = t_{02}$	$L_j = 77.28[1 - \exp\{-0.035(t + 6.194)\}]$	9.00	4.74	3,5	0.0634

GIO

J.S.

X O

Composición de edades

En el **cuadro 11 y la gráfica 14A** se muestran la composición de edades por sexo y total de individuos estudiados, predominando los individuos de tres años y seguidos de los ejemplares de cuatro años en machos y hembras; los porcentajes por sexo para cada edad se muestran en la **gráfica 18**, donde puede notarse que las hembras presentan las edades mayores.

Edad Sexo Total Indiferenciados Machos **Hembras**





GRÁFICA 18. A) Composición de edades por sexo y población.B) Porcentaje de individuos de cada sexo por edad.

En el **cuadro 12**, se muestra la relación talla-edad por sexos, lo que permite observar que los organismos conforme crecen envejecen ya que las tallas mayores se registran para 5 años que es la edad máxima registrada para el presente trabajo.

Edad	Talla (Longitud patrón en cm)			
	Machos	Hembras		
1	17.16	15		
2	20.52	19.65		
3	21.71	20.53		
4	23.38	22.89		
5	25.65	24.26		

CUADRO 12. Relación talla-edad por sexos para Lutjanus inermis.

Discusión

Distribución de tallas

El intervalo de tallas que se registró para *Lutjanus inermis* en Puerto Ángel, en hembras fue de 15 a 28.2 cm y en machos de 15 a 29.7 cm de longitud patrón y de longitud total en las hembras se registraron tallas de 18.3 a 34.4 cm y en machos 18.4 a 34.4 cm; esto difiere con lo reportado por Lucano-Ramírez et al. (2011) quienes reportan un intervalo de tallas para hembras de 17.0 a 37.0 cm de longitud total y para machos de 14.4 a 36.7 cm para la costa de Jalisco y con Salgado-Cruz (2015) quien reportó un intervalo de talla para *Lutjanus inermis* en la costa de Oaxaca de 13.5 a 38 cm; en este caso no reporta los intervalos de tallas por sexo.

En el caso de Lucano-Ramírez et al. (2011), reporta el uso de red agallera con diferente luz de malla (3.0", 3.5", 4.0" y 4.5"). En nuestro trabajo, aunque se utilizó el mismo arte de pesca, la luz de malla no cambiaba ya que los organismos analizados fueron comprados con los pescadores, lo que tiene como consecuencia que pueda existir una baja proporción de peces de tallas grandes o pequeñas, teniendo como consecuencia posible un intervalo de tallas angosto y un sesgo en la composición de tallas y/o edades (Holden y Raitt 1975; Grimes, 2001; BJordal, 2005).

Para el caso de la diferencias de tallas con Salgado-Cruz (2015), dicho trabajo abarcó cuatro puertos de la Costa del Oaxaca (Bahía Chipehua, Santa Cruz Huatulco, Puerto Ángel y Puerto Escondido), pero al comparar los resultados en Puerto Ángel reportó un intervalo de tallas de 17 a 29 cm de longitud patrón (Anexo 1); esto coincide con el intervalo reportado en este trabajo (entre los 20 y 25 cm) en ambos sexos y además al no existir una diferencia de tamaños entre sexos, puede inferirse que la discrepancia entre tallas reportados puede deberse a la diferencia de áreas muestreadas. Por tanto, al incluir otras zonas, el intervalo de tallas aumenta y esto está relacionado principalmente con las artes de pesca, ya que suelen variar entre zonas y en este caso el autor no reporta el arte de pesca utilizado en cada sitio muestreado.

Proporción sexual

Por fecha de muestreo y para el total de la muestra, las proporciones entre machos:hembras de *Lutjanus inermis* en Puerto Ángel no se apartan significativamente de la relación 1:1; esto coincide con lo reportado por Lucano-Ramírez et al. (2011) y Salgado-Cruz (2015); este comportamiento puede estar indicando que no existe una segregación de sexos; por tal razón no se obtienen un mayor número de hembras o de machos Además que comúnmente en la mayoría de las especies de sexos separados como lo es esta especie, la relación tiende a ser cercana uno a uno (Nikolsky, 1963).

Relación Peso eviscerado-Longitud patrón

La relación peso-longitud es un descriptor importante, ya que aporta información sobre estrategias de crecimiento e información indirecta sobre el crecimiento relativo de los organismos (Cifuentes et al., 2012). Los parámetros de la relación peso-longitud ($a ext{ y} ext{ b}$) se utilizan de diversas maneras: para

- estimar el peso de los especímenes a partir de la longitud
- convertir ecuaciones de crecimiento en longitud a crecimiento en peso (Pauly, 1993)
- calcular el factor de condición (Richter et al., 2000)
- comparar la morfología entre poblaciones de diferentes regiones o hábitats (Goncalves et al., 1997) y
- estudiar los cambios alométricos durante la ontogenia (Petrakis y stergou, 1995; Teixeiro de Mello et al., 2006).

Los valores de *b* que se obtuvieron para ambos sexos y por análisis (lineal y no lineal) fueron estadísticamente diferentes a 3 y al analizar la relación mensualmente se observó que en la mayoría de los meses el valor de *b* también es estadísticamente diferente de tres y en la mayoría menores a 3; el intervalo de los valores de *b* fue 2.46- 2.83. Por lo tanto, el tipo de crecimiento relativo en esta especie es hipoalométrico, es decir que presentan un crecimiento desproporcional indicando que la tasa de crecimiento en longitud es mayor que en peso

Los valores de b coinciden con el intervalo mencionado por Lagler,1956; Carlander, 1969, 1977; Weatherley , 1972 y Olaya- Nieto, 2007 de b<2.5 o b>3; el cual está relacionado generalmente con los estimados a partir de intervalos de talla muy pequeños, como fue en este caso.

Además, el intervalo (2.54-2.65) de valores obtenidos para *b* corresponde con lo reportado por Froese (2006) para organismos jóvenes. Esto ya ha sido observado en otras especies, en donde los valores de *b* que se encuentran por debajo de 3, indican la presencia de un gran número de organismos adultos jóvenes, ya que de manera general los juveniles resultan ser menos robustos en comparación de los adultos (Ibáñez, 2015), es decir que para este estudio los organismos capturados fueron en su mayoría adultos jóvenes; además en otras especies de la misma familia como *Lutjanus peru*, se ha registrado un crecimiento hipoalométrico (Isoteco-Palemon, 2011) y esto es atribuido a la presencia mayoritaria de organismos juveniles los cuales, como se ha mencionado, son menos pesados para su longitud en las primeras etapas de su desarrollo.

Todo lo anterior indica que la selectividad del arte de pesca está influyendo en los resultados, ya que las redes agalleras tienden a seleccionar peces gordos entre los jóvenes y delgados entre los adultos introduciendo un sesgo en el valor de *b* (Froese, 2006).

Al comparar los valores de b registrados para esta especie, Salgado-Cruz (2015) reporta una b=2.94 para toda la población y menciona que es un crecimiento isométrico en todas las localidades reportadas. Pero al comparar el valor de b para los organismos de Puerto Ángel, el valor poblacional es de 2.89 la cual no fue estadísticamente diferente de 3; para machos es b=2.91 y hembras de b=2.68 (Anexo 2), de tal manera que los valores de b siguen siendo mayores a los reportados en este trabajo.

De manera general los valores de *b* pueden variar entre poblaciones de la misma especie y estas diferencias están relacionadas en gran medida a la variación entre estaciones de muestreo, hábitat, deterioro de las condiciones ambientales y a variaciones temporales (Lecren, 1951; Yildirim et al. 2001; Bilici et al. 2016), para poder verificar esto, se compararon las condiciones ambientales de cada uno de los muestreos, enfocado dichas comparación en la presencia y/o ausencia del Fenómeno del Niño; esto debido a que el crecimiento puede ser sensible a cambios en el ambiente, y sobre todo a eventos de inestabilidad y/o variabilidad como se puede considerar al Fenómeno del Niño; la comparación entre los meses muestreados por Salgado-Cruz (2015) y

los meses del presente trabajo se muestran en el Anexo 3; se observó que durante el muestreo de Salgado-Cruz no se presentó dicho fenómeno y lo contrario pasó en los meses que abarcó este trabajo, en los cuales sí estuvo presente.

Se sabe que de manera general las implicaciones que tiene el fenómeno de "El Niño" son negativas e importantes en las pesquerías del Pacifico mexicano ya que este evento reduce significativamente la biomasa fitoplanctónica, lo que trae como consecuencia la disminución de la fertilidad de los ecosistemas marinos. Esto se debe principalmente al debilitamiento de las surgencias y al hundimiento de la termoclina (Lluch-Cota et al. 2004).

Para el caso del Golfo de Tehuantepec se ha observado un decremento de las concentraciones de pigmentos fotosintéticos lo cual provoca una baja en la disponibilidad de alimento para los niveles tróficos superiores y por tanto puede tener como consecuencia que los organismos capturados durante este periodo, puedan presentar un peso menor en comparación con los organismos capturados durante la ausencia de dicho fenómeno y a pesar de que no se obtuvieron valores del factor de condición, se puede pensar que las condiciones ambientales afectan el crecimiento, debido a que la relación peso-longitud puede usarse como un índice práctico para evaluar la condición de los peces, ya que un crecimiento hiperalométrico podría indicar una buena condición y un crecimiento hipoalométrico indica lo contrario (Olaya-Nieto,2007,) como fue en este caso. Lo anterior pudiera estar explicando la diferencia observada de los valores de b entre las poblaciones muestreadas en los años 2010-2011 y los años 2014-2015.

Otro factor que puede influir en la diferencia de valores de *b*, está relacionado con el gasto energético para el mantenimiento corporal (Solano-Peña et al. 2013); de tal manera la relación peso-longitud en los peces puede ser diferente entre sexos como sucedió en este caso.

Talla mediana de madurez

En el caso de *Lutjanus inermis* no se cuenta con una escala de madurez gonádica, por lo cual se optó por realizar una escala de madurez gonádica propia, para tal fin se partió de la escala de madurez gonádica para una especie de la misma familia *Lutjanus campechanus* de González *et al.* (2001). Esta se eligió debido a que al ser de la misma familia pueden presentar semejanzas entre el desarrollo de las gónadas y la de Holden y Raitt (1975), que al ser más general también puede coincidir con lo observado en *Lutjanus inermis*. De esta forma, al conjuntarlas e incluyendo las características observadas, se pretende llegar a una descripción más adecuada para la especie. De esta forma se distinguieron cinco estadios de maduración, de los cuales se utilizaron los estadios IV (madurez total) y V (desove), para calcular la talla mediana de madurez (longitud patrón): 21.3 cm para hembras y 21.4 cm para machos. Ambas longitudes se ubican dentro del intervalo de tallas

de primera madurez reportadas por Lucano-Ramírez et al. (2001) que fue de 23.9 para hembras y de Salgado-Cruz (2015) de 20.5 cm.

La talla de madurez para ambos sexos corresponde a la edad de 3 años; con base a la talla y edad se puede considerar que esta especie se reproduce tempranamente; esto puede estar relacionado con el arte de pesca el cual esta seleccionado adultos jóvenes dentro de la población. Lo anterior se vuelve más evidente al observar las edades predominantes en las capturas que son 3 y 4 años y que la edad máxima registrada fue de 5 años en comparación al máximo de edad reportado para la especie de 10 años y en otras especies de la misma familia como *Lutjanus guttatus* de 13.5 años (Méndez et al.) y *L. peru* de 10 años (Apolinar-Santamaría y Chávez, 1999); los organismos capturados de *L. inermis* podrían estar respondiendo a la presión ejercida por la pesca de mucho tiempo, ya que de manera general la mayoría de artes de pesca están diseñadas para extraer los individuos de mayor talla, aumentando la mortalidad de individuos adultos; provocando así la reducción en la capacidad reproductora, lo cual se puede compensar con la disminución de la talla corporal y así aumentar las oportunidades de apareamiento a edades tempranas (Palmer et al 2006).

Relación Longitud Patrón- Radio del Otolito

Dentro de este trabajo se realizó la descripción del otolito de *L. inermis*; ya que para esta especie no se cuenta con descripción alguna y también porque los otolitos además de ser estructuras utilizadas para la estimación de la edad, también se han reconocido como una de las estructuras anatómicas que brindan información para la identificación de especies, ya que poseen formas específicas para cada una y pueden considerarse como la huella dactilar de los peces (Nolf y Strubaut 1989 en: Santillan-Reyes, 2011) de tal suerte que esta descripción puede ser útil para futuras investigaciones relacionadas con taxonomía de la familia Lutjanidae.

Para la relación del otolito- longitud del cuerpo se espera que mientras mayor talla tenga un pez sean más grandes los otolitos. Para la relación entre el tamaño del otolito y la longitud del cuerpo se obtuvo una R^2 para hembras de 0.64 y para machos 0.68; al graficar estas variables se aprecia una línea recta con una pendiente positiva lo que muestra que al aumentar la longitud también aumenta el tamaño del otolito, es decir que el incremento de los otolitos es proporcional para las longitudes de los organismos; esto se confirma con el valor obtenido en la prueba de correlación de 0.80 lo que indica una correlación positiva alta y significativa, por lo tanto puede considerarse que los otolitos son estructuras útiles para determinar la edad de *L. inermis*.

Esto coincide con lo mencionado por Rocha-Olivares y Gómez-Muñoz (1993), quienes determinaron que los otolitos son válidos para determinar la edad en otra especie de lutjánido (*Lutjanus peru*),

ya que el crecimiento en longitud de los otolitos guardó una estrecha relación con el crecimiento de los peces, al igual que en este estudio.

Razón del Incremento Marginal

Los valores más bajos para la razón del incremento marginal (*RIM*) se registraron en octubre 2014 y 2015 lo cual indica que la formación de las marcas es anual, esto coincide con lo reportado por Salgado-Cruz (2015) quien menciona que en los organismos de *L. inermis* en la costa de Oaxaca la formación de anillos es anual y con lo reportado por Sarabia-Méndez et al. (2010) quienes reportaron para otro lutjánido (*L. guttatus*) en la Bahía Bufadero en Michoacán la formación anual de anillos.

Al comparar *RIM* con el índice gonadosomático (*IGS*) y con el porcentaje de organismos maduros, se observó una relación negativa es decir que cuando se registraron valores bajos de *RIM* los del *IGS* son altos; el *IGS* muestra una actividad constante, aunque los valores altos se registraron en enero 2015 y octubre 2015; esto concuerda con lo reportado por Lucano-Ramírez et al. (2001) y Salgado-Cruz (2015) quienes reportan que los organismos de *L. inermis* presentan una actividad reproductiva asincrónica y no obstante que se capturaron organismos maduros durante todo el año, se observaron máximos reproductivos en la época de otoño-invierno.

La relación negativa observada entre *RIM* e *IGS* y con el porcentaje de organismos maduros y positiva con el factor de condición relativa (*Kr*), pueden entenderse considerando que la energía consumida, una parte es destinada para el crecimiento individual y otra para el desarrollo de las gónadas. De manera general el 29% de la energía se destina al crecimiento antes de que inicie la madurez gonadal; mientras que durante la madurez gonadal la cantidad de energía destinada al crecimiento disminuye al 5% (Jobling, 1994), de tal modo que la formación de los anillos de crecimiento está relacionada con las variaciones del metabolismo, causadas por el desarrollo gonadal y los gastos de energía producto del desove (Morales y González, 2009; Bilici et al. 2016). De esta manera el crecimiento y la condición de los peces se ven disminuidos o mermados durante la época reproductiva como se observó en *L. inermis*. Esto se ha observado en otras especies de la familia *L. gutattus*, la cual presenta periodos de máxima reproducción durante abril y agosto y es en abril donde se registró la formación de anillos de crecimiento (Sarabia-Méndez et al., 2010) y en *L. peru* se observó lo mismo que en el menor crecimiento se registra durante la época de desove (Espino-Barr, 1998); por tanto, el período de desove provoca un desgaste corporal de los organismos.

Otros factores que influyen en el crecimiento de los peces son los factores ambientales como: el suministro de alimento, el régimen de lluvias, las variaciones de temperatura, entre otros (Morales y González, 2009; Ilkyaz et al., 2017).

CAPÍTULO 9. Uso de otolitos para estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis*

Uno de los factores que se ha observado que influye fuertemente en el crecimiento de los peces es la temperatura por su influencia en el metabolismo; se asume que al aumentar la temperatura del agua, se acelera el metabolismo basal y el crecimiento de los peces aumenta (Cerdá, 2009) y al bajar las temperaturas pasa lo contrario; esto se observó al comparar *RIM* con la temperatura superficial del mar de la zona de estudio, ya que se logra distinguir que cuando baja la temperatura la razón del incremento marginal también es baja.

Al comparar *RIM* con la concentración de clorofila a se observó una relación positiva; esto es debido a que la disponibilidad de alimento y/o a la oferta permanente de alimento genera un aporte externo de energía constante, lo cual permite un incremento somático y con esto una tasa de crecimiento alta en los organismos (Uchiyana et al., 1998; González y Oyarzún, 2002).

Modelos de Crecimiento

Algo que se ha implementado en estos últimos años es el uso de un enfoque múltiple para la evaluación del crecimiento de los peces (Katsanevakis, 2006; Guzmán-Castellanos et al., 2013); esto es importante ya que el alternar modelos de crecimiento permite su comparación y la de sus parámetros, para así seleccionar aquél que mejor ajuste a los datos (Beninger et al., 2012). En este estudio se compararon tres modelos: Gompertz, Logístico y von Bertalanffy.

Para *L. inermis* el modelo que mejor describió su crecimiento fue el de von Bertalanffy; ya que los valores de R^2 para machos fue de 0.9937 y de hembras 0.9924, ambos valores fueron los más altos entre los tres modelos comparados; además en el análisis de residuales para este modelo la distribución observada fue gaussiana y sin ningún patrón.

Los dos análisis que se utilizaron para la elección de modelo concluyen que el modelo que mejor explica el crecimiento de *L. inermis* es el de von Bertalanffy.

Lo que se observa de manera general en el crecimiento longitudinal de muchos organismos es una curva cuya pendiente disminuye continuamente después de cierta edad aproximándose a una asíntota máxima y una de las ecuaciones que comúnmente se ajustan a este comportamiento es la propuesta por von Bertalanffy, como fue en este caso.

Además el modelo de von Bertalanffy es el modelo más usado en las pesquerías; y esto es debido a que satisface los tres más importantes criterios: a) significado acorde con el proceso biológico del crecimiento, b) exhibe un mejor ajuste a la mayoría de las poblaciones de peces y c) permite incorporar fácilmente sus constantes a modelos de rendimiento y evaluación pesquera (Csirke, 1989; Sparre y Venema, 1997; King, 1995) y además, sus parámetros se pueden incorporar en la ecuación de rendimiento pesquero por Beverton y Holt (1957); por estas razones basta con observar que todos los trabajos en donde se ha estimado el crecimiento para organismo de la Familia Lutjanidae, se ha utilizado dicho modelo. Por tal razón no es extraño que esta haya sido el modelo que mejor se ajustara para *L. inermis*.

En cuanto a los parámetros para cada modelo, se observó poca diferencia entre estos; siendo el modelo de von Bertalanffy donde se obtuvo la L_{∞} mayor en ambos sexos para macho fue de 26.72 y en hembras 22.60, esto difiere con lo reportado por Salgado-Cruz (2015), quien reporta una L_{∞} de 39.14; pero dentro del intervalo reportado en el presente trabajo se reporta 36.78 cm la cual es más cercana a lo reportado por este autor. La diferencia entre estos parámetros era de esperarse debido a la diferencia entre los intervalos de tallas entre Salgado-Cruz (2015) y el presente trabajo.

En cuanto al valor de *K* para machos se obtuvo de 0.23 y para hembras de 0.82; Salgado-Cruz (2015) reporta un valor de 0.263, ambos valores son muy similares (en machos); *K* es el parámetro de curvatura que determina la rapidez con el que pez alcanza L ∞ , un valor alto de *K* indica un crecimiento rápido y valores bajos indican que necesitan muchos años para alcanzar L_{∞} , como sucede en *L. inermis.* Para poder entender el valor de *K* que se obtuvo, se comparó con otros valores de *K* de especies de lutjánidos y se observan cinco modas, de las cuales hay una moda principal en el valor de 0.15 y una segunda moda a los 0.34, entre estas modas se ubican los valores de *K* para *L. inermis*, ya que para este trabajo el valor de *K* poblacional fue de 0.30 por lo cual se puede decir que especie crece de manera similar a otras de la misma familia (Anexo 4).

En cuanto al valor de *K* de manera general indica que el crecimiento no es tan rápido ya que se registran valores de *K* mayores de hasta 0.68 para otras especies de lutjánidos.

