



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

ESTUDIO DE LA MADUREZ Y FECUNDIDAD DEL BOTETE DIANA
***Sphoeroides annulatus* EN LA COSTA DE SINALOA.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS
BIOLOGÍA MARINA

PRESENTA:
SUSANA CRISTABEL RAFAEL AGUILAR

TUTOR PRINCIPAL:

DR. HUGO AGUIRRE VILLASEÑOR
INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUACULTURA, CENTRO REGIONAL DE
INVESTIGACIÓN PESQUERA, MAZATLÁN

COMITÉ TUTOR:

DR. ENRIQUE MORALES BOJÓRQUEZ
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NORESTE, LA PAZ
DR. FELIPE AMEZCUA MARTÍNEZ
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNIDAD MAZATLÁN
DRA. ELAINE ESPINO BARR
INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUACULTURA, CENTRO REGIONAL DE
INVESTIGACION PESQUERA, COLIMA
DRA. REBECA SÁNCHEZ CÁRDENAS
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO, ENERO, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**ESTUDIO DE LA MADUREZ Y FECUNDIDAD DEL BOTETE DIANA
Sphoeroides annulatus EN LA COSTA DE SINALOA.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS

BIOLOGÍA MARINA

PRESENTA:
SUSANA CRISTABEL RAFAEL AGUILAR

TUTOR PRINCIPAL:
DR. HUGO AGUIRRE VILLASEÑOR
INSTITUTO NACIONAL DE PESCA Y ACUACULTURA, CENTRO REGIONAL DE
INVESTIGACIÓN PESQUERA, MAZATLÁN

COMITÉ TUTOR:
DR. ENRIQUE MORALES BOJÓRQUEZ
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NORESTE, LA PAZ
DR. FELIPE AMEZCUA MARTÍNEZ
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNIDAD MAZATLÁN
DRA. ELAINE ESPINO BARR
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACION PESQUERA, COLIMA
DRA. REBECA SÁNCHEZ CÁRDENAS
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO, ENERO, 2019

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme ser parte de esta gran institución.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para llevar a cabo mis estudios de posgrado CVU 789025.

A mi tutor principal Dr. Hugo Aguirre Villaseñor por confiar en mí para llevar a cabo este proyecto, por el apoyo y sobre todo el conocimiento compartido. A los integrantes de mi Comité tutorial: Dr Enrique Morales Bojórquez quien es un excelente humano e investigador, gracias por la atención que me brindó, Dr. Felipe Amezcua Martínez por sus observaciones, a la Dra. Elaine Espino Barr, gracias por sus correcciones y comentarios y a la Dra. Rebeca Sánchez Cárdenas quien me adoptó como su alumna y compartió todo su conocimiento, me dedicó tiempo y mucha ayuda.

Al Centro Regional de Investigación Pesquera y Acuícola Unidad Mazatlán del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Al Proyecto Escama de esta misma institución por permitirme usar sus datos para este trabajo. Al Laboratorio de Biología Reproductiva del CRIP-Mazatlán a cargo del M.C. Vicente Hernández Covarrubias por el apoyo para realizar este trabajo. A los colaboradores del proyecto: M.C Carolina Salas Singh, M.C Roberto Paredes y M.C Yolene R. Osuna Peralta por hacer todo el trabajo de campo y parte del procesamiento de muestras.

Al Laboratorio de Ecología Pesquera de la Facultad de Ciencias del Mar de la UAS por permitirme llevar a cabo parte importante de la investigación y las facilidades otorgadas para procesar muestras.

Al Laboratorio de Ecología del Bentos a cargo del Dr. Juan José Luis Carballo y al Dr. Samuel Gómez Noguera del Laboratorio de Invertebrados Bentónicos por permitirme usar sus microscopios para tomar fotos.

A mis compañeros de laboratorio: María, Jenny, Nayeli, Diana, Juan, Cristina y Marlen de quienes recibí conocimientos y amistad. A Josué quien me dio su apoyo, ánimos y paciencia durante todo este proceso.

A todos muchas gracias, aquí hay una parte de ustedes.

DEDICATORIA

A mis padres

Samuel y Susana

de quien he recibido ejemplo, amor, apoyo, confianza, libertad, protección, consejos y sus bendiciones.

A mis hermanas

Elu, Soham y Saron

por su ejemplo de excelencia y motivación.

A mis sobrinos

Samai, Jezreel y Daniel

los amo con todo mi corazón y son parte de mi inspiración

ÍNDICE

Contenido

RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
ANTECEDENTES.....	16
Fases gonádicas.....	16
Proporción sexual.....	17
Índices hepatosomático y gonadosomático.....	17
Periodos de desove y diferencias a lo largo del tiempo y el espacio.....	18
Fecundidad.....	18
Longitud promedio de madurez.....	18
JUSTIFICACIÓN.....	18
OBJETIVO GENERAL.....	21
OBJETIVOS PARTICULARES.....	21
ÁREA DE ESTUDIO.....	21
MATERIALES Y MÉTODO.....	22
Fases gonadales.....	23
Montaje.....	24
Proporción sexual.....	25
Índices hepatosomático y gonadosomático.....	26
Fecundidad.....	26
Periodos de desove.....	28
Longitud promedio de madurez <i>L</i> 50.....	28
Temperatura superficial del mar.....	29
RESULTADOS.....	30
Estadios de desarrollo de los ovocitos.....	30
Diámetro de los ovocitos.....	35
Fases gonádicas.....	36
Índice gonadosomático.....	45
Índice Hepatosomático.....	47

Proporción sexual.....	49
Fecundidad.....	51
Diámetro de los ovocitos.....	55
Longitud promedio de madurez <i>L</i> 50.....	57
Longitud promedio de madurez <i>L</i> 50 por zona.....	63
Relación Temperatura superficial del mar y desarrollo gonádico.....	70
DISCUSIÓN.....	74
CONCLUSIONES.....	83
LITERATURA CITADA.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los estadios del desarrollo del ovocito de <i>Spherooides annulatus</i> basado en Wallace y Selman (1981) y Sánchez-Cárdenas (2007).....	27
Tabla 2. Descripción de las fases gonádicas de <i>Spherooides annulatus</i> con base en Brown-Peterson <i>et al.</i> (2011), Sánchez-Cárdenas (2005) y Díaz-Guevara (2009) incluye la propuesta de dos subfases.....	34
Tabla 3. Descripción de las fases de desarrollo testicular de <i>Spherooides annulatus</i> basados en Wallace y Selman (1981), Sánchez-Cárdenas (2007) y Díaz-Guevara (2009).....	38
Tabla 4. Reportes sobre la temporada reproductiva del botete diana <i>Spherooides annulatus</i> por diferentes autores de diferentes localidades y años. Los cuadros negros representan los meses en que se reportó actividad reproductiva.....	42
Tabla 5. Prueba de Z para probar diferencias entre la proporción de sexos macho:hembra (M:H) mensual, anual y global.....	48
Tabla 6. Modelos sigmoideos ajustados a la relación longitud total (L) vs fecundidad (F). a , b y c son los parámetros del modelo. El subíndice en el modelo indica el factor por el que fue multiplicado el valor máximo de fecundidad (F_{max}) para estimar el valor asintótico (a).....	51
Tabla 7. Criterio de selección de Akaike (AIC) calculados para los modelos Gompertz, Punt y Weibull. Se incluye el valor de AIC y Δi	56
Tabla 8. Criterio de selección de AKaike (AIC) calculados para los modelos Gompertz, Punt y Weibull con los datos de hembras de 2014 y 2015. Se incluye el valor de AIC y Δi	61
Tabla 9. Criterio de selección de Akaike (AIC) calculados para los modelos Gompertz, Punt y Weibull con los datos de machos de la zona norte, centro y sur en 2015.. Se incluye el valor de AIC y Δi	61
Tabla 10. Comparación entre las fases de desarrollo gonadal descritas para <i>S. annulatus</i> en la costa de Sinaloa.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Vista dorsal del botete diana <i>Spherooides annulatus</i>	13
Fig. 2. Capturas oficiales de botete diana <i>Spherooides annulatus</i> reportadas por CONAPESCA de enero de 2004 a agosto de 2014. a) Capturas anuales por entidad federativa. b) Capturas mensuales promedio por entidad federativa. Dónde: Baja California Sur (BCS), Nayarit (NAY), Sinaloa (SIN) y Sonora (SON).	21
Fig. 3. Sitios de muestreo de <i>Spherooides annulatus</i> en la costa del estado de Sinaloa, México. Los puntos representan las localidades de muestreo y los cuadros sombreados las áreas de muestreo, éstas se agruparon en zona norte, centro y sur (cuadros grises).....	23
Fig. 4. Técnica utilizada para realizar la deshidratación e impregnación de las gónadas.....	25
Fig. 5. Técnica de tinción hematoxilina de Harris con tiempos modificados para gónadas de <i>Spherooides annulatus</i>	25

Fig. 6. Ciclo ovárico (a) y testicular (b) de <i>Sphoeroides annulatus</i> (modificado de Brown-Peterson <i>et al.</i> , 2011) donde se muestran las fases que presentan los organismos adultos.....	30
Fig. 7. Histograma de frecuencia absoluta de tallas (\bar{l}) de <i>Sphoeroides annulatus</i> por sexo y año. a) hembras 2014, b) machos 2014, c) hembras 2015, d) machos 2015.....	35
Fig. 8. Polígono de frecuencia absoluta del diámetro de los ovocitos, medidos en preparaciones histológicas, de <i>Sphoeroides annulatus</i> en diferentes estadios de desarrollo.....	36
Fig. 9. Porcentaje de frecuencia de las fases de desarrollo gonádico y la variación promedio del IGS e IHS por sexo y año para <i>Sphoeroides annulatus</i> de la costa de Sinaloa. a) hembras 2014, b) hembras 2015, c) machos 2014, d) machos 2015...44	44
Fig. 10. Porcentaje de frecuencia de las fases de desarrollo gonádico en hembras y machos de <i>Sphoeroides annulatus</i> por año y zona de la costa de Sinaloa. a) hembras sur 2014, b) hembras centro 2015, c) hembras sur 2015, d) machos sur 2014, e) machos centro 2015, f) machos sur 2015.....	45
Fig 11. Comparación del promedio mensual del IGS para machos y hembras de <i>Sphoeroides annulatus</i> de la costa de Sinaloa en 2014 y 2015.....	47
Fig 12. Diagrama de cajas para los datos mensuales del IGS de hembras y machos de <i>S. annulatus</i> en 2014 y 2015. Las cajas representan el primer y tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja es la mediana y los bigotes representan los valores máximos y mínimos del IGS. a) hembras 2014, b) machos 2014, c) hembras 2015, d) machos 2015.....	47
Fig. 13. Variación del IGS en hembras y machos por fase y zonas en 2014 y 2015. a) hembras, b) machos.....	48
Fig. 14. Comparación del promedio mensual del IHS para machos y hembras de <i>Sphoeroides annulatus</i> de la costa de Sinaloa en 2014 y 2015.....	49
Fig. 15. Diagrama de cajas para los datos mensuales del IHS de hembras y machos de <i>Sphoeroides annulatus</i> en 2014 y 2015. Las cajas representan el primer y tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja es la mediana y los bigotes representan los valores máximos y mínimos del IHS. a) hembras 2014, b) machos 2014, c) hembras 2015, d) machos 2015.....	49
Fig 16. Comparación en los valores mensuales del IGS e IHS de <i>Sphoeroides annulatus</i> durante 2014 y 2015.....	50
Fig. 17. Proporción sexual mensual y anual del <i>Sphoeroides annulatus</i> durante 2014 y 2015. Los asteriscos señalan los meses con diferencias significativas.....	51
Fig. 18. Imágenes escaneadas de ovocitos maduros. Izquierda: ovocitos bien dispersos, sin aglutinación; Derecha: ovocitos aglutinados. Diámetro de caja Petri: 9 cm.....	52
Fig. 19. Porcentaje de densidad de ovocitos por parte muestreada (anterior, media y posterior).....	53
Fig. 20. Relación entre la fecundidad y el peso de la gónada fijada. Los puntos son los datos observados, la línea representa la relación lineal y la franja gris el intervalo de confianza de 95%.....	54

Fig. 21. Relación entre la fecundidad y el peso total del organismo. Los puntos son los datos observados, la línea representa la relación lineal y la franja gris ilustra el intervalo de confianza de 95%.....54

Fig. 22. Modelos sigmoideos ajustados a la relación longitud total vs Fecundidad (número de ovocitos). a) Ajuste de la asíntota superior, b) el subíndice indica el factor por el que se multiplicó el valor máximo observado de fecundidad para estimar el valor asintótico; línea azul; Logístico 1.1, verde: logístico 1.2, naranja: Gompertz 1.1, negro: Gompertz 1.2, morado: Weibull 1.1, marrón: Weibull 1.2. Las equis representan los datos observados.....56

Fig. 23. Relación diámetro de los ovocitos maduros y el peso total del organismo.57

Fig. 24. Relación entre el diámetro de los ovocitos maduros y la longitud total del organismo.....57

Fig. 25. Relación entre el diámetro de los ovocitos maduros y la fecundidad del organismo.....58

Fig. 26. Modelo de Gompertz para L_{50} de hembras y machos durante 2014 y 2015. a) hembras 2014, b) hembras 2015, c) machos 2014, d) machos 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.....61

Fig. 27. Modelo de Punt para L_{50} de hembras y machos durante 2014 y 2015. a) hembras 2014, b) hembras 2015, c) machos 2014, d) machos 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.....62

Fig. 28. Modelo de Weibull para L_{50} de hembras y machos durante 2014 y 2015. a) hembras 2014, b) hembras 2015, c) machos 2014, d) machos 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.....63

Fig. 29. Modelo de Gompertz para L_{50} de hembras y machos de la zona sur 2014 y centro 2015. a) hembras sur 2014, b) machos sur 2014, c) hembras centro 2015, d) machos centro 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.....66

Fig. 30. Modelo de Gompertz para L_{50} de hembras y machos de la zona sur 2015. Modelo de Punt para hembras de la zona sur 2014. a) hembras sur 2015, b) machos sur 2015, c) hembras sur 2014, d) machos sur 2014. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.....67

Fig. 31. Modelo de Punt para L_{50} de hembras de la zona centro y sur 2015. a) hembras centro 2015, b) machos centro 2015, c) hembras sur 2015, d) machos sur 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.....68

Fig. 32. Modelo de Weibull para L_{50} de hembras de la zona sur 2014 y hembras y machos de la zona centro 2015. a) hembras sur 2014, b) machos sur 2014, c) hembras centro 2015, d) machos centro 2015. Los puntos representan los datos

observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.....	69
Fig. 33. Modelo de Weibull para L_{50} en hembras y machos de la zona sur 2015. Modelo de Gompertz y Punt para machos de la zona norte de 2014 y 2015. . a) hembras sur 2015, b) machos sur 2015, c) machos norte 2014, d) machos norte 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.....	70
Fig 34. Modelo de Weibull para L_{50} de machos de la zona norte 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.....	71
Fig. 35. Valor estimado del parámetro L_{50} y su intervalo de confianza (95%) de cada modelo para hembras y machos de 2014 y 2015.....	71
Fig. 36. Promedio mensual de la temperatura de la superficie del mar con las fases de desarrollo gonadal por sexo para <i>Sphoeroides annulatus</i> durante 2014 y 2015. a) hembras 2014, b) hembras 2015, c) machos 2014, d) machos 2015.....	72
Fig 37. Promedio mensual de la temperatura de la superficie del mar con las fases de desarrollo gonadal por sexo y por zona para <i>Sphoeroides annulatus</i> durante 2014 y 2015. a) hembras sur 2014, b) machos sur 2014, c) hembras centro 2015, d) machos centro 2015, e) hembras sur 2015, f) machos sur 2015.....	74

RESUMEN

El botete diana *Sphoeroides annulatus* es una especie de valor comercial en el estado de Sinaloa. El objetivo de este estudio es describir las fases gonádicas, la proporción sexual, analizar el índice gonadosomático y hepatosomático, estimar la fecundidad potencial anual y la longitud promedio de madurez con la intención de aportar información que sirva para la toma de decisiones basados en evidencia científica. Se procesaron 1622 muestras con intervalo de longitud de 8.1 – 44 cm. Se identificaron histológicamente seis fases gonádicas y dos subfases para hembras, el desarrollo gonadal es sincrónico y presentan desove total, se identificaron cuatro fases para machos los cuales tienen testículos con desarrollo asincrónico, se observaron dos temporadas reproductivas, la primera de abril a agosto y la segunda en diciembre, la proporción sexual presentó diferencias significativas en uno de dos años analizados, la variación del IGS está relacionado con el periodo de desove y eyaculación, el IHS no muestra evidencia clara de su participación directa en el proceso reproductivo, la fecundidad es determinada y tiene una relación lineal con el peso total y el peso de la gónada y una relación potencial respecto a la longitud total del organismo, la longitud promedio de madurez varió entre

L_{50}

años, en 2014 para hembras fue de 17 cm y machos de 15.5 cm, en 2015 de 23.6 y 24.4 cm respectivamente.

ABSTRACT

The bullseye puffer *Sphoeroides annulatus* is a species of commercial value in Sinaloa. The objective of this study is to describe the gonadic phases, the sex ratio, analyze the gonadosomatic (GSI) and hepatosomatic index (HIS) estimate the annual potential fecundity and the average length of maturity with the intention of providing information that serves to make decisions based on scientific evidence. A total of 1622 samples with a length interval of 8.1-44 cm were processed. Six gonadal phases and two subphases for females were identified histologically, the gonadal development is synchronous and they present total spawning, four phases were identified for males which have testicles with asynchronous development, two reproductive seasons were observed, the first from April to August and the second in December, the sex ratio showed significant differences in one of two years analyzed, the variation of the IGS is related to the period of spawning and ejaculation, the IHS does not show clear evidence of its direct participation in the reproductive process, fecundity is determined and has a linear relationship with the total weight and weight of the gonad and a potential relationship with respect to the total length of the organism, the average length of maturity varied between years, in 2014 for females was 17 cm and males of 15.5 cm, in 2015 of 23.6 and 24.4 cm respectively.

INTRODUCCIÓN

El botete diana o tamborillo (*Sphoeroides annulatus*) es un cordado de la clase Actinopterygii, pertenece al orden Tetraodontiformes y a la familia Tetraodontidae, tiene cuatro dientes incisivos, posee piel gruesa con espinas ventrales y sólo cuenta con 16 vértebras (Error: Reference source not found). Las especies del género *Sphoeroides* poseen un cuerpo alargado, grueso, robusto y relativamente suave (Fischer *et al.*, 1995). El patrón de coloración en el área dorso-lateral es color café con puntos negros y círculos concéntricos blancos o amarillentos, tiene el vientre blanco y aletas color pardo con márgenes oscuros. Puede llegar a medir entre 44 y 48 cm de longitud total según diversos autores (Thomson, 1978; Fischer *et al.*, 1995; Amezcua-Linares, 1996). El crecimiento somático (longitud) de las hembras es alométrico negativo, mientras que los machos crecen de modo isométrico (Sánchez-Cárdenas, 2005).



Fig. 2. Vista dorsal del botete diana *Sphoeroides annulatus*.

Sphoeroides annulatus es una especie exclusiva del Océano Pacífico oriental; habita desde la costa del sur de California, EUA, hasta la costa de Perú, incluyendo el golfo de California y los mares adyacentes a las Islas Galápagos. Se localizan en la zona costera, principalmente en zonas protegidas, estuarios, lagunas costeras y otras áreas salobres, así como sobre corales y en interfaces rocoso arenosa (Castro-Aguirre *et al.*, 1999).

Los representantes de la familia Tetraodontidae son peces de importancia ecológica, económica y pesquera. Están distribuidos principalmente en aguas marinas y salobres (Walker y Bussing, 1996). Este grupo comprende 193 especies, algunas de las cuales son explotadas para consumo local y regional (Eschmeyer, 2014). El botete diana se ubica dentro de los consumidores secundarios, los cuales permiten el equilibrio en el ecosistema proveyendo de energía al siguiente nivel (Schultz *et al.*, 2002).

En Sinaloa, el botete diana es una especie muy apreciada en el mercado ya que posee un filete blanco, de excelente sabor, buena consistencia, sin espinas y no hay reportes que señalen a esta especie como causa de muerte por envenenamiento ya que a diferencia de otras especies de tetraodontidos no contiene tetrodotoxina (TTX) en el músculo (Núñez-Vázquez *et al.*, 2000), por lo tanto, es considerada con buen potencial acuícola y pesquero y con un alto valor comercial (Abdo de la Parra *et al.*, 2013). Además, es un pez que se adapta a distintas condiciones ambientales, es eurihalino, de fácil adaptación al cautiverio y manejo (Abdo de la Parra y Duncan, 2002).

Castellanos-Rodríguez *et al.* (1982) realizaron un estudio sobre aspectos biológicos y socioeconómicos de la pesca de *S. annulatus* contemplando infraestructura, producción y comercialización desde la bahía de Mazatlán hasta Teacapán, Escuinapa, mientras que otros autores (p. ej.: Sánchez-Cárdenas, 2005 y 2007; Abdo de la Parra *et al.*, 2010 y 2012) se han enfocado a describir la reproducción del botete diana y las condiciones para cultivarlo.

La pesca como actividad del sector productivo primario requiere de generación de conocimiento como soporte a la administración del uso de los recursos pesqueros, (Arreguín-Sánchez y Arcos-Huitrón, 2011), una de las herramientas son los estudios sobre madurez y fecundidad que permiten conocer el estado futuro de la pesquería aunado al conocimiento de extracción del recurso para poder hacer una evaluación de la pesquería y proponer medidas de manejo.

La longitud promedio de madurez (L_{50}) se define como la longitud a la cual el 50% de la población se vuelve sexualmente madura, es un parámetro de la población clave y extremadamente importante en el manejo de pesquerías (Jennings *et al.*, 2001). La longitud de madurez está basada en la longitud mínima de las poblaciones explotadas, por ejemplo, la longitud mínima de captura.

Existe una gama de modelos para evaluar las poblaciones y poder generar propuestas para la regulación pesquera, dentro de los cuales se encuentra la inferencia multimodelo, la cual postula que cuando los datos soportan evidencia para más de un modelo, en lugar de estimar los parámetros a partir de sólo “el mejor modelo”, es posible estimarlos a partir de varios modelos e incluso todos los modelos considerados. Obtener el valor promedio de la variable predicha, a partir de varios modelos, es una ventaja para alcanzar una inferencia robusta que no esté condicionada a un sólo modelo y que integra la aportación ponderada de cada modelo ajustado (Burnham y Anderson, 2002).

La fecundidad se define como el número de huevos producidos por hembra (Hunter *et al.*, 1985). La conexión entre la biomasa del stock reproductor y el reclutamiento varía de acuerdo al total de producción de huevos (fecundidad) que a su vez depende, no sólo de la frecuencia de talla de los adultos desovadores, sino del peso corporal y la longitud total, ya que a mayor longitud mayor es la fecundidad y la calidad de los ovocitos (Jakobsen *et al.*, 2016). Existen varios tipos de fecundidad en peces como: fecundidad individual, que es el número de ovocitos maduros liberados por una hembra durante la temporada de desove; fecundidad potencial, que es el número total de ovocitos en los ovarios de las hembras representando un fondo de reserva; fecundidad total, que es el número de ovocitos maduros en cualquier momento; fecundidad por lotes o cohortes, que es el número de huevos desovados en cada lote, la suma de estos da la fecundidad anual real en organismos desovadores parciales y la fecundidad potencial anual, la cual se define como el número total de ovocitos maduros por año sin corregir las pérdidas por atresia (Hunter *et al.*, 1992, Jakobsen *et al.*, 2016). El método más apropiado para calcular la producción total de huevos

depende de las características de la especie objetivo como los hábitos reproductivos, actividad reproductiva durante el año y estrategia reproductiva (Ganias *et al.*, 2014). El objetivo de este trabajo es analizar las gónadas de los organismos colectados durante 2014 y 2015 provenientes del litoral del estado de Sinaloa para describir algunos de los aspectos reproductivos de *Spherooides annulatus* y aportar mayor información para tener bases científicas para su futuro manejo.

ANTECEDENTES

El botete diana es un organismo gonocórico (sexos separados), la fecundación es externa y los huevos fertilizados son esféricos, demersales y adhesivos (Abdo de la Parra *et al.*, 2013). Al parecer no presenta dimorfismo sexual en forma o color del cuerpo. Morfológicamente tanto los ovarios como los testículos están constituidos por dos lóbulos situados en la cavidad peritoneal y suspendidos por un mesenterio, mesovario y mesorquio, respectivamente, conectados al poro urogenital a través de un conducto (oviducto o espermiducto, respectivamente). En el estroma ovárico, las láminas ovígeras se disponen concéntricamente. En los testículos, los conductos seminíferos se disponen longitudinalmente y se compactan cuando no almacenan o liberan espermatozoides (Sánchez-Cárdenas, 2007). El conducto colector o el conducto eyaculador se extiende dorsalmente a lo largo de cada lóbulo y se abre en la unión entre ambos lóbulos (Sánchez-Cárdenas, 2011).

Fases gonádicas

Wallace y Selman (1981) definen la ovogénesis como la transformación de una ovogonia en un ovocito. También describen el crecimiento de los ovocitos y lo dividen en cuatro etapas: crecimiento primario, alveolo cortical, vitelogénesis verdadera y maduración. El crecimiento primario incluye a los ovocitos en cromatina nucleolar y perinucleolar. La etapa de alveolo cortical se caracteriza por la presencia de “gotas claras” en el citoplasma. La vitelogénesis se distingue por el

enorme crecimiento del ovocito, debido a la acumulación de la vitelogenina, ésta termina cuando los ovocitos alcanzan la plenitud de su tamaño. Después el ovocito llega a la madurez donde los cromosomas reanudan la meiosis y forman el primer cuerpo polar. También se lleva a cabo la hidratación, lo que provoca un cambio de tamaño muy rápido.

Existe diferente terminología para describir los procesos que sufre la gónada y las células germinales; Brown-Petersen *et al.* (2011) propusieron estandarizar la terminología para referirse a las fases del desarrollo gonádico, sugieren las fases: Inmaduro, desarrollo, capaz de desovar, regresión y regeneración. En este trabajo se utilizará el término “fase” para describir las partes del fenómeno cíclico que atraviesa la gónada, mientras que el término “estadio” se utilizará para hacer referencia al desarrollo de los gametos (Brown-Peterson *et al.*, 2011).

Se han propuesto dos clasificaciones para el desarrollo gonádico de *S. annulatus*: uno sugerido por Sánchez-Cárdenas (2005) donde determina cuatro fases de desarrollo gonádico para machos y cinco fases para hembras de la costa de Mazatlán, Sinaloa mediante la técnica macroscópica y microscópica, mientras que Díaz-Guevara *et al.* (2005) definieron cinco fases basado en análisis microscópico para organismos de la ensenada de La Paz, Baja California.