Los valores de t_o , en ambos sexos fueron valores negativos; valores negativos en este parámetro indican que los juveniles crecen con rapidez alcanzando así más rápidamente la curva de crecimiento prevista para los adultos, en comparación con organismos que registran valores positivos para este parámetro (Biswas, 1993).

Para el parámetro de L_{∞} al compararlo con valores de otras especies de la familia en el Pacífico Mexicano, se observa que es una L_{∞} baja, ya que para *L. peru* en Colima se registró una L_{∞} = 63.0 cm (Espino-Barr et al.,1998); en Oaxaca una L_{∞} = 61.8 cm (Ramos-Cruz, 2001); en Guerrero una L_{∞} = 85.8 cm (Rojas-Herrera, 2001); en Michoacán una L∞= 81.12 cm (Sarabia-Méndez, 2007) y en Guerrero una L_{∞} = 90.96 cm; para *L. guttatus* en Michoacán una L_{∞} = 96.6 cm (Sarabia-méndez, 2007) y para *L. argentiventris* una L_{∞} =72.57; con base a lo anterior se puede decir que *L. inermis* es una especie pequeña en comparación a otras especies de la familia.

Conclusiones

- La distribución de tallas fue multimodal en ambos sexos; en machos se distinguen tres modas: 15. 6, 20.8 (principal) y 27.7 cm; y en hembras a los 14.6, 20.4 (moda principal) y 27.1 cm de longitud patrón y la relación lineal y potencial entre peso eviscerado longitud patrón en machos y hembras, indicaron un crecimiento hipoalométrico; lo anterior discrepa con lo publicado con Salgado- Cruz (2015) y la principal razón puede estar en el tipo de arte utilizados en cada estudio y zonas muestreadas; ya que en este trabajo el arte de pesca fue red agallera y para el otro trabajo no se reporta arte de pesca.
- Mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov se pudo observar que entre machos y hembras que no hay diferencia significativa entre las distribuciones de las tallas.
- Por fecha de muestreo y para el total de la muestra las proporciones machos: hembras no se apartan significativamente de la relación 1:1.
- Se obtuvo una talla mediana de madurez a los 21.3 cm para hembras y de 21.4 cm para machos de longitud patrón, estas tallas corresponden a las edad de entre tres y cuatro años.
- La relación cuerpo-otolito mostró que los otolitos son una estructura útil para la determinación de la edad en *Lutjanus inermis* ya que los resultados indican que existe una relación entre estas dos variables con un buen índice de correlación (*R*=0.80), lo cual mostró que el crecimiento del individuo es directamente proporcional al de los otolitos.
- Los valores de la *RIM* más bajos se registraron en octubre 2014 y 2015, esto permite decir que la formación de anillos es anual; además estos valores bajos coinciden con valores altos de *IGS* y con valores bajos de *Kr*; lo cual indica que la formación de los anillos de crecimiento está relacionada con las variaciones del metabolismo, causadas por el desarrollo gonadal y los gastos de energía. Además, la comparación entre *RIM* con la temperatura superficial del mar y con la concentración de clorofila a indican que ambos factores influyen en el crecimiento de *L. inermis*.
- A partir de la lectura de anillos de crecimiento en otolitos se registraron cinco grupos de edad que van de 1 a 5 años con intervalos de 1.0 años; que en comparación con otras especies de la familia esta especie resulta ser menos longeva.
- El modelo que mejor describe el crecimiento de *L. inermis* fue von Bertalanffy ya que este modelo tuvo los valores R^2 más cercanos a uno y la distribución de los residuales fue gaussiana y sin ningún patrón. Además, se observó que machos y hembras crecen de manera diferente de acuerdo con las pruebas de T^2 de Hotelling y las pruebas razón de verosimilitud de Kimura y el parámetro que más contribuye a la diferencia es L_{∞} . de tal modo que las expresiones para dicho modelo por métodos lineales tradicionales machos y hembras respectivamente son las siguientes:

- Lt = 29.9 [1 exp{-0.17(t -3.77)}]
- Lt = 23.63 [1 exp{-0.96(t 0.42)}].

Y or regresión no lineal para hembras y machos respectivamente son las siguientes:

Lt = 26.72 [1 - exp{-0.23t + -3.82)}]

- $Lt = 22.60 [1 exp{-0.82(t + -0.35)}].$
 - Las edades que predominaron en este estudio fueron las de tres años, que corresponden a las tallas 21.71 para machos y 20.53 en hembras y la edad de cuatro años que corresponde a 23.38 para machos y 22.89 cm en hembras.

CAPÍTULO 9. Uso de otolitos para estimación de la edad y modelación del crecimiento de *Lutjanus inermis*

Anexo 1.

Distribución de tallas por sexos Salgado-Cruz 2015 para Lutjanus inermis en Puerto Ángel, Oaxaca.

La distribución de tallas es bimodal la primera moda a los 19 cm y la segunda a los 22 cm de longitud patrón (gráfica 19)



GRÁFICA 19. Distribución de tallas de L. inermis del estudio de Salgado-Cruz, 2015.

Distribución de tallas por sexos; en machos solo se observa una moda a los 23 cm y en hembras dos modas a los 19 cm y 22 cm de longitud patrón (Gráf. 20)

T



GRÁFICA 20. Distribución de tallas por sexos de L. inermis del estudio de Salgado-Cruz, 2015.

6)

S IN

Anexo 2

Relación peso eviscerado-longitud patrón Salgado-Cruz 2015 para Lutjanus inermis en Puerto Ángel, Oaxaca.

CUADRO 18. Parámetros de la regresión no lineal por sexo y sus valores estadísticos (valores ajustados de R^2) para los datos de Salgado-Cruz, 2015.

Sexo	Coeficiente	Error estándar	Valor t	P > t	Intervalo de confianza 95%	
Machos						
Regresión no lineal						
R ² = 0.9963 b a	2.919909 0.0287001	0.3180997 0.0287364 Her	9.18 1.00 mbras	0.001 0.000	2.036723 3.803095 -0.051084 0.1084851	
Regresión no lineal						
R ² = 0.9982 b a	2.689214 0.056485	0.166805 0.0286918	16.12 1.97	0.000 0.000	2.226089 3.152339 -0.02317 0.1361462	



GRÁFICA 21. Relación no lineal peso eviscerado-longitud patrón; izquierda machos; derecha hembras.

SI
Anexo 3

Comparación de condiciones ambientales muestreo Salgado-Cruz, 2015 y del presente trabajo, los datos se obtuvieron Boletín de Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño correspondientes al mes y año de los muestreos.

Muestreo Salgado-Cruz		Muestreo del presente trabajo	
Mes	Observaciones	Mes	Observaciones
Diciembre 2010	Presencia del fenómeno de la Niña	Marzo 2014	Aumento de la TSM (Anomalías positivas)
Enero 2011	Continua el fenómeno de la Niña	Agosto 2014	Anomalías positivas.
Abril 2011	Condiciones normales	Octubre 2014	Anomalías positivas menores.
Mayo 2011	Condiciones normales	Enero 2015	Anomalías positivas
Julio 2011	TSM cálida	Junio 2015	Anomalías positivas
Agosto 2011	TSM cálida	Agosto 2015	Fortalecimiento del fenómeno del niño (Aumento de la TSM)
		Septiembre 2015	Presencia del fenómeno del Niño
		Octubre 2015	Fortalecimiento del niño anomalías de hasta 4°C.
		Diciembre 2015	Fenómeno de El Niño en su etapa madura.

Anexo 4

EDK de los valores del parámetro *K* del modelo von Bertalanffy, para diferentes especies de la familia Lutjanidae, las líneas punteadas de color rojo corresponden a valores de *K* de especies de lutjánidos para el Pacífico mexicano y las de color amarillo corresponden a los valores de *Lutjanus inermis*.



GRÁFICA 22. EDK de los valores del parámetro *K* del modelo von Bertalanffy, para diferentes especies de la familia Lutjanidae.

51.

 $\overline{\mathbf{0}}$

Capítulo 10

Estimación de la edad y crecimiento en ofidios (serpientes) mediante el uso de estructuras duras

Mixtli Crisóstomo Pérez Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte Verónica Mitsui Saito Quezada Aníbal Helios Díaz de la Vega Pérez Amando Bautista Ortega

L estudio del crecimiento individual es una importante herramienta para la generación de conocimiento biológico de las especies. Dicha importancia no se limita a intereses propios de los biólogos como por ejemplo el dimorfismo sexual (Madsen y Shine, 1994; Taylor y Denardo, 2005). El crecimiento de los individuos que por sí solo es un fenómeno biológico de alto interés (Karkach, 2006; Trinidad-Bello, 2014) también es de gran interés para sectores como la industria alimentaria o peletera. Los estudios del crecimiento se han realizado en un amplio abanico de especies pertenecientes a distintos grupos de organismos, tanto de invertebrados, como vertebrados, vivos o extintos: mamíferos (Nacarino-Meneses, 2015), peces (Branstetter, 1987), anfibios (Smirina, 1985; Kumbar y Pancharatna, 2003; Yamasaki, et al., 2017), tortugas (Germano, 1998; Guarino et al., 2004), cocodrilos (Hutton, 1986; Tucker, 1997), dinosaurios (Chinsamy, et al., 1995; Horner, et al., 1999), Mosasaurios (Pellegrini, 2007), tuátaras (Castanet et al., 1988), aves (Murawska, 2017), lagartijas (Ortega-Rubio, et al., 1993; Kumaş y Ayaz, 2014) y serpientes (Thomas y Leal, 1993; Fornasiero et. al; 2016, Collins y Rodda, 1994).

Podemos definir el crecimiento como el aumento de masa, longitud, número de células, etc., en relación al tiempo. Por lo tanto, el crecimiento individual es el aumento de tamaño de un individuo a través del tiempo, este es un proceso complejo, que ha requerido del uso de modelos matemáticos ajustados estadísticamente, de tal modo que se obtenga una buena descripción cuantitativa y que los valores que los definen (parámetros) recuperen el patrón carácterístico del crecimiento del organismo (Trinidad-Bello, 2014). Los modelos de crecimiento son representaciones matemático-estadísticas obtenidas de la relación talla-edad, que muestran las características del crecimiento (Trinidad-Bello, 2014).

Los modelos generales de crecimiento toman en cuenta la variación en la velocidad de crecimiento. El uso de los modelos generales de crecimiento es más adecuado para ser aplicado a los animales, ya que son sistemas con patrones complejos, que crecen a diferentes velocidades durante las distintas etapas de su vida (Karkach, 2006). En los estudios biológicos los modelos generales más utilizados son funciones exponenciales asintóticas entre las que destacan los de Gompertz, Richards, Logístico, Brody, von Bertalanffy y Monod (Trinidad-Bello, 2014).

Uno de los insumos necesarios para el cálculo de los modelos de crecimiento es la edad de los individuos (Salgado- Ugarte et al., 2005; Salgado- Ugarte y Saito-Quezada, 2020) dado que el crecimiento es el aumento de tamaño en relación al tiempo. Desafortunadamente las serpientes no presentan características externas que reflejen la edad. Por lo tanto, para conocer la edad de las serpientes tenemos tres opciones: la primera es a través de un proceso de marca y recaptura; esta técnica en ocasiones puede no ser práctica, ya que puede ser muy difícil recapturar a los individuos como es el caso de la serpiente marina *Hydrophis platurus (Pelamis platurus)* en el cual solamente se ha logrado la recaptura el uno por ciento de los organismos (Kropach, 1975; Lillywhite, et al., 2015). La segunda opción es mantener en cautiverio a los individuos desde el nacimiento. Este procedimiento tiene el inconveniente de que no refleja la realidad de las poblaciones silvestres.

La tercera es por medio de la Osteocronología (Castanet, 1994) que se refiere a la recuperación de información de eventos ocurridos en el pasado por el estudio de las marcas formadas en estructuras esqueléticas de los individuos. Este enfoque ha sido utilizado con las estructuras duras de los peces. No obstante, a diferencia de las escamas de los peces, las cuales van creciendo con los organismos (Salgado-Ugarte, et al., 2005), las escamas de las serpientes son epidérmicas y se renuevan en cada muda (Arroyo y Cerdas, 1986). Es por esto que no se pueden utilizar para estimar la edad. La otra opción es utilizar estructuras óseas, en las que se puede ver el crecimiento de estos individuos. En serpientes se han utilizado diferentes partes del cráneo como mandíbulas y vértebras (Minakami, 1979; Waye y Gregory, 1998); en restos óseos fosilizados de dinosaurios la osteocronología ha utilizado a las costillas (Waskow y Mateus, 2017).

Debido a que en las serpientes recaen diversos prejuicios negativos, muchas especies de estos organismos están en alguna categoría de riesgo o protección, por lo que resulta difícil obtener

CAPÍTULO 10. Estimación de la edad y crecimiento en ofidios (serpientes) mediante el uso de estructuras duras

muestras de cráneo, mandíbulas o costillas debido a que su uso implica el sacrificio del organismo y el uso de falanges no es aplicable, como lo es en especies de anuros (Smirina, 1985) y lacertilios (Comas, et al., 2016). Para superar este inconveniente es factible utilizar las vértebras caudales y así evitar el sacrificio de los organismos (Waye y Gregory 1998). Otra solución a este problema es el uso de animales preservados en colecciones biológicas (Ergül Kalayci, et al; 2017). Con estos especímenes es posible la extracción cuidadosa de algunas costillas lo que afecta mínimamente a los individuos, conservando la valiosa información contenida en los ejemplares de colección.

Otro aspecto importante para tomar en cuenta es la abundancia de ofidios, ya que suelen tener una menor abundancia que otros grupos de animales (bivalvos, crustáceos o peces). Todo lo anterior en conjunto con otros factores trae como resultado la disponibilidad de un número limitado de organismos con los cuales poder trabajar. No obstante, es posible modelar el crecimiento de una especie con un reducido número de organismos (Ergül Kalayci, et al., 2015; Eroğlu, et al., 2017; Ergül Kalayci, 2017).

En general, el patrón de crecimiento de los organismos puede describirse adecuadamente por medio de curvas que siguen una función matemática. ¿Qué información nos dan estas curvas de crecimiento? Para dar respuesta a esta interrogante es necesario conocer que hay reportados dos tipos de crecimiento: determinado e indeterminado (Karkach, 2006); el crecimiento determinado es aquel en el cual los organismos alcanzan un tamaño máximo y dejan de crecer al desarrollar por completo sus caracteres sexuales secundarios como en el caso de mamíferos y aves (Karkach, 2006). En organismos de crecimiento indeterminado o continuo, los individuos aumentan de tamaño de manera significativa después de haber desarrollado sus caracteres sexuales por completo; dicho en otras palabras, los individuos crecen durante toda su vida. Este tipo de crecimiento está presente en diversos grupos como peces, anfibios y reptiles (Karkach, 2006).

Por otra parte, las curvas de crecimiento, al ser ajustadas estadísticamente, hacen posible detectar diferencias que sin considerar el factor edad son imperceptibles. En relación con las serpientes tenemos los casos de *Crotalus viridis oreganus* (Diller y Wallace, 2002) y *Vipera latastei* (Brito y Rebledo, 2003) donde la diferencia entre machos y hembras solo es visible a través de los modelos de crecimiento.

Método

Para este estudio consideramos a dos especies de serpientes endémicas de México: la culebra de tierra *Conopsis biserialis* y la víbora de cascabel *Crotalus ravus*.

Conopsis biserialis es un colúbrido de talla pequeña: los adultos cuentan con una longitud hocico cloaca (LHC) de unos 200 mm. Es una especie ligeramente robusta, con cabeza puntiaguda y color

generalmente castaño claro con hábitos fosoriales (Uribe-Peña et al., 1999; Castañeda-González, et al., 2011).

Crotalus ravus es un vipérido de talla pequeña. Es una serpiente de complexión robusta y los adultos alcanzan de 400 a 650 mm de LHC (longitud hocico-cloaca) y ocasionalmente llegan a medir más de 700 mm (Castro-Franco y Aranda-Escobar, 1984; Campbell y Lamar, 1989; Greene y Campbell, 1992; Uribe-Peña, 1999; Crisóstomo-Pérez y Feria-Ortiz, 2017).

Los datos se obtuvieron consultando las siguientes colecciones biológicas: Colección Herpetológica de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM, Colección Herpetológica de la Escuela de Biología de la BUAP y la Colección Herpetológica del Centro de Investigaciones Biológicas de UAEH.

La Longitud Hocico Cloaca de los organismos se midió fueron colocados sobre una placa de referencia milimétrica y se tomaron fotografías de alta resolución con una cámara digital (Nikon D300 con un lente AF-s dx NIKKOR VR 18-55mm 1 3.5-5.6 G II), a una distancia de 55 cm de. Posteriormente se utilizó el programa ImageJ v1.52a (Schneider et al., 2012) para medir la LHC a partir de las fotografías tomadas.

Para el análisis osteocronológico se utilizaron dos costillas de la región media del cuerpo obtenidas a través de una cuidadosa disección desde la región peritoneal con el fin alterar en lo mínimo a los especímenes. Las muestras óseas fueron colocadas en frascos criogénicos de tapa rosca con capacidad de 2 ml y fijadas con alcohol etílico al 70%. Para su corte y tinción se siguieron los siguientes pasos:

- Limpieza: retirando la mayor cantidad de carne y tejidos.
- Descalcificación: mediante la inclusión en ácido nítrico a una concentración del 5% durante un periodo de 4 horas.
- Fijación: con una solución de alcohol 96%-Xilol en partes iguales durante 24 horas.
- Inclusión: en resina poliéster tipo cristal usando una proporción de 30 gotas de catalizador por cada 50 ml de resina y se dejaron secar por un periodo mínimo de 72 horas.
- Corte: usando una cortadora circular con doble cuchilla separada por 1 mm.
- Pulido: sin dejar que la costilla se deshidrate, el corte es pulido con una lija de agua del número 2500, quitando las marcas generadas por las cuchillas.
- Tinción: los cortes (secciones) se tiñeron con una solución de Hematoxilina de Harris durante 4 minutos.

- Lavado: con agua destilada durante 5 minutos.
- Montaje: los cortes se montaron en un portaobjetos y se cubrieron con un sellador comercial de nitrocelulosa.

Este método se desarrolló utilizando como referencia los utilizados por Smirina (1985), Wayne y Gregory (1998), y McCreary, et al. (2008).

Los cortes se observaron con un microscopio óptico Zeigen 36XAL at 10X equipado con una cámara digital y con el uso del programa ImageJ v1.52aa (Schneider et al., 2012) se midieron los radios de los anillos de crecimiento (Anulli).

Modelos de Crecimiento

Se exploró la relación entre el número de anillos en la costilla con las tallas de los individuos. Se verificó (por regresión y coeficientes de determinación) la relación talla del cuerpo (LHC) – tamaño de estructura (radio de la estructura ósea seleccionada desde el centro hasta el margen) y se realizó el retro-cálculo de las longitudes a las cuales se produjeron marcas anteriores al borde, se siguió el método propuesto por Ricker (1968). Estos procedimientos se realizaron de manera independiente para machos y hembras de cada especie.

Se utilizó la corrección para recuperar los anillos perdidos propuesta por (Griebeler, et al., 2013) a causa del crecimiento del espacio de la médula ósea en la región central de la costilla.

Con las edades y tamaños estimados se ajustaron los modelos de crecimiento. Para el modelo de von Bertalanffy. Los parámetros L_{ω} , P_{ω} , k y t_o se estimaron por los métodos de Ford-Walford, Gulland, Beverton y Holt, así como directamente por regresión no lineal (Salgado-Ugarte, et al., 2005; Salgado-Ugarte y Saito-Quezada, 2020). Para el cálculo de las curvas Logística y Gompertz se utilizó la regresión no lineal (Salgado-Ugarte, et al., 2005). Adicionalmente se calcularon el criterio de Información de Akaike (Ogle, 2006) y el criterio de información Bayesiano (Schwarz, 1978).

Se compararon las trayectorias de crecimiento entre sexos del modelo matemático que mejor se ajustó, mediante la prueba multivariada de *T*² de Hotelling (Bernard, 1981) con las correcciones y adecuaciones señaladas por Headrick y Margraf (1982) y consideradas por Salgado-Ugarte, et al. (2005) y Salgado-Ugarte y Saito-Quezada (2020).

Resultados

Se describió la morfología de las costillas de las serpientes. En las dos especies se encontraron las mismas características físicas y que la mejor región para poder contar los anillos de crecimiento es la del grueso frontal (Figura: 1).



FIGURA 1. Descripción general de la morfología de un corte de costilla.

Crotalus ravus

La relación entre el radio total de las costillas y la LHC de cada organismo fue directa, alta y significativa (Figura: 2). Se calcularon los promedios y medias de la LHC para cada número de anillos de crecimiento por medio del retro-cálculo para obtener las tallas a las que se formaron las marcas anteriores al borde de la costilla y con estos datos talla-edad se ajustaron los modelos de crecimiento de von Bertalanffy, Logístico y Gompertz (Tabla: 1).