Proporción sexual

La proporción sexual de machos por hembra está reportada de 1.2:1 (Castellanos-Rodríguez *et al.*, 1982) a 1:0.8 (Sánchez-Cárdenas, 2005). Los intervalos de longitud total reportados por Castellanos-Rodríguez *et al.* (1982) van de 9.5 - 43.5 cm y una masa total de 12.5 – 1,762.5 g, mientras que Sánchez-Cárdenas (2005) obtuvo intervalos de longitud entre 20.5 - 44 cm, y una masa total de 200 – 2,200 g ambos estudios se realizaron en la costa de Mazatlán, Sinaloa.

Índices hepatosomático y gonadosomático

El índice gonadosomático (IGS) que se ha reportado para esta especie fue de 1.37 en hembras y 2.29 en machos (Sánchez-Cárdenas, 2005).

Periodos de desove y diferencias a lo largo del tiempo y el espacio

Los periodos de actividad reproductiva que registró Sánchez-Cárdenas (2005) en Mazatlán, son de abril a agosto en hembras y de febrero a agosto en los machos y el segundo periodo de octubre a noviembre para hembras y machos, mientras que Abdo de la Parra *et al.* (2013) publicaron que de febrero a junio es cuando el botete diana migra a aguas cercanas a la costa o lagunas costeras para desovar. La distribución de las fases de madurez de los organismos en Teacapán, Sinaloa, indica un periodo reproductivo principal de junio a septiembre y otro menos intenso de noviembre a diciembre en hembras y en diciembre para machos (Valdez-Pineda, 2014). Para la ensenada de La Paz, Baja California, se reportó una temporada reproductiva desde mayo a septiembre (Díaz-Guevara, 2009).

Fecundidad

Las hembras en cautiverio producen $1\ 246\ 845 \pm 130\ 090$ huevos por kg de peso (Abdo de la Parra *et al.*, 2013) extraídos por presión abdominal. Se ha utilizado el método gravimétrico para estimar la fecundidad. Este método permite calcular la fecundidad potencial total y potencial anual.

Longitud promedio de madurez

Se han reportado capturas de botete diana con longitudes de 19 a 44 cm, con una talla de madurez del 50% de la población muestreada de 28.2 cm en hembras y de 28.6 cm en machos (Sánchez-Cárdenas, 2005). En muestreos realizados en el estero de Teacapán, la longitud promedio de madurez fue de 26.5 cm en hembras y 27.4 cm en machos (Valdez-Pineda *et al.*, 2014).

JUSTIFICACIÓN

La captura de *S. annulatus* contribuye de manera significativa en la economía familiar de los pescadores ribereños y de altamar, por su alto valor comercial, sin embargo, de febrero a junio, se registran grandes agrupaciones de reproductores de botete diana para desovar en aguas someras, cercanas a la costa y a las lagunas costeras, las cuales son aprovechadas por los pescadores de las flotas menor y mayor para dirigir su esfuerzo en esta área, lo que puede provocar impactos negativos sobre las poblaciones a futuro si no se toman las medidas precautorias. La captura se realiza utilizando una línea con robador o un solo anzuelo (Núm. 11 ó 12). Durante el resto del año se pesca incidentalmente (Sánchez-Cárdenas, 2005).

Es importante realizar estudios para ampliar el conocimiento de la estrategia reproductiva de *S. annulatus*, se sabe que establecer el desarrollo gonádico, la longitud promedio de madurez y los índices morfofisiológicos no solo es una aportación al conocimiento, sino que sirven como herramientas de monitoreo.

La longitud promedio de madurez sirve como parámetro en la determinación de la talla mínima de captura, ésta funge como un importante regulador del esfuerzo pesquero en muchas especies. La estacionalidad del proceso reproductivo y los factores que la regulan, son una referencia para el manejo temporal de la pesca y para la creación de un ambiente artificial para el control de la reproducción.

El estudio de la producción total de huevos o fecundidad tiene dos importantes aplicaciones en el manejo de recursos pesqueros, quizá el más importante sea el entender la relación entre la biomasa del stock reproductor y el reclutamiento. Una segunda aplicación de información sobre fecundidad es estimar la biomasa del stock reproductor independientemente de los datos recolectados de las pesquerías comerciales (Whitthames *et al.*, 2009). En México no existen estudios sobre fecundidad en poblaciones silvestres de botete diana por lo que es necesario realizar este tipo de estudios que permitan obtener información sobre la

reproducción de esta especie y así poder proponer en un futuro medidas de manejo.

La Carta Nacional Pesquera 2012 presenta a varias especies dentro de un grupo denominado “escama” el cual no cuenta con una reglamentación, lo que lo hace vulnerable a la sobreexplotación. Mientras no exista información de los aspectos de historia de vida del botete diana y otras especies, no se podrá impulsar el desarrollo de una pesca sustentable (DOF, 2012).

De acuerdo con los reportes oficiales de CONAPESCA, de enero de 2004 a agosto de 2014, las embarcaciones mayores han desembarcado 622 toneladas, las embarcaciones menores 5,285 y en conjunto 5,907 toneladas de este recurso (Fig. 1). El estado de Sinaloa contribuye con el 34% de esta cifra (Aguirre-Villaseñor *et al.*, 2015) mientras que Baja California Sur envía la mayor parte de sus capturas a Sinaloa.

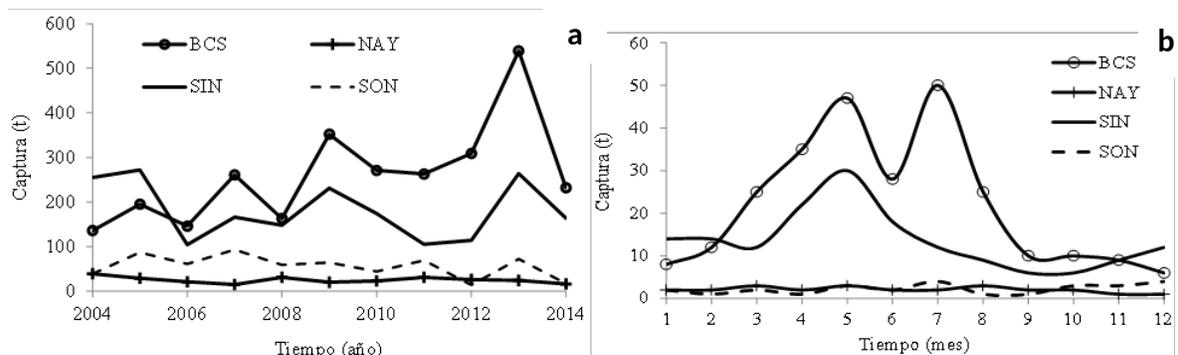


Fig. 1. Capturas oficiales de botete diana *Sphoeroides annulatus* reportadas por CONAPESCA de enero de 2004 a agosto de 2014. a) Capturas anuales por entidad federativa. b) Capturas mensuales promedio por entidad federativa. Dónde: Baja California Sur (BCS), Nayarit (NAY), Sinaloa (SIN) y Sonora (SON).

HIPÓTESIS

El botete diana es una especie que se reproduce en el estado de Sinaloa dos veces al año durante los meses de abril a agosto y en octubre y noviembre. Es

una especie con desarrollo asincrónico y desoves parciales. Los cambios de temperatura tienen influencia sobre el inicio de temporada de reproducción. La longitud promedio de madurez se encuentra en los 26 cm.

OBJETIVO GENERAL

Analizar algunos de los aspectos reproductivos de *Sphoeroides annulatus* en la costa de Sinaloa durante 2014 y 2015.

OBJETIVOS PARTICULARES

- o Describir las fases gonádicas.
- o Analizar la proporción sexual.
- o Analizar el cambio de los índices hepatosomático y gonadosomático para evaluar periodos de desove.
- o Estimar la fecundidad potencial anual.
- o Estimar la longitud promedio de madurez.

ÁREA DE ESTUDIO

Durante los años 2014 y 2015, los muestreos biológicos de *S. annulatus* se realizaron a lo largo del litoral sinaloense en los siguientes puntos de desembarco: Topolobampo, Bahía de Navachiste, Altata, Cospita, Mazatlán y Teacapán (Fig. 2). Los datos se agruparon por zona de colecta (norte, centro y sur) y por año, con el objetivo de observar si existían diferencias espaciales en la temporada reproductiva en el litoral sinaloense.

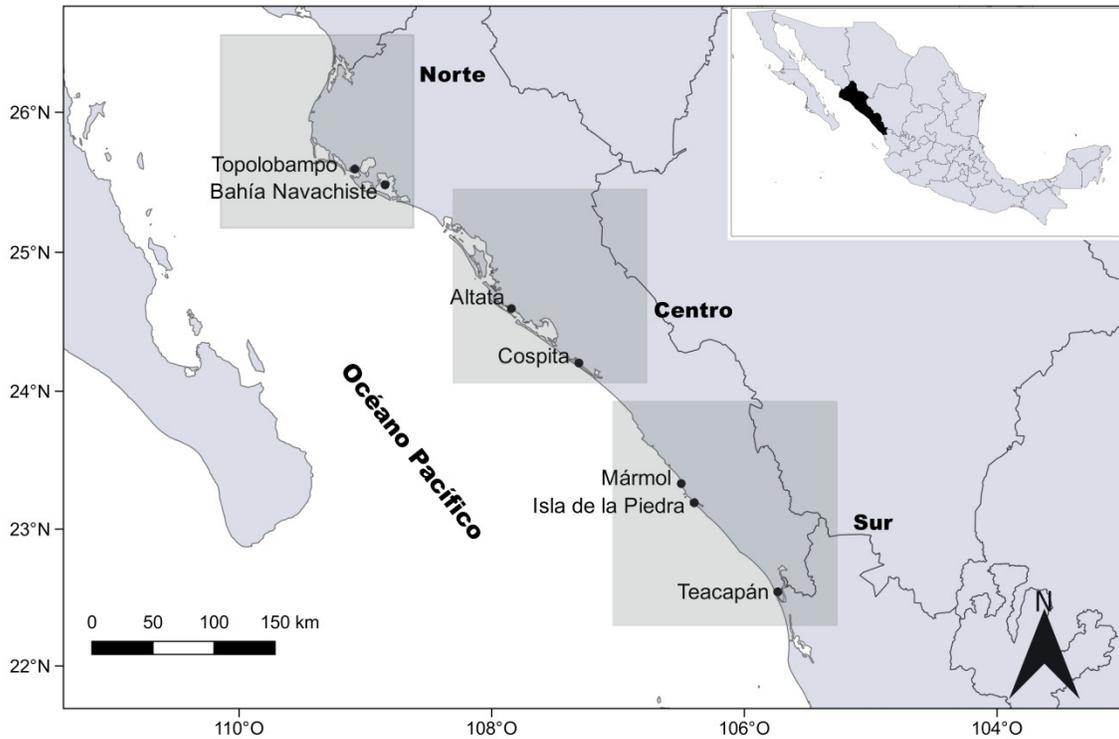


Fig. 2. Sitios de muestreo de *Spherooides annulatus* en la costa del estado de Sinaloa, México. Los puntos representan las localidades de muestreo y los cuadros sombreados las áreas de muestreo, éstas se agruparon en zona norte, centro y sur (cuadros grises).

MATERIALES Y MÉTODO

Los organismos fueron colectados en la costa de Sinaloa provenientes de los desembarcos de la flota comercial de escama en las localidades de Topolobampo y Bahía Navachiste en octubre 2015, Altata y Cospita en abril y mayo 2014 y abril, mayo, junio 2015, Dautillos en marzo 2015, El Castillo de enero a marzo, mayo a agosto y diciembre de 2015, La Brecha de agosto 2014 a agosto 2015, Macapule en abril, julio, agosto y diciembre 2015, Yameto abril, julio y agosto 2015, Isla de la Piedra en abril y mayo 2014 y de abril a junio, septiembre y octubre de 2015 y Teacapán de abril a junio 2014 y en mayo 2015, además de algunos organismos provenientes de cruceros de investigación. Los muestreos en los desembarques de Mazatlán fueron semanales. En las localidades de Altata, Dautillos y Teacapán los muestreos fueron quincenales, en playa y en las bodegas de acopio de la localidad. Durante la temporada de veda de camarón en julio, agosto y diciembre

de 2014, enero y de mayo a octubre de 2015, se muestrearon botetes provenientes de la fauna de acompañamiento, los arrastres duraron en promedio 1 hora y el crucero entre 10 y 15 días, de acuerdo al protocolo de investigación del proyecto Camarón del CRIP-Mazatlán. Los registros forman parte de la base de datos del proyecto Escama del Instituto Nacional de Pesca CRIP-Mazatlán. Se trabajó con datos y material colectado en los años 2014 y 2015.

En fresco, a cada individuo se le tomaron los datos de longitud total (\bar{l}) utilizando un ictiómetro (± 0.05 mm), peso total (PT), peso de la gónada (PG), peso del hígado (PH) con una balanza electrónica (± 0.005 g), fecha y localidad de colecta. Las gónadas se fijaron en formalina al 10% hasta su procesamiento histológico.

Fases gonadales

Las gónadas fijadas se lavaron con agua corriente y se preservaron en alcohol 70%. Las gónadas preservadas se pesaron en una balanza electrónica (± 0.005 g).

En el laboratorio se realizó un corte transversal de la parte media del lóbulo de la gónada para someterlo a un proceso histológico, el cual consta de las siguientes etapas: deshidratación, aclarado, inclusión, tinción y montaje. A continuación, se describe a detalle la técnica (Humason, 1979) ().



Fig. 3. Técnica utilizada para realizar la deshidratación e impregnación de las gónadas.

Una vez incluido el tejido en bloques de parafina, se realizaron cortes de la muestra de un grosor de 5 micrómetros en un microtomo manual, el tejido cortado se colocó en baño de flotación a 40°C para que se estirara y se recuperó adhiriéndolo a un portaobjetos. Una vez seca la muestra se procedió a la tinción. La técnica que se utilizó fue la de Hematoxilina-eosina (Fig. 4) la cual permite teñir los núcleos de color azul o violeta, mientras que el citoplasma y la matriz extracelular se tiñen de colores rosados.

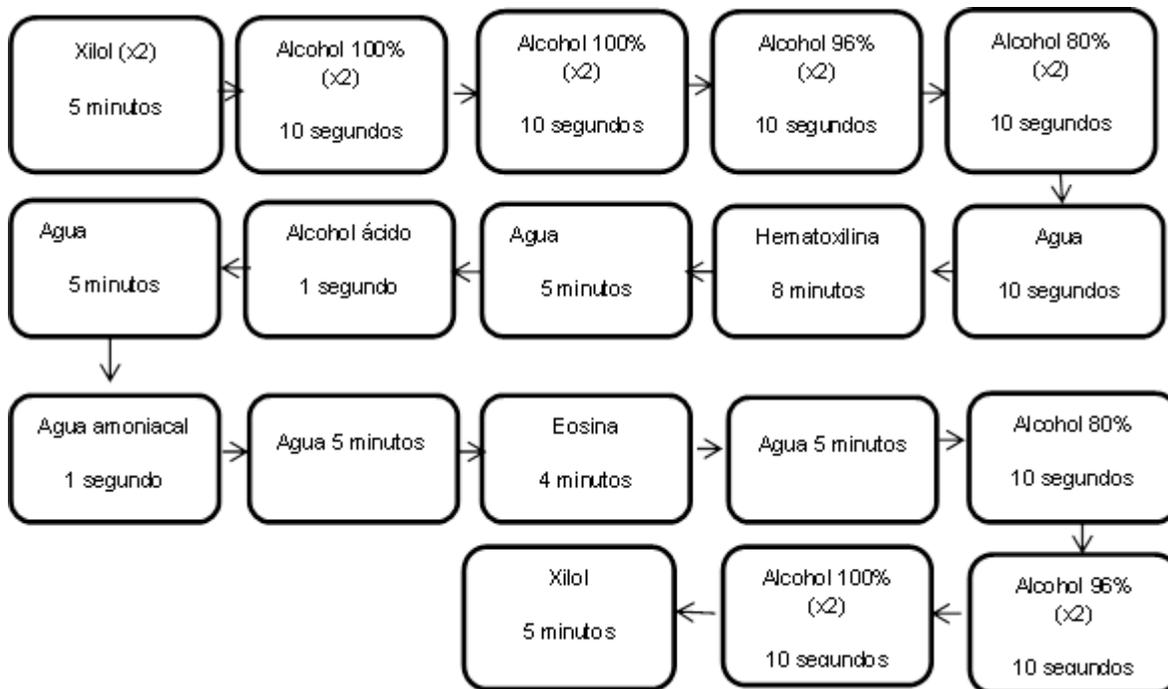


Fig. 4. Técnica de tinción hematoxilina de Harris con tiempos modificados para gónadas de *Spherooides annulatus*.

Montaje

Una vez teñido el tejido, se dejó secar la muestra y se colocaron unas gotas de resina CYTOSEAL 60 y se colocó un cubreobjetos; se dejó secar por tres días.

Las láminas se interpretaron en el microscopio óptico, las lecturas se realizaron por triplicado con el fin de que al menos dos lecturas coincidieran y así poder asignar la fase sin error, además de que la secuencia de lectura fue al azar para

evitar la predisposición del lector. Se tomaron fotografías con un microscopio Leica DM3000 con cámara C-Mount 0.70x y se trabajó en el software LAS V3.6.

Se reconocieron los estadios de los ovocitos en las gónadas de acuerdo con lo descrito por Wallace y Selman (1981), quienes describieron los estadios: cromatina nucleolar y perinucleolar, alveolo cortical (micro gránulos), vitelogénesis (gránulos de vitelo evidentes organizados en la periferia), fusión de vitelo y núcleo migratorio.

Una vez observado el estado general del ovario o testículo, se le asignó una fase a la gónada basados en la propuesta de Brown-Peterson (2011), Sánchez-Cárdenas (2007) y Díaz-Guevara (2009) lo que determinó en qué parte del ciclo reproductivo se encontraba.

Las características registradas en cada hembra para la asignación de fase fueron: sexo, estadio, lectura 1, 2 y 3, grosor de pared (delgada o gruesa), estado del estroma (compacto o estirado), presencia de atresias, presencia de folículos post ovulatorios, fase gonádica y observaciones generales como: presencia de parásitos o anomalías en las células. Para designar la fase en machos se observó el estado de desarrollo de las células espermatozógenas y las características de los túbulos seminíferos.

Proporción sexual

La proporción sexual mensual y anual se calculó dividiendo el número total de hembras entre la sumatoria de machos y hembras. Para probar si la proporción es 1:1 se utilizó la prueba de χ^2 (Sokal y Rohlf, 1981):

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_i)^2}{f_i}$$

dónde: f_o es la frecuencia observada del sexo expresada en número y f_i es la frecuencia esperada.

Además se realizó una prueba de Z para proporciones para determinar si existían diferencias significativas entre las proporciones por mes, año y global (Sokal y

Rohlf, 1995).

Índices hepatosomático y gonadosomático

Para calcular el índice hepatosomático (IHS) y el índice gonadosomático (IGS) se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$IHS = \frac{PH}{PT} * 100$$

donde: *PH*: peso hígado y *PT* es el peso total.

$$IGS = \frac{PG}{PT} * 100$$

donde *PG*: peso gónada y *PT*: peso total.

Fecundidad

Para estimar la fecundidad se utilizó el método gravimétrico. Este parámetro se estableció con base en la selección de 42 gónadas de hembras sexualmente maduras (vitelogenesis III y fusión de vitelo) con un intervalo de longitud de 10.4 a 44 cm y de un peso entre 164 g y 2,046 g, estas muestras estuvieron preservadas en formalina durante dos años. De cada gónada, se tomaron tres submuestras de 0.1 g con una balanza electrónica (± 0.00005 g), una de la parte anterior, una de la parte media y otra de la parte posterior separando el tejido conjuntivo. Los ovocitos se colocaron en una caja Petri de 150 mm con agua destilada, se agregaron unas gotas de jabón líquido para romper la tensión entre los ovocitos y permitir que se separaran. Después se escanearon para obtener imágenes digitales de alta calidad, con una resolución de 1200 pixeles por pulgada en escala de grises. El conteo y medición de ovocitos se realizó utilizando el procesador de imágenes Image J (Thorsen y Kjesbu, 2001; Friedland *et al.*, 2005; Kurita y Kjesbu, 2009). La densidad de ovocitos por submuestra (*Di*) se calculó con la siguiente fórmula:

$$Di = \frac{oi}{wi}$$

donde: oi es el número de ovocitos contados, wi es el peso fijado de la submuestra.

La prueba de rangos no paramétrica de Fligner Killeen se utilizó para probar homogeneidad en la densidad a lo largo de la gónada (Fligner y Killeen, 1976).

Para el cálculo de la fecundidad potencial anual, se utilizó el peso de la gónada fijada.

$$Fi = \frac{[\sum i \frac{oi}{wi}]}{n} * PG$$

donde: oi es el número de ovocitos contados, wi es el peso del valor promedio de las submuestras y PG es el peso de la gónada fijada (Hunter *et al.* 1989).

Se analizó la variación del diámetro en los diferentes estadios de desarrollo de los ovocitos, suponiendo que a un mayor diámetro corresponde a un mayor grado de maduración del ovocito. Se tomaron fotografías digitales con un microscopio Leica DM3000 con cámara C-Mount 0.70x de los cortes histológicos que representen las fases del desarrollo gonadal (alveolo cortical, vitelogénesis I, II y III y fusión de vitelo). Los ovocitos debían presentar el núcleo visible (excepto fusión de vitelo), además de que el citoplasma no presentara vacuolas o parásitos con el objetivo de tener una muestra de ovocitos viables. Se midieron 642 ovocitos en diferentes estadios de desarrollo. El diámetro se obtuvo por medio del programa SigmaScan Pro 5.0.

Para calcular el diámetro de los ovocitos maduros, se utilizaron las imágenes digitalizadas y se midieron 100 ovocitos por submuestra (12,600 ovocitos en total) con el programa SigmaScan Pro 5.0.

Para conocer la relación entre la fecundidad y el peso de la gónada fijada y el PT se realizó una regresión lineal, mientras que para la relación entre fecundidad y \bar{L} se realizaron dos modelos sigmoidales: el logístico y el de Gompertz.

Se graficó el diámetro de los ovocitos maduros respecto a la fecundidad y se aplicó una regresión lineal y una prueba t de dos colas para probar si la pendiente es diferente de cero.

Periodos de desove

La época de desove se determinó a partir del análisis histológico de las gónadas como método directo, observando los cambios en las fases de desarrollo gonadal durante el año. Los meses donde se observó mayor índice de ocurrencia de desoves o liberación de ovocitos y espermatozoides fueron los que se consideraron dentro de la temporada de desove. Se observó la relación entre el IHG e IGS y los cambios en las fases de desarrollo gonadal. Los datos se agruparon por zona de colecta y por año, con el objetivo de observar si existían diferencias espaciales en la temporada reproductiva en el litoral sinaloense.

Longitud promedio de madurez L_{50} XE "Longitud promedio de madurez L_{50} "

Para calcular la longitud promedio de madurez se utilizó la frecuencia acumulada (Fd_i^L) de los organismos maduros (Fig. 5), en esta categoría se incluye a los que están maduros sexualmente o que ya se reprodujeron) y se ajustó a tres modelos sigmoidales: Gompertz (1825), Punt *et al.* (2006) y Weibull (1951).

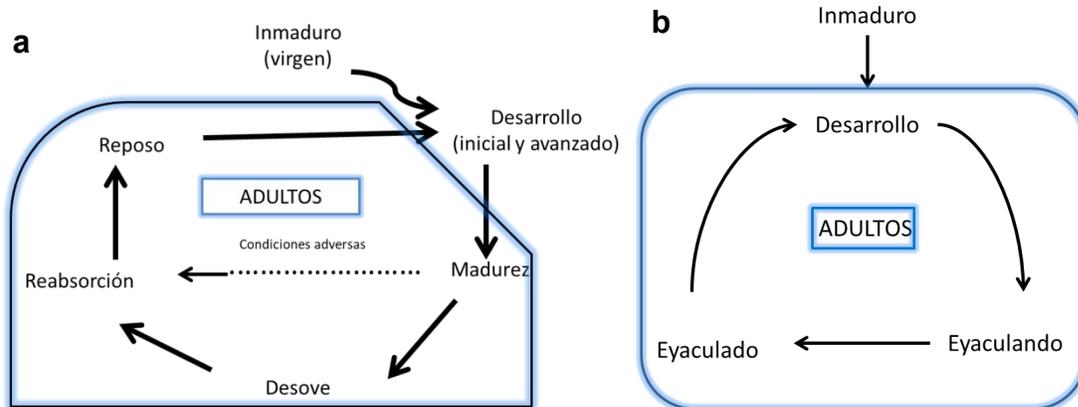


Fig. 5. Ciclo ovárico (a) y testicular (b) de *Sphaeroides annulatus* (modificado de Brown-Peterson *et al.*, 2011) donde se muestran las fases que presentan los organismos adultos.

El intervalo de confianza no paramétrico de los parámetros y de las predicciones (CI_{95}) se calculó utilizando la técnica de bootstrap, 3000 re muestreos aleatorios con remplazo. Los valores de las frecuencias re muestreadas ($F_i^{\hat{c}}$) se obtuvieron utilizando la siguiente relación:

$$F_i^{\hat{c}} = F_{oi} \left(\frac{F_{oi}}{F_{ei}} \right)$$

donde: F_{oi} es la i_{esima} frecuencia observada y F_{ei} es la i_{esima} frecuencia estimada. A partir de este nuevo vector de $F_i^{\hat{c}}$, se generan un nuevo vector de frecuencias acumuladas ($Fa_i^{\hat{c}}$). Para cada nuevo vector de $Fa_i^{\hat{c}}$ se ajustó un modelo sigmoideal. (Efron y Tibshirani, 1993; Haddon, 2001).

Para elegir el mejor modelo se utilizó el criterio de selección de Akaike (AIC), donde el valor más pequeño determina cual es el mejor modelo y la diferencia entre AIC y (Δ_i) marca la diferencia que existe entre el que mejor ajusta (valor más bajo de AIC) y el modelo a comparar (Akaike, 1974).

Temperatura superficial del mar

Se obtuvieron los datos mensuales de temperatura promedio superficial del mar de la costa de Sinaloa en los años 2014 y 2015. El promedio de temperatura se obtuvo de la página de la National Aeronautics and Space Administration (www.giovanni.gsfc.nasa.gov) y se graficó junto con el desarrollo gonadal para observar si existe relación entre la temperatura y la actividad reproductiva en *S. annulatus*.

RESULTADOS

La muestra completa comprende 1638 organismos correspondientes a los años 2014 y 2015 de los cuales sólo se pudieron analizar 1622 individuos, ya que algunas muestras se encontraban en mal estado, el tejido no se adhirió correctamente al portaobjetos, la muestra era muy pequeña o escasa para determinar el estadio o fase de la gónada, en lugar de tener un corte de gónada se encontró tejido que correspondía al intestino, etc. Una vez seleccionadas las muestras se separaron por año.

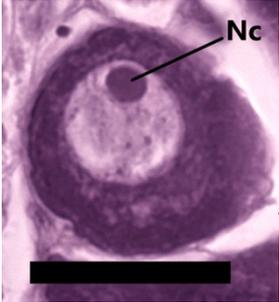
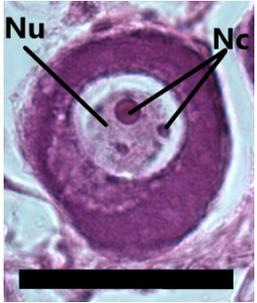
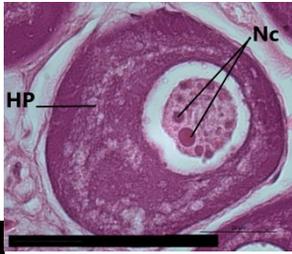
De 2014 se tienen 461 organismos de los cuales 233 son hembras y 228 son machos, mientras que en 2015 se obtuvo 1161 muestras de botete diana, 630 hembras y 531 machos. Las hembras representaron 53.2% de la población mientras que los machos 46.79% de las muestras totales. Los meses de mayor captura en 2014 fueron agosto, octubre y diciembre, mientras que en 2015 fueron marzo, mayo, julio, agosto y septiembre. En total, el mes de agosto fue en el que se colectaron más organismos.

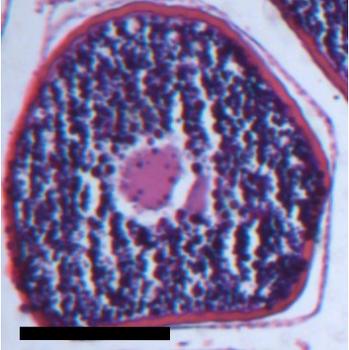
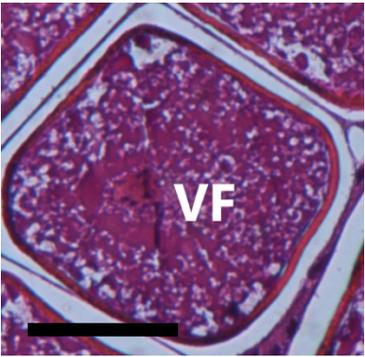
El intervalo de longitud general varió entre 8.1 y 44 cm. En 2014 las hembras colectadas tuvieron longitudes desde 9.2 hasta 40.5 cm y los machos de 9.0 hasta 39.5 cm. En 2015 las hembras presentaron longitudes de 8.1 hasta 44 cm y los machos de 8.1 hasta 42.5 cm, siendo las hembras las que presentaron intervalos más amplios de longitud (Error: Reference source not foundError: Reference source not found).

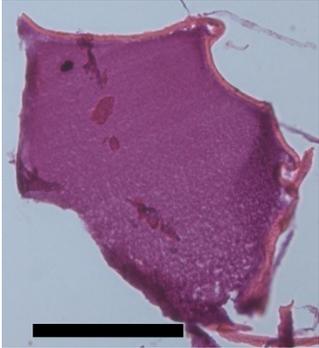
Estadios de desarrollo de los ovocitos

Se identificaron nueve estadios de desarrollo en los ovocitos de *S. annulatus*. Se hace la diferencia entre un estadio de desarrollo y una fase gonádica, ya que el estadio corresponde al estado en el cual se encuentra el ovocito y la fase se refiere al estado general de la gónada, incluyendo otras estructuras. La descripción de cada uno de estos estadios se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los estadios del desarrollo del ovocito de *Sphaeroides annulatus* basado en Wallace y Selman (1981) y Sánchez-Cárdenas (2007).

Estadio	Descripción	Imagen
Cromatina nucleolar	Ovocitos de tamaño pequeño, teñidos de color morado debido a que son basófilos, presentan un núcleo en el centro de la célula con un evidente nucléolo único. Barra = 20 μm . (Nc : nucléolo)	
Perinucleolar	El ovocito incrementó su tamaño, el núcleo presenta varios nucleolos dispuestos en la periferia. Barra = 40 μm . (Nc : nucléolo, Nu : núcleo)	
Alveolo Cortical	Ovocitos teñidos de color morado, presentan un halo periférico en el ovoplasma de pequeños gránulos. Se puede observar que el núcleo mantiene los nucléolos periféricos. Barra = 50 μm . (Nc : nucléolos, HP : halo periférico)	

<p>Vitelogénesis I</p>	<p>Se caracteriza por la presencia evidente de gránulos de vitelo sobre todo en la periferia del ovocito. El ovocito incrementa su tamaño, presenta una coloración rosada y se puede ver la zona radiata. Barra = 100 μm (GV: gránulos de vitelo, ZR: zona radiata)</p>	
<p>Vitelogénesis II</p>	<p>Los gránulos de vitelo son más abundantes, aunque todavía no abarcan todo el citoplasma. Se comienzan a formar gotas de vitelo que se tiñen de rosa, El núcleo va siendo menos evidente. Barra = 100 μm (GV: gránulos de vitelo)</p>	
<p>Vitelogénesis III</p>	<p>El ovocito presenta una coloración rosada, los gránulos inundan el ovoplasma lo que hace que el ovocito incremente su tamaño, al igual que la zona radiata que es más evidente. En esta etapa es difícil observar el núcleo de la célula. Barra = 200 μm</p>	
<p>Fusión de vitelo</p>	<p>En esta fase los gránulos de vitelo se fusionan haciendo que el ovocito sea de color rosado uniforme y puede presentar el núcleo central o comenzando a migrar. Barra = 300 μm (VF: vitelo fusionado)</p>	

<p>Núcleo migratorio</p>	<p>En este estadio, el ovocito está totalmente fusionado al vitelo, en el núcleo no se observan los nucleolos, el tamaño del ovocito está por alcanzar su máximo diámetro y el núcleo se encuentra en contacto con la pared celular. Barra = 500 μm (NM: núcleo migrado)</p>	 <p>A light micrograph showing a cross-section of an ovocyte. The nucleus is labeled 'NM' and is positioned against the inner cell wall. The cytoplasm is filled with granular material. A black scale bar is located at the bottom of the image.</p>
<p>Hidratación</p>	<p>El ovocito absorbe agua alcanzado su máximo diámetro. Está listo para ser expulsado. Barra = 500 μm.</p>	 <p>A light micrograph showing a hydrated ovocyte. The cell is significantly larger and more rounded than in the previous stage. The cytoplasm is dense and granular. A black scale bar is located at the bottom of the image.</p>

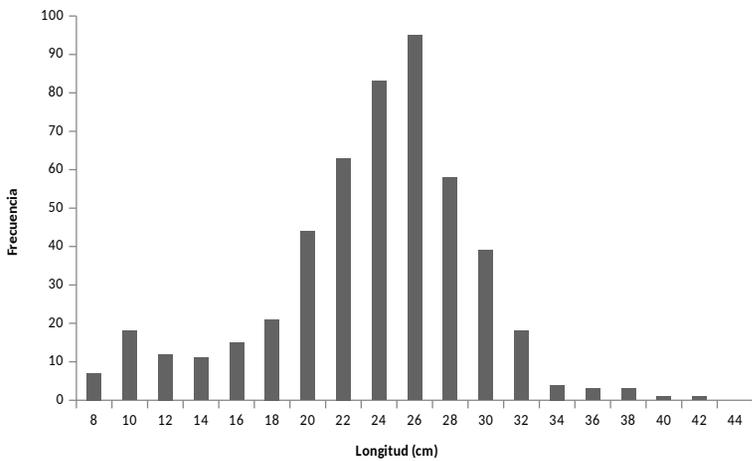
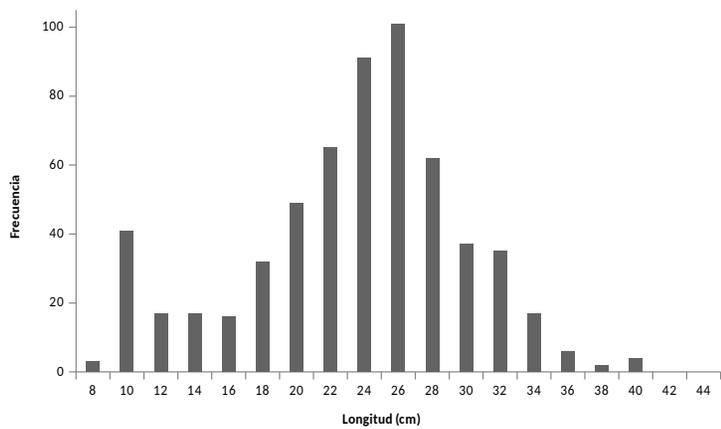
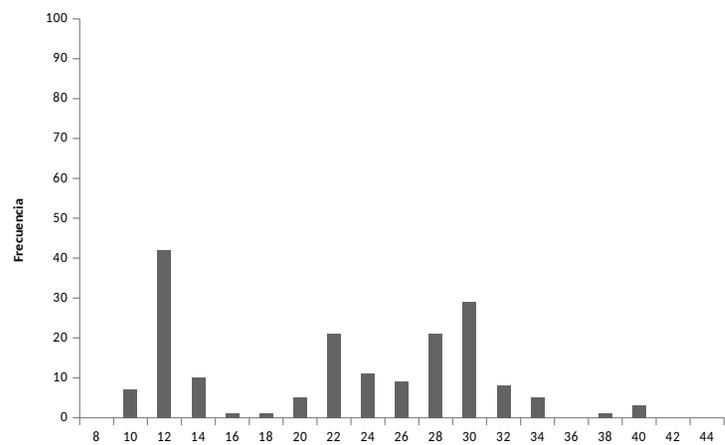
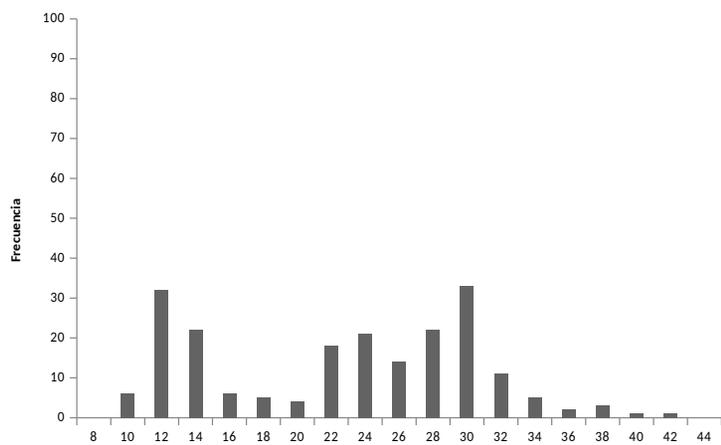


Fig. 7. Histograma de frecuencia absoluta de tallas (cm) de *Spherooides annulatus* por sexo y año. a) hembras 2014, b)

machos 2014, c) hembras 2015, d) machos 2015.

Diámetro de los ovocitos

Los diámetros de los ovocitos varió según el estadio en que se encontraban (Fig. 6). En la fase de crecimiento primario los ovocitos en cromatina nucleolar presentaron diámetros de 20 μm a 40 μm , los ovocitos en alveolo cortical, presentaron diámetros desde 22 μm hasta 72 μm , los que comenzaron la vitelogénesis variaron entre los 60 μm y 230 μm , durante la fase de desarrollo inicial se encontraron ovocitos en diferentes estadios, los diámetros variaron de 40 μm a 280 μm , los ovocitos en vitelogénesis III desde los 280 μm hasta 490 μm . Los ovocitos que se encontraron en fusión de vitelo presentaron casi los mismos tamaños de los que se encontraron en vitelogénesis III, ya que solo alcanzaron un máximo de 550 μm de diámetro. Los ovocitos que se encontraron en hidratación no se midieron debido a las deformaciones que presentaron por el mismo proceso histológico.

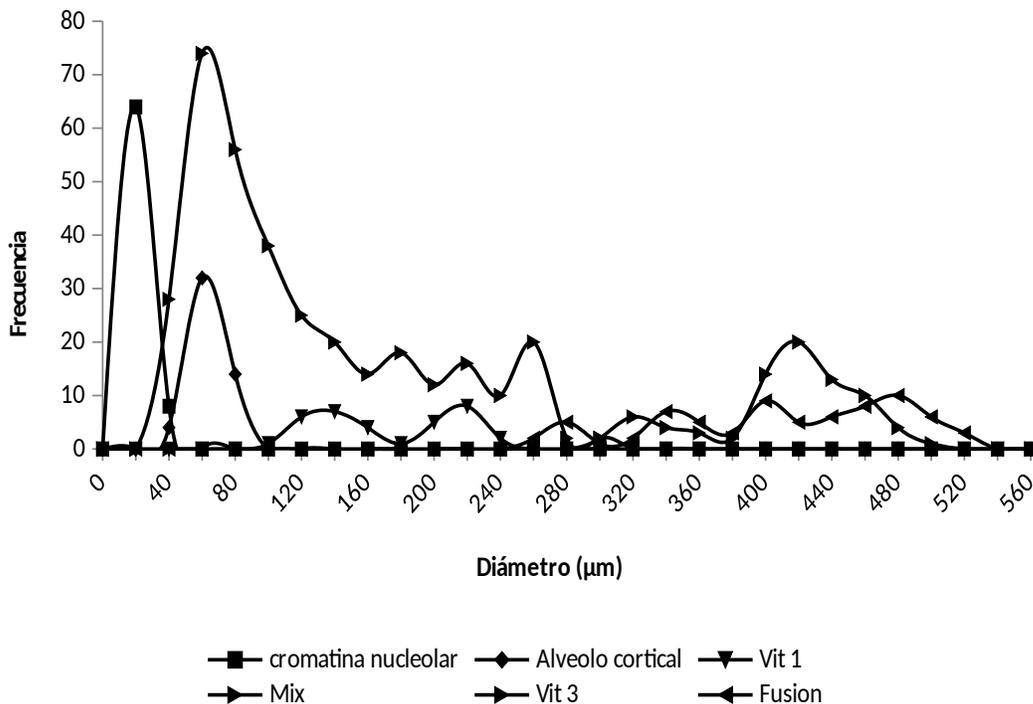


Fig. 6. Polígono de frecuencia absoluta del diámetro de los ovocitos, medidos en preparaciones histológicas, de *Sphaeroides annulatus* en diferentes estadios de desarrollo.

Fases gonádicas

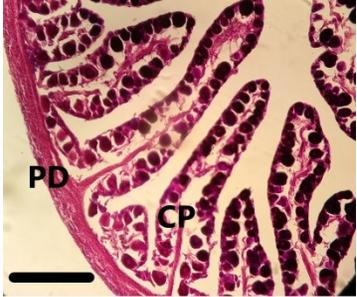
Se describieron seis fases de desarrollo gonadal para hembras, dentro de las cuales se proponen dos subfases en la fase de desarrollo: desarrollo inicial y desarrollo avanzado, basados en la observación del desarrollo de los ovocitos durante esta fase. La fase de desarrollo abarcó desde la aparición de gránulos de vitelo (vitelogénesis I) hasta la fusión total del vitelo (vitelogénesis III) pero durante el desarrollo inicial (subfase propuesta) se encontraron ovocitos en estadio de alveolo cortical, vitelogénesis I y vitelogénesis II (Fig. 7), por lo que el ovario era heterogéneo, hasta que todos los ovocitos maduraron y llegaron al mismo estadio (vitelogénesis III) se pudo decir que el desarrollo está concluido (desarrollo final) (Tabla 2).

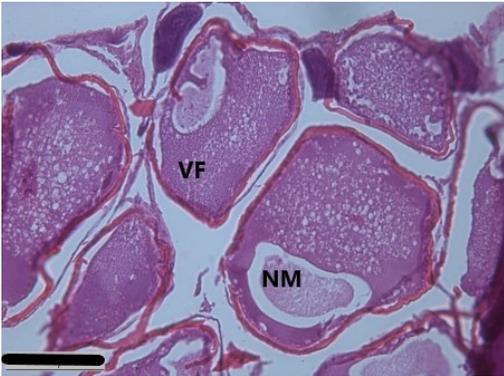
Los machos presentaron cuatro fases de desarrollo gonadal. Se observó desarrollo testicular asincrónico, ya que algunas partes de la gónada pueden estar desarrolladas con espermatozoides y espermátidas y otra parte con espermátidas (Tabla 3).

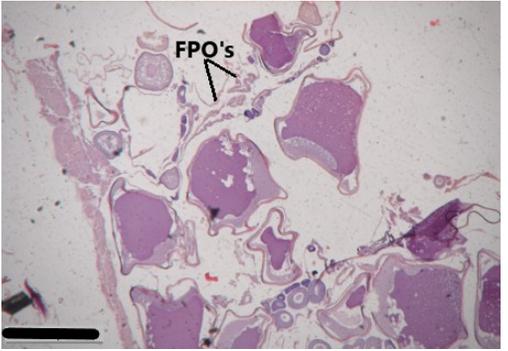
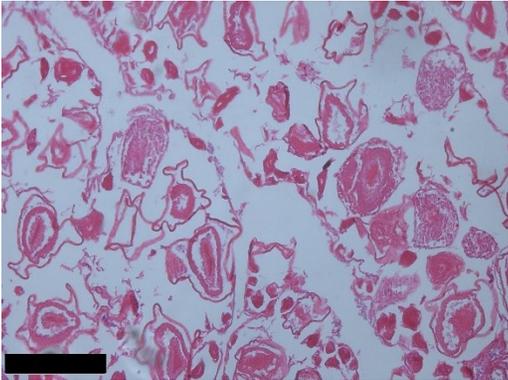
A partir de las fases de desarrollo de los ovocitos en el año 2014 se observó que los desoves fueron los meses de abril, julio, agosto y diciembre, para 2015 de mayo a octubre, siendo junio donde se presentó la mayor frecuencia de hembras desovando (Fig. 8).

A partir de las fases de desarrollo gonadal de los machos colectados en 2014 se observó que de abril a agosto se encontraban eyaculando, después cesó la actividad y se volvió a registrar en los meses de octubre y diciembre, para 2015 desde febrero hasta agosto y volvieron a presentar eyaculación en octubre y diciembre. Se pudo apreciar que la mayor representación de este evento fue en el mes de junio (Fig. 8). Durante 2014, los meses que las hembras presentaron desoves, los machos se encontraron eyaculando, lo que en teoría garantiza una fecundación. En 2015 mientras las hembras desovaban, los machos se encontraban en condiciones fisiológicamente adecuadas para eyacular y fecundar los ovocitos a excepción del mes de septiembre, donde no se registraron machos eyaculando.

Tabla 2. Descripción de las fases gonádicas de *Spherooides annulatus* con base en Brown-Peterson *et al.* (2011), Sánchez-Cárdenas (2005) y Díaz-Guevara (2009) incluye la propuesta de dos subfases.

Fase	Descripción	Imagen
<p>Inmaduro</p>	<p>Se caracteriza por tener una pared delgada (PD), los ovocitos se encuentran en la fase de crecimiento primario (CP) que incluye los estadios de cromatina nucleolar y perinucleolar, el tamaño del ovario es pequeño y las lamelas están firmes y el estroma es compacto. Barra = 500 μm</p>	
<p>Desarrollo</p>	<p>Desarrollo inicial: En esta fase comienza el desarrollo del ovario. Los ovocitos pasan de estar en perinucleolar a comenzar la producción de vitelogenina y formar gránulos de vitelo. Otra característica es que los ovocitos comienzan a crecer dispares lo cual permite encontrar una mezcla entre ovocitos en los estadios de perinucleolar, vitelogénesis I y II. La diferencia de tallas entre los ovocitos es evidente. La pared presenta un grosor medio y las lamelas y el estroma son compactos.</p> <p>Barra = 500 μm (P: pared, VI: Vitelogénesis 1, CP: crecimiento primario).</p>	

	<p>Desarrollo avanzado: Los ovocitos se encuentran en vitelogénesis III y el ovario se muestra con un desarrollo uniforme, encontrando una sola cohorte de ovocitos (a excepción de los no desarrollados que son escasos).</p> <p>Barra = 500 μm (P: pared, VIII: vitelogénesis 3, N: núcleo)</p>	
<p>Maduro</p>	<p>Los ovocitos se encuentran en fusión de vitelo, migración de núcleo e hidratación.</p> <p>El estroma se encuentra estirado, las lamelas son muy delgadas al igual que la pared.</p> <p>Barra = 100 μm. (VF: vitelo fusionado, NM: núcleo migrado)</p>	

<p>Desove</p>	<p>El estroma se encuentra flácido, las lamelas vacías o semi vacías, hay presencia de folículos post ovulatorios, ovocitos en atresia y ovocitos hifratados remanentes. Pared delgada y poco visible.</p> <p>Barra = 500 μm. (FPO's: folículos post ovulatorios)</p>	
<p>Reabsorción</p>	<p>Se caracteriza por presentar ovocitos poco definidos ya que comienza la desintegración de estos (atresias). Dependiendo del estado, se puede diferenciar o no el estadio anterior. Las lamelas se observan vacías y el tejido se desintegra para reabsorberse y reciclar la energía.</p> <p>Barra = 200 μm.</p>	

Reposo

Se caracteriza por presentar ovocitos en crecimiento primario, pero a diferencia del inmaduro, en esta fase el ovario presenta una pared gruesa, el ovario tiene un tamaño pequeño, el estroma compacto y se encuentran residuos de tejido conjuntivo entre las lamelas. Esta gónada está esperando las condiciones adecuadas para comenzar el ciclo de desarrollo.

Barra = 500 μm . (**PG**: pared gruesa, **TC**: tejido conjuntivo, **CP**: crecimiento primario)

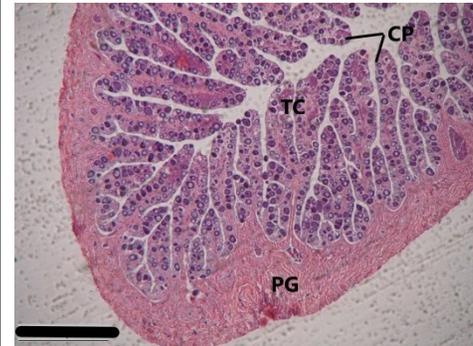
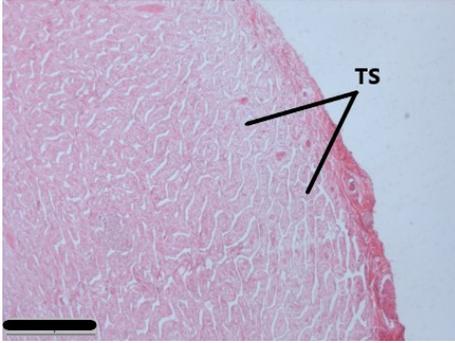
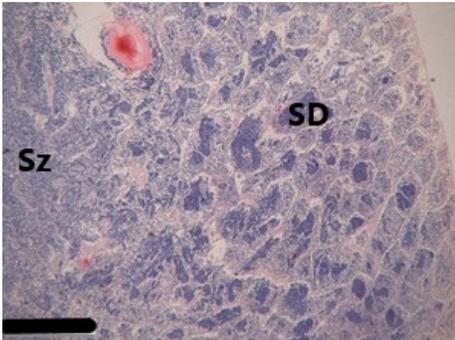
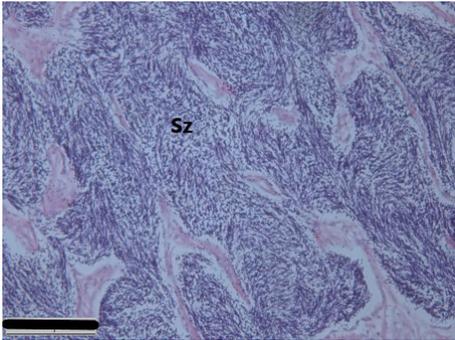
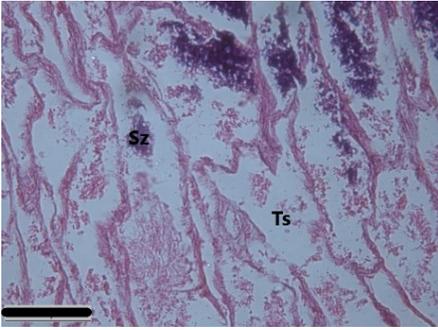


Tabla 3. Descripción de las fases de desarrollo testicular de *Spherooides annulatus* basados en Wallace y Selman (1981), Sánchez-Cárdenas (2007) y Díaz-Guevara (2009).

Fase	Descripción microscópica	Imagen
<p>Inmaduro</p>	<p>Testículos pequeños, teñidos de rosa (eosina), presencia de espermatogonias y espermatocitos primarios, se forman pequeños círculos. Los túbulos seminíferos están compactos.</p> <p>Barra = 500 μm. (TS: túbulo seminífero)</p>	
<p>Desarrollo</p>	<p>El tamaño de los testículos es mayor y se puede observar que se tiñe de rosa y morado, lo que indica que hay presencia de espermatocitos primarios, secundarios y espermatogonias. Se pueden encontrar espermatozoides pero no están en el espermiducto.</p> <p>Barra = 500 μm (SD: espermátidas, Sz: espermatozoides)</p>	
<p>Eyaculand o</p>	<p>Testículos turgentes, los espermatozoides se pueden observar en el lumen del lóbulo o en el espermiducto. Se pueden observar espermatocitos en desarrollo, y la agregación y liberación de espermatozoides.</p> <p>Barra = 100 μm. (Sz: espermatozoides)</p>	

<p>Eyaculado</p>	<p>Los testículos se tornan flácidos o irregulares, las paredes y los lóbulos o el lumen se encuentra flácido, remanentes de espermatozoides, espermatocitos y espermátidas pero no están activas.</p> <p>Barra = 100 μm. (Sz: espermatozoides, Ts: túbulo seminífero).</p>	
-------------------------	---	--

En 2014 las hembras desovadas de la zona sur se presentaron en los meses de abril, julio y diciembre, mientras que los machos de la zona sur se encontraban eyaculando en los meses de abril, mayo, julio y octubre. En 2015 las hembras desovadas de la zona centro se observaron en los meses de enero, mayo, junio y agosto, mientras que los machos eyaculando se registraron desde febrero hasta agosto y en octubre y diciembre (Fig. 8).