CAPÍTULO 10. Estimación de la edad y crecimiento en ofidios (serpientes) mediante el uso de estructuras duras



FIGURA 2. Relación entre el radio total de las costillas y la longitud hocico cloaca de *Crotalus ravus*.

TABLA 1. Comparativa de los parámetros de las funciones decrecimiento de von Bertalanffy y Gompertz.

	AIC	BIC	Li	
von Bertalanffy				
Machos Media	74.61227	75.20394	745.911	
Hembras Media	73.95279	74.86055	727.1953	
Machos Mediana	71.29107	71.88274	721.8592	
Hembras Mediana	83.91066	84.81842	562.6139	
Gompertz				
Machos Media	73.64891	74.24059	669.2752	
Hembras Media	72.75758	73.66533	630.0755	
Machos Mediana	70.92264	71.51431	656.4595	
Hembras Mediana	85.3352	86.24295	542.0829	

AIC: Criterio de información de Akaike, BIC: Criterio de información Bayesiano y Li: L infinita

SI

Se escogió el modelo de von Bertalanffy como el que mejor describe el crecimiento de *Crotalus ravus*, el cual presentó diferencias significativas entre machos y hembras en dos de los parámetros de la función: k y t_a (Tabla: 2, Tabla 3), (Figura: 3)



FIGURA 3. Modelo de crecimiento von Bertalanffy ajustado a Crotalus ravus.

TABLA 2. Comparativa de las curvas de crecimiento entre machos y hembras en *Crotalus ravus*.

T² = 593.85 T20.01: 3,15 = 18.417 F 0.01: 3,15 = 5.417

Intervalo de Confianza 99 %		F	
-131.088	≤ Li m – Li h ≤	168.519	0.084
0.006	≤ k m – k h ≤	0.125	6.607
0.530	≤ t0 m - t0 h ≤	3.368	21.092

S.

TABLA 3. Parámetros de crecimiento de Machos y Hembras en *Crotalus ravus*.

Parámetro	Machos	Hembras	((
L infinita	745.911	727.195	5
k	0.160	0.094	G
t _o	-1.345	-3.580	
Longevidad	13.004	20.797	-

Conopsis biserialis

Se encontró una relación directa, elevada y significativa entre el radio total de las costillas y la LHC de cada organismo (Figura: 4). Se calcularon los promedios y las medianas de la LHC por el número de anillos de crecimiento obtenidos del retro-cálculo, lo cual permitió obtener las tallas a las que se formaron las marcas anteriores al borde de la costilla y se ajustaron los modelos de crecimiento de von Bertalanffy, Logístico y Gompertz (Tabla: 5).



FIGURA 4. Relación entre el radio total de las costillas y la longitud hocico cloaca de *Conopsis biserialis*.

TABLA 5. Comparativa de los parametros de la funcion de crecimiento de Gompertz, von Bertalanffy y Logistico.

Constant Constant	TABLA 5. Comparativa de los parametros de la funcion de			
6	crecimiento de Gompertz, von Bertalanffy y Logistico.			
		AIC	BIC	Li
	von Bertalanffy			
\sim	Machos Media	287.6076	292.5203	1202.602
EL.	Hembras Media	236.6781	241.1676	349.950
	Machos Mediana	292.0614	296.9741	1909.098
	Hembras Mediana	180.6393	185.1288	322.7596
	Gompertz			
	Machos Media	278.3162	283.229	345.9174
	Hembras Media	230.782	235.2715	252.6623
	Machos Mediana	278.9827	283.8954	390.3474
	Hembras Mediana	185.1004	189.5899	241.5665
	Logístico			
	Machos Media	284.0061	279.0933	293.7156
	Hembras Media	225.1417	229.6312	227.0414
	Machos Mediana	275.9199	280.8326	326.6969
	Hembras Mediana	189.7325	194.222	217.5358

AIC: Criterio de información de Akaike, BIC: Criterio de información Bayesiano y Li: L infinita

Se eligieron los modelos de Gompertz para los machos, y Logístico para las hembras. Para C. biserialis es muy notoria la diferencia entre los modelos de crecimiento entre ambos sexos (Tabla: 6, Figura: 5).

Parámetro	Machos	Hembras
L infinita	345.91	227.041
К	0.364	0.683
t _o	2.325	1.580
Longevidad	8.64	5.6

TABLA 6. Parámetros de crecimiento de Machos y Hembras en Conopsis biserialis.

CAPÍTULO 10. Estimación de la edad y crecimiento en ofidios (serpientes) mediante el uso de estructuras duras



FIGURA 5. Modelo de crecimiento Gompertz para machos y Logístico para las hembras de *Conopsis biserialis*

Discusión

El modelo de crecimiento que se ajustó mejor a la especie *Crotalus ravus* es el de von Bertalanffy sobre todo debido a la "*L infinita*" que se asemeja mejor a las tallas reportadas de la especie. El modelo de crecimiento de von Bertalanffy ya se ha reportado en otras especies de serpientes (Shine y Charnov, 1992, Brito y Rebledo, 2003; Jenkins et al., 2009).

En los modelos de crecimiento uno de los parámetros que resultó ser significativamente diferente entre los sexos es "k"; dicho en otras palabras, las tasas de crecimiento son diferentes entre machos y hembras. También desde el nacimiento presentan diferencias significativas; en el caso de la talla teórica máxima no se presentaron diferencias significativas, pero cabe resaltar que las hembras tienen una mayor longevidad. Este fenómeno puede ser explicado por la diferente asignación de recursos entre los sexos: los machos asignan mayores recursos al crecimiento y en el comportamiento de las hembras en la etapa gestante puede disminuir su riesgo de depredación por lo que logran vivir más tiempo. Es por esto que llegan a alcanzar tallas similares a los machos que crecen a una mayor velocidad.

En cuanto a *Conopsis biserialis* encontramos modelos sigmoidales de crecimiento diferentes, lo que implica un crecimiento relativamente lento a las primeras edades y acelerado después del punto de inflexión de la curva (a edades mayores), efecto que es mayor en los machos los cuales,

por la antisimetría de la curva de Gompertz presentan velocidades de crecimiento mayores lo que los hace ser más grandes. Con la información actual sobre esta especie podríamos suponer que el crecimiento diferencial entre machos y hembras se debe a causas evolutivas, posiblemente a selección sexual en machos, donde la selección natural está favoreciendo el aumento de tamaño en machos. El modelo logístico se ha considerado mejor para describir el crecimiento individual si hablamos de volumen (Shine y Charnov, 1992). El que las hembras se ajusten mejor al modelo logístico podría ser reflejo de selección por fecundidad. Sin embargo, no podemos descartar que los hábitos fosoriales de esta especie puedan afectar de manera significativa el crecimiento de esta especie.

Es importante resaltar que los estudios de edad y crecimiento en serpientes son escasos, pero con este estudio se pretende mostrar su importancia y potencial, ya que nos permiten vislumbrar historias y presiones evolutivas que moldean los cuerpos de los organismos. El ajuste de dos tipos diferentes de crecimiento en la misma especie es un fenómeno peculiar que nos invita a seguir investigando, ya que nos ha dejado algunas preguntas interesantes como son ¿Es común que se presenten dos tipos diferentes de crecimiento en la misma especie el misma especie? ¿Es común en especies fosoriales en el género *Conopsis*? ¿Si utilizamos el volumen en *Crotalus ravus* se presentará el mismo fenómeno? ¿Sera generalizado? Por mencionar algunas.

Finalmente, y por lo anterior, consideramos que el método mostrado en este trabajo pudiera aplicarse de manera generalizada a las serpientes, para conseguir una mayor comprensión de las peculiaridades biológicas de este importante grupo de reptiles.

Bibliografía

- badía-Chanona, Q.Y. 2013. Aspectos poblacionales del erizo de mar Toxopneustes roseus
 (A. Agassiz, 1863) Echinodermata: Echinoidea, en tres localidades de la costa de Oaxaca, México. Puerto Ángel, Oaxaca, México. Tesis de Maestría, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oax. México: 48p.
- Agatsuma, Y. & A. Nakata 2004. Age determination, reproduction, and growth of the sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus* in Oshoro Bay, Hokkaido, Japan. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **84**(2): 401-405.
- Aguilar Salazar, F. A. 1986. Determinación de la edad y estimación de la tasa de crecimiento del huachinango del Pacífico mexicano *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922), por el método de lectura de escamas. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 74p.
- Alcobendas M., F Lecomte, J. Castanet, F.J. Meunier, P. Maire y M. Holl, 1991, Technique de marquage en masse de civelles (*Anguilla anguilla* L.) par balnéation rapide dans le fluorochrome. Application au marquage à la tétracycline de 500 Kg de civelles. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 321: 43-54.
- Aldana-Aranda, D. y E. Baqueiro-Cárdenas. 2011. Moluscos gasterópodos con potencial pesquero. Capítulo 9. Recursos con potencial económico. en: http://www.cicy.mx/ Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán, parte IV Gestión de los recursos naturales. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yucatán: 458-459.
- Alejo-Plata, M. del C., M.E. Laguna-Marín y P. Ramírez-Tlalpan, 1989. Estudio de algunos aspectos biológicos de *Oreochromis mossambicus* (Osteichthyes: Cichlidae) en la laguna "El Rodeo" Estado de Morelos. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza U.N.A.M, México: 130 p.
- Allen G.R., 1995. Lutjanidos (Peces óseos). En: Fischer, W., I. Krupp, W. Schueider, C. Somer, K.
 E. Carpenter and V. H. Niem (Eds), *Guía para la identificación de peces Pacífico Centro-Oriental*. Vol. III, Vertebrados parte 2: 1231-1244.

- Allen R., Gerald y Robertson, R. D. 1998. *Peces del Pacífico Oriental Tropical.* CONABIO, Agrupación Sierra Madre y Cemex, Ciudad de México: 325p.
- Allen, G. R. 1985. FAO. Species catalogue. Snappers of the World. An Annotated and illustrated catalogue of Lutjanid species know to date. *FAO Fisheries Synopsis*. **6**(125): 208p.
- Allen, G. R. 1987. Synopsis of the circumtropical fish genus Lutjanus (Lutjanidae). 139 p. En: Polovina, J.J. y Ralston S. (Eds.), Tropical Snappers and Grouppers: Biology and Fisheries Management, Westview Press Inc. Boulder: 659p.
- Allen, G. R. 1995. Lutjanidae. 1231-1244p. En: Fisher W., F. Krupp, W. Schmeider, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem. (Eds.) *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental. Vol. III. Vertebrados Parte 2.* FAO, Roma: 1813p.
- Allen, G. R. y Robertson R. D. 1994. *Fishes of the Tropical Eastern Pacific*, University of Hawaii Press U. S. A. 332p.
- Amezcua-Linares, F., 2009. *Peces demersales de la plataforma continental del Pacifico Central de México*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México: 149p.
- Amezcua-Linares, F. 1985. Recursos potenciales de peces capturados con redes camaroneras en la costa del Pacífico de México. In Yañez, A.A. (ed.). La pesca acompañante del camarón.
 Programa Universitario de Alimentos-Instituto de Ciencias del Mar y Limnología-Instituto Nacional de la Pesca- Universidad Nacional Autónoma de México. México: 748p.
- Anderson, Jr. W. D. 1987. Systematic of the fishes of the family Lutjanidae (Perciformes: Percoidei), the Snappers. En Polovina, J. J. and Ralston S. (Eds). *Tropical Snappers and Grouppers:* Biology and Fisheries Management, Westview Press Inc. Boulder: 659p.
- Anderson, W. D., A. G. Eversole, B. A. Anderson y K. B. Van Sant. 1985. A biological evaluation of the knobbed whelk fishery in South Carolina. South Carolina Wildlife and Marine Resources Department and Clemson University. Completion Report-Project Number 2-392-R.
- Anónimo, 1981. *Síntesis geográfica del estado de Morelos*, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, S.P.P. México, 110p.
- Ansell, A.D. 1968. The rate of growth of the hard clam *Mercenaria mercenaria* (L.) throughout the geographical range. *Journal du Conseil CIEM* **31**(3): 364-409.
- Araya, M. y L. Cubillos. 2002. El análisis retrospectivo del crecimiento en peces y sus problemas asociados. *Guayana (Concepción.)* **66**(2): 161-179.
- Arnold, W.S., D.C. Marelli, T.M. Bert, D.S. Jones e I.R. Quitmyer, 1991. Habitat-specific growth of hard clams *Mercenaria mercenaria* (L.) from the Indian River, Florida. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **147**(2): 245-265.

- Arnold, W.S., T.M. Bert, I.R. Quitmyer y D.S. Jones, 1998. Contemporaneous deposition of annual growth bands in *Mercenaria mercenaria* (Linnaeus), *Mercenaria campechiensis* (Gmelin), y their natural hybrid forms, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **223**(1998): 94-209.
- Arredondo, F.J.L., 1993. Fertilización y fertilizantes. Su uso y manejo en la acuicultura. UAM Iztapalapa, México, 202 p.
- Arreguín-Sánchez F., E. Arcos-Huitrón 2011. La pesca en México: estado de la explotación y uso de los ecosistemas. Hidrobiológica **21**(3): 431-462.
- Arreola-Hernández, J. F. 1997. Aspectos reproductivos de *Dosinia ponderosa*, Gray 1838 (Bivalvia: Veneridae) en Punta Arena, Bahía Concepción, B. C. S. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. IPN. La Paz, B. C. S. 96 pág.
- Arriaga-Cabrera, L.E., J. Vázquez-Domínguez, J. González-Cano, M. Jiménez-Rosenberg, E. Muñoz-López & V. Aguilar-Sierra. (coords), 1998. *Regiones Prioritarias Marinas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. 300 p.
- Arriguetti, F., T. Brey, A. Mackensen y P. E. Penchaszadeh. 2011. Age, growth, and mortality in the giant snail *Adelomelon beckii* (Broderip 1836) on the Argentinean shelf. *Journal of Sea Research*. **65**(2011): 219-223.
- Arrighetti, F., V. Teso, T. Brey, A. Mackensen y P.E. Penchaszadeh, 2012. Age and growth of Olivancillaria deshayesiana (Gastropoda: Olividae) in the Southwestern Atlantic Ocean. Malacologia, 55(1): 163-170.
- Arroyo G. O. y L. Cerdas. 1986. Microestructura de las escamas dorsales de nueve especies de serpientes costarricenses (Viperidae). *Revista De Biología Tropical*. **34**(1): 123-126.
- Avendaño M. y M. Cantillanez, 1997. Necesidad de crear una reserva marina de ostiones en el banco de la Rinconada (Antofagasta II región, Chile). *Estudios Oceanológicos* **16**(1997): 109-113.
- Axelrod, H.R. y L.P. Schultz. *Handbook of tropical aquarium fishes*. T.F.H. Publications, Neptune City, 718 p.
- Ayala Torres O. M. y Pacheco Sandoval. 1991. Oceanografía física del Pacífico Tropical Mexicano. Capitulo II 117-207 p. En: De la Lanza-Espino, G., (ed.). *Oceanografía de Mares Mexicanos*. AGT Editor S. A.
- Badan, A. 1997. La corriente Costera de Costa Rica en el Pacífico Mexicano, p. 99-113. En F. M. Lavín (ed.). *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. CONACYT, México, D. F.
- Bagenal, T. B. y F. W. Tesch. 1978. Age and Growth. En Ricker, E. E. (Ed.). *Methods for Assessment of fish production in fresh waters*. 3a. Edición. IBP Handbook no. 3. Blackwell Scientific Publications, Oxford: 101-136.

- Bakus, G. J. 1968. Zonation in Marine Gastropods of Costa Rica and Species Diversity. *The Veliger*. **10**(3):207-211.
- Baqueiro, E., J. A. Massó y A. Vélez. 1983. Crecimiento y Reproducción de una población de caracol chino *Hexaplex erythrostomus* (Swainson, 1831), de Bahía Concepción, B.C.S. *Ciencia Pesquera*. Inst. Nal. Pesca. Sría. Pesca. México. 4:19-31.
- Barton ED, Argote ML, Brown J, Kosro PM, Lavín MF, Robles JM, Smith RL, Trasviña A, Vélez HS. 1993. Supersquirt: Dynamics of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Oceanography* **6**(1): 23–30.
- Bautista-Moreno, L. M. y A. Lechuga-Medina. 2007. Colecciones biológicas de moluscos de los Archipiélagos de Revillagigedo, Colima, e Islas Marías, Nayarit, México. pp 105-107. En: Ríos-Jara, E., M. C. Esqueda-González y C. M. Galván-Villa (eds): *Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México*.. Universidad de Guadalajara, México. 286 pág.
- Bautista Romero, J., H. Reyes-Bonilla, D. Lluch-Cota & S. Lluch-Cota. 1994. Aspectos generales de la fauna marina, p. 247-275. In A. Ortega-Rubio & A. Castellanos-Vera (eds.). La Isla Socorro, Reserva de la Biosfera Archipiélago de Revillagigedo, México. CIBNOR y W.W.F. La Paz, Baja California Sur, México.
- Beamish, R. J. y G. A. McFarlane. 1983. The forgotten requirement for age validation in fisheries biology. *Transactions of the American Fisheries Society* **112**(6):735-743.
- Beltrán-Álvarez, R., P. J. Sánchez, G.L. Valdez & A.O. Salas. 2009. Edad y crecimiento de la mojarra Oreochromis aureus (Pisces: Cichlidae) en la Presa Sanalona, Sinaloa, México. Revista de Biología Tropical 58(1):325-338.
- Benson A. J. y Stephenson R. L. 2017. Options for integrating ecological, economic, and social objectives in evaluation and management of fisheries. *Fish and Fisheries*. **19**(1): 40-56.
- Bernard, D. R. 1981. Multivariate analysis as a means of comparing growth in fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **38**(2): 233-236.
- Bertalanffy, L. von. 1938. A quantitative theory of organic growth. Human Biology. 10: 181-236.
- Beverton, R.J.H. y S.J. Holt, 1957. On the dynamics of the exploited fish populations. In: *Fisheries Investigation of Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Great Britain (2 Sea Fisheries)*, vol. 19. 533 p.
- Biasca, C. 1983. Cabo San Lucas, Baja California. *Texas Conchologist*. **19**(3):68-69.
- Bigatti, G. y P.E. Penchaszadeh, 2007. Age and growth in *Odontocymbiola magellanica* (Gastropoda: Volutidae) from Golfo Nuevo, Patagonia, Argentina. *Marine Biology*, 150: 1199-1204.
- Bjordal, Å. y Løkkeborg, S. 1996. Longlining. Fishing News Books, Blackwell Science Ltd., Oxford. 156p.

- Bottemanne C.J. (1972). *Economía de la pesca*. Fondo de Cultura Económica. 1a Ed. En español. 570p.
- Bourgeois B., E.C. Payril y P. Bach, 1997. Studies of age and growth of the gastropod *Turbo* marmoratus determined from daily ring density. *Proceedings* 8th International Coral Reef Symposium 2:1351-1356.
- Branstetter, S. 1987. Age and growth estimates for blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and spinner, *C. brevipinna*, sharks from the Northwestern Gulf of Mexico. *Copeia* **1987**(4): 964-974.
- Bravo-Olivas, M. L. 2008. Aspectos reproductivos del pulpo Octopus hubbsorum Berry, 1953 en el Parque Nacional "Bahía de Loreto", Golfo de California. Tesis de Maestría. La Paz, B. C. S. 102p.
- Brey, T. 1999. Growth Performance and Mortality in Aquatic Macrobenthic Invertebrates. Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research. *Advances in Marine Biology*. 35:152-223.
- Bigatti, G. y P.E. Penchaszadeh, 2007. Age and growth in Odontocymbiola magellanica (Gastropoda: Volutidae) from Golfo Nuevo, Patagonia, Argentina. Marine Biology, 150: 1199-1204.
- Brito, J.C., y R. Rebelo. 2003. Differential growth and mortality affect sexual size dimorphism in *Vipera latastei. Copeia*, **2003**(4): 865-871.
- Brothers, E.B. 1987. Methodological approaches to the examination of otoliths in aging studies. In: Summerfelt, R.C. y G.E. Hall (Eds.), *The age and growth of fish*. Iowa State University Press, Ames Iowa, E.U.A. 319-330.
- Brusca, R. C. y G. J. Brusca. 2009. Invertebrates. Sinauer, Sunderland, Massachusetts. 922 p.
- Buitrón, B.E. & F.A. Solís-Marín. 1993. La biodiversidad en los equinodermos fósiles y recientes de México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* Vol. Esp. **XLIV**: 209-231
- Butler A.J. (1979). Relationships between height on the shore and size distributions of *Thais* spp.
 (Gastropoda: Muricidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **41**(1): 163-194.
- Butler P.G., A.D. Wanamaker, J.D. Scourse, C.A. Richardson y D. J. Reynolds, 2013, Variability of marine climate on the North Icelandic Shelf in a 1357-year proxy archive based on growth increments in the bivalve *Arctica islandica*, *Palaeogeography, Palaeclimatology, Palaeoecology*, 373: 141-151.
- Cabrera Mancilla E., R.M. Gutiérrez Zavala, E. Márquez García, A. Monreal Prado, E. A. Bermúdez Rodríguez. 2006. Diagnóstico de la pesca ribereña en la costa del estado de Guerrero. Informe Final de Investigación. Documento interno INAPESCA. 45 p.
- Cadima, E.L. 2003. *Manual de evaluación de recursos pesqueros*. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 393. Roma, FAO. 2003. 162p.