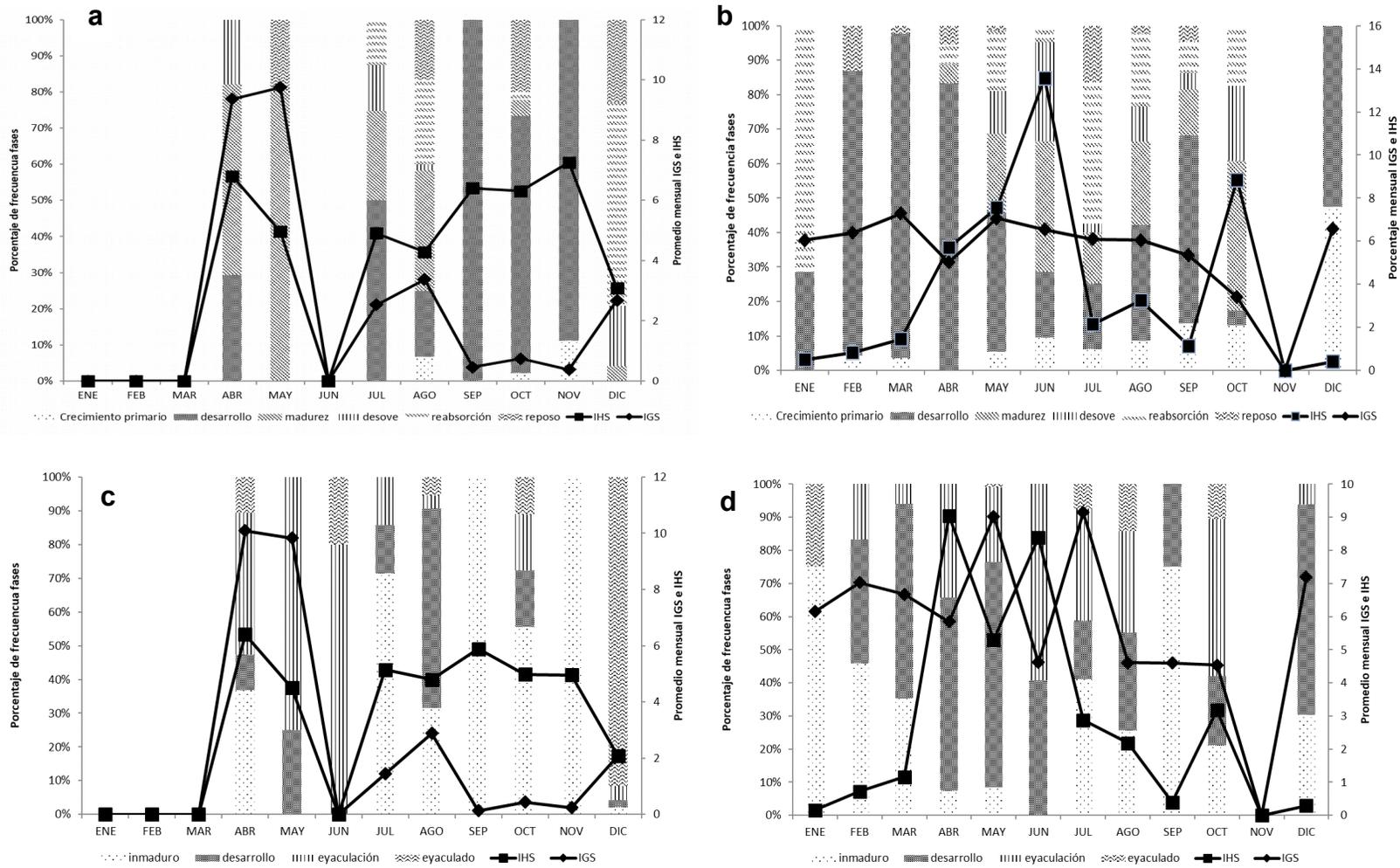


Fig. 7. Porcentaje de frecuencia de las fases de desarrollo gonádico y la variación promedio del IGS e IHS por sexo y año para *Spherooides annulatus* de la costa de Sinaloa. a) hembras 2014, b) hembras 2015, c) machos 2014, d) machos 2015.

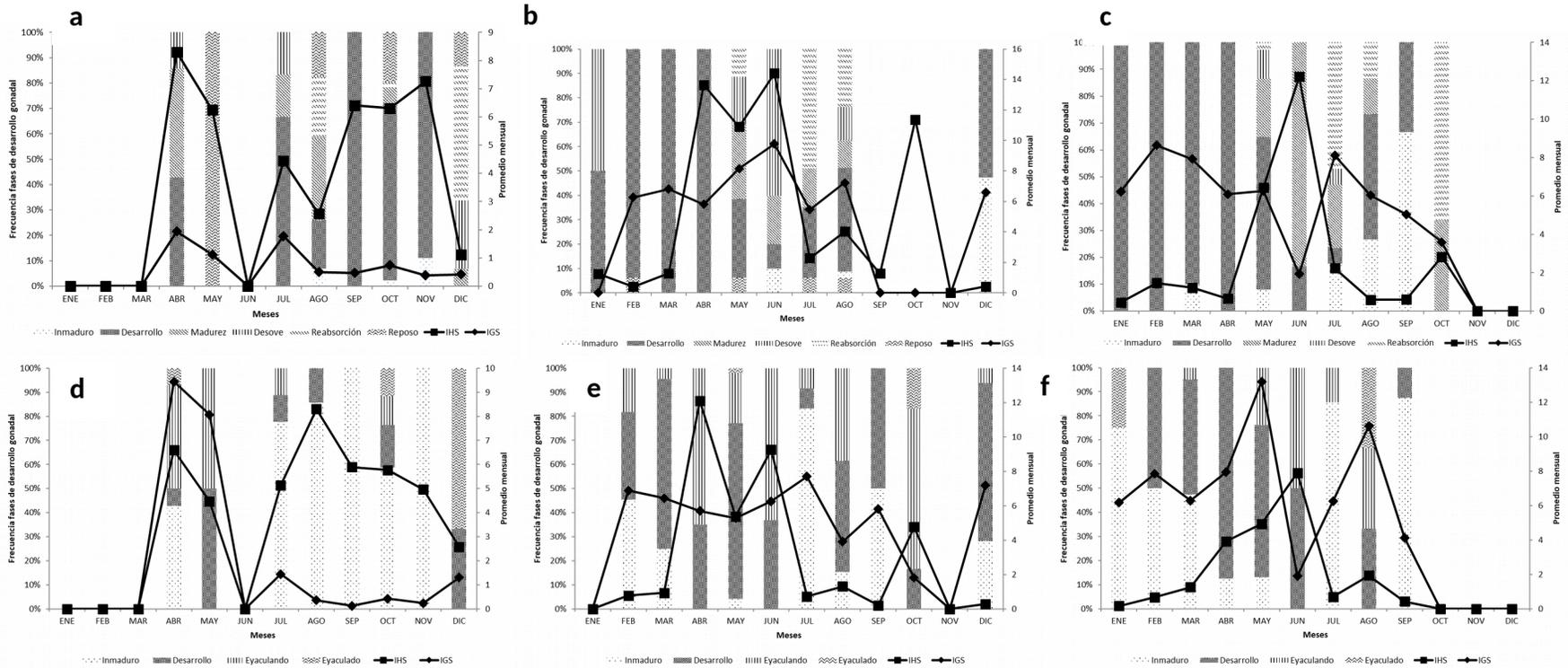


Fig. 8. Porcentaje de frecuencia de las fases de desarrollo gonádico en hembras y machos de *Sphaeroides annulatus* por año y zona de la costa de Sinaloa. a) hembras sur 2014, b) hembras centro 2015, c) hembras sur 2015, d) machos sur 2014, e) machos centro 2015, f) machos sur 2015.

Por último en 2015 las hembras desovadas de la zona sur se registraron los meses de mayo y julio, mientras que los machos eyaculando se observaron en el mes de marzo y desde mayo hasta agosto (Fig. 8Fig. 8). A continuación, se presenta una tabla comparativa con los meses de la temporada reproductiva de *S. annulatus* reportada por otros autores y los resultados por zona de este estudio (Tabla 4).

Tabla 4. Reportes sobre la temporada reproductiva del botete diana *Sphoeroides annulatus* por diferentes autores de diferentes localidades y años. Los cuadros negros representan los meses en que se reportó actividad reproductiva.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Sánchez-Cárdenas (2011) Hembras			■	■	■	■	■			■	■	
Sánchez-Cárdenas (2011) Machos												
Abdo de la Parra(2012)		■	■	■	■	■	■					
Valdez-Pineda (2014)					■	■	■	■	■		■	■
Díaz-Guevara(2009)					■	■	■	■				
Hembras Sur 2014				■	■	■	■	■	■	■		■
Machos Sur 2014					■	■	■	■		■		
Hembras Centro 2015	■					■	■	■				
Machos Centro 2015		■	■	■	■	■	■	■		■		■
Hembras Sur 2015						■	■	■				
Machos Sur 2015			■		■	■	■	■				

Índice gonadosomático

Para observar la relación que hay entre el IGS de hembras y machos, se graficaron los promedios mensuales, la mediana, mínimos, máximos y la desviación estándar de los dos años para ver si existía periodicidad en el evento. Se pudo observar que los promedios mensuales más altos durante 2014 se presentaron en los meses de abril y mayo, y otro ligero aumento en julio y agosto, mientras que en 2015 se presentó durante el periodo de abril a julio y se observó un segundo aumento en el mes de octubre. Los promedios generalmente presentaron el mismo comportamiento entre machos y hembras, pero no existe un patrón de repetición (Fig 9).

En la Fig 10 se observa la variación que hubo entre sexos y de un año a otro, en 2014 los machos y las hembras presentaron los valores máximos en abril, que es cuando se encontraban en reproducción. En 2015 los valores máximos se

presentaron en marzo, mayo, junio, julio y agosto, que son los meses donde la mayoría de los organismos se encontraban maduros.

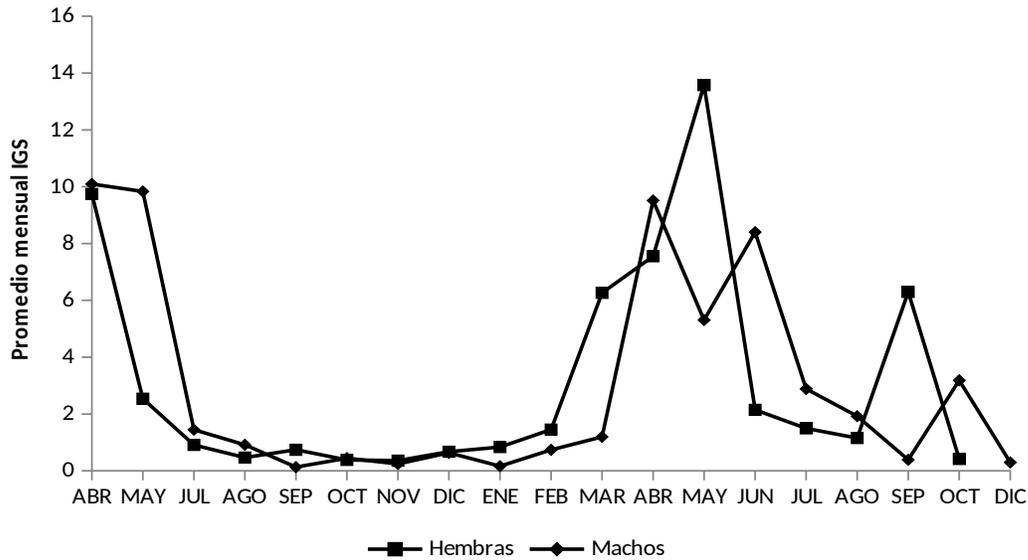


Fig 9. Comparación del promedio mensual del IGS para machos y hembras de *Spherooides annulatus* de la costa de Sinaloa en 2014 y 2015.

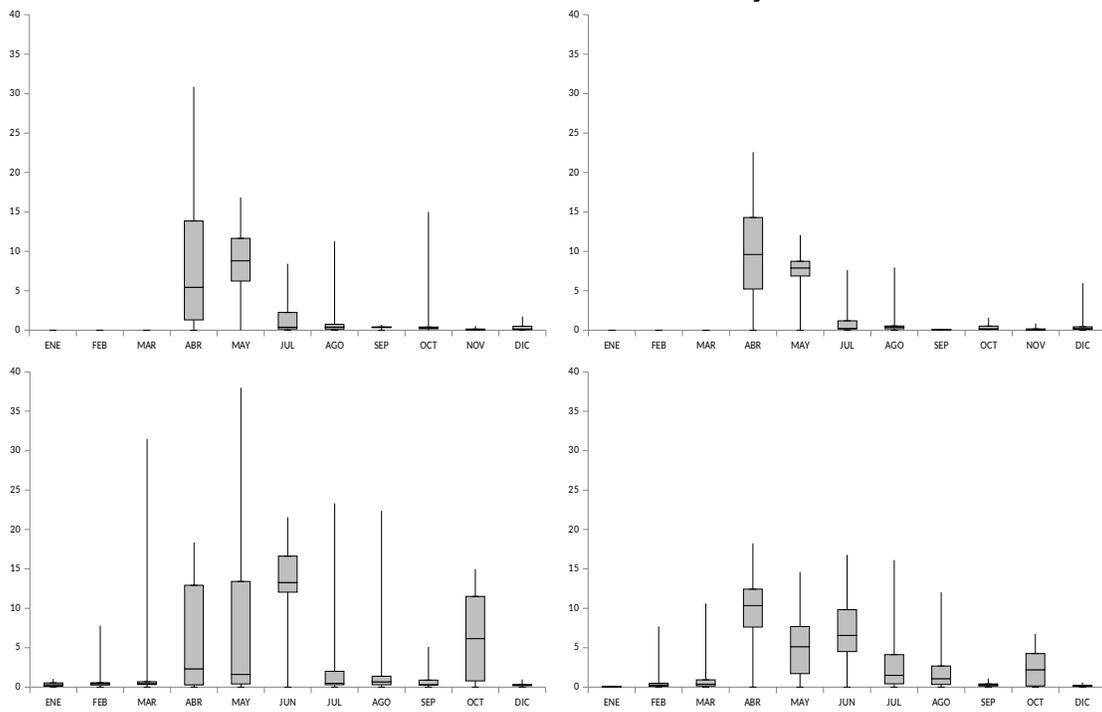


Fig 10. Diagrama de cajas para los datos mensuales del IGS de hembras y machos de *S. annulatus* en 2014 y 2015. Las cajas representan el primer y tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja es la mediana y los bigotes representan los valores máximos y mínimos del IGS. a) hembras 2014, b) machos 2014, c) hembras 2015, d) machos 2015.

Los valores del IGS por fase de desarrollo revelan que los valores más altos de este índice se encuentran en la fase de madurez y los machos durante la eyaculación. Los valores del IGS varían de una zona a otra debido al número de muestra (Fig. 11).

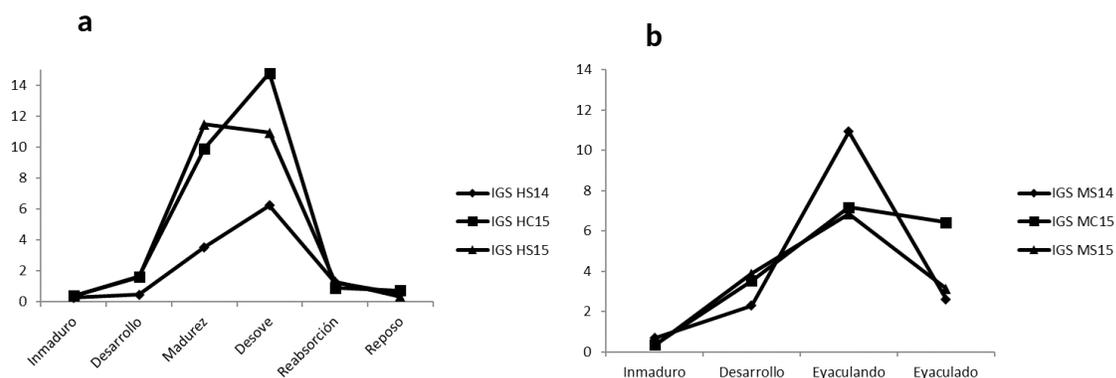


Fig. 11. Variación del IGS en hembras y machos por fase y zonas en 2014 y 2015. a) hembras, b) machos.

El IGS en el año 2014 presentó los valores mínimos debido a la falta de datos y que la mayoría de los individuos eran de tallas pequeñas. En 2015 se observó que las hembras y machos presentaron un aumento en los meses de febrero a junio, después llegó a la zona basal y volvió a tener un despunte de agosto a octubre en hembras y de septiembre a diciembre en los machos. Esto corresponde al desfase en la temporada reproductiva (Fig 14).

Índice Hepatosomático

El IHS presentó valores máximos de 7 y un mínimo de 2, se observó un comportamiento antagónico respecto al IGS, cuando éste se mantuvo bajo, el IHS se encontró dentro de sus valores máximos, mientras que en la época donde el IGS aumentó, el IHS tendió a disminuir y presentó sus valores mínimos (Fig. 12 Fig. 12).

En la se observan las variaciones mensuales por sexo y por año del IHS. Lo valores máximos para machos y hembras del 2014 se presentaron los meses de abril, agosto, septiembre, octubre y diciembre, que coincidieron con la temporada

de inactividad reproductiva, a excepción del mes de abril, donde el IGS también presentó los valores más altos. En 2015 los valores máximos se encontraron en marzo, mayo, julio, agosto y octubre, de los cuales sólo dos meses (marzo y octubre) se reflejó poca actividad reproductora.

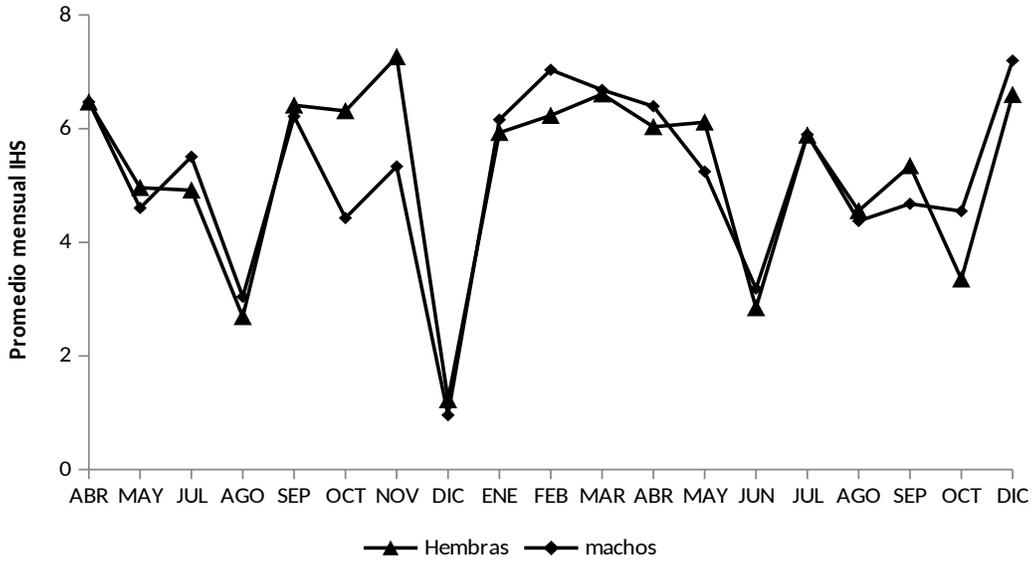


Fig. 12. Comparación del promedio mensual del IGS para machos y hembras de *Sphaeroides annulatus* de la costa de Sinaloa en 2014 y 2015.

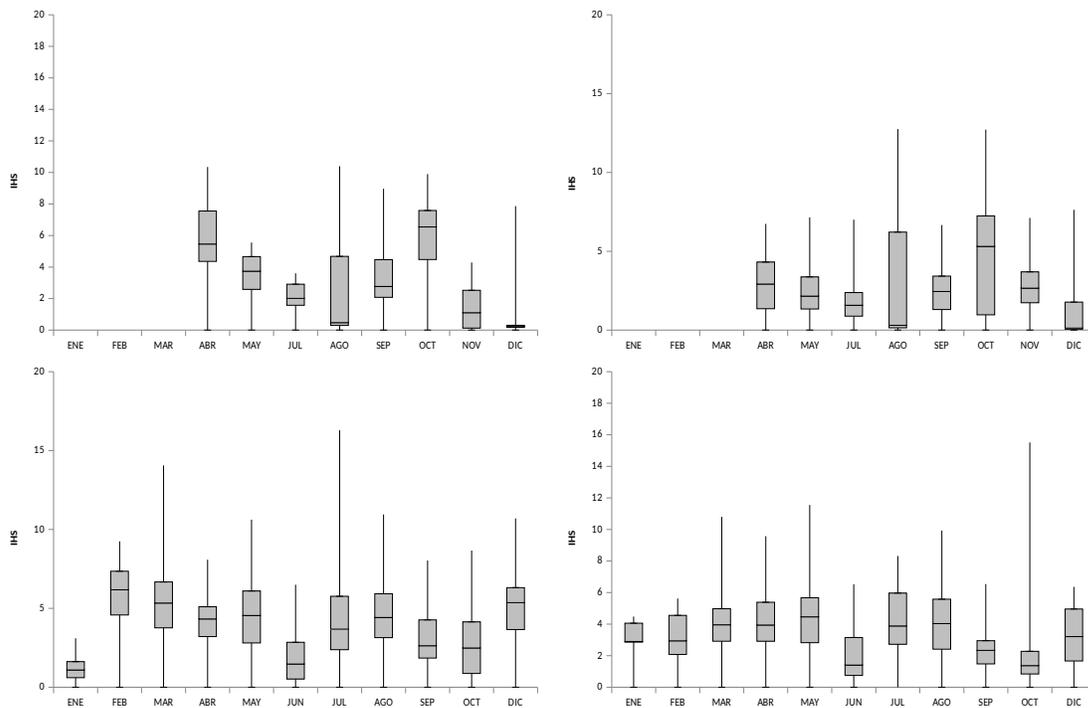


Fig. 13. Diagrama de cajas para los datos mensuales del IHS de hembras y machos de *Spherooides annulatus* en 2014 y 2015. Las cajas representan el primer y tercer cuartil, la línea horizontal dentro de la caja es la mediana y los bigotes representan los valores máximos y mínimos del IHS. a) hembras 2014, b) machos 2014, c) hembras 2015, d) machos 2015.

El IHS mantuvo durante los dos años valores similares durante los meses a excepción de diciembre en que no se tuvo registro y en 2015 en el mes junio se observó el descenso de este índice, que coincidió con el fin de la temporada reproductiva (Fig 14).

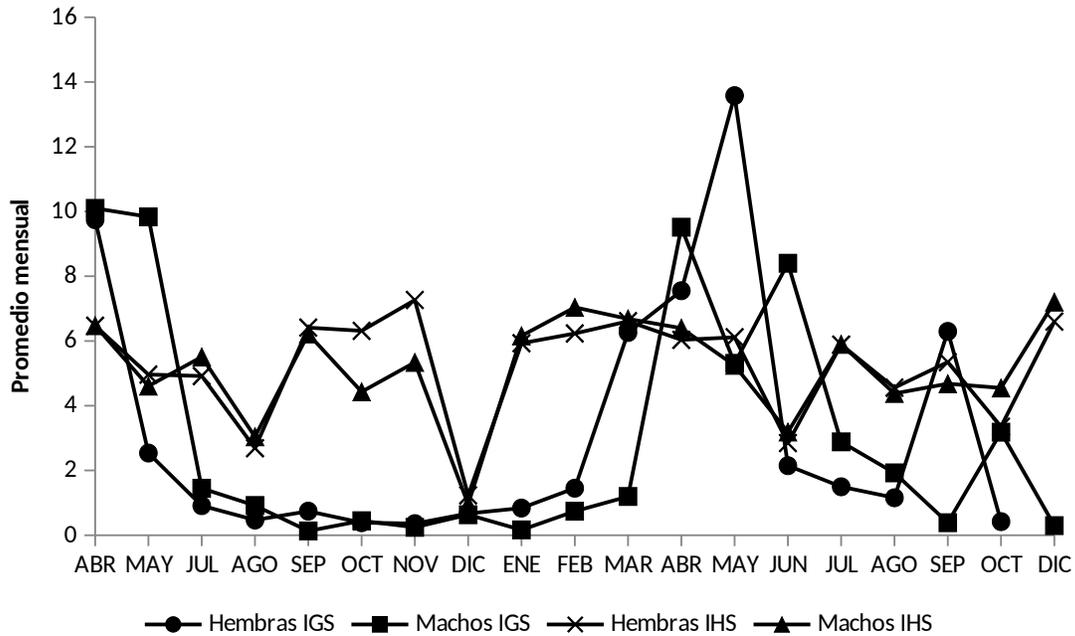


Fig 14. Comparación en los valores mensuales del IGS e IHS de *Spherooides annulatus* durante 2014 y 2015.

Proporción sexual

Se calculó la proporción sexual por mes y año. La hipótesis nula (H_0) plantea que no existen diferencias significativas en la proporción 1:1 entre machos y hembras colectados durante 2014 y 2015. La prueba de X^2 mostró en general que en 2014 no se encontraron diferencias significativas entre sexos ($X^2 \leq 0.15, p=0.07, g.l. 417$). Los meses que presentan diferencias significativas son junio ($X^2 \leq 7.36, p=0.01, g.l. 110$) y octubre ($X^2 = 9.62, p=0.00, g.l. 64$) con una proporción 1:10 y 1:0.4 respectivamente.

En 2015 el panorama cambia, ya que sí se encontraron diferencias significativas en la proporción de sexos 1:0.8 ($\chi^2 \hat{=} 10.32, p=0.00, g.l.1150$), por lo que se rechaza H_0 . Los meses que presentan diferencias significativas son mayo con una proporción machos:hembras de 1:1.4 ($\chi^2 \hat{=} 4.4, p=0.04, g.l.177$), julio con una proporción 1:0.6 ($\chi^2 =10.60, p=0.00, g.l.190$) y agosto con una proporción de 1:0.6 ($\chi^2 \hat{=} 44.80, p=0.00, g.l.279$) (Fig. 15).

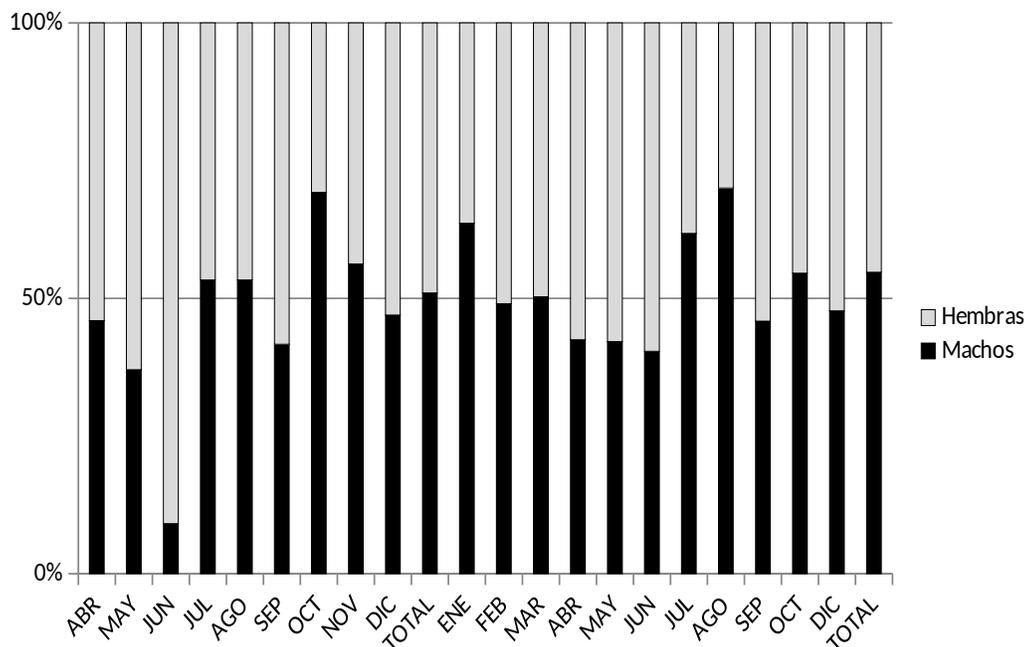


Fig. 15. Proporción sexual mensual y anual del *Spherooides annulatus* durante 2014 y 2015. Los asteriscos señalan los meses con diferencias significativas.

Los resultados de la prueba de χ^2 y de Z coincidieron ya que muestran que existen diferencias entre los mismos meses. En la Tabla 5 se encuentran los resultados de la prueba de Z.

Tabla 5. Prueba de Z para probar diferencias entre la proporción de sexos macho:hembra (M:H) mensual, anual y global.

2014	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total 2014
z	sd	sd	sd	0.493	1.347	2.714	0.258	0.730	0.577	3.101	0.500	0.653	0.391
p	sd	sd	sd	0.311	0.089	0.003	0.398	0.233	0.282	0.001	0.309	0.257	0.348
	sd	sd	sd	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
2015	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total 2015
z	0.905	0.140	0.075	1.287	2.099	1.387	3.256	6.693	0.577	0.603	sd	0.302	3.213
p	0.183	0.444	0.470	0.099	0.018	0.083	0.001	0.000	0.282	0.273	sd	0.382	0.001
	NS	NS	NS	NS	*	NS	*	*	NS	NS	sd	NS	*

Fecundidad

La longitud total (L_T) de los organismos varió desde los 10.4 cm hasta 44 cm, el peso total de 164 g hasta 2046 g. Algunas de las muestras tuvieron que ser contadas a mano debido a que el programa no detectaba los ovocitos a causa del estado avanzado de desarrollo o porque los ovocitos formaban cúmulos (Fig. 16).

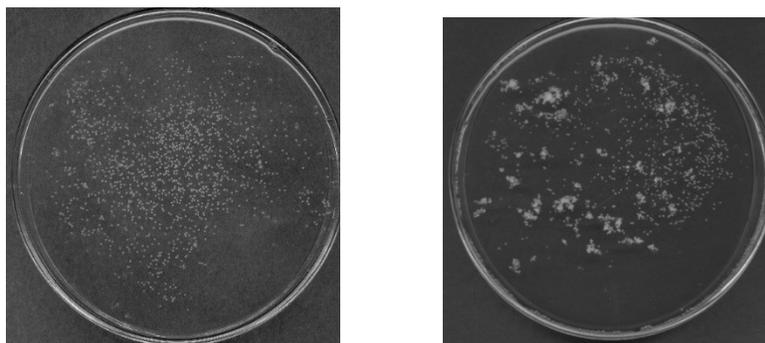


Fig. 16. Imágenes escaneadas de ovocitos maduros. Izquierda: ovocitos bien dispersos, sin aglutinación; Derecha: ovocitos aglutinados. Diámetro de caja Petri: 9 cm.

Los valores de fecundidad potencial anual varió de los 10 606 hasta 4 371 123 huevos por gónada. Las partes anterior, media y posterior presentaron conteos similares de ovocitos. La prueba de rangos no paramétrica de Fligner Killeen mostró que no existen diferencias significativas entre las densidades a lo largo de la gónada ($KF=1.17, df 2, p.value 0.55$) para una $\alpha=0.05$. La hipótesis nula (H_0) planteó que las medias de las tres zonas muestreadas son iguales (anterior, media y posterior) y la H_1 planteó que existen diferencias significativas entre las tres partes de la gónada (Fig. 17).

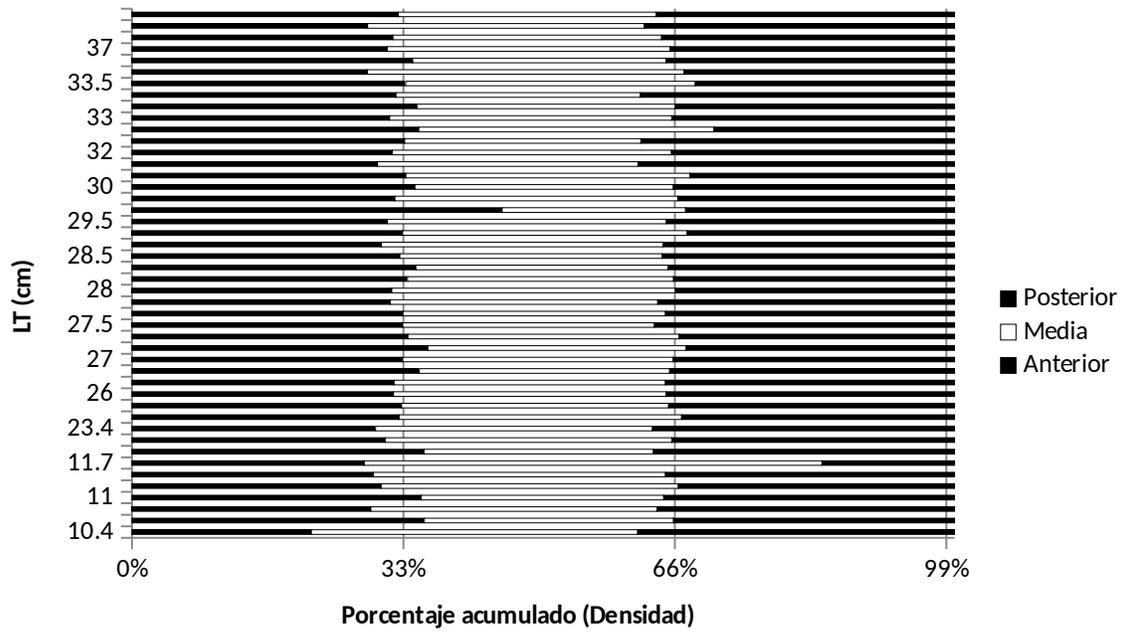


Fig. 17. Porcentaje de densidad de ovocitos por parte muestreada (anterior, media y posterior).

La relación del peso de gónada fijada vs fecundidad se ajustó a una regresión lineal $Fi=8968*PGfi+66520$ ($R^2=0.77$) donde se pudo observar que existe una relación proporcional entre la masa de la gónada y la fecundidad. Se observó la presencia de un dato aberrante (263.4 g, $Fi= 4\ 371\ 123$) (Fig. 18).

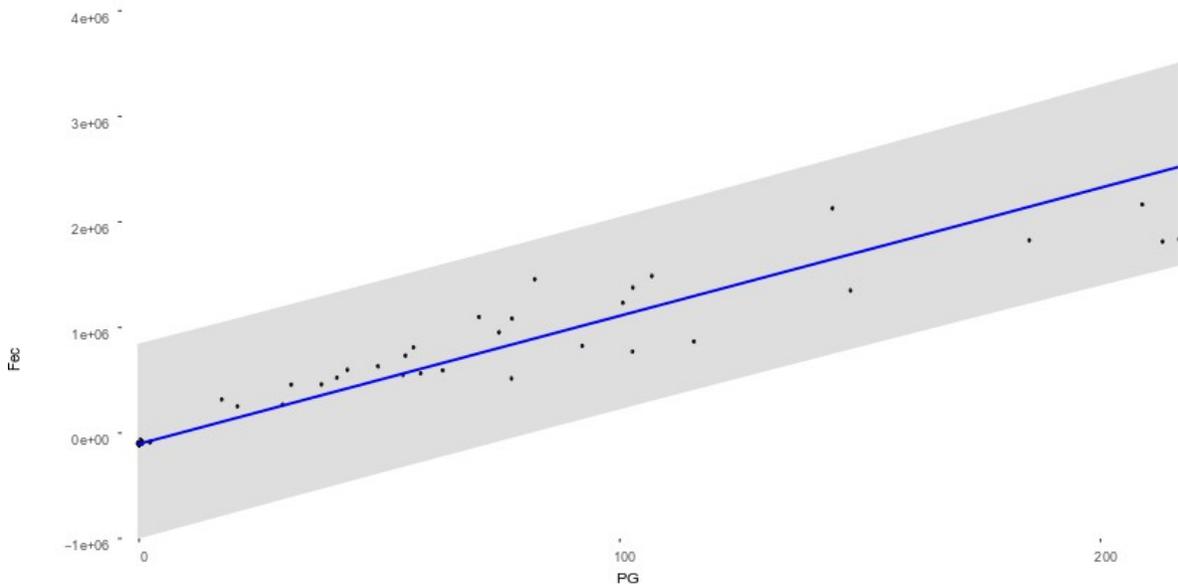


Fig. 18. Relación entre la fecundidad y el peso de la gónada fijada. Los puntos son los datos observados, la línea representa la relación lineal y la franja gris el intervalo de confianza de 95%.

La relación del peso total del organismo vs fecundidad se ajustó a una regresión lineal $F_i = 1967.1 * PG_{fi} - 373089$ ($R^2 = 0.83$) Se pudo observar que a mayor peso, mayor fecundidad y que los organismos maduros se encontraban desde pesos bajos. Se observó la presencia de un dato aberrante (1952 g, $F_i = 4\ 371\ 123$) (Fig. 19).

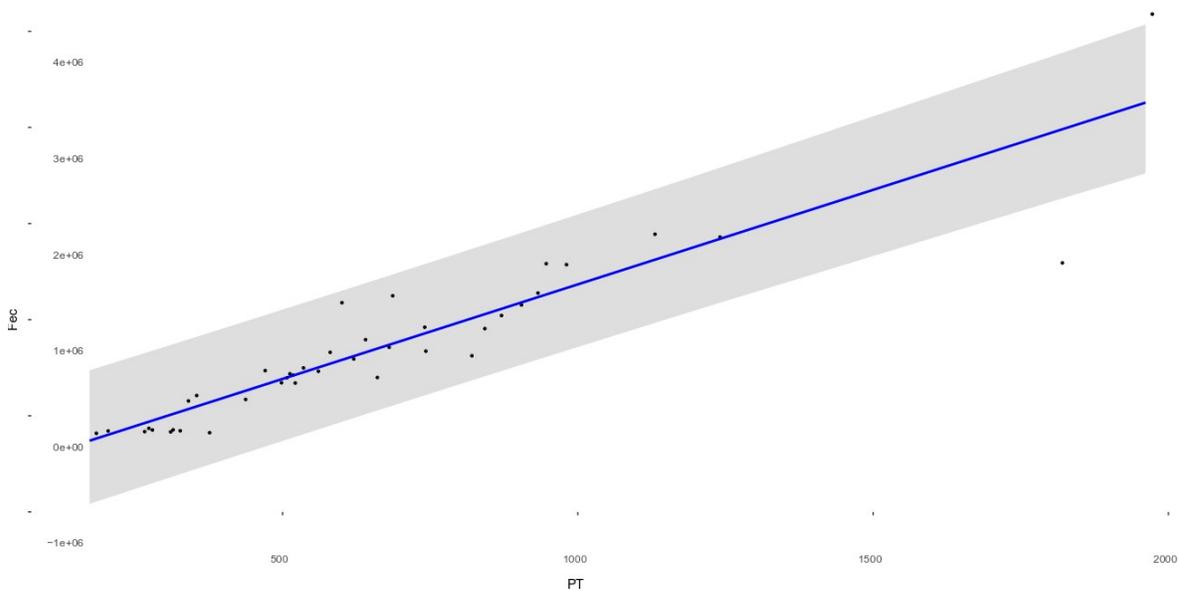


Fig. 19. Relación entre la fecundidad y el peso total del organismo. Los puntos son los datos observados, la línea representa la relación lineal y la franja gris ilustra el intervalo de confianza de 95%.

El valor de fecundidad potencial anual más bajo (10,606) se registró en un organismo de 21 cm \hat{L} y el más alto (4 371 123) en uno de 44 cm \hat{L} . Debido a que los datos entre 35 y 45 cm de \hat{L} no estuvieron bien representados, los modelos no presentaron un buen ajuste en cuanto a la asíntota superior. En el modelo logístico el valor de la asíntota es *c.a.* 2.8 veces el valor máximo observado, para Gompertz *c.a.* de 384 veces y para Weibull *c.a.* 129 (Tabla 6, Fig. 20).

Como una aproximación, se estimó el valor asintótico utilizando el valor máximo de fecundidad observado (F_{max}), y el valor de F_{max} multiplicado por 1.1 (suponiendo que el valor puede ser mayor en 10%). En todos los casos el ajuste pasa en medio de la nube de puntos observados, hasta 37 cm de l , el valor máximo es subestimado (Tabla 6, Fig. 20).

Tabla 6. Modelos sigmoideos ajustados a la relación longitud total (l) vs fecundidad (F). a , b y c son los parámetros del modelo. El subíndice en el modelo indica el factor por el que fue multiplicado el valor máximo de fecundidad (F_{max}) para estimar el valor asintótico (a).

Modelo	a	b	c	SSQ	AIC	a/F_{max}
Logístico	12188385	0.15	47.74	6.07E+12	11.6	2.8
Gompertz	1691395459	2.57	0.02	6.07E+12	773.6	383.8
Weibull	566332051	4.46	130.63	6.10E+12	263	128.5
Logístico ₁	4406590	0.23	36.89	6.96E+12	8	1
Logístico _{1.1}	4847249	0.21	37.71	6.67E+12	8.2	1.1
Gompertz ₁	4406590	4.19	0.12	8.25E+12	8	1
Gompertz _{1.1}	4847249	4.04	0.11	7.91E+12	8.2	1.1
Weibull ₁	4406590	6.28	39	6.76E+12	8	1
Weibull _{1.1}	4847249	6.08	40.08	6.56E+12	8.2	1.1

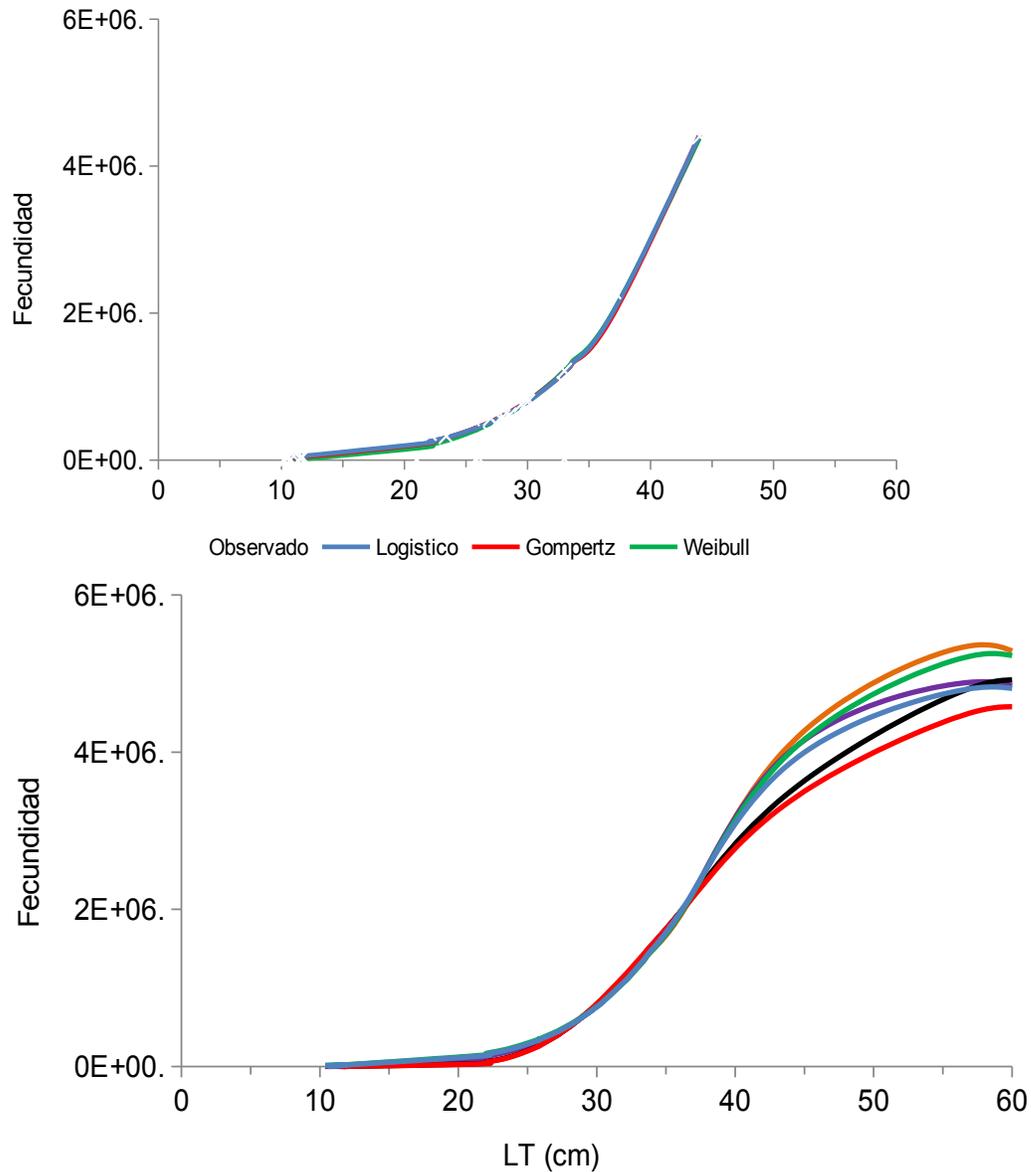


Fig. 20. Modelos sigmoideos ajustados a la relación longitud total vs Fecundidad (número de ovocitos). a) Ajuste de la asíntota superior, b) el subíndice indica el factor por el que se multiplicó el valor máximo observado de fecundidad para estimar el valor asíntótico; línea azul; Logístico 1.1, verde: logístico 1.2, naranja: Gompertz 1.1, negro: Gompertz 1.2, morado: Weibull 1.1, marrón: Weibull 1.2. Las equis representan los datos observados.-

Diámetro de los ovocitos

Los diámetros de ovocitos maduros (D_o) abarcaron un intervalo desde 363 μm hasta 656 μm . Los organismos maduros se encontraban entre los pesos de 164 g a 2,046 g. La relación del diámetro de los ovocitos respecto al PT se ajustó a una

curva polinómica de grado 2 $D_o = -0.0001 * PT^2 + 0.3067 PT + 405.61$ ($R^2 = 0.2803$) Se observó un dato aberrante (164 g, $D_o = 646$) (Fig. 21 Fig. 21 Fig. 21).

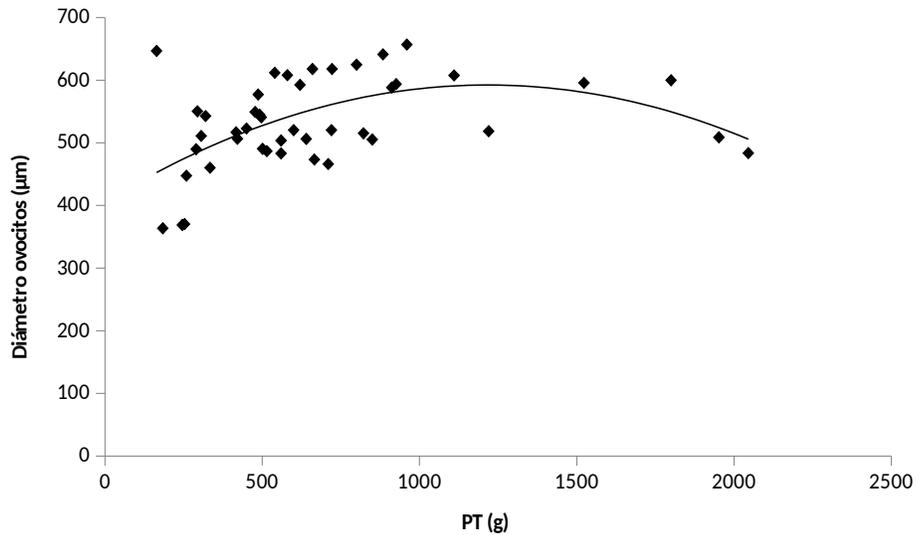


Fig. 21. Relación diámetro de los ovocitos maduros y el peso total del organismo.

La relación de la longitud total (L) del organismo respecto al diámetro de los ovocitos maduros (D_o) se ajustó a una regresión polinómica: $D_o = -0.2484 x^2 + 16.502 x + 287.7$ ($R^2 = 0.3757$) se observó que a partir de los 10.4 cm hay hembras con desarrollo avanzado (Fig. 22).

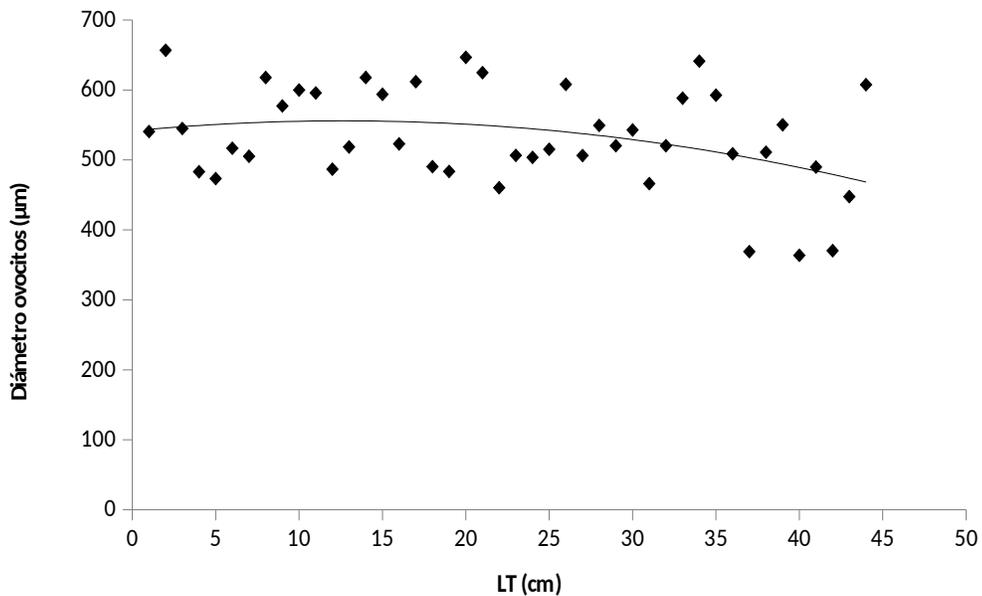


Fig. 22. Relación entre el diámetro de los ovocitos maduros y la longitud total del organismo.

La relación de la fecundidad respecto al diámetro de los ovocitos se ajustó a una regresión lineal $D_o = -2E-11x^2 + 0.0001x + 475.72$ (Fig. 23)

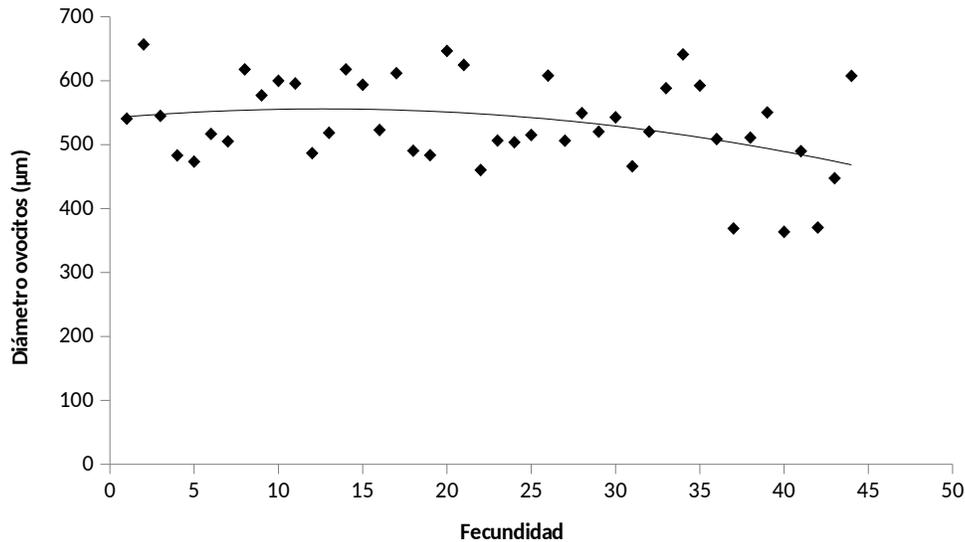


Fig. 23. Relación entre el diámetro de los ovocitos maduros y la fecundidad del organismo.

Longitud promedio de madurez L_{50} XE "Longitud promedio de madurez L_{50} "

Para el total de la muestra la longitud total de los organismos maduros varió de 9.5 a 44 cm con un promedio de 23.7 cm, de las hembras más pequeñas no se pudo recuperar la gónada debido a que primero se le realizó el proceso histológico y no quedó muestra suficiente para realizar pruebas de fecundidad. En 2014 las hembras maduras presentaron longitudes de 9.5 a 35 cm con un promedio de 21.3 cm, y en machos de 11.5 a 39 cm con un promedio de 28.6 cm. En 2015 las hembras maduras presentaron longitudes totales de 10 a 44 cm con un promedio de 23.6 cm, y en machos de 10 a 40.5 cm con un promedio de 24.6 cm.

Con el modelo de Gompertz para hembras en 2014 se calculó una $L_{50} = 12.2$ cm, para 2015 se estimó un valor de 18.8 cm. Los valores para machos en 2014 y 2015 fueron de 10.2 cm y 19.4 cm, respectivamente. El modelo de Punt para hembras en 2014 estimó una $L_{50} = 17.2$ cm, para 2015 se calculó un valor de 23.5 cm. Para machos en 2014 y 2015 los valores fueron 15.4 cm y 23.4 cm, respectivamente. El modelo de Weibull para hembras en 2014 estimó una $L_{50} =$

20.9 cm, para 2015 calculó un valor de 28.4 cm. Para machos en 2014 y 2015 los valores fueron de 19 cm y 28.5 cm, respectivamente. Los valores menores de AIC se registró en el modelo de Punt en todos los casos (Tabla 7).

En la Fig. 24 se encuentran los resultados del modelo de Gompertz para hembras y machos en 2014 y 2015, donde se observó que en hembras y machos del 2014 los datos al inicio se encuentran dentro de los intervalos de confianza, pero conforme va aumentando la longitud total de los organismos, los datos observados quedan fuera de los calculados y al final vuelven a entrar en los intervalos de confianza. En 2015 los primeros datos se encuentran dentro del intervalo de confianza y después se salen de los intervalos calculados.

En la Fig. 25 se encuentran los resultados del modelo de Punt para hembras y machos en 2014 y 2015. En este modelo los datos observados coinciden en un principio con los calculados, al llegar al punto de inflexión en 2014 se alejan de los calculados y vuelven a tocar los intervalos de confianza, en 2015 al inicio los datos observados están dentro de los calculados, después se salen y en el punto de inflexión vuelven a estar dentro, hasta que se alejan de los intervalos de confianza.

En la Fig. 26 se encuentran los resultados del modelo de Weibull para hembras y machos en 2014 y 2015. En 2014 los datos de hembras y machos sólo se encuentran dentro de los intervalos de confianza durante el inicio y el final, en 2015 los primeros datos están dentro de los intervalos de confianza, después se alejan y en el punto de inflexión entran pero se vuelven a alejar al final de la curva.