- Caicedo-Rivas, R. E., R. León-Pinto, V. Ortega-Chávez, J. S. Hernández-Zepeda y S. J. Serrano-Guzmán. 2007. Estudio comparativo de tres comunidades malacológicas en las costas del estado de Oaxaca. pp 26-28. En: Ríos-Jara, E., M. C. Esqueda-González y C. M Galván-Villa (eds): *Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México*.. Universidad de Guadalajara, México. 286 pág.
- Cailliet, G.M., L.K. Martin, D. Kusher, P. Wolf y B.A. Welden. 1983, Techniques for Enhancing Vertebral Bands in Age Estimation of California Elasmobranchs. En: Prince, E. D. y Pulos, L. M. (Eds). Proceedings International Workshop an Age Determination of Oceanic Pelagic Fishes: Tunas, Billfishes, Sharks. NOOA Technical Report NMFS, 8: 157-165
- Campana, S. E. 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. y D. Neilson, 1985. Microestructure of Fish otoliths. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science, **42**(5):1014-1032.
- Campbell, J.A. y W.W Lamar. 1989. *The Venomous Reptiles of the Latin America*. Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, EUA: 440 p.
- Cantillanez M., & M. Avendaño (2013). Role of temperature in the reproductive cycle of *Thais* chocolata (Gastropoda, Muricidae) in Chanavaya, Tarapacá, Chile. Latin American Journal of Aquatic Research **41**(5): 854-860.
- Carranza-Edwards, A., A. Z., Márquez-García y E. A. Morales de la Garza. 1985. Estudio de sedimentos de la Plataforma Continental del Estado de Guerrero y su importancia dentro de los recursos minerales del mar. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Contribución 465 del ICML, UNAM, 41p.
- Carter J. & D. Perrine. 1994. A spawning aggregation of dog snapper, *Lutjanus jocu* (Pisces: Lutjanidae) in Belize, Central America. Bulletin of Marine Science 55: 228- 234
- Casas, G., D. Rodríguez y G. Afanador. 2010. Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Universidad de Antioquia, Colombia. **23**(3):349–358.
- Casselman, J.M. 1987. Determination of age and growth. In: Weatherly, A.H. y H.S. Hill (Eds.), *The biology of fish growth*: 209-242. Academic Press, Londres.
- Caso, M. 1992. Los equinodermos (asteroideos, ofiuroideos y equinoideos) de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa. *Publicaciones Especiales Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*, 11: 1-214.
- Castanet, J. 1994. Age estimation and longevity in reptiles. *Gerontology*, **40**(2-4): 174-192.

- Castanet, J., D. G. Newman y H. Saint Girons. 1988. Skeletochronological data on the growth, age, and population structure of the Tuatara, *Sphenodon punctatus*, on Stephens and Lady Alice Islands, New Zealand. *Herpetologica*. **44**(1): 25-37.
- Castañeda-Gonzalez, O., J. Manjarrez, I. Goyenechea y V. Fajardo. 2011. Ecology of a population of the earthsnake *Conopsis biserialis* in the Mexican Transvolcanic Axis. *Herpetological Conservation and Biology*, **6**(3): 364–371.
- Castellanos C.R., & S.M. Cosavalente 1999. Biología reproductiva del molusco univivalvo *Thais chocolata* (Duclós, 1832). *Ciencia y Desarrollo* **6**(1): 7-12.
- Castilla J.C. 1996. La futura red chilena de parques y reservas marinas y los conceptos de conservación, preservación y manejo en la legislación nacional. *Revista Chilena de Historia Natural* **69**(1): 253-270.
- Castillo-Rivera, M. 1995. Aspectos ecológicos de la ictiofauna de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM. México 96 p.
- Castillo-Rivera, M. y R. Zárate-Hernández, 2001. Patrones espacio-temporales de la abundancia de peces en la laguna del Pueblo Viejo, Veracruz. Hidrobiológica: **11**(1): 75-84.
- Castro, C. F. 1981. El huachinango en la Bahía de San José, B. C. S., determinación de edad y crecimiento (*Lutjanus peru*), Universidad Autónoma de Sinaloa. *Revista de Ciencias del Mar*. 1:4-8.
- Castro-Franco, R y Aranda-Escobar E. 1984. Estudio preliminar sobre la ecología de los reptiles del estado de Morelos. Tesis de licenciatura, Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México:120 p. 10.13140/RG.2.1.4807.0882.
- Cesari P., & L. Mizzan 1993. Osservazioni su *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) in cattivita (Gastropoda, Muricidae, Thaidinae). *Bolletino del Museo Civico di Storia Naturalea di Venezia*. **42**(1): 9-21.
- Chale-Matsau, J.R., A. Govender y L.E. Beckley, 2001. Age growth and retrospective stock assessment of an economically extinct sparid fish, *Polysteganus undulosus*, from South Africa. *Fisheries Research*, **51**(2001): 87-92.
- Chambers, J.M., W.S. Cleveland, B. Kleiner y P.A. Tukey, 1983. *Graphical methods for data analysis*. Wadsworth, Belmont, CA. EUA: 410p.
- Chaudhuri P. & J.S. Marron, 1999, SiZer for exploration of structures in curves. *Journal of the American Statistical Association*, **94**(447): 807-823
- Checa, A. G. y A. P. Jimenez-Jimenez. 1998. Constructional morphology, origin, and evolution of the gastropod operculum. *Paleobiology*, **24**(1):109–132. doi:10.1017/S0094837300020005

- Chen, M. H. y K. Soong. 2002. Estimation of age in the sex-changing, coral-inhabiting snail *Coralliophila violacea* from the growth striae on opercula and a mark-recapture experiment. *Marine Biology* 140:337-342.
- Chiappa-Carrara, X., M. del C. Galindo de Santiago y A. Cervantes-Sandoval, 2009. *Introducción a los Modelos Matemáticos de Crecimiento con Aplicaciones en Sistemas Biológicos*. PAPIME PE101606, DGAPA y FES Zaragoza, UNAM, México.
- Chiappa-Carrara, X.; Rojas-Herrera, A. A. y Mascaró Maite. 2004. Coexistencia de *Lutjanus peru* y *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en la costa de Guerrero, México: relación con la variación temporal en el reclutamiento. Revista de Biología Tropical **52**(1): 177-185.
- Chilton D.E. y R.J. Beamish, 1982. Age Determination Methods for Fishes Studied by the Groundfish Program at the Pacific Biological Station. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 60, Ottawa, 102 p.
- Chinsamy, A., S.A. Hanrahan, R. M. Neto y M. Seely. 1995. Skeletochronological assessment of age in *Angolosaurus skoogi*, a Cordylid lizard living in a seasonal environment. *Journal of Herpetology*. **29**(3): 457-460.
- Christensen, J.M. 1964. Burning of otoliths, a technique for age determination of soles and other fish. *ICES Journal of Marine Science*, **29**(1): 73-81.
- Cintra-Buenrostro, C.E. 2001. Los Asteroideos (Echinodermata: Asteroidea) de aguas someras del Golfo de California, México. Oceánides **16**(1): 49-90.
- Clark, G.R.II, 1979. Seasonal growth variations in the shells of recent and prehistoric specimens of *Mercenaria mercenaria* from St. Catherines Island Georgia. *Anthropological Papers of the American Museum of Natural History*, 56: 161-172.
- Collins, E.P. y G. H. Rodda. 1994. Bone layers associated with ecdysis in laboratory-reared *Boiga irregularis* (Colubridae). *Journal of Herpetology*, **28**(3): 378-381.
- Conrath, C.L., J. Gelsleichter y J.A. Musick, 2002. Age and growth of the smooth dogfish (*Mustelus canis*) in the northwest Atlantic Ocean. *Fishery Bulletin*, **100**(4): 674-682.
- Comas, M., S. Reguera, F. J. Zamora–Camacho, H. Salvadó y G. Moreno–Rueda. 2016. Comparison of the effectiveness of phalanges vs. humeri and femurs to estimate lizard age with Skeletochronology. *Animal Biodiversity and Conservation*. **39.2**: 237-240.
- Córdova, C.A. 1994. Influencia de la intensidad y fotoperíodo con diferentes temperaturas en el crecimiento de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) en condiciones controladas de laboratorio. Tesis de licenciatura. F.E.S. Zaragoza U.N.A.M. 71 p.
- Crisóstomo-Pérez M., M. Feria-Ortiz. 2017. *Dimorfismo Sexual y Aspectos Reproductivos de* Crotalus ravus: *Estudio Ecológico*. Ed. Académica Española. Balti, Moldavia: 72 p.

BIBLIOGRAFÍA

- Cruz-Miguel, C.L., D. Ramírez-Noguera, B. Peña-Mendoza, I.H. Salgado-Ugarte, M. Garduño-Paredes y J.L. Gómez-Márquez, 2000. Estudio reproductivo de Oreochromis niloticus en la presa Emiliano Zapata, Mor. Resúmenes VII Congreso Nacional de Ictiología, 21-24 de noviembre de 2000, Palacio de Minería, México: 322-323.
- Cruz-Romero, M. E. A. Chávez, E. Espino y A. García. 1996. Assessment of a snapper complex (*Lutjanus* spp.) of the eastern tropical Pacific [Evaluación del recurso de un complejo de pargos (*Lutjanus* spp.) del Pacifico occidental tropical], p 324-330. En F. Arreguín-Sánchez, J. L. Munro, M. C. Balgos and D. Pauly (eds.) *Biology, fisheries and culture of tropical groupers and snappers.* ICLARM Conference Proceedings 48, 449 p.
- Cruz-Romero, M.; E. Espino-Barr; J. Mimbela L., A. García-Boa, L. F. Obregón A. y E. Girón., 1991. Biología Reproductiva en tres especies del género Lutjanus en la costa de Colima, México. Informe Final. Clave CONACyT: P220CCOR892739, México, 118 p.
- Cruz-Vázquez R, G Rodríguez-Domínguez, E Alcántara-Razo y EA Aragón-Noriega. 2012. Estimation of individual growth parameters of the Cortes Geoduck *Panopea globosa* from the Central Gulf of California using a multi-model approach. *Journal of Shellfish Research* **31**(3):725-732.
- Csirke, J., 1989. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. FAO, Documento Técnico de Pesca, (192):82 p.
- Cummins S.F. & G.T. Nagle, 2005. *Aplysia* capsulin is localized to egg capsules and egg cordon sheaths and shares sequence homology with *Drosophila* dec-1 gene products, *Peptides*, **26**(4): 589-596.
- Cupul-Magaña. F.G., 1995, ¿Qué es la esclerocronología y cuáles sus posibles aplicaciones? *Ciencia Ergo Sum* **2**(3): 375-381.
- Cupul-Magaña F.G. y Torres-Moyes G., 1996, Age and Growth of *Astrea undosa* Wood (Mollusca: Gastropoda) in Baja California, México. *Bulletin of Marine Science*, **59**(3): 490-497.
- Cushing, D. H. 1975. Ecología Marina y Pesquerías. Edit. Acribia, Zaragoza, España: 436 p.
- Davenport, C.B. 1938. Growth lines in fossil pectens as indicators of past climates. *Journal of Paleontology*, **12**(5): 514-515.
- Davis A. C, D. Brophy, P. Megalofonov & E. Gosling. 2008. Age estimation in calcified calcareous structures; preliminary finding of an inter laboratory comparison. *Collective Volume of Scientifics Papers ICCAT* 62(3): 899-910.
- De León-Herrera, M. G. 2000. Listado taxonómico de las especies de moluscos en la zona central del litoral oaxaqueño. *Ciencia y Mar.* **4**(12):49-51.
- Del Monte-Luna, P., Guzmán-Jiménez, G., Moncayo-Estrada, R., Sánchez-González, S. y Ayala-Cortés, A. 2001. Máximo rendimiento sostenible y esfuerzo óptimo de pesca del huachinango

(*Lutjanus peru*) en la Cruz de Huanacaxtle, Nayarit, México. Instituto Nacional de la Pesca. SAGARPA. México. *Ciencia Pesquera* No. 15:159-164.

- Del Monte-Luna, P.; R. Moncayo-Estrada y S. Sánchez-González. 2001. Determinación de la especie objetivo en la captura comercial en La Cruz de Huanacaxtle, Nayarit, México, durante el periodo 1987-1997. INP. SAGARPA. México. *Ciencia Pesquera* No. 15:321-345
- Devore J.I.,2004. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Quinta edición. Thomson Learning. 753 pp.
- Díaz-Uribe, J. G., E.A. Chávez y J.F. Elorduy-Garay. 2004. Evaluación de la pesquería del huachinango (*Lutjanus peru*) en el suroeste del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, **30**(4): 561-574.
- Diller, L.V. & R.L. Wallace, 2002. Growth, reproduction, and survival in a population of *Crotalus viridis oreganus* in North Central Ohio. *Herpetological Monographs*. 16, 2002: 26-45.
- DOF. (2012). *Carta Nacional Pesquera*. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Diario Oficial de la Federación. Segunda Sección. México. 128 p.
- Dorantes-Gómez, E. y M.B. Zavala-Montero, 2003. Estudio de la calidad de agua de tres cuerpos acuáticos en el Estado de Morelos. Tesis de licenciatura. F.E.S. Zaragoza UNAM, México, 92 p.
- Druzhinin, A. D., 1970. The range and biology of snappers (Fam. Lutjanidae). *Journal of Ichthyology*, 10: 715-735.
- Dumas S., M. O. Rosales-Velázquez, M. Contreras-Olguín, D. Hernández-Ceballos y N. Silverberg. 2004. Gonadal maturation in captivity and hormone-induced spawning of the Pacific red snapper Lutjanus peru. Aquaculture, 234(2004): 615-623.
- Eddy, S. y J.C. Underhill, 1984. *How to know the freshwater fishes*. 3a. ed. Wm. C. Brown Co. Pub. Iowa, 215 p.
- Echazabal S. O. 2018, Edad, crecimiento y mortalidad de *Spondylus crassisquama*, LAMARCK, 1819, en la laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, México. Tesis Instituto Politécnico Nacional, 106 p.
- Ehrhardt, N.M. 1981. Curso sobre métodos en dinámica de poblaciones. 1a Parte: Estimación de Parámetros Poblacionales. SIC/INP, México, 132 p.
- El-Ayari T., Y. Lahbib, & N.T. El-Menif 2015. Associated fauna and effects of epibiotic barnacles on the relative growth and reproductive indices of *Stramonita haemastoma* (Gastropoda: Muricidae). *Scientia Marina*. **79**(2): 223-232.
- Ergül Kalayci T., A Altunýþýk, C. Gül, M. Tosunoðlu, N. Özdemir. 2017. Age structure of the Caucasian Agama (*Paralaudakia caucasia*) from Elmadað, Iðdýr, Turkey: Preliminary data from small sample size. *Russian Journal of Herpetology*, **24**(4): 318-322.

- Ergül Kalayci T., A. Altunişik, Ç. Gül, N. Özdemir y M. Tosunoğlu. 2015. Preliminary data on the age structure of *Asaccus barani* (Baran's leaf-toed gecko) from Southeastern Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Zoology* **39**(4):1-5.
- Eroğlu, A. İ; Eroğlu, U. Bülbül y M. Kurnaz. 2017. Age structure and growth in a Turkish population of the Italian Wall Lizard *Podarcis siculus* (Rafinesque-Schmaltz,1810) (Reptilia: Lacertidae). *Acta Zoologica Bulgarica*, **69**(2): 209-214.
- Escoto R. G., 1988. Contribución a la Sistemática de Algunas Especies de la Familia Serranidae (Pisces:Perciformes), de los litorales de México; con énfasis en la Descripción Morfológica de su Neurocráneo y otolito (Sagitta). Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM, México, 218 p.
- Espino-Barr, E., M. Cruz-Romero y A. García-Boa, 1998. Edad y crecimiento del Huachinango *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922) (Pisces Lutjanidae) en las costas del Estado de Colima, México. *Avances en Investigación Agropecuaria* **7**(1):40-51p.
- Espino-Barr, E.; M. Cruz-Romero y A. García-Boa. 2001. Tendencia de la talla del huachinango *Lutjanus peru* en Colima, México, de noviembre de 1982 a diciembre de 1997. Instituto Nacional de la Pesca. SAGARPA. México. *Ciencia Pesquera* No. 15: 147-157.
- Espino-Barr, E., E.G. Cabral-Solís, A. García-Boa & M. Puente-Gómez. 2004. *Especies marinas con valores comerciales de la costa de Jalisco, México*. CRIP, Manzanillo, México:145 pp.
- Espino-Barr, E.; A., García-Boa; Cabral-Solís, E. G. y Puente-Gómez, M. 2008b. Pesca artesanal multiespecífica en la costa de Colima, criterios biológicos para su administración. Interdisciplinario de Investigaciones en medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional: 102p.
- Espino-Barr, E., A. González Vega, H. Santana-Hernández & H. González-Vega, 2008. *Curso de Biología Pesquera*. Universidad Autónoma de Nayarit e Instituto Nacional de la Pesca, Manzanillo, Colima: 117p.
- Espino-Barr. E., D. Hernández-Montaño, E. Cabrera-Mancilla, R. Gutiérrez-Zavala, H. Gil-López & E. Cabral-Solís 2006. Huachinango del Pacífico Sur. En: Instituto Nacional de la Pesca (Ed), Sustentabilidad y Pesca Responsable en Mexico. Evaluación y Manejo: 112p.
- Esqueda, M. C., E. Ríos-Jara, J. E. Michel-Morfín y V. Landa-Jaime. 2000. The vertical distribution and abundance of gastropods and bivalves from rocky beaches of Cuestacomate Bay, Jalisco, México. *Revista Biología Tropical*. **48**(4):765-775.
- Everhart, W. H. y W. D. Youngs. 1981. *Principles of Fishery Science*. Segunda edición. Cornell University Press. 350 p.
- Everson, A.R., H. A. Williams & B. M. Ito. 1989. Maturation and reproduction in two Hawaii eteline snappers, uku, *Aprion virescens*, and Onaga, *Etelis coruscans*. *Fishery Bulletin* **87**(4): 877-888.

- Fagade S.O., 1974. Age determination in *Tilapia melanotheron* (Ruppell) in the Lagos Lagoon, Lagos, Nigeria, In: Bagenal, T.B. (Ed.) *The Ageing of Fish*, 71-77. Unwin Brothers Limited, Gran Bretaña.
- Fajardo-León, 1998. Abundancia y estructura poblacional de callo de hacha (*Pinna rugosa, Atrina maura y Atrina sp.*) en Bahía Madgalena. Baja California Sur, México. *Boletín Pesquero CRIP-LA PAZ*, 9(1998): 30-37.
- FAO, 1982. Métodos de recolección y análisis de datos de talla y edad para la evaluación de poblaciones de peces. Circular de Pesca. No. 736. Roma. Italia. 101 p.
- FAO. 1995. Code of Conduct for Responsible Fisheries Rome, FAO. 1995. 41 p.
- FAO. 1996. Precautionary approach to fisheries. Part 2: *Scientific papers. FAO Fish. Tech. Pap.* No. 350/2. Rome, FAO, 210 p.
- FAO. 2008. Fisheries management. 2. The ecosystem approach to fisheries. 2.1 Best practices in ecosystem modelling for informing an ecosystem approach to fisheries. FAO Fish. Tech. Guidelines for Responsible Fisheries. No. 4, Suppl. 2, Add. 1. Rome, FAO". 78p. http://www. fao.org/docrep/011/i0151e/i0151e00.htm.
- FAO. 2010. The State of World Fisheries and Aquaculture 2010. Rome, FAO. 2010. 197p.
- Figueroa de Contín, E. 1980. *Atlas geográfico e histórico del estado de Guerrero*. FONAPAS. Gobierno del estado de Guerrero. 171 p.
- Fischer W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter & V. H. Niem. 1995. *Guías FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. PACÍFICO CENTRO-ORIENTAL. Vol. II.* Vertebrados. Roma, FAO. 1813p.
- Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, & K.E. Carpenter. 1995. *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca: Pacifico centro-oriental. Volumen 1.* FAO 1201-1747 pp.
- Flores-Garza, R., S. García-Ibáñez, P. Flores-Rodríguez, C. Torreblanca-Ramírez, L. Galeana-Rebolledo, A. Valdés-González, A. Suástegui-Zárate, J. Violante-González. 2012. Comercially Important Marine Mollusks for Human Consumption in Acapulco, México. *Scientific Research. Natural Resources.* 3(1):11-17.
- Flores-Garza R., A. Valdés-González, P. Flores-Rodríguez, S. García-Ibáñez, & N. Cruz-Ramirez 2012. Density, Sex Ratio, Size, Weight, and Rescruiment of *Plicopurpura pansa* (Gastropoda: Muricidae) in Costa Chica, Guerrero, México. *Open Journal of Marine Science* 2(1): 157-166.
- Flores-Maldonado O., 1994. Crecimiento de *Orechromis niloticus* en estanques con diferente fertilización, en un clima templado. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza UNAM. 56 p.