Tabla 7. Criterio de selección de Akaike (AIC) calculados para los modelos Gompertz, Punt y Weibull. Se incluye el valor de AIC y Δ_i .

Modelo	Hembras 2014			Machos 2014			Hembras 2015			Machos 2015		
	L_{50}	AIC	Δ_i	L_{50}	AIC	Δ_i	L_{50}	AIC	Δ_i	L_{50}	AIC	Δ_i
Gompertz	12.	101.		10.	102.		18.			19.	94.	
z	3	9	11.2	2	0	16.9	8	69.1	6.3	4	9	30.8
Punt	17.			15.			23.			23.	64.	
	3	90.6	0.0	5	85.0	0.0	6	62.8	0.0	4	1	0.0
Weibull	20.	106.		19.	100.		28.	105.		28.	68.	
	9	1	15.4	1	5	15.5	5	0	42.2	6	4	4.3

Los valores más bajos para la L_{50} los calculó el modelo de Gompertz, mientras que los valores más altos los presenta el modelo de Weibull, variando entre cada modelo entre 8 y 10 cm de diferencia.

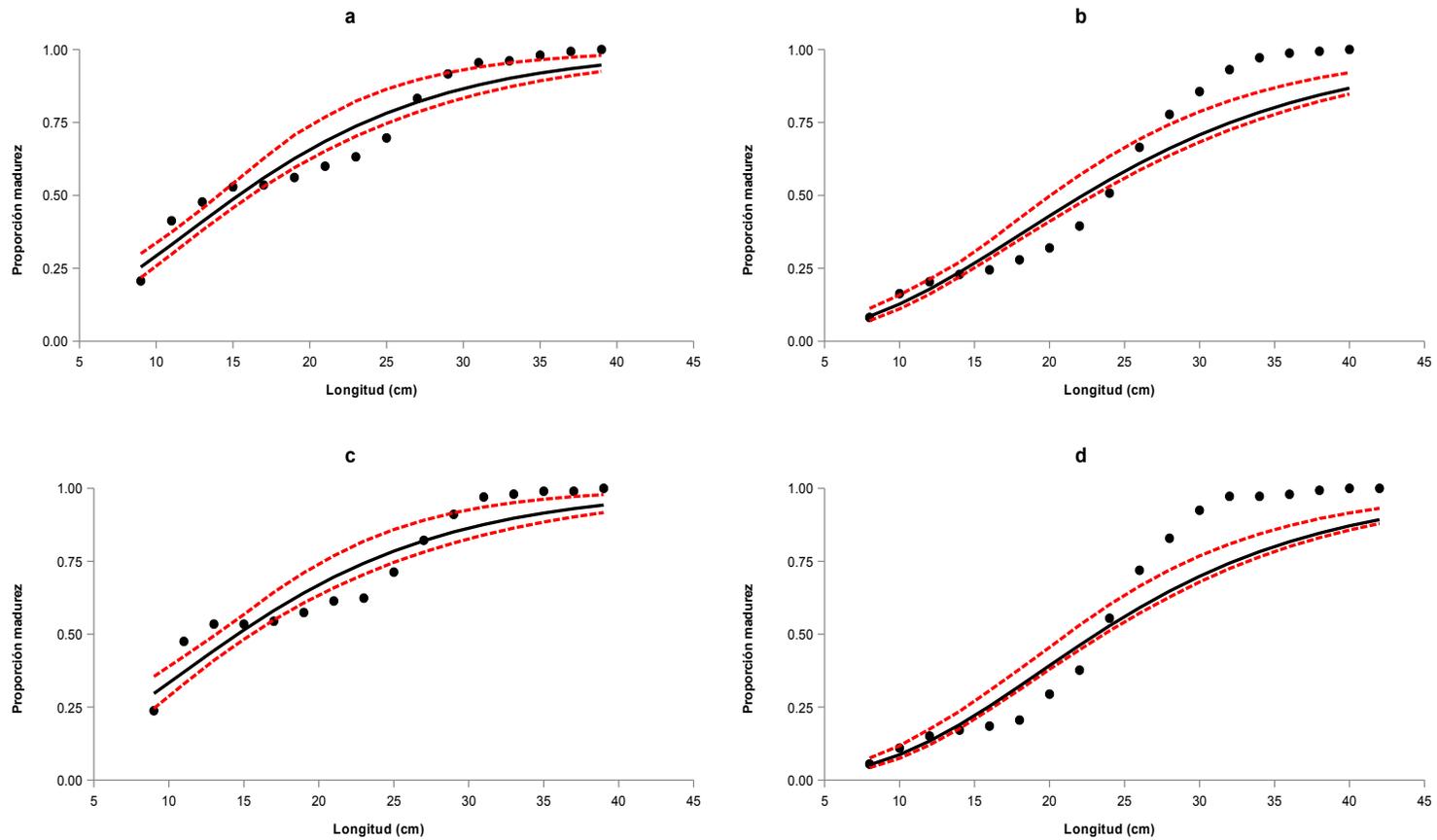


Fig. 24. Modelo de Gompertz para L_{50} de hembras y machos durante 2014 y 2015. a) hembras 2014, b) hembras 2015, c) machos 2014, d) machos 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.

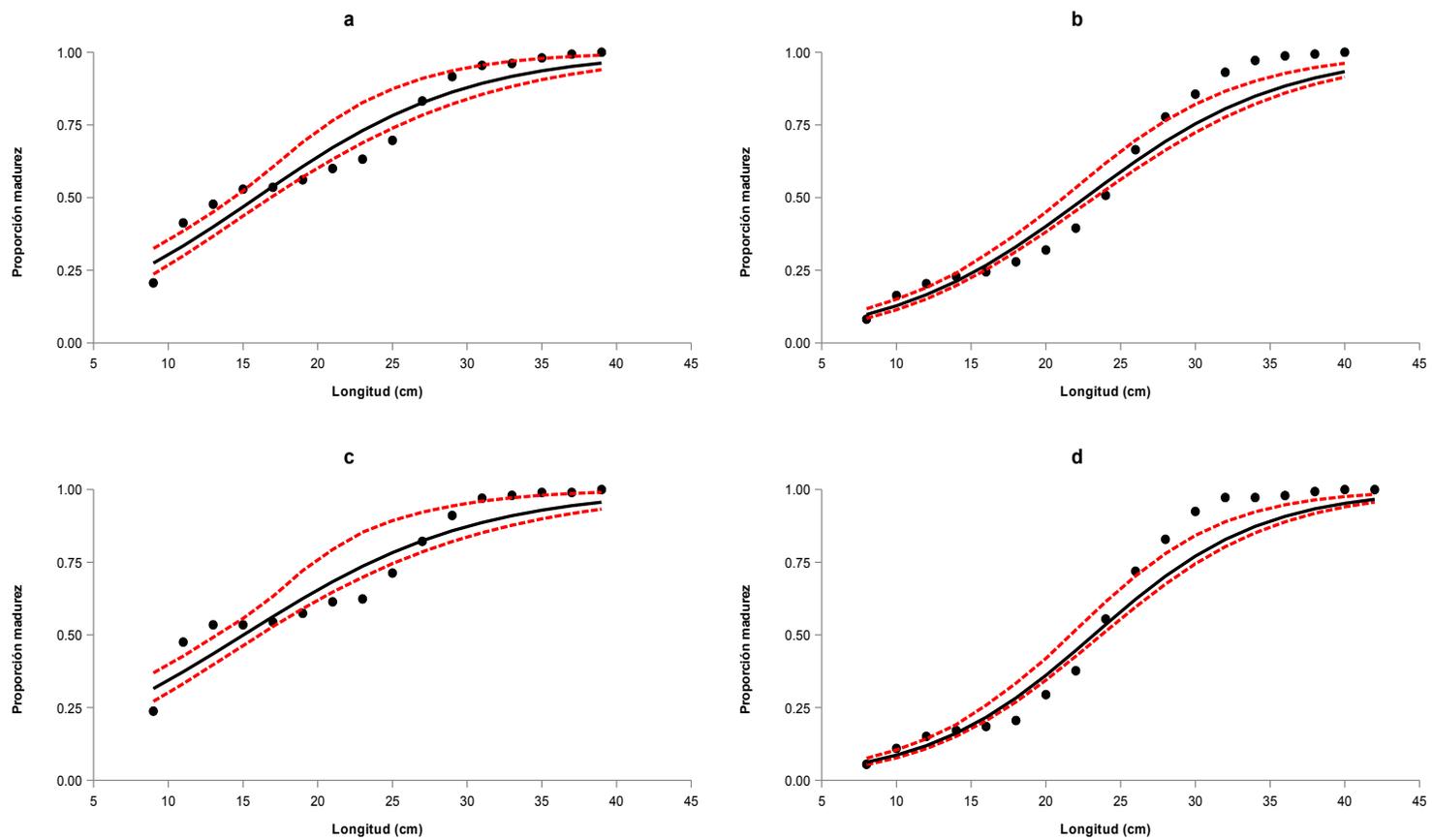


Fig. 25. Modelo de Punt para L_{50} de hembras y machos durante 2014 y 2015. a) hembras 2014, b) hembras 2015, c) machos 2014, d) machos 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%. -

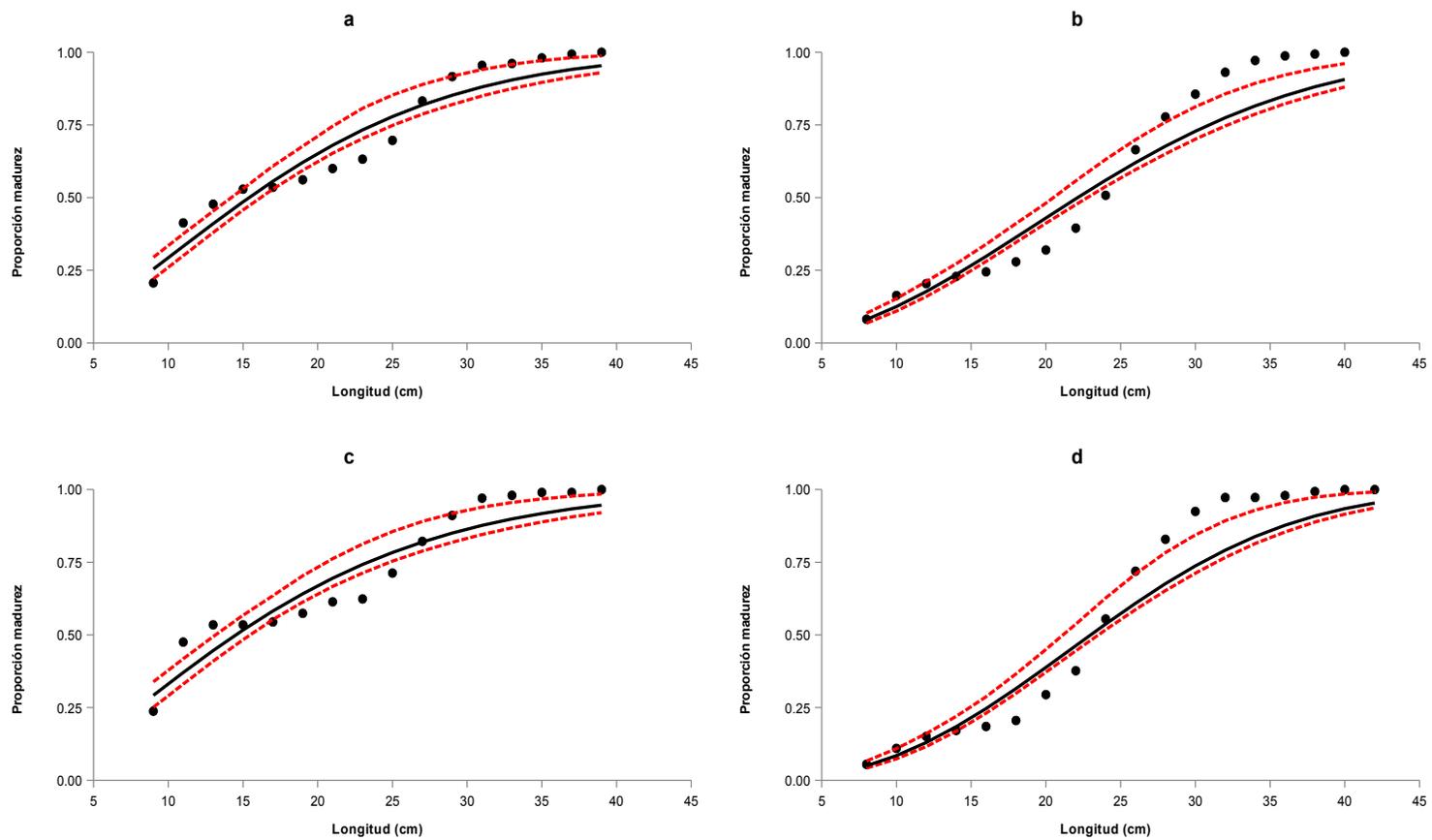


Fig. 26. Modelo de Weibull para L_{50} de hembras y machos durante 2014 y 2015. a) hembras 2014, b) hembras 2015, c) machos 2014, d) machos 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.-

Longitud promedio de madurez L_{50} por zona L_{50}

Debido a que no se pudieron muestrear todas las zonas todos los meses, se seleccionaron las zonas que presentan el mayor número de meses representados por año. En 2014 la mayoría de los datos se obtuvieron de Teacapán, al sur del estado de Sinaloa. En 2015 se muestreó con mayor frecuencia la zona norte, centro y sur del estado.

El modelo de Gompertz para las hembras de la zona sur en 2014 calculó una $L_{50} = 15$ cm mientras que para machos se calculó una longitud de 28.7 cm. Para las hembras de la zona centro en 2015 se calculó una longitud de 25 cm y de 22.4 en machos. Para hembras de la zona sur en 2015 se obtuvo una $L_{50} = 28.8$ cm y de 22.6 cm para machos. Para los machos de la zona norte en 2014 fue de 19.6 cm (Fig. 28, Fig. 28).

El modelo de Punt para hembras de la zona sur en 2014 calculó una L_{50} de 19.1 cm mientras que para machos fue de 29.5cm. Para hembras de la zona centro en 2015 se calculó una $L_{50} = 29.5$ cm mientras que para machos fue de 22 cm. Para hembras de la zona sur en 2015 se calculó una $L_{50} = 30.3$ cm mientras que para machos fue de 25.4 cm. Para los machos de la zona norte en 2015 fue de 18.6 cm (Fig. 29, Fig. 29).

El modelo de Weibull para hembras de la zona sur en 2014 calculó una $L_{50} = 22.7$ cm, mientras que para machos fue de 30.7 cm. Para hembras de la zona centro en 2015 se calculó una $L_{50} = 35.2$ cm mientras que para machos fue de 24.3 cm. Para hembras de la zona sur en 2015 se calculó una $L_{50} = 32.7$ cm mientras que para machos de 26.2 cm. Para los machos de la zona norte en 2015 fue de 24.8 cm (Fig. 31, Fig 32, Fig 32). Al igual que en el análisis general, en el análisis por zonas el modelo que calculó los valores mínimos de L_{50} fue Gompertz para hembras y machos.

El criterio de selección de Akaike (AIC) para hembras de 2015 reveló que el modelo de Gompertz es el que mejor se ajustó a los datos de las hembras de la zona centro y sur en 2015, mientras que Weibull fue el mejor modelo para las hembras de la zona sur en 2014 (Tabla 8).

El criterio de selección de Akaike (AIC) arrojó que el mejor modelo para calcular la L_{50} en machos de la zona norte en 2015 fue Weibull, mientras que para los machos de la zona centro y sur del mismo año, el modelo más acertado fue Gompertz (Error: Reference source not found).

Tabla 8. Criterio de selección de Akaike (AIC) calculados para los modelos Gompertz, Punt y Weibull con los datos de hembras de 2014 y 2015. Se incluye el valor de AIC y Δ_i .

	Hembras 2014			Hembras 2015					
	Sur			Sur			Centro		
	$L_{50\%}$	AIC	Δ_i	$L_{50\%}$	AIC	Δ_i	$L_{50\%}$	AIC	Δ_i
Gompertz	15	48.6	5.4	28.8	25.6	0	25	23.6	0
Punt	19.1	49	5.8	30.3	44.2	18.6	29.5	42.6	19
Weibull	22.7	43.2	0	32.7	33.8	8.2	35.2	29.4	5.8

Tabla 9. Criterio de selección de Akaike (AIC) calculados para los modelos Gompertz, Punt y Weibull con los datos de machos de la zona norte, centro y sur en 2015. Se incluye el valor de AIC y Δ_i .

Modelo	Machos 2015								
	Norte			Centro			Sur		
	$L_{50\%}$	AIC	Δ_i	$L_{50\%}$	AIC	Δ_i	$L_{50\%}$	AIC	Δ_i
Gompertz	19.6	27.7	4.5	22.4	26.3	0.0	22.6	28.4	0.0
Punt	18.6	42.0	18.8	22.0	48.1	21.8	25.4	38.1	9.6
Weibull	24.8	23.2	0.0	24.3	43.7	17.4	26.2	46.5	18.1

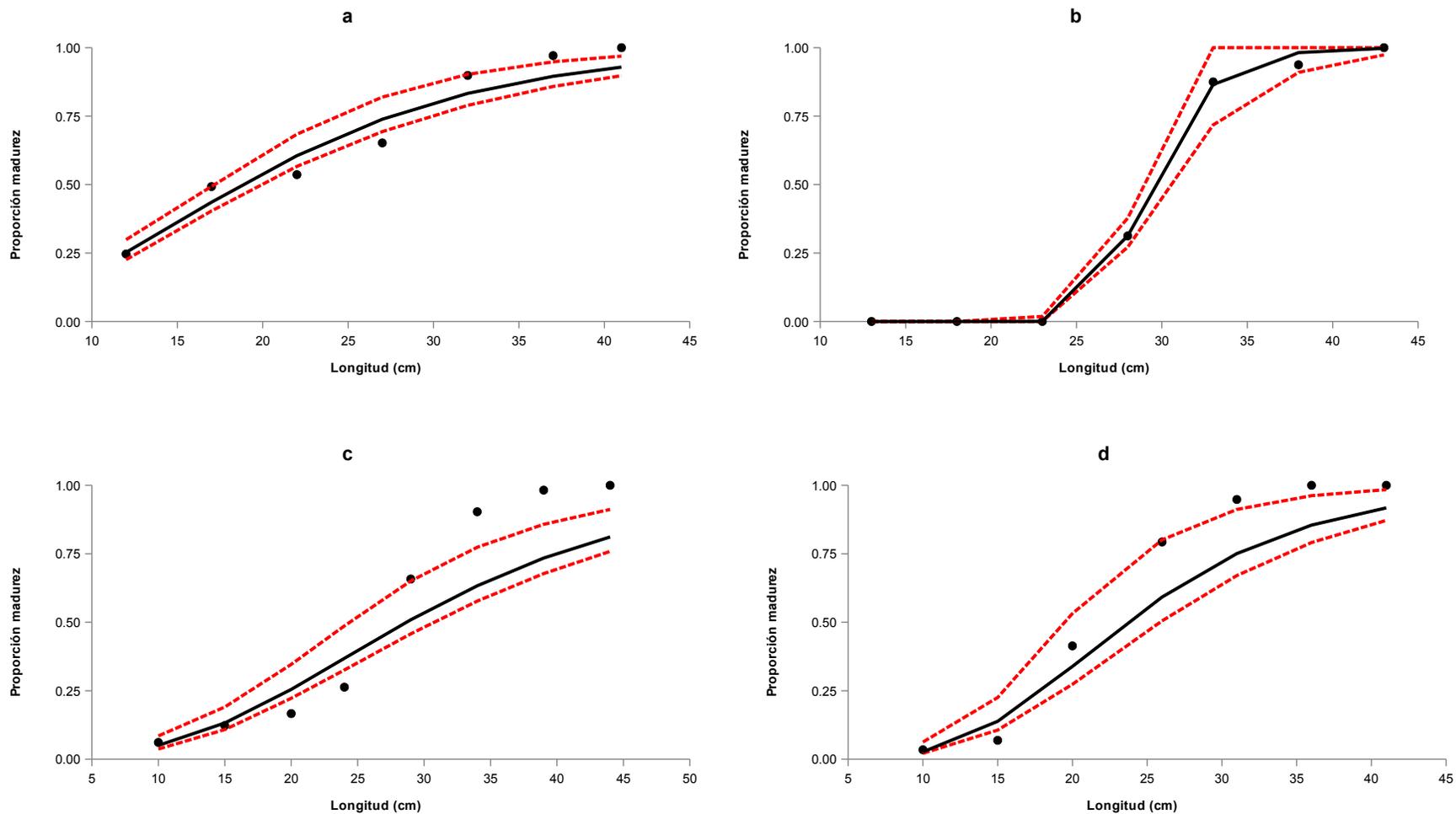


Fig. 27. Modelo de Gompertz para L_{50} de hembras y machos de la zona sur 2014 y centro 2015. a) hembras sur 2014, b) machos sur 2014, c) hembras centro 2015, d) machos centro 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.

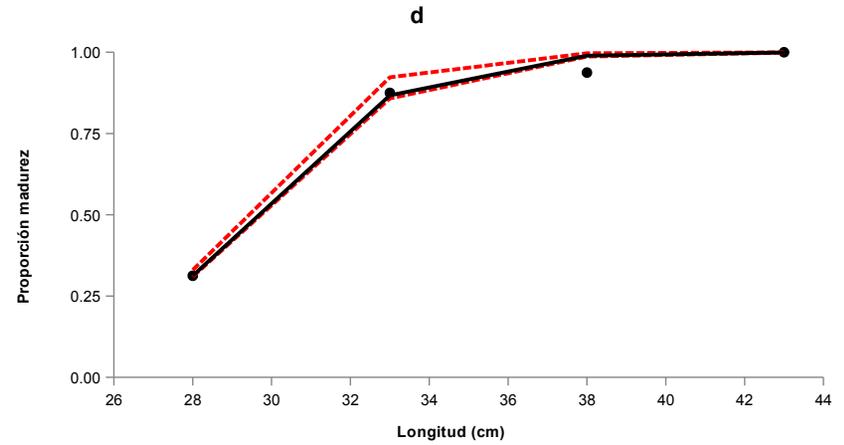
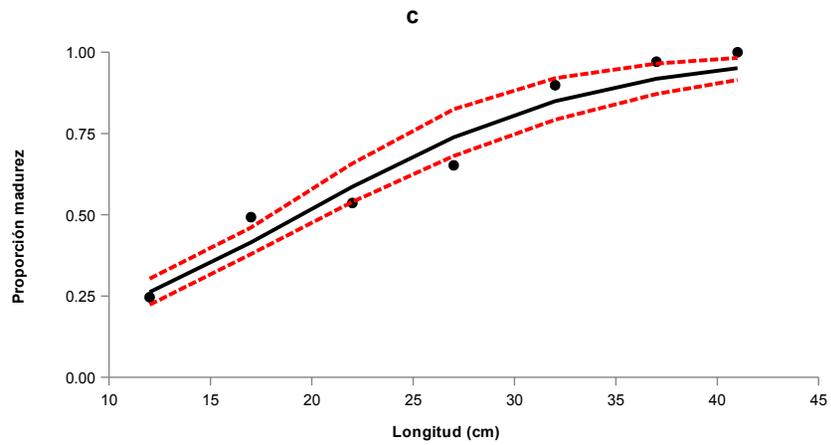
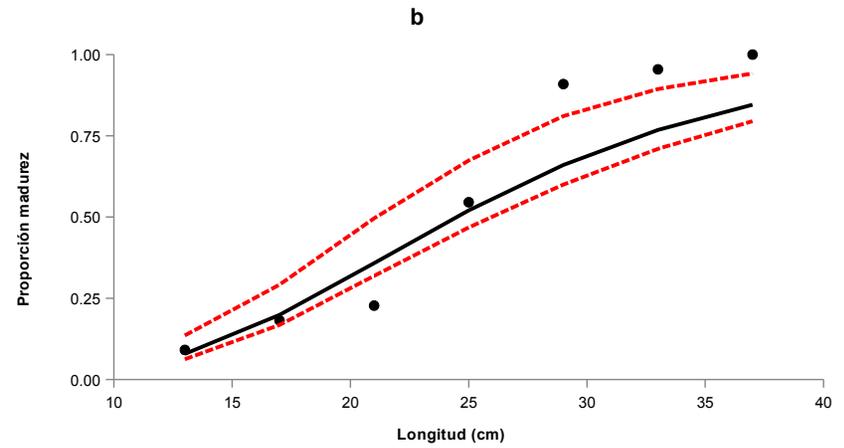
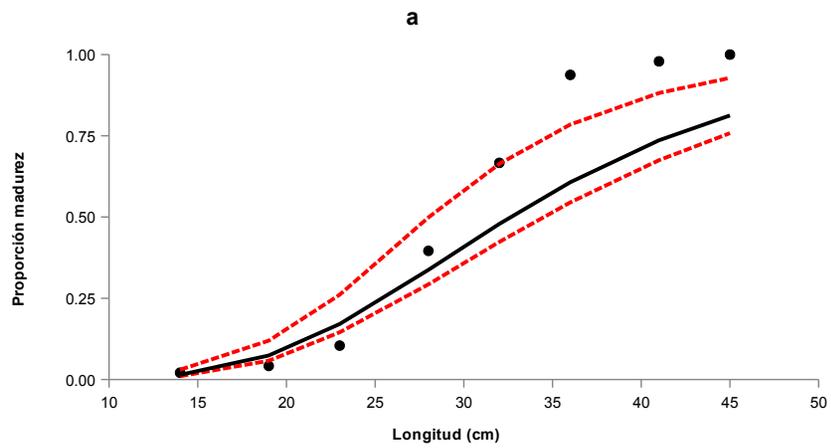


Fig. 28. Modelo de Gompertz para L_{50} de hembras y machos de la zona sur 2015. Modelo de Punt para hembras de la zona sur 2014. a) hembras sur 2015, b) machos sur 2015, c) hembras sur 2014, d) machos sur 2014. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.