- Flores-Maldonado, O., J.L. Guzmán-Santiago, I.H. Salgado-Ugarte, B. Peña-Mendoza y J.L. Gómez-Márquez, 2000. Algunos aspectos tróficos de *Oreochromis niloticus* (Peters, 1757) en la presa Emiliano Zapata, Morelos, México. Resúmenes VII Congreso Nacional de Ictiología, 21-24 de noviembre de 2000, Palacio de Minería, México: 343-345.
- Flores-Rodríguez, P. 2004. Estructura de la comunidad de moluscos del mesolitoral superior en playas de facie rocosa del Estado de Guerrero, México. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. 206 pág.
- Flores-Rodríguez, P., R. Flores-Garza, S. García-Ibáñez y A. Valdés-González. 2007. Variación en la diversidad malacológica del mesolitoral rocoso en Playa Troncones, La Unión, Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **78**(supl.): 33-40.
- Flores-Rodríguez, P., R. Flores-Garza, S. García-Ibáñez, A. Valdés-González, J. Violante-González, E. Santiago-Cortés, L. Galeana-Rebolledo y C. Torreblanca-Ramírez. 2012. Mollusk Species Richness on the Rocky Shores of the State of Guerrero, México, as Affected by Rains and Their Geographical Distribution. *Scientific Research. Natural Resources.* 3(4):248-260.
- Ford, E. 1933. An account of the herring investigations conducted at Plymouth during the years from 1924-1933. *Journal of Marine Biology Assessment*, 19: 305-384.
- Fornasiero, S, X. Bonnet, F. Dendi y M., A., L., Zuffi. 2016. Growth, Longevity, and age at maturity in the European whip snakes, *Hierophis viridiflavus* and *H. carbonarius*. *Acta Herpetologica* 11(2): 135-149.
- Francis R.I.C.C., 1990. Back-calculation of fish length: a critical review. *Journal of Fish Biology* **36**(6): 883-902.
- Froese, R. y D. Pauly, 2001. *Fishbase*. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org , Version (10/2001).
- Fujinaga, K. 1987. On the Growth Pattern of the Neptune Whelk, Neptunea arthritica BERNARDI. Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University. 38(3): 191-202.
- Fujioka Y. 1984. Sexually Dimorphic Radulae in *Cronia margariticola* and *Morula musiva* (Gastropoda: Muricidae). *VENUS (Japanese Journal of Malacology)* **43**(4): 315-330.
- Gallardo-Cabello, M, M. Sarabia-Méndez, E. Espino-Barr y V. Anislado-Tolentino, 2010. Biological aspects of *Lutjanus peru* in Bufadero Bay, Michoacán, México: growth, reproduction and condition factors. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. **45**(2): 205-215.
- Gallucci, V. F.; S. B. Saila, D. J. Gustafson y B. J. Rothschild. 1996. *Stock assessment, quantitative methods and applications for small scale fisheries*. CRC. Lewis Publishers. EUA: 527p.
- García, E. 1973. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Instituto de Geografía, UNAM, México: 246 p.

- García, E. 2004. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto De Geografía, UNAM, México: 91 p.
- García, F. 2017. Puerto Ángel. Recuperado de: http://www.puertoangel.net/puerto/puertoangel_ es.html
- García-Ibáñez S., P. Flores-Rodríguez, J.T. Nieto-Navarro, R. Flores-Garza, & I.E. Bernabé-Moreno, 2014. Respuesta del carnívoro *Plicopurpura pansa* (Mollusca: Gastropoda) y el herbívoro *Chiton articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) a factores ambientales en Acapulco, México. *CienciaUAT*. 8(2): 11-21.
- Garduño-Paredes, M. y J. Avelar-Esquivel, 1996. Edad y crecimiento de la mojarra *Oreochromis niloticus* en la laguna de Coatetelco, Morelos. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza U.N.A.M. México, 71 p.
- Gastropods. 2021. Opeatostoma pseudodon. Consultado en febrero 2021, Disponible en: http:// www.gastropods.com/6/Shell_1226.shtml
- Germano, D. J. 1998. Scutes and age determination of desert tortoises revisited. *Copeia*, **1998**(2): 482-484.
- Gimenez, L.H. 2017. Análisis esclerocronológico de *Glycymeris longior* (Sowerby, 1832): Edad, estructura poblacional y evaluación de su potencial como archivo ambiental del Golfo San Matías (Mar Argentino). Tesis de licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, Universidad Nacional del Comahue.
- Gluyas-Millán, M. G., C. Quiñónes-Velázquez, J. A. Massó-Rojas, F. N. Melo-Barrera. 1999. Diferencias en la relación talla-edad del caracol panocha Astraea undosa (Wood, 1828) entre dos localidades de Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, México. 25(1): 91-106.
- Gluyas-Millán, M., C. Quiñones-Velázquez, J. Talavera-Maya. 2000. Parámetros poblacionales del caracol Astraea undosa (WOOD, 1828), En la costa occidental de la península de Baja California. Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, México. 26(4):643-658.
- Gluyas-Millán, M. y D. Martínez-Quiroz. 2010. Periodicidad de formación de marcas de crecimiento en opérculos del *caracol Astraea turbanica* de isla Natividad, BCS, México. *Ciencia Pesquera*. 18(1):5-12.
- Gómez–Larrañeta, M. 1967. Crecimiento de *Pagellus erithrinus* de las costas de Castellón. *Investigación Pesquera* **31**(2): 185-258.
- Gómez-Márquez, J.L. 1994. *Métodos para determinar la edad en los organismos acuáticos*. F.E.S. Zaragoza U.N.A.M. México: 89 p.

D Sr

BIBLIOGRAFÍA

- Gómez-Márquez, J.L. 2002. Estudio limnológico-pesquero del lago de Coatetelco, Morelos, México. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias, U.N.A.M. México: 181 p.
- Gómez-Márquez, J.L. y B. Peña-Mendoza, 1995. Los recursos acuáticos de Estado de Morelos. BIEN, 1(2): 25-26.
- Gómez-Márquez, J.L.; A. Cervantes-Sandoval; I.H. Salgado-Ugarte; B. Peña-Mendoza; M.C. Alejo-Plata; J.L. Guzmán-Santiago; E. Mendoza-Vallejo; C. Machuca-Rodríguez. (2016). Temas Selectos de Biología Pesquera. FES Zaragoza y DGAPA, UNAM, México: 344 p.
- Góngora-Gómez, A.M., M. Pinzón-Zúñiga, J.A. Hernández-Sepúlveda, M.I. García-Ulloa, B.P. Villanueva-Fonseca, & M. García-Ulloa, 2020. Desove y desarrollo intracapsular del caracol marino *Hexaplex nigritus* (Neogastropoda: Muricidae) en laboratorio. *Revista de Biología Tropical*, **68**(4), 1143-1158. ISSN Impreso: 0034-7744 ISSN electrónico: 2215-2075.
- González-Irusta, J.M. 2009. Contribución al conocimiento del erizo de mar *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) en el Mar Cantábrico: ciclo gonadal y dinámica de poblaciones. Tesis doctoral Universidad de Cantabria, Santander, España.
- González-Ochoa, O. A. 1997. Edad y crecimiento de *Lutjanus peru* en la costa de Sur de Jalisco. Universidad de Guadalajara, Tesis Profesional. 80p.
- González-Peláez S.S. 2004. Biología poblacional del erizo *Echinometra vanbrunti* (Echinodermata:Echinoidea) en el Sur del Golfo de California, México. Tesis de Maestría en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales (Orientación en Biología Marina) CIBNOR, La Paz, BCS: 105 p
- González-Ramírez J.M. y A. López-García, 1997. Aspectos hidrológicos de la presa "Emiliano Zapata", Morelos, México. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza UNAM, México: 81 p.
- González-Villareal, L. M. 2005. Guía ilustrada de los gasterópodos marinos de la Bahía de Tenacatitla, Jalisco, México. *Scientia-CUCBA*. Universidad de Guadalajara. **7**(1): 1-84.
- Goodwin, D.H., K.W. Flessa, B.R. Schöne y D.L. Detmann, 2001. Cross-calibration of daily growth increments, stable isotope variation, and temperature in the Gulf of California bivalve mollusk *Chione cortezi*: implications for paleoenvironmental analysis. *Palaios*, **16**(4): 387-398.
- Gorzelak, P. A. Dery, P. Dubois & J. Stolarski, 2017. Sea urchin growth dynamics at microstructural length scale revealed by Mn-labeling and cathodoluminescence imaging. *Frontiers in Zoology* **14**(42): 1-17.
- Gosselin M., C.E. Lazareth y L. Ortlieb, 2013. Sclerochronological studies in the Humboldt current system, a highly variable ecosystem, *Journal of Shellfish Research*, **32** (3): 867–882.
- Gould, W.W., J.S. Pitblado y B.P. Poi, 2010. *Maximum Likelihood Estimation with Stata*. 4a. ed. Stata Press, College Station, E.U.A.

- Granado L. 2002. *Ecología de peces*. Secretariado de publicaciones Universidad de Sevilla, España: 361 p.
- Greene, H. W., y J. A. Campbell. 1992. The future of pitvipers: 421-427. En: Campbell & Brodie (eds), *Biology of the pitivipers*. Selva, Tyler, Texas: 467 p.
- GREENPEACE México, 2010. Lista roja de pescados y mariscos. Consultado en http://www. greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2010/2/lista_especies_pesqueras.pdf
- Grimes, C. 1987. Reproductive biology of the Lutjanidae: a review, pp. 239-294. En: J.J. Polovina & S. Ralston (eds.) *Tropical Snapper and Grouper: Biology and Fisheries Management*. Westview, Boulder, U.S.A.: 659 p.
- Griebeler, E.M., N. Klein y P. M. Sander. 2013. Aging, maturation and growth of Sauropodomorph dinosaurs as deduced from growth curves using long bone histological data: An assessment of methodological constraints and solutions. *PLoS ONE* **8**(6): e67012. doi:10.1371/journal. pone.0067012.
- Grosjean, P. 2001. Growth model of the reared sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816). Tesis de doctorado, Facultad de Ciencias, Universidad Libre de Bruselas: 271 p.
- Guarino, F.M., A. Di Maio y V. Caputo. 2004. Age estimation by phalangeal skeletochronology of *Caretta caretta* from the Mediterranean Sea. *Italian Journal of Zoology*. **71**:S2: 175-179.
- Guerra-Hernández, E.A. y B. Peña-Mendoza, 1985. Estudio del crecimiento de *Oreochromis urolepis hornorum* (Trewavas, 1980) en relación a las condiciones limnológicas del embalse permanente de Michapa, Edo. de Morelos. Tesis de licenciatura, E.N.E.P. Zaragoza UNAM, México. 70 p.
- Guerra-Sierra, A. y Sánchez-Lizaso, J. L. 1998. Fundamentos de explotación de recursos vivos marinos. Editorial ACRIBIA, S. A., ZARAGOZA (España). 243p.
- Guisande-González, C., A. Barreiro-Felpeto, I. Maneiro-Estraviz, I. Riveiro-Alarcón, A. R. Vergara-Castaño y A. Vaamonde-Liste. 2006. *Tratamiento de Datos*. Ediciones Díaz de Santos, España, 356 pág.
- Gulland, J.A. 1969. Manual of Methods for Fish Stock Assessment, Part I. Fish Population Analysis. *F.A.O. Manual Fisheries Science* (4): 154 p.
- Gulland, J. A. 1971. *Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces*. Editorial Acribia. Zaragoza: 193 pág.
- Gulland, J. A., A. A. Rosenberg. 1992. Examen de los métodos que se basan en la talla para evaluar las poblaciones de peces. FAO Documento técnico de pesca N° 323. Roma, FAO: 112p.

- Gutierrez-Vargas, R. 1990. Tasas de crecimiento, mortalidad, reclutamiento, rendimiento y biomasa relativos por recluta de *Lutjanus peru* (Persiformes: Lutjanidae) en el Pacífico Noroeste de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, **38**(2B): 441-447.
- Guzmán U.A., 1994. Parámetros biológicos de tilapia (*Oreochromis aureus* Steindachner, 1864)
 de la presa Adolfo López Mateos "El infiernillo" Michoacán-Guerrero, México. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México, 33 p.
- Guzmán-Urieta, E.O. 2015. Edad y Crecimiento del caracol marino *Opeatostoma pseudodon* (Burrow, 1815) del litoral rocoso aledaño a Puerto Ángel, Oaxaca, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 97 pág.
- Haddon, M. 2001. *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*. Chapman & Hall/CRC, Boca Ratón, EUA: 404 p.
- Haro-Capetillo J. C. 2017. Ciclo Reproductivo y Dimorfismo Sexual del Gasterópodo Opeatostoma pseudodon (Burrow, 1815), en Puerto Ángel, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 74 pág.
- Härdle, W. 1991. Smoothing techniques. With implementations in S. Springer-Verlag, Nueva York: 274p.
- Hare, J.A. & R.K. Cowen. 1995. Effect of age, growth rate and ontogeny on otolith sizefish size relationship in bluefish, *Pomatomus saltatrix*, and the implications for backcalculation of size in fish early life history stages. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52(9): 1909-1922.
- Hendler, G., J. E. Miller, D. L. Pawson y P. M. Kier. 1995. Sea Stars, sea urchins & Allies: Echinoderms of Florida & the Caribbean. Smithsonian Institution Press, Washington: 390 p.
- Hernández-Montaño, D., G. Meléndez-Galicia y A. Arellano-Torres. 2006. Evaluación pesquera del huachinango Lutjanus peru en la costa de Michoacán. En: Jiménez-Quiroz y Espino-Barr (Eds.) Los recursos pesqueros acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán. CRIP Manzanillo, SAGARPA, INP, Manzanillo, Colima, México: 331-362.
- Hernández-López, J. L. 2000. Biología, Ecología y Pesca del pulpo común (*Octopus vulgaris*, Cuvier 1797) en aguas de Gran Canaria. Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 210 pág.
- Hilborn, R. y C. J. Walters. 2003. *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics & Uncertainty*. Springer Science & Business Media. Londres. 570 pág.
- Hobday A.J., M.J. Tegner, & P.L. Haaker, 2001. Overexploitation of a broadcast spawning marine invertebrate: decline of white abalone. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **10**(1): 493-514.

- Hoenig, J.M. y C.A. Brown. 1988. A simple technique for staining growth bands in elasmobranch vertebrae. *Bulletin of Marine Science*, **42**(2): 334-337.
- Holden, M. J y D. F. S. Raitt. 1975. *Manual de Ciencia Pesquera. Parte 2. Métodos para investigar los recursos y su aplicación*. Organización para la Alimentación y la Agricultura. 115 Rev.: 121p.
- Horner, J.R., A. de Ricqlès y K. Padian. 1999. Variation in dinosaur skeletochronology indicators: Implications for age assessment and physiology. *Paleobiology*. **25**(3): 295-304.
- Huerta-Badillo, B. y J.G. Navarro-Castro, 2001. Evaluación del cultivo de mojarra (*Oreochromis niloticus*) en jaulas flotantes en la laguna de Metztitlán, Edo. de Hidalgo. Tesis de licenciatura,
 F.E.S. Zaragoza UNAM, México, 61 p.
- Hughes, R. N. 1986. A Functional Biology of Marine Gastropods. Croom Helm, London: 245 p.
- Hutton, J.M. 1986. Age determination of living Nile crocodiles from the cortical stratification of bone. *Copeia*, **1986**(2): 332-341.
- Hyman, L. H. 1955. *The Invertebrates, vol. 4: Echinodermata, the Coelomate Bilateria*. McGraw Hill, New York. 763 p.
- Hyndes, G.A., N.R. Loneragan & I.C. Potter, 1992. Influence of sectioning otoliths on marginal increment trends and age and growth estimates for the flathead *Platycephalus speculator*. *Fishery Bulletin* **90**(2): 276-284.
- INEGI, 1998. Anuario estadístico del Estado de Morelos. Gobierno del Estado de Morelos, México, 442 p.
- INEGI. 2001. Anuario estadístico del Estado de Guerrero edición 2000. 514p.

Integrated Taxonomic Information System (ITIS) http://www.itis.usda.gov.23/04/2011

- Ilano, A. S., A. Ito, K. Fujinaga y S. Nakao. 2004. Age determination of Buccinum isaotakii (Gastropoda: Buccinidae) from the growth striae on operculum and growth under laboratory conditions. Aquaculture. 242(1-4):181-195.
- Ismail, N.S. y A.Z. Elkarmi, 2006. Age, Growth and Shell Morphometrics of the Gastropod *Monodonta dama* (Neritidae: Prosobranchia) from the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **9**(5): 843-847.
- Jaramillo-Salazar, G. y A. Sánchez-Vázquez, 1991. Evaluación del crecimiento de la carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofuscus*) y tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum*) bajo condiciones de policultivo en el bordo de temporal "Chavarría", en el Mpio. De Coatlán, Edo. de Morelos. De junio de 1989 a enero de 1990. Tesis de licenciatura, E.N.E.P. Zaragoza UNAM, México, 87 p.
- Jaramillo, R., J. Winter, J. Valencia y A. Rivera, 1993. Gametogenic cycle of the Chicloe Scallop (*Chlamys amandi*). *Journal of Shellfish Research*. **12**(1): 59-64.

- Jenkins, C.L., C. R. Peterson, S. C. Doering, y V. A. Cobb. 2009. Microgeographic variation in reproductive characteristics among Western rattlesnake (*Crotalus oreganus*) populations. *Copeia*, 2009(4):774-780.
- Jiménez-Ordaz, F. J. 2005. Análisis de la talla del caracol púrpura *Plicopurpura pansa* (GOULD, 1853) de Bahías Huatulco, Oaxaca, México. Tesis para obtener el grado de licenciado en Biología Marina. Universidad del Mar. Puerto Ángel, Oaxaca: 58 p.
- Jones, D.S. 1981. Repeating layers in the molluscan shell are not always periodic. *Journal of Paleontology*, **55**(5): 1076-1082.
- Jones, D.S. 1983. Sclerochronology: Reading the record of the Molluscan Shell: Annual growth increments in the shells of bivalve molluscs record marine climatic changes and reveal surprising longevity. *American Scientist*, **71**(4): 384-391.
- Jones, D.S. y I.R. Quitmyer, 1996. Marking time with bivalve shells: oxygen isotopes and season of anual increment formation. *Palaios*, **11**(4): 340-346.
- Jones, D.S., I. Thompson y W. Ambrose, 1979. Age and growth rate determinations for the Atlantic surf clam *Spisula solidissima* (Bivalvia: Mactracea), based on internal growth lines in shell cross-sections. *Marine Biology*, **47**(1): 63-70.
- Jones, D.S., I.R. Quitmyer, W.S. Arnold y D.C. Marelli, 1990. Annual Shell banding, age, and growth rate of hard clams (*Mercenaria* spp.) from Florida. Journal of Shellfish Research, **9**(1): 215-225.
- Jong-duk C. & R. Dong-Ki, 2009. Age and Growth of Purple whelk, *Rapana venosa* (Gastropoda: Muricidae) in the West Sea of Korea. *Korean J. Malacol.* **25**(3): 189-196.
- Kalvass, P.E. & J.M. Hendrix, 1997. The California red sea urchin, *Strongylocentrotus franciscanus*, fishery: catch, effort and management trends. *Marine Fisheries Review* **59**(2): 1-17.
- Karkach, A.S. 2006. Trajectories and models of individual growth. *Demographic Research*. **15**(12): 347-400.
- Karlou-Riga C., 2000. Otolith morphology and age and growth of *Truchurus mediterraneus* (Steindachner) in the Eastern Mediterranean, Fisheries Research, **46**(1-3): 69-82.
- Katsanevakis, S. y C. D. Maravelias. 2008. Modeling fish growth: Multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries*. **9**(2): 178-187.
- Keen, M. A. 1971. Sea Shells of Tropical Western America. Second Edition. Ed. Standford University Press. Stanford, California; 1064 p.
- Kennish, M.J. y R.K. Olsson. 1975. Effects of thermal discharges on the microstructural growth of *Mercenaria mercenaria. Environmental Geology*, 1: 41-64.

- Kilada, R., B. Saint-Marie, R. Rochette, N. Davis, C. Vanier & S. Campana. 2012. Direct determination of age in shrimps, crabs, and lobsters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.
 69(11): 1728-1733.
- Kimura, D. K. 1980. Likelihood methods for the von Bertalanffy growth curve. *Fishery Bulletin*. **77**(4):765-776.
- King, M. 1995. *Fisheries Biology, Assessment and Management*. Fishing News Books. Bodmin, Cornwall, RU:
- King, M. 2007. Fisheries Biology, Assessment and Management. 2a. Edición. Blackwell Publishing, Oxford, RU:
- Kropach, C. 1971. Sea snake (*Pelamis platurus*) aggregations on slicks in Panama. *Herpetologica*. 27(2):131–135.
- Kosyan A. R., M. V. Modica y M. Oliverio. 2009. The anatomy and relationships of *Troschelia* (Neogastropoda: Buccinidae): New evidence for a closer fasciolariid-buccinid relationship? *The Nautilus*. **123**(3):95-105.
- Kumaş M, Y D., Ayaz. 2014. Age determination and long bone histology in Stellagama stellio (Linnaeus, 1758) (Squamata: Sauria: Agamidae) populations in Turkey. Vertébrate Zoology. 64(1): 113 – 126.
- Kumbar, S., R. y K. Pancharatna. 2003. Formation and bone growth mark patterns in the Indian skipper frog *Rana cyanophlyctis*. *Russian Journal of Herpetology*. **10**(2): 135 139.
- Laidre, M. E. y G. J. Vermeij. 2012. A biodiverse housing market in hermit crabs: proposal for a new biodiversity index. Cuadernos de Investigación. UNED. *Research Journal of the Costa Rican Distance Education University*. 4(2):175-179.
- Laevastu, T. 1980. Manual de Métodos de Biología Pesquera. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 243p.
- Lagler, F.K., 1956. Freshwater Fishery Biology. Wm. C. Brown Co. Pub., E.U.A. 421 p.
- Lagler, F.K., J.E. Bardach, R.R. Miller y D.R.M. Passino. (1990). *Ictiología*. AGT-Editor, S.A., México. 489 p.
- Lai HL & HC Liu, 1979. Age and growth of Lutjanus sanguineus in the Arafura Sea and North West Shelf. Acta Oceanographica Taiwanica 10: 160-171.
- La Marca, M.J. 1966. A simple technique for demostrating calcified annuli in the vertebrae of large elasmobranchs. *Copeia*, **1966**(2): 351-352.
- Landa-Jaime, V., M. De La Cruz-Urzua, E. Michel-Morfin, J. Arciniega-Flores, R. Flóres-Vargas y C. Amescua. 2007. Guía ilustrada para la identificación de moluscos intermareales y de arrecife

en la Bahía de Tenacatita, Jalisco. pp 63-64. En: Ríos-Jara, E., M. C. Esqueda-González y C. M. Galván-Villa (eds) *Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México*. Universidad de Guadalajara, México: 286 pág.

- Landa-Jaime V., E. Michel-Morfin, J. Arciniega-Flores, S. Castillo-Vargasmachuca y M. Saucedo-Lozano. 2013. Moluscos asociados al arrecife coralino de Tenacatita, Jalisco, en la Pacífico central mexicano. Revista Mexicana de Biodiversidad 84(4): 1121-1136.
- Lara-Lara, J. R., V. Arenas-Fuentes, C. Bazán-Guzmán, V. Díaz-Castañeda, E. Escobar-Briones, M. C. García-Abad, G. Gaxiola-Castro, G. Robles-Jarero, R. Sosa-Ávalos, L. A. Soto-González, M. Tapia- García y J. E. Valdez-Holguín. 2008. Los ecosistemas marinos. En: Sarukhán, J. (Coordinador), *Capital natural de México. Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO. México, 1:135-159.
- Lavín, M. F., J. Gómez Valdés, V., Godínez, J. García y C. Cabrera. 2001. Hidrografía y corrientes frente a las costas de Michoacán en mayo del 2001. En: Taller de avances y perspectivas de un proyecto multidisciplinaria en la región costera del occidente de México. Depto. De Oceanografía Física CICESE, 8p.
- Leonce-Valencia, C. y O Defeo. 1994. Edad y crecimiento del huachinango *Lutjanus campechanus* del Golfo de México mediante el uso de otolitos. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida. 1-13 p.
- Levenberg, K. 1944. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. *The Quaterly of Applied Mathematics*, **2**(2): 164-168.
- Lillywhite, H. B., C. M. Sheehy III, F. Brischoux y J. B. Pfaller. On the abundance of a pelagic sea snake. *Journal of Herpetology*: **49**(2): 184–189.
- Lomes-Olmes, J. R. 2002. Edad, crecimiento y fechas de nacimiento de juveniles de lisa *Mugil curema* en el estero El Conchalito, La Paz B. C. S., México. Tesis de Maestría, CICIMAR, IPN, 62p.
- López, S.; France, J: Gerrits; W. J., Dhanoa; M. S., Humphries y D. J., Dijkstra. 2000. A generalized Michaelis-Menten equation for the analysis of Growth. J. Anim. Sci. **78**(7): 1816-1829
- López-Uriarte, E., I. Enciso-Padilla, M. Pérez-Peña, E. G. Robles-Jarero, E. Juárez-Carrillo, C. M. Galván-Villa, y E. Ríos-Jara. 2007. Moluscos del submareal somero de la localidad "La Rosada", Bahía Chamela, Jalisco. pp 196-198. En: Ríos-Jara, E., M. C. Esqueda-González y C. M. Galván-Villa (eds), *Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México*. Universidad de Guadalajara, México: 286 p.
- López-Uriarte, E., E. Ríos-Jara, C. M. Galván-Villa, E. Juárez-Carrillo, I. Enciso-Padilla, E. G. Robles-Jarero y M. Pérez-Peña. 2009. Macroinvertebrados bénticos del litoral somero de Punta La Rosada, Bahía Chamela, Jalisco. *Scientia-CUCBA*. **11**(1-2):57-68.
- Lucano-Ramírez, G. 1998. Ciclo reproductivo de *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922) (Pisces: Lutjanidae) en las costas sur de Jalisco. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, UNAM, 114p.
- Lucano-Ramírez, G., E. Peña-Pérez, S. Ruiz-Ramírez, J.A. Rojo-Vázquez & G. González-Sansón. 2011. Aspectos reproductivos del pez erizo, *Diodon holocanthus* (Pisces: Diodontidae) en la plataforma continental del Pacífico Central Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 59(1): 217-232.
- Lucano-Ramírez, G., M. Villagrán-Santa Cruz, S. Ruíz-Ramírez y T. López-Murillo. 2001. Histología de los ovocitos de *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922) (Pisces. Lutjanidae). *Ciencias Marinas* **7**(3): 335-249.
- Maack, G. & M.R. George. 1999. Contributions to the reproductive biology of *Encrasicholina* punctifer Fowler, 1938 (Engraulidae) from West Sumatra, Indonesia. *Fisheries Research* 44(2): 113-120
- Maddock D.M. & M.P. Burton. 1998. Gross and histological of ovarian development and related condition changes in American plaice. *Journal of Fish Biology* 53(5): 928-944.
- Madrid J., P. Sánchez, A. A. Ruíz. 1997. Diversity and abundance of a tropical fishery on the Pacific shelf of Michoacán, México. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **45**(1977): 485-496.
- Madrid V., J., 1990. Ecología de algunas especies de peces de importancia comercial. Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias. UNAM, México, D. F.: 179p.
- Madsen, T., y R. Shine. 1994. Cost of reproduction influence the evolution of sexual size dimorphism in snakes. *Evolution*, **48**(4).1389-1397.
- Maichak de Carvalho B., V.A. Vanina & L.F. Fávara, 2021, Age and reproduction of the southern king croaker *Menticirrhus americanus* in subtropical South Atlantic environments, *Latin American Journal of Aquatic Research*, **49**(2) 242-257.
- Manooch III, C. S., 1987. Age and growth of snappers and groupers. En F. Polovina y S. Ralston (Eds), *Tropical snappers and groupers: biology and fisheries management*. Westview Press Boulder, London: 329-373.
- Manríquez, P.H., A.P. Delgado, M.E. Jara y J.C. Castilla, 2008. Field and laboratory pilot rearing experiments with early ontogenic stages of *Concholepas concholepas* (Gastropoda: Muricidae). *Aquaculture*, **279**(2008): 99-107.
- Manriquez-Ledezma, Y. 2008. Edad y crecimiento de *Caulolatilus princeps*, (JENYNS, 1840) en la Bahía de la Paz y Bahía Magdalena, B: C. S., México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 70 p
- Marchitto, T.M. Jr., G.A. Jones, G.A. Goodriend y R.C. Weidman, 2000. Precise temporal correlation of Holocene mollusk shells using sclerochronology, *Quaternary Research*, **53**(2): 236-246.

BIBLIOGRAFÍA

Margalef, R. 1989. *Ecología*. Omega. S. A. Edit. Barcelona, 951p.

- Marquardt, D.W. 1963. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. *Journal* of the Society for Industrial and Applied Mathematics, **11**(2): 431-441.
- Marques de Cantú, M.J. 1991. *Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico-Biológicas*. McGraw-Hill, México. 657 p.
- Marques dos Santos, M.J. (2004) Probabilidad y Estadística para ciencias Químico-Biológicas. 2a ed., FES Zaragoza UNAM, México: 626 p.
- Marsden, I.D. y R.M. Pilkington, 1995. Spatial and temporal variations in the condition of *Austrovenus stutchburyi* Finlay, 1927 (Bivalvia: Veneridae) from the Avon-Heathcote Estuary, Christchurch, *New Zealand Natural Sciences*, **22**(1995): 57-67.
- Martínez S.N.J., P.L.A. Chablé, & L.J.I. Ledesma, 2017. Tormentas Invernales. Análisis estadístico con teleconexiones oceánico-atmosféricas. Organización Mexicana de Meteorólogos
 A.C. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. CONAGUA. México. 20p.
- McCreary, B., C.A. Pearl y M.J. Adams. 2008. *A protocol for aging anurans using skeletochronology*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1209: 39 p.
- McMahon R.F., & J.C. Britton, 1983. The relationship between vertical distribution, thermal tolerance, evaporative water loss rate, and behaviour on emergence in six species of mangrove gastropods from Hong Kong. En: Morton B. & D. Dudgeon (Eds.). Proceedings of the Second International Workshop on the Malacofauna of Hong Kong and Southern China (), Hong Kong University Press. Hong Kong: pp. 563-582.
- Meekan, M.G., J.J. Dodson, S.P. Good & D.A.J. Ryan. 1998. Otolith and fish size relationship, measurement error, and size-selective mortality during the early life of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatc Sciences **55**(7): 1663-1673.
- Meza, L. y López. 1997. Vegetación y Mesoclimas de Guerrero. 1-53 p. En: Diego-Pérez, N. y R. M. Fonseca (Eds.). Estudios Florísticos de Guerrero, No. Especial 1.
- Minakami, K. 1979. An estimation of age and life-span of the genus *Trimeresurus* (Reptilia, Serpentes, Viperidae) on Amami Oshima Island Japan. *Journal of Herpetology*, **13**(2): 147 -152.
- Miranda, O. 1975. Crecimiento y estructura poblacional de *Thais (stromanita) chocolata* (Duclos, 1832), en la Bahía de Mejillones del Sur, Chile. (Mollusca Gastropoda, Thaididae). *Revista de Biología Marina*. Universidad de Chile, Valparaíso. **15**(3): 263-286.
- Miranda R.M., K. Fijunaga, & S. Nakao, 2008. Age and growth of *Neptunea arthritica* estimated from growth marks in the operculum. *Marine Biology Research* **4**(1): 224-35.

- Miura, T., N. Suzudi, M. Hagoshi y K. Yamanura, 1976. The rate of production of food consumption of the biwamasu *Onchorhynchus rhodurus* population in Lake Biwa. *Research Population Ecology* (Tokyo) **17**: 135-154.
- Molina-Rodríguez, C.A. 2016. Densidad y comportamiento de cobertura del erizo *Toxopneustes roseus* asociado a cambios medioambientales y depredadores en Islas Marietas, Nayarit. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Posgrado en Oceanografía Costera, México: 71 pp.
- Monreal-Gómez, M. A. y D. A. Salas de León. 1998. Dinámica y estructura termohalina. Capitulo 2. pp 13-26. En: Tapia-García, M. (Ed.) *El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos*. UAM Iztapalapa, México: 240 p.
- Moore, J.W. y I.A. Moore, 1974. Food and growth of arctic char *Salvelinus alpinus* in the Cumberland sound area of Baffin Island. *Journal of Fish Biology*, **6**(1): 79-92.
- Morales-Nin B. 1987. *Métodos de determinación de la edad en los osteictios en base a estructuras de crecimiento*. Informes Técnicos de Investigación Pesquera, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 143: 3-30.
- Morales-Nin, B. 1989. Growth determination of tropical marine fishes by means of otolith interpretation and Length frequency analysis. *Aquatic Living Resources*, **2**(4): 241-253.
- Morales-Nin, B. 1991. *Determination of growth in bony fish from otolith microestructure*. FAO Fisheries Technical Paper (322): 51p.
- Morales-Nin, B. 1994. Growth of demersal fish species of the Mexican Pacific Ocean. *Marine Biology* **121**(1994): 211-217.
- Morales-Nin, B., 1989. Growth determination of tropical marine fishes by means of otolith interpretation and length frequency analysis. *Aquatic Living Resources*, **2**(4): 241-253.
- Moreau, J. 1987. Mathematical and biological expression of growth in fishes: Recent trends and further developments. In: R.C. Summerfelt y G. E. Hall (Eds.), *The Age ad Growth of Fish*: 81-113. Iowa State University Press, Ames.
- Morris, P. A. 1966. A field guide to Pacific coast shells. Including shells of Hawaii and the Gulf of California. Second edition. Houghton Mifflin Company Boston, EUA. p169 lámina 60.
- Mugiya, Y. y T. Uchimura, 1989. Otolith resorption induced by anaerobic stress in the goldfish, *Carassius auratus. Journal of Fish Biology*, **35**(6): 813-818.
- Murawska, D. 2017. The effect of age on growth performance and carcass quality parameters in different poultry species. En: Manafi, M. (ed): *Poultry Science*. IntechOpen. https://doi. org/10.5772/64860

- Nacarino-Meneses C, X. Jordanaa, y M. Köhler. 2015. First approach to bone histology and skeletochronology of *Equus hemionus*. *Comptes Rendus Palevol*. **15**(1-2): 267-277.
- Nadal, E. J. A. 1996. Esfuerzo y captura. Tecnología y sobreexplotación de recursos marinos vivos, México. El Colegio de México, Programa sobre Ciencia, Tecnología y Desarrollo. 476p.
- Naegel L.C.A., & A.J. López-Rocha, 2007. Effect of temperature on growth of the intertidal purple snail *Plicopurpura pansa* (Goud 1853) under laboratory conditions. *Aquaculture Research* 38(1): 493-497.
- Nagahama, Y., M. Yoshikuni, T. Yamashita, M. Tokumoto & Y. Katsu. 1995. Regulation of oocyte growth and maturation in fish. *Current Topics in Developmental Biology* **30**(1995):103-145
- Navarro, J.M. 1988. The effects of salinity on the physiological ecology of *Choromytilus chorus* (Molina, 1782) (Bivalvia: Mytilidae), *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **122**(1): 19-34.
- Nelson, J. S. 1994. Fishes of the World. 3ª. edición. Canadá: 600 pp.
- Neyra-González, L. & L Durand-Smith. 1998. *Biodiversidad, La diversidad biológica de México: Estudio País, Cap. 3, Parte II.* CONABIO, México: 82-92.
- Nikolsky, G.V. 1963. The ecology of fishes. Academic Press. Nueva York: 352 p.
- Okolodkov, Y.B., R. Bastida-Zavala, A.L. Ibáñez, J.W. Chapman, E. Suárez-Morales, F. Pedroche & F.J. Gutiérrez-Mendieta. 2007. Especies acuáticas no indígenas en México. *Ciencia y Mar* 11(32): 29-67.
- Ogle, D.H. 2016. Introductory Fisheries Analyses with R. CRC Press. Boca Raton, FL, EUA: 317 p.
- Olguín, I. 2000. La pesquería de erizo en México, situación actual y perspectivas de desarrollo. *Pesca y conservación* **4**(10): 5-6.
- Ortega-Rubio, A., M. Khodaddost y R. Servin. 1993. Skeletochronology in the mezquite lizard, *Sceloporus grammicus. The Proceedings of the Oklahoma Academy of Science*, 73:31-34.
- Oschmann, W., 2009. Sclerochronology: editorial. *International Journal of Earth Sciences*, **98**(2009): 1-2.
- Page, L.M. y B.M. Burr, 1991. A field guide to freshwater fishes of North America north of Mexico. The Peterson Field Guide Series, Houghton Mifflin Company, Boston. 432 p.
- Paine, R. T. 1966. Function of Labial Spines, Composition of Diet, and Size of Certain Marine Gastropods. *The Veliger*. California Malacozoological Society, INC. Berkeley, California. 9(1):17-24.

- Palacios S.S.E., 1995. Estudio biológico pesquero de la tilapia *Orechromis aureus* (Steindachner, 1864) en la presa Adolfo López Mateos (El Infiernillo), Michoacán-Guerrero, México, Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM, 81 p.
- Palmer R.A. 1981. Do carbonate skeletons limit the rate of body growth? *Nature*. London. **292**(1981): 150-152.
- Panfili, J. y J. Tomás, 2001. Validation of age estimation and back-calculation of fish length based on otolith microstructures in tilapias (Pises, Cichlidae). *Fishery Bulletin*. 99(2001): 139-150.
- Panfili, J., H. De Pontual, H. Troadec y P.J. Wright (Eds.), 2002. *Manual of Fish Sclerochronology*, IFREMER-IRD, Brest, Francia: 463 p.
- Pannella, G. 1980. Growth patterns in fish sagittae. In: Rhoads, D.C. y Lutz, R.A. Editores, 1980, Skeletal Growth of Aquatic Organisms: Biological records of Environmental Change, Plenum Press, New York, and London: 519-560.
- PAO. 2017. Puerto Ángel, Oaxaca. Recuperado de: http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/ cnarioPtoangel.pdf
- Pardo, S.A., A.B. Cooper y N.K. Dulvy, 2013. Avoiding fishy growth curves. *Methods in Ecology and Evolution*, **4**(4): 353-360
- Pauly, D. 1979. Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's growth formula. *Berichte aus dem Institute f
 ür Meereskunde* 63, Kiel University, Kiel. Alemania Occidental.
- Pauly D. 1981. The relationships between gill surface area and growth performance in fish: a generalization of von Bertalanffy's theory of growth. *Meeresforsch*, **28**(4): 251-282.
- Pauly Daniel. 1983. Algunos métodos simples para la evaluación de recursos pesqueros tropicales. FAO Documento Técnico de Pesca. N° 234: 49p.
- Pawson, D. L. 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa* **1668**(2007): 749-764.
- Peemoeller, B. J. y B. G. Stevens. 2013. Age, size, and sexual maturity of channeled whelk (*Bosycotypus canaliculatus*) in Buzzards Bay, Massachusetts. *Fishery Bulletin*. **111**(3):265-278.
- Pelcastre-Campos, V. T. 2006. Inducción a la ovulación y espermiogénesis en el huachinango del Pacífico *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922) y almacenamiento de su semen. Tesis de Maestría. IPN, CICIMAR. 98p.
- Pellegrini, R. 2007. Skeletochronology of the limb elements of Mosasaurs (Squamata; Mosasauridae). *Transactions of the Kansas Academy of Science*. **110**(1): 83-99.
- Peña-Mendoza B. y R. Domínguez-Casalá, 1999. The effects of different photoperiods on body growth, gonadal growth and hypothalamic monoamina content in juvenile *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757). *Hidrobiológica* 9(1): 63-70.