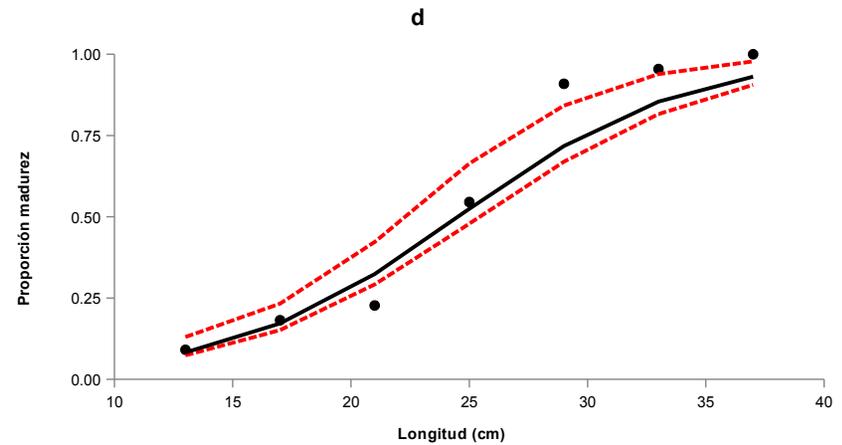
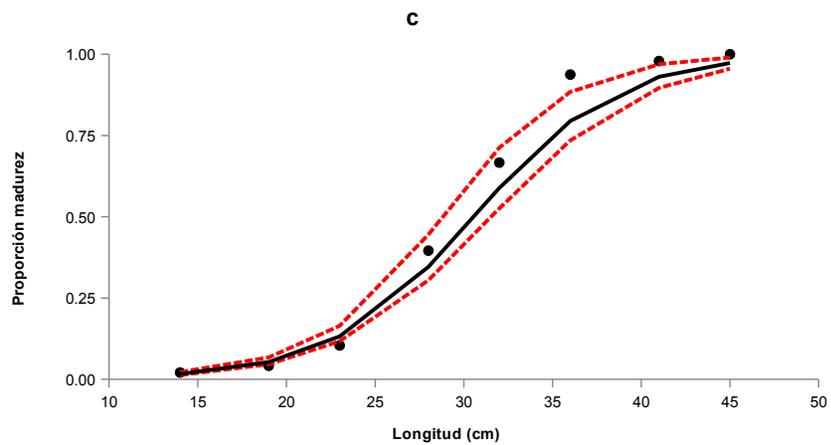
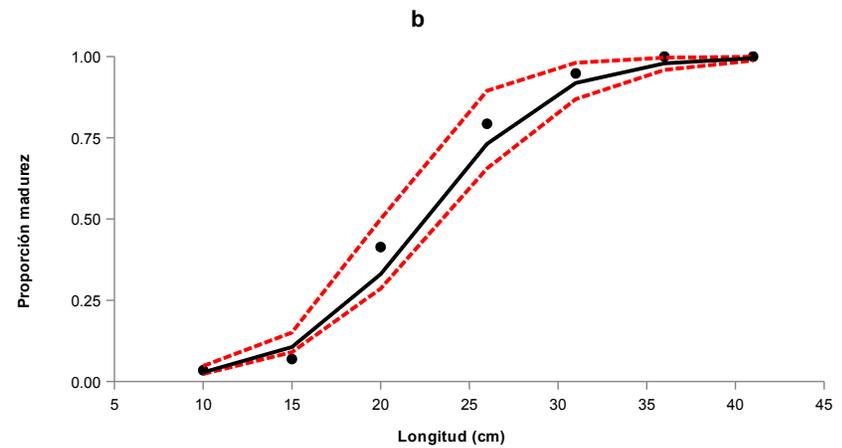
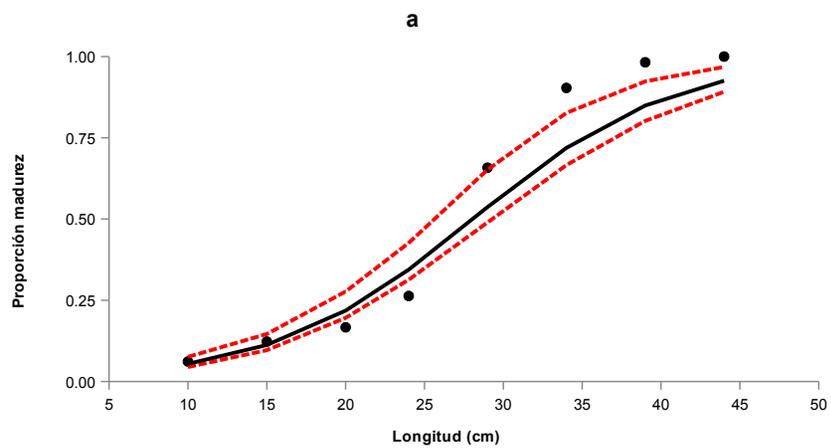


Fig. 29. Modelo de Punt para L_{50} de hembras de la zona centro y sur 2015. a) hembras centro 2015, b) machos centro 2015, c) hembras sur 2015, d) machos sur 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.

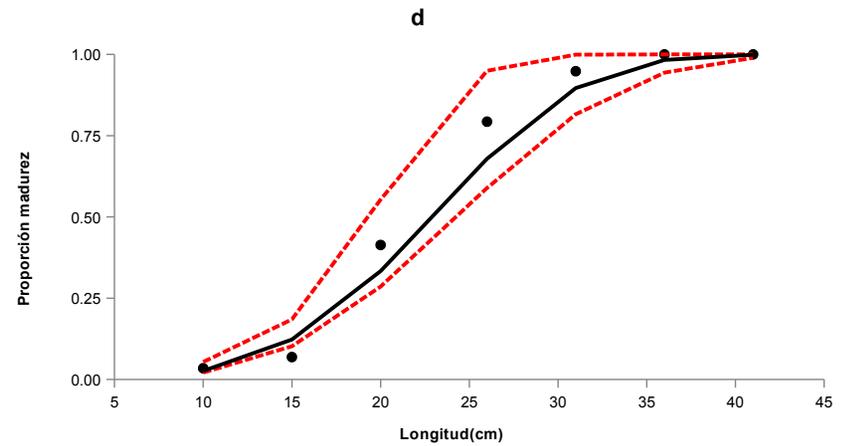
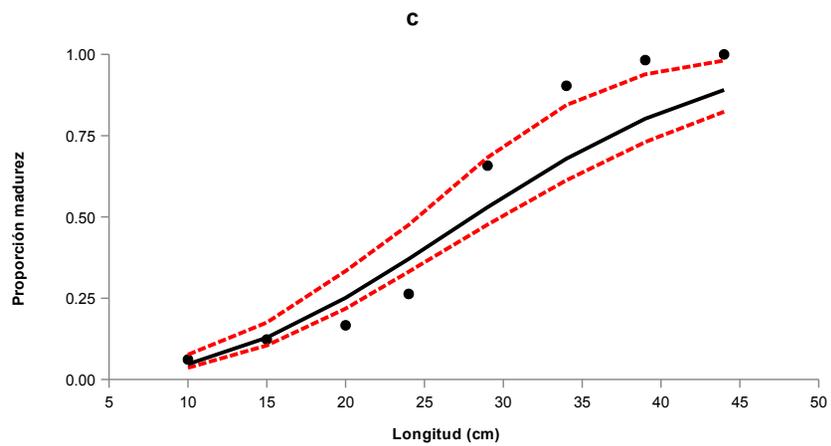
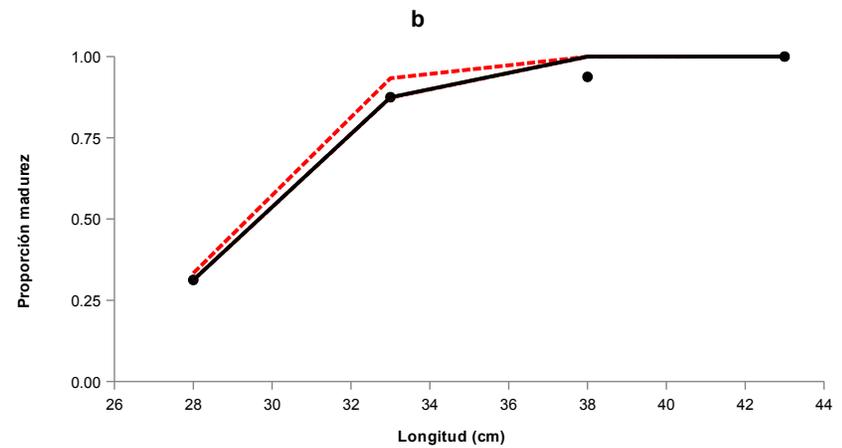
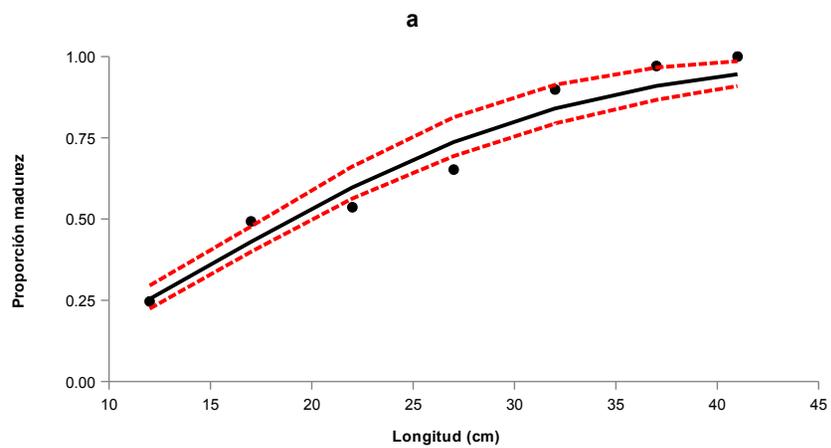
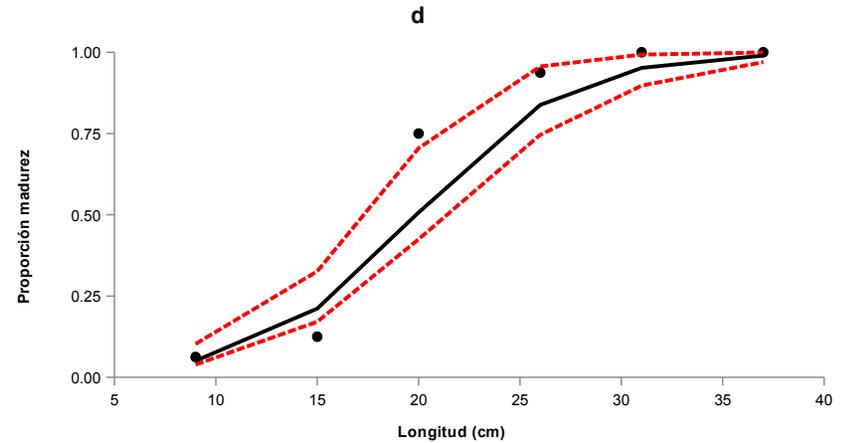
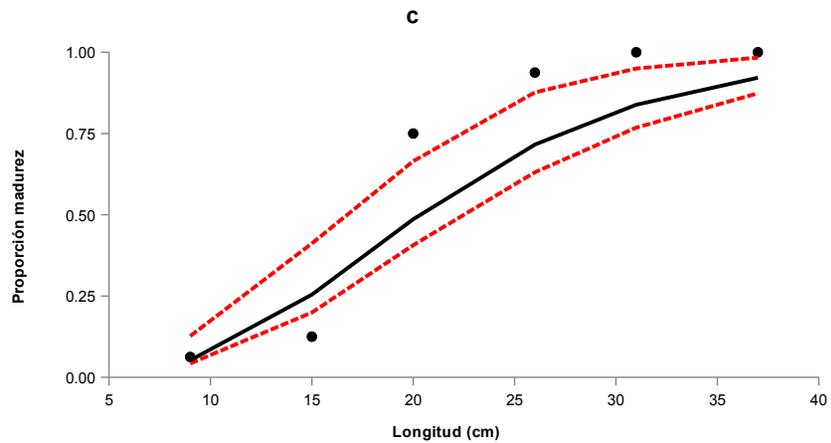
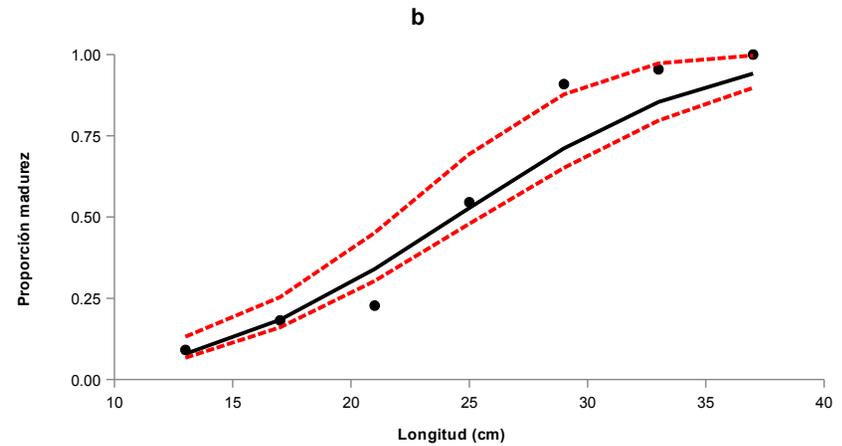
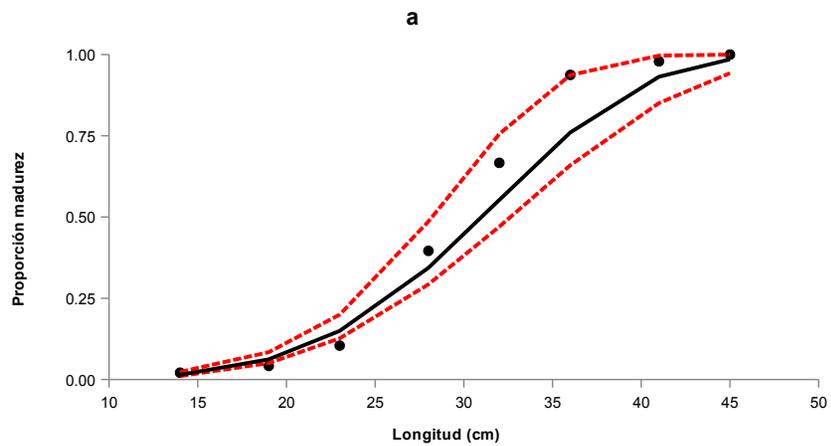


Fig. 30. Modelo de Weibull para L_{50} de hembras de la zona sur 2014 y hembras y machos de la zona centro 2015. a) hembras sur 2014, b) machos sur 2014, c) hembras centro 2015, d) machos centro 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.



g. 31. Modelo de Weibull para L_{50} en hembras y machos de la zona sur 2015. Modelo de Gompertz y Punt para machos de la zona norte de 2014 y 2015. . a) hembras sur 2015, b) machos sur 2015, c) machos norte 2014, d) machos norte 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.

Fi

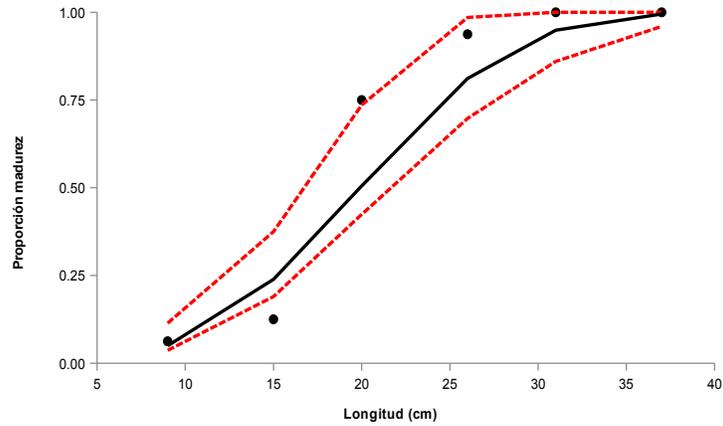


Fig 32. Modelo de Weibull para L_{50} de machos de la zona norte 2015. Los puntos representan los datos observados, la línea continua el modelo calculado y las líneas discontinuas el intervalo de confianza no paramétrico del 95%.

Al analizar cada uno de los modelos por sexo y año, se observó que no existe diferencia entre sexos en el año correspondiente, es decir el valor de L_{50} de 2014 se encuentra fuera del intervalo de confianza del 95% (IC95%) de 2015 (Fig. 33Fig. 33Fig. 33).

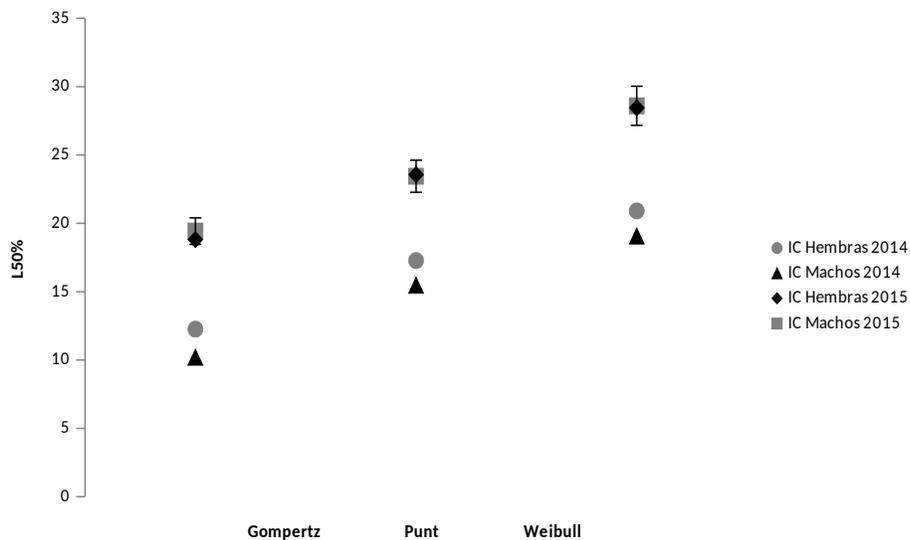
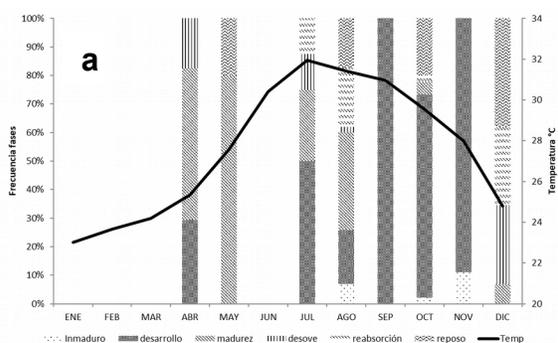


Fig. 33. Valor estimado del parámetro L_{50} y su intervalo de confianza (95%) de cada modelo para hembras y machos de 2014 y 2015.

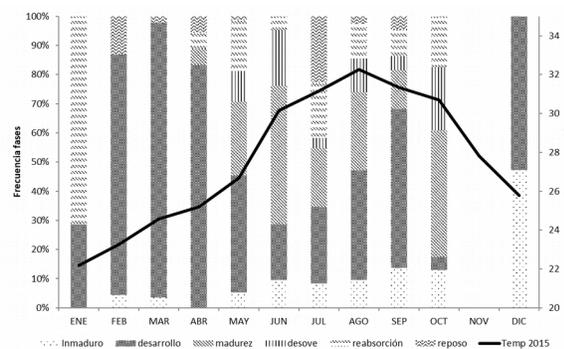
Relación Temperatura superficial del mar y desarrollo gonádico

La relación que se observó entre la temperatura de la superficie del mar y las fases gonádicas de las hembras es que, cuando se presentó el valor máximo de

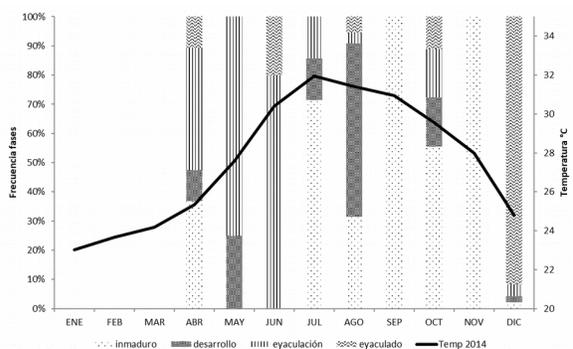
temperatura, se observó la fase de desove. En 2014 existe otro momento importante de desove que se manifestó cuando la temperatura descendió a los 25°C en el mes de diciembre (Fig. 34). En el año 2015 es más evidente que el aumento de la temperatura de la superficie del mar está relacionado con el inicio de la madurez de las hembras (Fig. 4). Para los machos, el aumento de temperatura en la superficie del mar estimuló la eyaculación, en diciembre de 2014 se pudo observar que, al bajar la temperatura, se manifestó el mayor porcentaje de machos eyaculados el cual coincidió con el desove de las hembras en ese mismo año (Fig. 34), mientras que en 2015 se observó que el aumento de la temperatura de la superficie del mar, elevó la frecuencia de machos eyaculando, hasta que llegó a la máxima temperatura. Una vez que la temperatura comenzó a bajar, la eyaculación se detuvo, pero volvió a producirse para la segunda temporada reproductiva (Fig. 34).



a



b



c

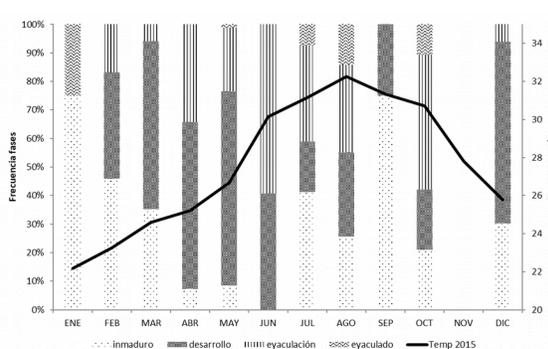


Fig. 34. Promedio mensual de la temperatura de la superficie del mar con las fases de desarrollo gonadal por sexo para *Sphoeroides annulatus* durante 2014 y 2015. a) hembras 2014, b) hembras 2015, c) machos 2014, d) machos 2015.

Las temperaturas registradas en la superficie de mar durante 2014 en la zona norte del estado de Sinaloa oscilaron entre los 21°C y 32.3°C, en la zona centro el intervalo varió de 22.5°C a 32.7°C y en la zona sur fue de 23.7°C a 32.2°C. Para el año de 2015 en la zona norte, el intervalo varió de 20.5°C hasta 32.5°C, en la zona centro fue de 21.6°C a 32.8°C y en la zona sur de 20.5°C a 33°C.

La temperatura que se registró cuando las hembras de la zona sur desovaron en 2014 fue desde los 26°C hasta los 31°C, los machos se mantuvieron eyaculando en las mismas temperaturas que las hembras, de 26°C hasta 31°C. En 2015 las hembras de la zona centro mostraron un amplio espectro de temperaturas en las temporadas de desove, desde los 23°C hasta 32°C, los machos muestran el mismo intervalo de temperaturas ya que se mantuvieron eyaculando desde los 23°C hasta 32°C. Para la zona sur en 2015 las hembras desovaron en un intervalo de temperatura de 27°C hasta 31°C y los machos comenzaron a eyacular cuando la temperatura alcanzó 25°C hasta 32°C (Fig 35). En general, los desoves y la eyaculación de *S. annulatus* abarcaron el intervalo de temperaturas de 23°C hasta 32°C.

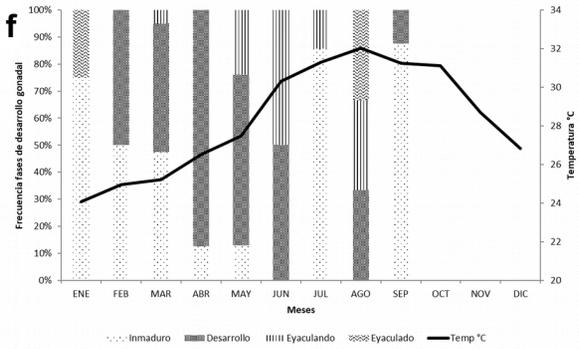
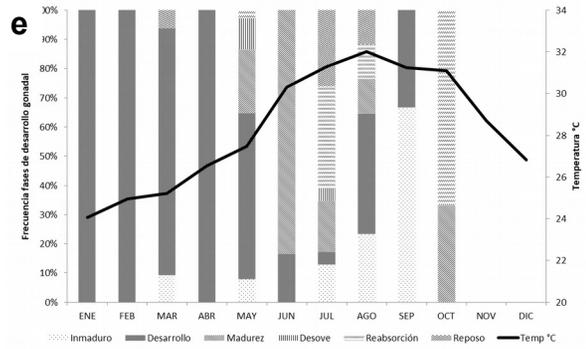
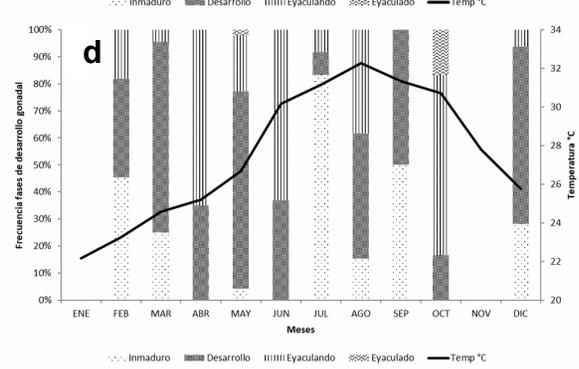
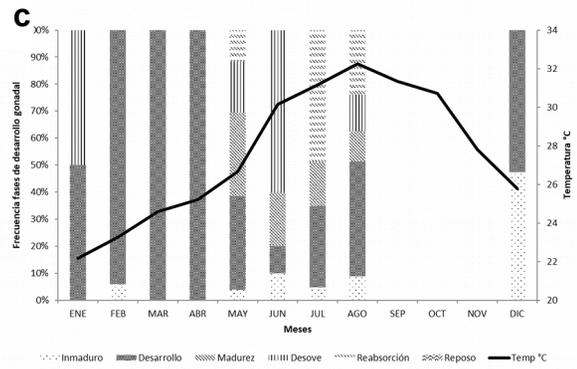
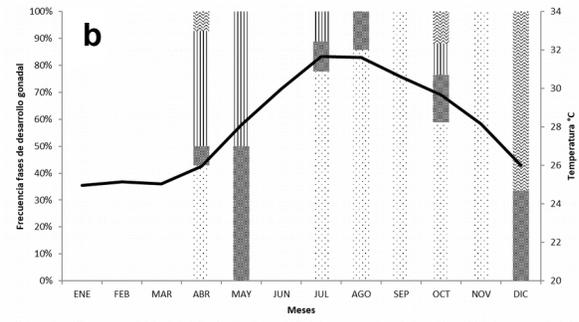
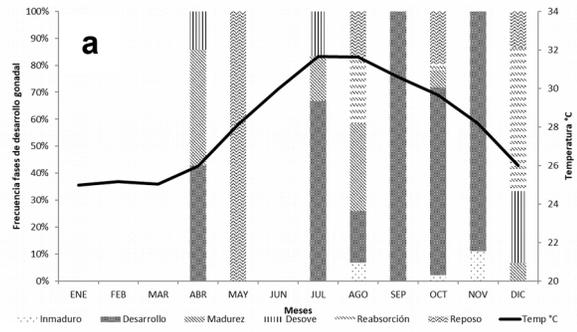


Fig 35. Promedio mensual de la temperatura de la superficie del mar con las fases de desarrollo gonadal por sexo y por zona para *Sphoeroides annulatus* durante 2014 y 2015. a) hembras sur 2014, b) machos sur 2014, c) hembras centro 2015, d) machos centro 2015, e) hembras sur 2015, f) machos sur 2015.

DISCUSIÓN

La importancia de conocer el ciclo reproductivo, las fases de desarrollo gonadal y la fecundidad de *S. annulatus* permite tener una herramienta que provee de conocimiento para entender el comportamiento de la población y la reacción a ciertos eventos.