- Pérez-Peña, M., E. López-Uriarte, E. G. Robles-Jarero, C. M. Galván-Villa, I. Enciso-Padilla, V. T. Muñoz-Fernández y E. Ríos-Jara. 2007. Estudio prospectivo de los moluscos gastrópodos de cinco localidades intermareales del Parque Nacional Isla Isabel, México. pp 60-62. En: Ríos-Jara, E., M. C. Esqueda-González y C. M. Galván-Villa (eds): *Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México*. Universidad de Guadalajara, México: 286 p.
- Pereiro A.J. 1982. Modelos al uso en dinámica de poblaciones marinas sometidas a explotación. Informes Técnicos (Instituto Español de Oceanografía) 1(1): 21-57.
- Pérez-Ortiz G. y J. Patlani-Santiago, 2002. Edad y crecimiento de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) de la presa "Emiliano Zapata". Morelos. Tesis de licenciatura. F.E.S. Zaragoza UNAM, México, 87 p.
- Peterson, C.H., P.B. Duncan, H.C. Summerson y B.F. Beal, 1985. Annual band deposition within shells of the hard clam, *Mercenaria mercenaria*: consistency across habitat near Cape Lookout, North Carolina. *Fishery Bulletin*, **83**(4): 671-677.
- Peterson, C.H., P.B. Duncan, H.C. Summerson y G.W. Safrit, Jr. 1983. A mark-recapture test of annual periodicity of internal growth band deposition in shells of hard clams, *Mercenaria mercenaria*, from a population along the southestarn United States. Fishery Bulletin, 81(3): 597-610.
- Pilling, G. M., R.S. Millner, M.W. Easey, C.C. Mees, S. Rathacharen y R. Azemia, 2000. Validation of annual growth increments in the otoliths of the lethrinid *Lethrinus mahsena* and the lutjanid *Aprion virescens* from sites in the tropical Indian Ocean, with notes on the nature of growth increments in Pristipomoides filamentosus. *Fishery Bulletin* **98**(2000): 600-611.
- Piñón A, Amezcua F, Duncan N. 2009. Reproductive cycle of female yellow snapper Lutjanus argentiventris (Pisces, Actinopterygii, Lutjanidae) in the SW Gulf of California: Gonadic stages, spawning seasonality, and length at sexual maturity. Journal of Applied Ichthyology 25(1): 18–25.
- Ponce-Díaz G., A. Vega-Velázquez, M. Ramade-Villanueva, G. León-Carvallo, & R. Franco-Santiago, 1998. Socioeconomic characteristics of the abalone fishery along the west coast of the Baja California península, México. *Journal of Shellfish Research* **17**(3): 853-857.
- Ponce-Palafox, J.T., Pérez-González, R y Melo-García, M. 2005. Programa maestro para el comité estatal del sistema-producto huachinango (Lutjanus peru). SAGARPA-CONAPESCA. UAEM-UAG. Acapulco, Gro. México. 350p.
- Poole, R.W. 1974. An Introduction to Quantitative Ecology. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokio, Japón: 532 p.
- Power, A. J., C. J. Sellers y R. L. Walker. 2009. Growth and Sexual Maturity of the Knobbed Whelk, *Busycon carica* (Gmelin, 1971), From a Commercially Harvested Population in Coastal Georgia. *Occasional Papers of the University of Georgia Marine Extension Service*. **4**(2009):1-24.

- Price, R. M. 2003. Columellar Muscle of Neogastropods: Muscle Attachment and the Function of Columellar Folds. Marine Biological Laboratory. *Biological Bulletin*. **205**(3):351-366.
- Püter A. 1920. Studien über physiologische Ähnlichkeit. VI Wachstums-ähnlichkeiten. *Pflüger* Archiv Gees Physiology **180**(1): 298-340
- R Core Team (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.
- Rabí M., & C. Maraví, 1997. Growth curves and specific growth rate of *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789) (Gastropoda: Muricidae) in culture experiments. *Scientia Marina* 61(1): 49-53.
- Ramírez, H.E y J.B, Páez. 1965. Investigaciones ictiológicas en las costas de Guerrero. Lista de peces marinos de Guerrero recolectados en el período 1961-1965. *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Biológicas-Pesquerías* 1: 325-358.
- Ramírez R., M. y C. Rodríguez. 1990. Composición específica de la captura artesanal de peces en la Isla Cerralvo, BCS., México. *Inv. Mar. CICIMAR* **5**(8):137-141.
- Ramírez-González, A. y N. A. Barrientos-Luján. 2007. Moluscos de la zona intermareal de Cacaluta, bahías de Huatulco, Oaxaca, México. pp 294-296. En: Ríos-Jara, E., M. C. Esqueda-González y C. M Galván-Villa (eds): *Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México*. Universidad de Guadalajara, México. 286 p.
- Ramón M. & M.J. Amor, 2001. Increasing imposex in populations of *Bolinus brandaris* (Gastropoda: Muricidae) in the north-western Mediterranean. *Marine Environmental Research* 52(1): 463-475.
- Ramos-Cruz, S., 1995. Reproducción y crecimiento de la mojarra tilapia (*Oreochromis aureus*) en la presa Benito Juárez, Oaxaca, México, en 1993. INP-SEMARNAP. México. *Ciencia Pesquera* No. 11: 54 – 61.
- Ramos-Cruz, Sebastián. 2001. Evaluación de la pesquería de Huachinango *Lutjanus peru* en la zona costera de Salina Cruz, Oaxaca, México, durante 1995. Instituto Nacional de la Pesca. SAGARPA. México. *Ciencia Pesquera* No. 15: 151-156.
- Rangel-Rocha H. 2018. Estimación de la edad y modelación del crecimiento por lectura de opérculos de Vasula speciosa (Valenciennes, 1832) (Muricidae: gastropoda) de Puerto Ángel y costas cercanas, en Oaxaca, México. Tesis que para obtener el título de biólogo. Facultad de Estudios Superiores UNAM. 104p.
- Reinecke-Reyes, M.A. 1998. Ciclo de madurez y talla de reclutamiento de abulón azul. Cabo San Lázaro, Baja California Sur. *Boletín pesquero CRIP-LA PAZ*, **9**(1998): 1-11.

BIBLIOGRAFÍA

- Rhoads, D.C. y R.A. Lutz, (Eds), 1980. *Skeletal growth of aquatic organisms: Biological records of environmental change*. Plenum Publishing Corp. Nueva York: 750 p.
- Richardson, C. A., C. Saurel, C. M. Barroso and J. Thain. 2005. Evaluation of the age of the red whelk Neptunea antiqua using statoliths, opercula and element ratios in the shell. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 325(1):55-64.
- Richter, J.P. 1880. Leonardo. Low, Marston, Searle and Rivington, Londres, 138 p.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada. 191:145-157.
- Ricker, W.E. 1979. Growth rate and models. In: Hoar, W.S., D.J. Randall y J.R. Brett (Eds.) *Fish Physiology, volume VIII. Bioenergetics and growth*. Academic Press, Nueva York, EUA.
- Ricker W.E., 1992. Back-calculation of fish lengths based on proportionality between scale and length measurement. Canadian *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **49**(5): 1018-1026.
- Ridgway, I.D. y C.A. Richardson, 2011. *Arctica islandica*: the longest lived non colonial animal known to science. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **21**(3): 297-310.
- Ridgway, I.D., C.A. Richardson y S.N. Austad, 2010. Maximum shell size, growth rate, and maturation age correlate with longevity in bivalve molluscs. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, **66A**(2): 183-190.
- Ridgway, I.D., C.A. Richardson, E. Enos, Z. Ungvari, S.N. Austad, E.E.R. Philipp y A. Csiszar, 2011. New species longevity record for the Northern Quahog (=Hard Clam), *Mercenaria mercenaria*. *Journal of Shellfish Research*, **30**(1): 35-38.
- Richardson, C.A., P.R. Kinsley-Smith, R. Seed y E. Chatzinikolaou, 2005. Age and growth of the naticid gastropod *Polinices pulchellus* (Gastropoda: Naticidae) based on length frequency analysis and statolith growth rings. *Marine Biology*, **148**(2): 319-326.
- Ríos-Jara, E., M. Pérez-Peña, E. Juárez-Carrillo, E. López-Uriarte, L. Enciso-Padilla y E. G. Robles-Jarero. 2002. Moluscos macrobénticos del intermareal y plataforma continental de Jalisco y Colima. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No.S110. México, D.F.
- Rocha-Olivares, A. 1998. Age, growth, mortality, and population characteristics of the Pacific red snapper, *Lutjanus peru*, off the southeast coast of Baja California, México. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento de Biología Marina. **96**(1998):562-574.
- Rocha-Olivares, A. y Gómez-Muñoz, V. M. 1993. Validación del uso de otolitos para determinar la edad del huachinango del Pacífico *Lutjanus peru* (Perciformes: Lutjanidae), en la Bahía de la Paz y aguas adyacentes, B. C. S, México. *Ciencias Marinas*, **19** (3): 321-331.

Rocha-Olivares, A. y Sandoval-Castillo, J. R. 2003. Diversidad mitocondrial y estructura genética en poblaciones alopátricas del huachinango del Pacífico *Lutjanus peru*. *Ciencias Marinas* **29**(2): 197-209.

Roe, C. 1988. Shelling in Costa Rica. *Texas Conchologist*. **24**(4):126-128.

- Roff, D.A. 2006. *Introduction to Computer-Intensive Methods of Data Analysis in Biology*. Cambridge University Press. Nueva York, EUA: 368 p.
- Rodríguez, G.M. 1992. *Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces*. AGT Editor. México D.F. 59 pág.
- Roff, D.A. 2006. *Introduction to Computer-Intensive Methods of Data Analysis in Biology*. Cambridge University Press. Nueva York, EUA: 368 p.
- Rojas P.A., Gutiérrez F.C., Puentes V. 2004. Aspectos de la biología y dinámica poblacional del pargo coliamarillo *Lutjanus argentiventris* en el Parque Nacional Natural Gorgona, Colombia. *Investigaciones Marinas* (Valparaíso) **32**(2): 23–36 p.
- Rojas-Herrera, A. A. 2001. Aspectos de dinámica de poblaciones del huachinango *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922) y del flamenco *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) (Pisces: Lutjanidae) del litoral de Guerrero, México. Tesis de Doctorado. Universidad de Colima. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Tecomán, Colima, México. Capítulo I: 28-40p.
- Rojas-Herrera, A. A., A. Santamaría, A., J y F. Elorday, G. 2000. Desarrollo gonádico y época de desove del huachinango (*Lutjanus peru*) (Nichols y Murphy, 1922) (Lutjanidae: Perciformes) en la costa de Guerrero, México. Programa y resúmenes del XII Congreso de Oceanografía, Huatulco, México. 34-46 p.
- Rojas-Herrera, A. A., Mascaró Maite y Chiappa-Carrara, X. 2004. Hábitos alimentarios de los peces Lutjanus peru y Lutjanus guttatus (Pisces: Lutjanidae) en Guerrero, México. Revista de Biología Tropical **52** (4): 959-971.
- Rojo, A. L. Diccionario enciclopédico de anatomía de peces. Monografías. Instituto Español de Oceanografía, No. 3, Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España: 219 p.
- Román-Contreras, R., F. M. Cruz-Abrego y A. L. Ibáñez-Aguirre. 1991. Observaciones ecológicas de los moluscos de la zona intermareal rocosa de la Bahía de Chamela, Jalisco, México. *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología.* Universidad Nacional Autónoma de México, México. 62(1):17-31.
- Romero–Centeno R, J. Zavala–Hidalgo, A. Gallegos & J.J. O'Brien. 2003. Isthmus of Tehuantepec wind climatology and ENSO signal. *Journal of Climate*, **16**(15): 2628–2639.

C St

- Rosenblatt, M. 1956. Remarks on some nonparametric estimates of a density function. The Annals of Mathematical Statistics, **27**(3):832-837.
- Ruíz, S. H., A. Osegueda, M. Guzmán y S. Coronel. 1982. Ciclo reproductor del huachinango Lutjanus peru (Nichols y Murphy, 1922)(Pisces: Lutjanidae) del Pacífico Sur de México. Inédito. UNAM; ICMyL, 16p.
- Ruíz-Durá, M. F. A, Orijel y G. Rodríguez. 1970. Líneas de Crecimiento en Escamas de algunos Peces de México. Instituto Nacional de Investigación Biológica Pesquera. Serie Investigación Pesquera, Estudio 2, 100p.
- Ruíz-Luna, A. E. Girón B., J. Madrid V. y González B., 1985. Determinación de edad, crecimiento y algunas constantes biológicas del huachinango del Pacífico, *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922). Memorias del VIII Congreso de Zoología, Morelia, Michoacán, México: 188-201.
- SAGARPA, 2013. Anuario estadístico de acuacultura y pesca de la comisión nacional de acuacultura y pesca. http://www.conapesca.gob.mx
- SAGARPA. 2007. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Comisión Nacional de la Pesca. 317p
- Saito-Quezada, V.M. 2010. Edad y crecimiento del caracol *Astraea undosa* (Wood, 1828), (Gastropoda: Turbinidae) de "La Bocana", Baja California Sur, México. Tesis de Maestría, FES Zaragoza, UNAM, México: 112 p.
- Saito-Quezada, V.M. y I.H. Salgado-Ugarte, 2013. Edad y crecimiento de *Astraea undosa* en Baja California Sur, México: Un estudio biológico-pesquero. Editorial Académica Española, Saarbrücken, Alemania: 112 p.
- Saito-Quezada, VM. 2018. Aspectos biológico-pesqueros de los gasterópodos *Hexaplex princeps* (Broderip, 1833) y *Opeatostoma pseudodon* (Burrow, 1815) de la pesca artesanal en Puerto Ángel, Oaxaca, México. Tesis de doctorado. Ciencias Biológicas UNAM: 256 p.
- Salcedo-Martínez, S., G. Green, A. Gamboa-Contreras y P. Gómez. 1988. Inventario de Macroalgas y Macroinvertebrados bénticos, presentes en áreas rocosas de la región de Zihutanejo, Guerrero, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. En: http:// biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1988-1/articulo285.html
- Salgado-Cruz, L., 2015. Edad y crecimiento de *Lutjanus argentiventris* (Peters, 1869) y *L. inermis* (Peters, 1869) (Perciformes: Lutjanidae) en la costa de Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias (Manejo de Recursos Marinos) CICIMAR-IPN.
- Salgado-Ugarte, I. H. 1992. *El análisis exploratorio de datos biológicos. Fundamentos y aplicaciones*. ENEP-Zaragoza, UNAM and Marc Ediciones. México: 243p.

Salgado-Ugarte, I.H., 1995. Nonparametric methods for fisheries data analysis and their application in conjunction with other statistical techniques to study biological data of the Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus* in Tokyo Bay. Tesis doctoral, Universidad de Tokio, Japón: 389 p.

Salgado-Ugarte, I. H. 2002. Suavización no Paramétrica para Análisis de Datos. DGAPA y FES Zaragoza. UNAM, México: 138 p.

Salgado-Ugarte, I. H. 2013. *Métodos Estadísticos Exploratorios y Confirmatorios para Análisis de Datos, Un Enfoque Biométrico*. DGAPA y FES Zaragoza. UNAM, México: 307 p.

Salgado-Ugarte, I. H. y M. A. Pérez-Hernández. 2003. Exploring the use of variable bandwidth kernel density estimators. *The Stata Journal*. **3**(2):133-147.

Salgado-Ugarte, I.H. y V.M. Saito-Quezada, 2020. *Métodos Cuantitativos Computarizados Para Biología Pesquera*. DGAPA y FES Zaragoza, UNAM, México: 487 p.

Salgado-Ugarte, I.H., J.L. Gómez-Márquez y B. Peña-Mendoza, 2005. *Métodos Actualizados para Análisis de Datos Biológico-Pesqueros*. PAPIME EN221403, DGAPA y FES Zaragoza, UNAM, México: 240 p.

Salgado-Ugarte, I.H., J. Martínez-Ramírez, J.L. Gómez-Márquez y B. Peña-Mendoza, 2000. Some programs for growth estimation in Fisheries Biology. *Stata Technical Bulletin*, 53: 35-47.

Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu, y T. Taniuchi, 1993. Exploring the shape of univariate data using kernel density estimators. *Stata Technical Bulletin*, 16: 8 - 19.

Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu, y T. Taniuchi, 1995a. ASH, WARPing, and kernel density estimation for univariate data. *Stata Technical Bulletin*, 26: 2 - 10.

Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu, y T. Taniuchi, 1995b. Practical rules for bandwidth selection in univariate density estimation. *Stata Technical Bulletin*, 27: 5 - 19.

Salgado-Ugarte, I.H., M. Shimizu, y T. Taniuchi, 1997. Nonparametric assessment of multimodality for univariate data. *Stata Technical Bulletin*, 38: 27 - 35.

Salgado-Ugarte, I. H., M. Shimizu, T. Taniuchi & K. Matsushita, 2002. Nonparametric Assessment of Multimodality for Size Frequency Distributions. *Asian Fisheries Science*. Asian Fisheries Society, Manila, Phillippines. **15**(1): 295-303.

Sánchez-Cárdenas R, Ceballos-Vázquez B.P., Arellano-Martínez M, Valdez-Pineda MC, Morán-Angulo RE. 2007. Reproductive aspects of *Sphoeroides annulatus* (Jenyns 1842) (Tetraodontiformes, Tetraodontidae) inhabiting the Mazatlan coast, Sinaloa, Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, **42**(3): 385–392.

Samyn, Y., D. Vandenspiegel y C. Massin. 2006. Taxonomie des holothuries des Comores. *Abc Taxa* 1: i-iii, 130 p.

L.L.

- Santamaría. A, y E.A. Chávez, 1999. Evaluación de la pesquería de *Lutjanus peru* (Pisces: Lutjanidae) de Guerrero, México. Revista Biológica Tropical, **47**(3): 571-580.
- Santamaría-Miranda, A., J.F. Elorduy-Garay, M. Villalejo-Fuerte y A.A. Rojas-Herrera, 2003. Desarrollo gonadal y ciclo reproductivo de *Lutjanus peru* (Pisces: Lutjanidae) en Guerrero, México. *Revista de Biología Tropical* **51**(2):489-502.
- Santarelli, L. y P. Gros. 1985. Détermination de l'âge et de la croissance de *Buccinum undatum* L. (Gasteropoda: Prosobranchia) à l'aide des isotopes stables de la coquille et de l'ornementation operculaire. *Oceanolgica Acta* 8(2):221-229.
- Santiago-López, Ma. del C. y J. Jardón-Olvera, 1997. Determinación de la edad, crecimiento y hábitos alimenticios de cuatro especies de cíclidos de importancia pesquera en la presa "Cerro de Oro", Tuxtepec, Oaxaca. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza, UNAM, México, 68 p.
- Santos-Valencia, J., I. Martínez-Morales, M. Enríquez-Díaz y D. Aldana-Aranda. 2011. Ciclo Reproductor de Busycon perversum (Mollusca:Gastropoda) del Golfo de México. Proceedings of the 63rd Gulf and Caribbean Fisheries Institute. San Juan, Puerto Rico: 441-446.
- Sarabia-Méndez, M. 2007. Análisis de la edad y el crecimiento de *Lutjanus guttatus* (Steindachner, 1869) y *L. peru* (Nichols y Murphy, 1922) (Pisces: Lutjanidae) con especial referencia en la alimentación y el desove en Bahía Bufadero, Michoacán, México. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 80p.
- S.A.R.H., 1992. Técnicas de Análisis Fisicoquímicos para Aguas. 5ª. Edición, SARH, México: 319 p.
- Saucedo, P y Monteforte, M. 1997. In situ growth of Pearl oyster *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* under population conditions at Bahia de la Paz. Baja California Sur, México. *Aquaculture Research*, **28**(5):367-378.
- Saucedo-Lozano, M., E. Godínez-Domínguez, R. García de Quevedo-Machaín y G. González-Sansón, 1998. Distribución y densidad de juveniles de *Lutjanus peru* (Nichols y Murphy, 1922) (Pisces: Lutjanidae) en la costa de Jalisco y Colima, México. *Ciencias Marinas*, **24** (4): 409-432.
- Schneider, C. A., W.S. Rasband y K.W. Eliceiri, 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, **9**(7): 671–675. doi:10.1038/nmeth.2089
- Schöne, B.R. & D.P. Gillikin, 2012. Unraveling environmental histories from skeletal diaries
 Advances in sclerochronology. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 373(2013): 1-5.
- Schöne R.B, E. Duncan, J, Fiebig, M. Pfeiffer. 2005, Mutvei's solution: An ideal agent for resolving microgrowth structures of biogenic carbonates, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology*, **228**(2005): 149-166

Schöne, B.R., I. Kröncke, S.D. Houk, A.D. Freyre-Castro y W. Oschmann, 2003. The cornupia of chilly winters: ocean quahog (*Arctica islandica* L., Mollusca) master chronology reveals bottom water nutrient enrichment during colder winters (North Sea). *Senckenberg. Marit.* 32(2003): 165-175.

Schöne, B.R., J. Fiebig, M. Pfeiffer, R. Gle, J. Hickson, A.L.A. Johnson, W. Dreyer y W. Oschmann, 2005. Climate records from a bivalve Methuselah (*Arctica islandica*, Mollusca; Iceland). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **228**(2005): 130-148.

Schwarz, G. E. 1978. Estimating the dimension of a model. Annals of Statistics. 6(2): 461-464.

Scott, D.W. 1979. On optimal and data-based histograms. *Biometrika*, **66**(3):605-610.

- Scott, D.W. 1992. *Multivariate Density Estimation: Theory, Practice and Visualization*. John Wiley & Sons, Nueva York, 317 p.
- Secor, D.H., J.M. Dean y E.H. Laban, 1991. Manual for Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination. Electric Power Research Institute y Belle W. Baruch Institute for Marine Biology and Coastal Research, E.U.A., 85 p.
- Seijo J.C., O. Defeo, & S. Salas, 1997. Bioeconomía pesquera. Teoría, modelación y manejo. Documento técnico de pesca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Roma. 90p.

SEMARNAP, 2000. Anuario Estadístico de Pesca 1999. Instituto Nacional de la Pesca, México, 271 p.

Shalack, J. D. 2007. Movement and behavior of whelks (Family Melongenidae) in Georgia coastal waters. Master of Science. Athens, Georgia. 56 pág.

- Shasky, D. R. 1984. A preliminar checklist of marine molluscs from Manabí province, Ecuador. *Western Society of Malacologists Annual Report*. **16**:25-32.
- Shine, R. y E.L. Charnov.1992. Patterns of survival, growth, and maturation in snakes and lizards. *The American Naturalist*, **139**(6): 1257-1269.

Silliman, R.P., 1967. Analog computer models of fish populations. *Fishery Bulletin*, **66**(1): 31-46.

- Silverman, B.W. 1986. Density estimation for statistics and data analysis. London: Chapman & Hall.
- Sire J.Y. y P. Bonnet, 1984, Croissance et structure de l'opercule calcifié du gasteropode polynesien *Turbo setosus* (Prosobranchia: Turbinidae): Determination de l'âge individuel, *Marine Biology*, **79**(1984):75–87.
- Skoglund, C. 1992. Additions to the Panamic province Gastropod (Mollusca) literature 1971 to 1992. *The Festivus*, **24**(Supl.):1-169.

- Sloan, N. 1985. Echinoderm fisheries of the world. A review. En Brendant. Keegan y Brendan D.S. O'Conor (eds.). Echinodermata Proceedings of the Fifth International Echinoderm Conference. Galaway, 24-25 Sep 1984. Balkema, Rotterdam: 109-124.
- Solís-Marín, F.A., A. Laguarda-Figueras y M. Honey-Escandón, 2014. Biodiversidad de equinodermos (Echinodermata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S441-S449.
- Solís-Marín F.A., H. Reyes-Bonilla, M.D. Herrero-Perezrul, O. Arizpe-Covarrubias & A. Laguarda-Figueras. 1997. Sistemática y distribución de los equinodermos de la bahía de La Paz. *Ciencias Marinas* **23**(2): 249-263
- Soto RE., J.C. Castilla & F. Bozinovic, 2004. Conducta de forrajeo del gastrópodo *Acanthina* monodon Pallas, 1774 (Gastropoda: Muricidae) en el intermareal rocoso de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* **77**(1): 157-175.
- Smirina, E.M. 1985. Some Results of the Studies of Growth in Anura. En: Roček Z. (Ed.): Studies in Herpetology. Proceedings of the European Herpetological Meeting (3rd Ordinary General Meeting of the Societas Europea Herpetologica) Prague 1985. Charles University, Praga Checoslovaquia: 754 p.
- Sparre, P. y S.C. Venema, 1997. *Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte* 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca, 306.1. Rev. 2. Roma, FAO: 420 p.
- Spight, T. M. 1976. Censuses of Rocky Shore Prosobranchs from Washington and Costa Rica. *The Veliger*. **18**(3): 309-317.
- Spight, T. M. 1979. Temporal Changes in a Tropical Rocky Shore Snail Community. *The Veliger*. **21**(1): 137-143.
- Springer, V.G. y G.D. Johnson. 2000. Use and Advantages of Ethanol Solution of Alizarin Red S Dye for Staining Bone in Fishes. *Copeia*, **2000**(1): 300-301.
- Stamatopuolus, C. y Caddy. 1989. Estimation of von Bertalanffy growth parameters: a versatil linear regression approach. Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer, 45(2):200-208.
- StataCorp. 2001. Stata Statistical Software: Release 7.0. Stata Corporation, College Station, TX.
- StataCorp. 2019. Stata: Release 16. Statistical Software. College Station, TX: StataCorp LLC.
- Steenburgh W.J., D.M. Schultz & B.A. Colle, 1998. The structure and evolution of gap outflow over the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Monthly Weather Review* **126**(10): 2673–2691.
- Surge, D., G. Kelly, W.S. Arnold, S.P. Geiger, A.E. Goewert y K.O. Walker, 2008. Isotope sclerochronology of *Mercenaria mercenaria*, *M. campechiensis* and their natural hybrid form: does genotype matter? *Palaios*, 23: 559-565.

Tamayo, L. J., Geografía Moderna de México I. Trillas, S. A. (6ª. Ed.) 1970. 390 p.

- Tanaka, K., Y. Mugiya y J. Yamada, 1981. Effects of photoperiod and feeding on daily growth patterns in otoliths of juvenile *Tilapia nilotica*. *Fishery Bulletin*, **79**(3): 459-466.
- Tarter, M. E. y R.A. Kronmal 1976. An introduction to the implementation and theory of nonparametric density estimation. The American Statistician, **30**(3):105-112.
- Taylor, C.C. 1958. Cod growth and temperature. In: Wiff, R. y R. A. Quiñones. 2004. Parametrización ambiental en modelos biológico-pesqueros. **6**(1): 25p.
- Taylor, C.C. 1959. Temperature and growth-the Pacific razor clam. In: Wiff, R. y R. A. Quiñones. 2004. *Parametrización ambiental en modelos biologico-pesqueros*. **6**(1): 25p.
- Taylor, C.C. 1960. Temperature, growth, and mortality-the pacific cockle. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer.* **26**(1), 117-124.
- Taylor, E.N. y F.D. Denardo. 2005. Sexual size dimorphism and growth plasticity in snakes: an experiment on the Western diamond-backed rattlesnake (*Crotalus atrox*). *Journal of Experimental Zoology*, **303**(7): 598–607.
- Tegner M.J. 1989. The California abalone fishery: production, ecological interactions, and prospects for the future. En: Caddy J.F. (ed.), *Marine Invertebrate Fisheries: Their Assessment and Management*. John Wiley and Sons. NY. 401-420 pp.
- Thébault, J. 2001. *Argopecten purpuratus* (Lmk.): calibration d'un capteur eulerien de la variabilité de l'environmement côtier dans l'Ocean Pacifique Sud (Rinconada, Chili). Brest: University de Bretagne Occidentale. 43 pp.
- Thébault, J., G. Thouzeau, L. Chauvaud, M. Cantillanez y M. Avendaño, 2008. Growth of *Argopecten purpuratus* (Mollusca: Bivalvia) on a natural bank in northern Chile: Sclerochronological record and environmental controls Aquatic Living Resources, **21**(1): 45-55.
- Thilakarathna, R.M.G.N. 2011. Skeletal growth zones as indicators of age in the deep sea urchin *Strongylocentrotus fragilis* (Jackson, 1912). *Monterey Bay Aquarium Research Institute, Intern paper*, University of Ruhuna, Sri Lanka: 1-21.
- Thomas, R. y Leal M. 1993. Feeding envenomation by *Arrhyton exiguum* (Serpentes: Colubridae). *Journal of Herpetology*, **27**(1):107-109.
- Thompson, D., L. Findley y A. Kerstitch. 2000. *Reef fishes of the Sea of Cortez: The Rocky-Shore Fishes of the Golf of California*. The University of Arizona Press, Arizona. 302 p.
- Torres-Aguilar, M. 2002. Estudio preliminar de edad y crecimiento de jurel, Caranx caninus (Gunther, 1867), en base a vértebras y espinas, en las costas de Guerrero y Michoacán. Tesis de Maestría. UNAM, ICML, 55 p.
- Torres-Orozco Bermeo, R., 1991. Los peces de México. AGT Editor, S.A, México: 198 p.

- Torreblanca-Ramírez, C., R. Flores-Garza, P. Flores-Rodríguez, S. García-Ibáñez y L. Galeana-Rebolledo. 2012a. Riqueza, composición y diversidad de la comunidad de moluscos asociada al sustrato rocoso intermareal de playa Parque de la Reina, Acapulco, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. **47**(2):283-294.
- Torreblanca-Ramírez, C., R. Flores-Garza, P. Flores-Rodríguez, S. García-Ibáñez, J. E. Michel-Morfin y J. L. Rosas-Acevedo. 2014. Gasterópodos con potencial económicos asociados al intermareal rocoso de la Región Marina Prioritaria 32, Guerrero, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 49(3): 547-557.
- Torreblanca-Ramírez, C., R. Flores-Garza, P. Flores-Rodríguez, S. García-Ibáñez, A. Valdés-González y L. Galeana-Rebolledo. 2012b. Gastrópodos del intermareal rocoso en Tlacopanocha, Acapulco, México. *Tlamati Sabiduría*. Universidad Autónoma de Guerrero. **4**(1):47-57.
- Trasviña, A. & E.D. Barton, 1997. Los "Nortes" del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento, p. 25-46. In F. Lavin (ed.). *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 3.
- Trasviña Castro A., C. A. Andrade. 2002. La circulación costera del Pacífico tropical oriental, con énfasis en la alberca cálida mexicana (ACM). En: *Circulación oceánica y climatología tropical en México y Colombia*. Diálogo entre Pares 1, Consejo Nacional de Acreditación- Ministerio de Educación, Corcas Editores, 9-37. Bogotá, Colombia, 2002.
- Tresierra, A. y Z. Culquichicon. 1993. *Biología Pesquera*. Libertad, Trujillo, Perú. 245 p.
- Tresierra, A., W. Carvajal, J. Oliva, J. Culquichicon, 1986. *Apuntes de Biología Pesquera*. Parte I. FCB-UNT. Perú.186p.
- Trinidad B.A. 2014. Modelos de crecimiento en biología, su significado biológico y selección del modelo por ajuste. Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ciencias Matemáticas Aplicadas e Industriales. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. División de Ciencias Básica e Ingenierías. México, D.F. 114p.
- Trewavas, E. 1983. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon, Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum of Natural History, Londres, 583 p.
- Trofimova, T., S.J. Alexandroff, M.J. Mette, E. Tray, P.G. Butler, S.E. Campana, E.M. Harper, A.L.A. Johnson, J.R. Morrongiello, M. Peharda, B.R. Schöne, C. Anderson, C.F.T. Andrus, B.A. Black, M. Burchell, M.L. Carroll, K.L. DeLong, B.M. Gillanders, P. Grønkær, D. Killam, A.L. Prendergast, D.J. Reynolds, J.D. Scourse, K. Shirai, J. Thébault, C. Trueman, & N. de Winter, 2020. Fundamental questions and applications of sclerochronology: Community-defined research priorities. Estuarine, Coastal and Shelf Science 245(2020) https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106977.
- Tucker, A.D. 1997. Validation of skeletochronology to determine age of freshwater crocodiles (*Crocodylus johnstoni*). *Marine Freshwater Reserch*. **48**(4): 343–51.

10

Tukey, J.W. 1977. *Exploratory data analysis*. Reading, MA. Addison-Wesley.

- Uribe-Peña, Z., A. Ramírez-Bautista, G. Casas-Andreu. 1999. Anfibios y Reptiles de las Serranías del Distrito Federal. *Cuadernos del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México*. Vol. **32**.
- Valdés-González, A., P. Flores-Rodríguez, R. Flores-Garza y S. García-Ibáñez. 2004. Molluscan communities of the rocky intertidal zone at two sites with different wave action on isla La Roqueta, Acapulco, Guerrero, México. *Journal of Shellfish Research*. **23**(3):875-880.
- Vanina V. A. y Vaz-dos-Santos A.M. Editores, 2015, Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones/ Métodos de estudos com otólitos: princípios e Aplicações, CAFP-BA-PIESCI, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Vasconcelos P., B. Lopes, M. Castro & M.B. Gaspar, 2008. Comparision of indices for the assessment of reproductive activity in *Hexaplex trunculus* (Gastropoda: Muricidae). *Marine Biology Research* **4**(5) : 392-399.
- Vasconcelos P. I. H. Gharsallah, P. Moura, N. Zamourl-Langar, A. Gaamour, H. Missaoui, O. Jarboui & M. B. Gaspar, 2012, Appraisal of the usefulness of operculum growth marks for ageing *Hexaplex trunculus* (Gastropoda: Muricidae): Comparison between surface striae and adventitious layers, *Marine Biology Research*, 8(2): 141-153.
- Verlhust, P.F. 1838. Notice sur la loi que suit la population dans son accroissement. *Correspondance Mathématique et Physique*, X: 113-121.
- Villegas-Maldonado, S., E. Neri-García, R. Flores-Garza, S. García-Ibáñez, P. Flores-Rodríguez y D. G. Arana-Salvador. 2007. Datos preliminares de la diversidad de moluscos para el consumo humano que se expenden en Acapulco, Guerrero. pp 57-59. En: Ríos-Jara, E., M. C. Esqueda-González y C. M. Galván-Villa (eds): *Estudios sobre la Malacología y Conquiliología en México*.. Universidad de Guadalajara, México. 286 p.
- Villerías-Salinas, S. y Sánchez-Crispín. 2010. Perspectiva territorial de la pesca en la Costa Chica de Guerrero. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Biología, UNAM,* Núm. 71: 43-56.
- Villiers, L. y J. Y. Sire. 1985. Growth and determination of individual age of *Turbo setosus* (Prosobranchia Turbinidae), Hao Atoll (Tuamotu, French Polynesia). *Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress. Tahiti*. 5:165-170.

von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth. *Human Biology*, 10: 181-243.

Walford, L.A., 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. *Biology Bulletin* **90**(2): 141-147.

- Walker, R. L. A. J. Power, M. Sweeney-Reeves, E. Covington, M. Mitchell y T. Recicar. 2008. Growth, Migration, Population Structure and Sex Ratio of Four Whelk Species (Family Melongenidae)
 Within Wassaw Sound, Georgia. Occasional Papers of the University of Georgia Marine Extension Service. 1:1-46.
- Waskow, K., y O. Mateus. 2017. Dorsal rib histology of dinosaurs and a crocodylomorph from Western Portugal: Skeletochronological implications on age determination and life history traits. *Comptes Rendus Palevol.* **16**(4): 425-439.
- Waye, H.L. y P. T. Gregory. 1998. Determining the age of garter snakes (*Thamnophis* spp.) by means of skeletochronology. *Canadian Journal of Zoology* **76**(2): 288-294.
- Weatherley, R.G. y H.S.Gill, 1987. The Biology of Fish Growth. Academic Press. London. 443 p.
- Weymouth, F.W., H.C. McMillin & W.H. Rich, 1931. Latitude and relative growth in the razor clam, *Siliqua patula. Journal of Experimental Biology* **8**(3): 228-249.
- White, W. y E. Walker. 1974. Time and depth scales of anomalous subsurface temperatures of Ocean Weather Stations P, N and V in the North Pacific. *Journal of Geophysical Research* 79(30): 4517-4522.
- Whitney, R.R. y K.D. Carlander, 1956. Interpretation of body-scale regression for computing body length of fish. Journal of Wildlife Management **20**(1): 21-27.
- Winter, S. B. y Everret, B. 2002. Age and growth estimates for the zambesi shark, *Carcharhinus leucas*, from the east coast of South Africa. *Marine and Freshwater Research*, **53**(2): 557-566.
- Willis, S. y J. Cortés. 2001. Mollusks of Manuel Antonio National Park, Pacific Costa Rica. Revista de Biología Tropical. 49(Supl. 2):25-36.
- Witbaard, R., E. Jansma y U. Sass-Klaassen, 2004. Malacochronology, the application of dendrochronological methods on marine bivalve (shell) growth. In. E. Jansma, A. Bräuning, H. Gärtner y G. Schleser (Eds.) *TRACE- Tree Rings in Archaeology, Climatology an Ecology, Vol. 2: Proceedings of the DEDROSYMPOSIUM 2003, May 1st-3rd 2003*, Ultrecht, Holanda. Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt, 44: 160-170.
- Wootton, R. J. 1990. Ecology of Teleost Fishes. Chapman and Hall. *Fish and Fisheries Series* 1:159-195.
- Yamaguchi, M. 1975. Estimating growth parameters from growth rate data. *Oecología*, **20**(1975): 321-332.
- Yamasaki, H., Yuki Taguchi, S., Minami, K., Kuwabara y N., Shimizu. 2017. Age determination by skeletochronology of the Japanese giant salamander *Andrias japonicus* (Amphibia, Urodela). *Bulletin of the Hiroshima University Museum*. 9: 41-47.

 $\overline{\mathbf{U}}$

- Yañez-Arancibia, A. 1978. *Taxonomía, Ecología y estructura de las comunidades de peces en las lagunas costeras con bocas efímeras del Pacífico de México*. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Publ. Esp. 2: 1-306.
- Zabala, M. S. 2012. Ecología trófica, crecimiento y reproducción en el gasterópodo Adelomelon ancilla en el Golfo Nuevo. Tesis Doctoral. Biblioteca Digital de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. 202 pág.
- Zavala-Leal, O. I. 2007. Efecto de la temperatura, intensidad de luz, tipo y densidad de presa en la eficiencia alimenticia durante la ontogenia inicial del huachinango del Pacífico (*Lutjanus peru*). Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S. 66 p.
- Zavatteri A. 2010, Estudio de Edad y Crecimiento de la Raya Hocicuda *Dipturus chilensis* (Guichenot, 1848) en el Atlántico Sudoccidental (34°-55°LS y 52°-69°LW), Tesis de grado, Universidad Nacional del Rio de la Plata, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Chile.
- Zhang, Z. y N.W. Runham, 1992a. Otolith microstructure pattern in *Oreochromis niloticus* (L.). *Journal of Fish Biology*, **40**(3): 325-332.
- Zhang, Z. y N.W. Runham, 1992b. Temporal deposition of incremental and discontinuous zones in *Oreochromis niloticus* (L.). *Journal of Fish Biology*, **40**(3): 333-339.
- Zhang, Z. y N.W. Runham, 1992c. Effects of food ration and temperature level on the growth of *Oreochromis niloticus* (L.) and their otoliths. *Journal of Fish Biology*, **40**(3): 341-349.
- Zúñiga-Flores, M. S. 2002. Análisis de la estructura de tallas y relación peso-longitud del dorado (*Coryphaena hippurus*, Linnaeus 1758) capturado en Mazatlán, Sinaloa durante 2000-2001. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad Autónoma de Sinaloa. 45 p.

Estudios Esclerocronológicos sobre Edad y Crecimiento de Moluscos, Equinodermos, Peces y Reptiles

El uso e interpretación de las señales periódicas contenidas en las estructuras esqueléticas (Esclerocronología) de algunos organismos invertebrados (moluscos gasterópodos, equinodermos equinoideos) y vertebrados (peces y reptiles ofidios) son los temas abordados en la presente recopilación de reportes escritos. Este libro contiene ejemplos del análisis de las marcas que se forman en las estructuras duras por la variación estacional de los ambientes en los que los organismos habitan. El objetivo de este análisis es la estimación de edades individuales, las cuales, en conjunto con evaluaciones del tamaño, hacen posible el conocimiento de una de las características fundamentales de los seres vivos: el crecimiento.

Los capítulos de esta obra son ejemplos de investigaciones sobre la estimación de la edad y la modelación cuantitativa del crecimiento de especímenes recolectados por alumnos y profesores del Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera (LBBP) de la FES Zaragoza, UNAM tomados de reportes anuales, tesis (licenciatura, maestría y doctorado) llevados a cabo a lo largo de varios años.

Se incluye una presentación de la Esclerocronología, ejemplos de estimaciones de edad y modelación cuantitativa del crecimiento individual de moluscos gasterópodos (*Opeatostoma pseudodon, Hexaplex princeps y Vasula spaciosa*), erizos de mar (*Echinometra vanbrunti y Toxopneustes roseus*), peces (*Oreochromis niloticus, Lutjanus peru y Lutjanus inermis*) y reptiles ofidios (*Conopsis biserialis y Crotalus ravus*), por medio del análisis esclerocronológico de varias estructuras duras: opérculos, placas de caparazón, escamas, otolitos y secciones de costillas.

Los autores esperamos que la información vertida en este libro sea de utilidad a estudiantes, docentes, profesionales y científicos especialistas interesados en el crecimiento de los seres vivos.

Información adicional sobre esta obra y sus temas está disponible en el blog del LBBP: https://blogceta.zaragoza.unam.mx/biombiolpesca/

Se agradecerá la notificación acerca de errores e imprecisiones para su corrección.





Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Campus I. Av. Guelatao No. 66 Col. Ejército de Oriente, Campus II. Batalla 5 de Mayo s/n Esq. Fuerte de Loreto. Col. Ejército de Oriente. Iztapalapa, C.P. 09230 Ciudad de México. Campus III. Ex fábrica de San Manuel s/n, Col. San Manuel entre Corregidora y Camino a Zautla, San Miguel Contla, Santa Cruz Tlaxcala.

http://www.zaragoza.unam.mx