Para este trabajo se utilizaron datos colectados de diferentes zonas del litoral sinaloense durante dos años con un intervalo de L_T desde los 8 cm hasta los 44 cm y de P_T desde los 16 g hasta 2,046 g, lo que a diferencia de otros trabajos realizados con la misma especie (Sánchez-Cárdenas, 2007, Díaz-Guevara, 2009), se tiene una mejor representación de la población y un número de muestra que rebasa a los trabajos anteriores, además de incluir la zona centro y sur de la costa sinaloense, mientras que estudios previos se enfocan sólo en la zona sur.

Existen numerosas clasificaciones y terminología asociada que han sido introducidas en la literatura para describir el desarrollo reproductivo en peces. Infortunadamente, la proliferación de terminología para referirse al mismo proceso, ha generado confusión y ha obstaculizado la comunicación entre investigadores, particularmente cuando a diferentes estadios de desarrollo se les asigna la misma categoría por diferentes científicos (Brown-Peterson *et al.*, 2011). En este trabajo se incluyen mejoras en la distinción entre fase y estadio, además de aportar más elementos en la descripción de las diferentes fases de desarrollo gonadal de *S. annulatus*.

Tradicionalmente se han utilizado seis fases de desarrollo para las hembras y cuatro para machos de *S. annulatus* (Sánchez-Cárdenas, 2007) y no se habían mencionado subfases, sin embargo en este trabajo se propone que dos fases (desarrollo inicial y avanzado) propuestas por Sánchez-Cárdenas (2007) sean subfases dentro del desarrollo, ya que son parte del mismo proceso de desarrollo. La característica de la fase de desarrollo es que se lleva a cabo la acumulación de vitelo en los ovocitos por medio de una cascada de señalizaciones (Ramezani *et al.*, 2012), pero dentro de este evento se observa que no todos los ovocitos

comienzan la producción de vitelo al mismo tiempo, sino que hay un tiempo de reacción diferencial, por lo que al principio de esta fase no se observa una cohorte uniforme sino varias (desarrollo inicial) (Fig. 6), que conforme va pasando el tiempo, se llega a lo que se reconoce como “desarrollo avanzado” en donde todos los ovocitos se encuentran en el mismo estadio de desarrollo. Además de reestructurar las fases de desarrollo gonadal de hembras, comenzando con la fase “inmaduro” que no se menciona en lo publicado por Sánchez-Cárdenas (2007), “desarrollo” con dos subfases, “madurez”, “desove”, “reabsorción” y “reposo”. La importancia de hacer estas distinciones es que permite caracterizar o describir de manera completa el desarrollo de un organismo en particular y poder realizar clasificaciones descriptivas incluyentes (Brown-Perteson *et al.*, 2011). Las diferencias en la descripción del ciclo gonadal de hembras de *S. annulatus* se encuentra en la Tabla 10.

Tabla 10. Comparación entre las fases de desarrollo gonadal descritas para *S. annulatus* en la costa de Sinaloa.

Sánchez-Cárdenas (2007)	Presente estudio
Reposo	
	Inmaduro
Desarrollo inicial	Desarrollo (Subfase: desarrollo inicial)
Desarrollo avanzado	Desarrollo (Subfase: desarrollo final)
Madurez	Madurez
Desove	Desove
Postdesove	Reabsorción
	Reposo

Otra problemática es la clasificación de los peces respecto a ser desovadores parciales o totales y con desarrollo gonádico sincrónico o asincrónico (Murua y Saborido-Rey, 2003). La falta de literatura que describa los atributos de una especie, restringe la información sobre la diversidad de conductas reproductivas de los peces. Brown-Peterson (2011) menciona que los desovadores totales son organismos con fecundidad determinada con desarrollo sincrónico y desove de una cohorte de ovocitos durante la temporada de reproducción, y que los desovadores por lotes o parciales pueden tener o no desarrollo asincrónico de ovocitos y desoves múltiples de cohortes durante la temporada de reproducción.

En peces con fecundidad determinada se espera que haya un incremento periódico del diámetro en ovocitos en desarrollo durante la temporada de desove, porque no hay ovocitos pre-vitelogénicos para reemplazar éstos que han de ser desovados durante la temporada, además es normal observar pocas atresias durante el desove y al final no se observa producción de ovocitos (Ganias *et al.*, 2014).

Schultz *et al.* (2002) y Rocha *et al.* (2002) reportaron para *S. greeleyi* y *S. testudineus* que la gónada presenta desarrollo asincrónico y desoves parciales basándose en la observación microscópica de ovarios semi desovados con la presencia de folículos postovulatorios y ovocitos en desarrollo. Sánchez-Cárdenas (2007) clasificó el desarrollo ovárico del botete diana como asincrónico, basado en la observación de la presencia simultánea de ovocitos en diferentes fases de crecimiento y como desovador parcial al observar la remaduración después del desove y la atresia folicular en un ovario, pero durante el desarrollo de esta investigación se observó lo contrario, ya que basados en las descripciones que Brown-Peterson (2011) y Ganias *et al.* (2014) sobre los desovadores totales con desarrollo sincrónico el organismo de estudio presentó las características de tener una sola cohorte de ovocitos desarrollada y que el diámetro de los ovocitos aumenta durante todo el ciclo reproductivo. Al llegar a la maduración, se observó que los promedios de los diámetros en cada gónada, presentan las mismas medidas, además que después de un desove sólo se observaron ovocitos hidratados remanentes, atresias y algunos en crecimiento primario que eran reabsorbidos. La homogeneidad de la gónada en la densidad de ovocitos (Fig. 17) demuestra que la gónada tiene un desarrollo sincrónico o que al menos al momento de la madurez, todos los ovocitos se encuentran en el mismo estadio de desarrollo.

Esto lleva a que la media del diámetro de los ovocitos puede ser un buen indicador de todas las fases del ciclo reproductivo de organismos con fecundidad determinada si los intervalos de longitud de los diferentes estadios son conocidos, aunque las tallas de diferentes estadios pueden traslaparse en la transición de una

fase a otra, lo cual complica estas aproximaciones (West, 1990, Gánias *et al.*, 2014).

Al igual que el trabajo de Schultz *et al.* (2002), se demostró que el diámetro del ovocito aumenta conforme se va desarrollando. A partir del estadio vitelogénesis III hasta la fusión de vitelo, los ovocitos se mantienen en un intervalo que va de los 250 μm hasta los 590 μm , lo que puede servir de indicador para inferir el estadio del ovocito o la fase en la que se encuentra la gónada a partir del diámetro de los ovocitos, esto evitaría las complejas técnicas de laboratorio utilizadas en histología, que a pesar de representar el método más acertado y que produce mayor información (Hunter y Macewicz, 1985), es el más tardado y costoso y cuando no se cuenta con el equipo o presupuesto, estas aproximaciones son una herramienta útil. Sin embargo, la preservación de los ovarios en formalina y el proceso histológico causa cambios en el tamaño del ovocito (West, 1990) por lo que se debe realizar el ajuste respecto a los ovocitos en fresco.

La temporada reproductiva reportada en 2014 no coincide totalmente con la reportada en 2015, una de las razones puede ser que se integraron los datos de todo el litoral sinaloense, por lo que se decidió separar las muestras por zonas: norte, centro y sur. Los resultados arrojaron que los organismos de la zona sur 2014 comenzaron los desoves en el mes de abril y en 2015 los desoves comenzaron un mes después, en mayo (Tabla 4). En la zona centro de 2015, la temporada de desove comenzó en mayo, al igual que en la zona sur. En 2014, el comienzo de los desoves coincide con lo reportado por Sánchez-Cárdenas (2007), pero en general, no se observa una periodicidad en los dos años. El hecho de separar los resultados por zonas, permite ver el comportamiento reproductivo en diferentes latitudes, pero no permitió definir si la temporada reproductiva comenzó antes en una zona que en otra.

Se esperaba que existiera un desfase en la temporada de desoves por cada zona, ya que las variables ambientales no se manifiestan al mismo tiempo en toda la costa, pero no fue así. La zona sur en 2014 y 2015 no muestra un mismo patrón, ya que en 2014 las hembras comienzan el desove un mes antes que en 2015,

pero los machos en 2015 comienzan a eyacular un mes antes que en 2014. Al compararse con lo reportado por Valdez-Pineda *et al.* (2014) quien trabajó con organismos de Teacapán, y Sánchez-Cárdenas (2007) que trabajó con organismos de Mazatlán, tampoco se encuentra una coincidencia total, sólo en algunos meses como abril, mayo, julio, agosto y diciembre.

La zona centro sólo se pudo caracterizar en 2015, esta zona presentó mayor coincidencia con lo reportado por Sánchez-Cárdenas (2007) en la temporada reproductiva de los machos. Como se observa en la Fig. 7 y Fig. 8, los machos y las hembras presentan un ligero desfase en la eyaculación y el desove, existiendo meses donde no hay machos eyaculando o el porcentaje es bajo, pero sí hay hembras desovando, del mismo modo, hay meses donde se encuentran a machos eyaculando y no se encuentran hembras desovando.

Para definir una temporada reproductiva general, se seleccionaron los meses donde se encuentran las coincidencias entre desoves y eyaculación en las zonas estudiadas y los reportes mencionados, por lo que se puede decir que la temporada reproductiva que propone Sánchez-Cárdenas (2007) de abril a agosto y de octubre a noviembre, protege a la mayoría de hembras desovantes y machos en eyaculación en el estado de Sinaloa (Tabla 4).

El comportamiento y los valores del IGS reportados en este trabajo no coinciden con estudios previos realizados por Díaz-Guevara *et al.* (2005) y Sánchez-Cárdenas (2007). La diferencia en 2014 es la presencia de un solo pico, mientras que los autores reportaron dos aumentos significativos durante el año, el primero de mayor intensidad y el segundo de menor intensidad. Esta variación pudo deberse a que en 2014 se colectaron organismos de tallas más pequeñas, aunque el número de muestras fue superior que los estudios antes reportados. En 2015 sí se observaron los dos picos, el primero durante los meses de abril y mayo para ambos sexos, el segundo en septiembre para hembras, y octubre para machos, este desfase también lo reportó Sánchez-Cárdenas (2005, 2007) pero en los meses de octubre y noviembre para hembras y machos, respectivamente. Al igual que los estudios previos, los valores más altos de IGS se observaron durante la

madurez y la eyaculación (Fig. 11). Schultz *et al.* (2002) reportó para *S. greeleyi* que el IGS va aumentando conforme aumenta el tamaño de la gónada, siendo durante el semi desove cuando alcanza los valores máximos del IGS.

El IGS provee una útil visión de los cambios estacionales del tamaño del ovario y también puede servir como indicador de la fase de desarrollo en la que se encuentra la gónada y así estimar la L_{50} como lo proponen Fontoura *et al.* (2009) o se podría combinar con la escala morfocromática, cuando no se cuente con los medios para realizarlo con métodos más precisos. Si se requiere un monitoreo constante del ciclo reproductivo de esta especie, se cuenta con información suficiente para desarrollar métodos indirectos que permitan conocer la condición reproductiva de la población de una manera más práctica y económica.

El IHS mantiene, durante los dos años, valores similares durante todos meses, a excepción de diciembre, en que no se tiene registro, y en 2015 en los meses de julio y agosto se observa el descenso de este índice, que coincide con la caída del IGS (Fig 14). Se puede decir que el hígado es el que proporciona la energía al organismo para recuperarse del proceso reproductivo y comenzar el desarrollo gonadal, aunque no se ha demostrado que exista una correlación entre el aumento del IGS y la disminución del IHS. De hecho, la relación no es clara, ya que Sánchez-Cárdenas (2007) mencionó que a pesar de que el hígado tiene como principal componente los lípidos, éstos varían durante todo el año pero no está relacionado con el estado reproductivo. Estos lípidos son almacenados durante los periodos de alta ingesta/consumo de alimento y se utilizan para las demandas energéticas como la natación, reproducción, migración, etc.

Esta falta de correlación puede deberse a que el botete diana se sigue alimentando durante la temporada reproductiva, esto se observó en estómagos con contenido en los organismos colectados.

La proporción sexual macho:hembra en 2014 fue 1:1, mientras que en 2015 fue 1:0.8, el resultado de este año coincidió con lo reportado por Sánchez-Cárdenas (2005). Se realizó una prueba para observar si existen diferencias significativas en las proporciones y para 2014 no se encontraron diferencias significativas y en

2015 la proporción de sexos sí presentaron diferencias significativas. Según García-Cagide *et al.* (1994) la razón de esta diferencia pudo derivarse del hábitat de uso de cada sexo, mostrando variaciones temporales y espaciales respecto a la época del año y durante su ciclo de vida. Esta variabilidad se ha reportado para otras especies de tetraodóntidos como *Sphoeroides greeleyi* (Schultz *et al.*, 2002) y *S. testudines* (Rocha *et al.*, 2002). Estas diferencias ocurren en los meses que coincidieron con el inicio del desove. Para *S. greeleyi* se encontraron diferencias significativas en nueve de los doce meses y en el periodo reproductivo, las hembras fueron superiores en número a los machos al igual que lo reportado por Díaz-Guevara (2009). Para *S. annulatus*, en 2014 las diferencias significativas se observaron en junio, cuando terminó la temporada reproductiva y en octubre. En 2015 se observaron diferencias significativas en mayo que es un mes con actividad reproductiva y julio y agosto cuando no la hay.

La segregación de sexos durante el desove es una conducta que en algunas especies conduce a tener diferentes proporciones sexuales en la población que puede deberse a diferentes patrones de distribución entre machos y hembras (Muñoz *et al.*, 2005), pero no se tienen las bases suficientes para demostrarlo, así que, tomando en cuenta los estudios previos para esta especie y algunos integrantes del mismo género, se puede decir que el botete diana presentó diferencias en la proporción de sexos durante la temporada de reproducción.

La fecundidad potencial anual para *S. annulatus* se reportó como $Fi=8968*PGfi+66520$. La relación con el peso de la gónada fijada fue lineal, lo que significa que a mayor peso de gónada mayor número de ovocitos. Aunque los datos observados en algunas gónadas de menor tamaño contenían la mayor cantidad de ovocitos, esto se debe a que el diámetro de los ovocitos de hembras pequeñas es menor, ya que el volumen de la cavidad corporal está asociada con el número de huevos producidos y su tamaño (Lambert, 2008) aunque en general, a mayor peso se observó mayor cantidad y tamaño de ovocitos maduros.

La relación entre el peso total y la fecundidad es $Fi=1967.1*PGfi-373089$. Se ha reportado que la fecundidad incrementa con la edad y la longitud de la hembra, y

que los ovocitos grandes producen larvas grandes, las cuales tienen un periodo más largo de alimentación por reservas de vitelo (Bone y Moore, 2008), lo que puede explicar que las hembras pequeñas presenten altas fecundidades, aunque eso no quiere decir que tengan el mismo éxito que los ovocitos de hembras más grandes.

En un stock, la fecundidad varía anualmente debido a los cambios en la longitud, y se ha observado que es proporcional a la talla del pez, edad y condición (Murua y Saborido-Rey, 2003). Un estudio de fecundidad potencial anual con *Gadus morhua*, para diferentes stocks, años e intervalos de longitud, obtuvo que del 38 al 90% de la variabilidad de la fecundidad fue explicada por el tamaño de la hembra (Lambert *et al.*, 2005); el tamaño se puede expresar el longitud total o peso. Los peces más grandes producen más huevos, ambos en absoluto o relativos términos de la masa corporal y longitud, las hembras en mejor condición muestran mayor fecundidad (Kjesbu *et al.*, 1991).

Dentro de las zonas analizadas, el modelo de Weibull obtuvo el valor mínimo de AIC para las hembras de la zona sur en 2014 y machos de la zona norte en 2015, mientras que Gompertz obtuvo el valor mínimo de AIC para hembras y machos de la zona centro y sur en 2015.

Gompertz y Weibull son los modelos que mejor explicaron o mejor se ajustaron a los datos obtenidos por zona. Las longitudes calculadas se encontraron entre 22 cm y 28 cm para hembras y machos. Se ha observado en otros recursos que las discrepancias entre parámetros estimados se pueden deber a múltiples factores como: diferencias fenotípicas de los stocks a lo largo de un gradiente latitudinal o temporal, a la calidad y la estructura de los datos (Jacob-Cervantes y Aguirre-Villaseñor, 2014), lo cual es una carencia que se presentó debido a la falta de datos en algunos meses en algunas zonas, siendo que el modelo requiere que los datos estén bien representados a lo largo del intervalo de clases muestreado, en especial en los intervalos de clase que se combinan en las fracciones de organismos maduros e inmaduros. Esto no es posible debido a que las artes de pesca no siempre permiten la captura de tallas pequeñas, o los pescadores

regresan al mar a los organismos de bajo peso. Estos huecos de información no permitieron que los datos estuvieran bien representados por zona. También se observó que para un mismo grupo de datos, cuando el intervalo de clase difiere en amplitud, el estimado de L_{50} puede variar (Chen y Paloheimo, 1994).

El modelo “ganador” para hembras y machos de 2014 y 2015 fue Punt, obtuvo el valor mínimo de AIC. Este modelo representa los valores intermedios de los tres

L_{50}

modelos usados, las longitudes calculadas varían de 15.5 cm a 23.6 cm. Las L_{50} reportadas para *S. testudineus* es de 10.8 cm (Rocha *et al.*, 2002) y para *S. greeleyi* de 7 cm (Schutzlitz *et al.*, 2002). La L_{50} de madurez para *S. annulatus* calculada con un modelo logístico por Sánchez-Cárdenas (2007) es de 28.2 cm para hembras y 28.6 cm para machos, y por Valdez-Pineda *et al.* (2014) de 26.5 cm para hembras y 27.4 cm para machos. Estos valores se encontraron por encima de los valores reportados en este trabajo, debido a que los intervalos de longitud colectadas por estos autores abarcan de los 19 cm a 40 cm, mientras que el intervalo de L_T obtenidos para este estudio incluyen organismos de 9 cm a 44 cm que es una muestra más representativa. En el presente trabajo hay organismos que presentaron madurez sexual desde los 10.4 cm, en una investigación paralela donde se está calculando la edad y crecimiento de *S. annulatus* a partir de las vértebras, se tienen evidencias de que alcanzan esta longitud alrededor de un año, lo que estaría indicando que la población explotable de este recurso ya se reprodujo cuando es capturada. Además, esta condición puede estar demostrando la resiliencia que tiene la población, ya que ha sido explotado durante más de 50 años (Sánchez-Cárdenas, 2005) y el recurso sigue disponible.

Se observó que las hembras desovan y los machos eyaculan cuando la temperatura superficial del mar se encuentra entre los 27 °C y hasta 33°C, como caso extraordinario en diciembre 2014 y enero 2015 se registraron desoves a una temperatura de 25°C. Las temperaturas de desove reportadas por Sánchez-Cárdenas (2007) variaron de 24.7°C a 30.4°C, lo que coincidió con las

temperaturas reportadas en este trabajo. Abdo de la Parra *et al.* (2013) señaló que la eclosión de larvas comienza 72 horas después de la fertilización y desarrollaron un experimento para conocer la temperatura ideal donde la larva eclosionara con éxito, el resultado fue que el mayor porcentaje de eclosión de larvas normales se obtuvo a los 28°C y recomiendan que la incubación deba realizarse a temperaturas mayores a 25°C. Esta información permite entender la importancia de la temperatura en la temporada de desoves y cómo repercutirá en el éxito de las larvas para desarrollarse y alcanzar a convertirse en adulto.

Las temperaturas de desove reportadas por Sánchez-Cárdenas (2007) para la costa de Mazatlán, oscilaron entre los 24.7°C hasta 30.9°C, para machos la eyacuación se llevó a cabo entre los 22°C hasta los 32°C, estas temperaturas están dentro del rango observado en la zona sur en 2014 y 2015.

CONCLUSIONES

- o Las fases gonádicas en hembras de *Sphoeroides annulatus* son seis y se clasifican en: inmaduro, desarrollo (inicial y avanzado), madurez, desove, reabsorción y reposo.
- o La proporción sexual de *S. annulatus* varía en el año y entre años, en 2014 la proporción es 1:1 y en 2015 es 1:0.8, donde existen diferencias significativas entre la proporción de sexos.
- o La fecundidad está relacionada linealmente con el peso de la gónada y el peso total y de forma potencial respecto a la longitud del organismo.
- o El desarrollo gonadal de *S. annulatus* es sincrónico y hay evidencia que lo ubica como un desovador total.
- o La temperatura con mayor desove en la costa de Sinaloa es de 27°C hasta 31°C y el mes con mayor frecuencia de desoves es agosto.
- o La reproducción de *S. annulatus* presenta dos temporadas de desove en el año, una de mayor intensidad de abril a agosto y la otra de menor intensidad en diciembre.
- o A escala local, en Sinaloa, para el periodo de estudio, la latitud no afecta la temporada de reproducción.

o La L_{50} en 2014 para hembras fue de 17 cm y machos de 15.5 cm, en 2015 de 23.6 y 24.4 cm respectivamente.

LITERATURA CITADA

Abdo de la Parra, M., Rodríguez-Ibarra, L. E., Hernández, C., Hernández, K., González-Rodríguez, B., Martínez-Rodríguez, I. y García-Ortega, A. 2010. Efecto de diferentes niveles de proteína y lípidos totales en la dieta sobre el crecimiento y supervivencia de juveniles de pargo lunarejo *Lutjanus guttatus*. Revista de Biología Marina y Oceanografía. 45(3): 433-439.

Abdo-de la Parra, M. I., García-Ortega, A., Martínez-Rodríguez, I., González-Rodríguez, B., Velasco-Blanco, G., Hernández, C. y Duncan, N. 2010. An intensive hatchery rearing protocol for larvae of the bullseye puffer, *Sphoeroides annulatus* (Jenyns). Aquaculture Research, 41(10): 554-560.

Abdo-de la Parra, M. I., Martínez-Rodríguez, I. E., González-Rodríguez, B., Rodríguez-Ibarra, L. E., Duncan, N., y Hernández, C. 2012. Efecto de la temperatura y salinidad del agua en la incubación de huevos de botete diana *Sphoeroides annulatus*. Revista de Biología Marina y Oceanografía 47 (1): 147-153.

Abdo-de la Parra, M.I. y N.J. Duncan. 2002. Avances en cultivo experimental de botete diana (*Sphoeroides annulatus*). Panorama Acuícola 7(2): 42-43.

Abdo-de la Parra, M.I., Rodríguez-Ibarra, L., Gracia-Aguilar, N., Velasco-Blanco, G. y Ibarra-Castro, L., 2013. Biotecnología para la producción masiva del botete diana *Sphoeroides annulatus*: inducción hormonal y cultivo larvario. Revista de Biología Marina y Oceanografía 48 (3):409-420.

Aguirre-Villaseñor, H., Paredes-Mellado, R., Hernández-Covarrubias, R., Guillen-Gamboa, J.A., Osuna-Peralta, Y.R., Chávez-Herrera, D., Andrade-Domínguez, G., Muñoz-Rubí, H.A., y Gómez-Medina, L.G., 2015. . Pesquería del tamborillo, , *Sphoeroides annulatus annulatus* (Jenyns, 1842) en el centro sur del estado, Sinaloa. Informe final del del Programa Operativo Anual 2015. Instituto Nacional de Pesca. México. 21 pp.

Akaike, H. 1974. A New Look at the Statistical Model Identification. IEEE Transactions on Automatic Control 19: 716-723.

Amezcu-Linares, F., 1996. Peces demersales de la plataforma continental del Pacífico central de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,

Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. 155 p.

Arreguín-Sánchez, F., y Arcos-Huitrón, E. 2011. La pesca en México: estado de la explotación y uso de los ecosistemas. *Hidrobiológica*, 21(3): 431-462.

Bone, Q. y Moore, R. 2008. *Biology of fishes*. Taylor & Francis.

Brown-Peterson, N., Wyanski, D., Saborido-Rey, F., Macewicz, B., y Lowerre-Barbierie, S. 2011. A standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science* 3: 52-70.

Burnham, K.P., y D.R., Anderson. 2002. *Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach*. Springer. New York. 488p

Castellanos-Rodríguez, S., J.L. García-Rendón, J.L. Guevara-Osuna y F.C. Franco-Aramburo. 1982. Aportación al conocimiento de la especie *Sphoeroides annulatus* (Jenyns). Tesis Profesional. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 62 pp.

Castro-Aguirre, J.L., H. Espinoza-Pérez y J.J. Schmitter-Soto. 1999. Ictiofauna estuarina, lagunar y vicaria de México. Testigo Limusa, México. 666 p.

Chen, Y., Paloheimo, J.E. 1994. Estimating fish length and age at 50% maturity using a logistic type model. *Aquatic Sciences* 56(13): 206-219.

DOF. 2012. Actualización de la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación*. México, 24.

Díaz-Guevara, 2009. Biología reproductiva del botete diana *Sphoeroides annulatus* en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 61 pp.

Díaz-Guevara, R., B.P. Ceballos-Vázquez y M. Arellano-Martínez. 2005. Biología reproductiva del botete diana *Sphoeroides annulatus* (Pisces: Tetraodontidae) en la bahía de La Paz, B. C. S. México. Resúmenes del X Congreso de Investigadores del Mar de Cortés, A.C. y IV Simposium Internacional sobre el Mar de Cortés. Mazatlán, Sinaloa, México.

Efron, B. y Tibshirani, R.J. 1993. *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman & Hall, New York. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4899-4541-9>.

Eschmeyer, W. N., Fricke, R., y Van der Laan, R. 2014. *Catalog of fishes: genera, species, references*. Versión electrónica.

- Fischer, W., Frupp, F., Schnsider, W., Sommer, C., Carpenter, K.E., y V.H., Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies *para fines de la pesca*. Food and Agricultural Organization, Roma. (3): 1629-1637.
- Fontoura, N. F., Braun, A. S., y Milani, P. C. C. 2009. Estimating size at first maturity (L50) from Gonadosomatic Index (GSI) data. *Neotropical Ichthyology*, 7(2): 217-222.
- Friedland, K .D., Ama-Abasi, D., Manning, M., Clarke, L., Kligys, G. y Chambers, R.C. 2005. Automated egg counting and sizing from scanned images: Rapid sample processing and large data volumes for fecundity estimates. *Journal of Sea*. 54(4), 307-316.
- Ganias, K., Murua, H., Domínguez-Petit, R., Claramunt, G., Gonçalves, P., Juanes, F., y Lowerre-Barbieri, S. 2014. Handbook of Applied Fisheries Reproductive Biology for Stock Assessment and Managemen, Capítulo 4. Egg Production: 1-109.
- García-Cagide, A. R. Claro R., y BV Koshelev. 1994. Ecología de los peces marinos de Cuba. Reproducción: 187-262.
- Gompertz, B. 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. pp. 515-585
- Haddon, M. 2001. Modelling and Quantitative Methods in Fisheries. Chapman & Hall, Boca Raton, 406 pp.
- Humason, G.L. 1979. Animal Tissue Techniques. W.H. Freeman, San Francisco, California. 692 p.
- Hunter, J. R., Lo, N. C., y Leong, R. J. 1985. Batch fecundity in multiple spawning fishes. NOAA Technical Report NMFS, 36: 67-77.
- Hunter, J. R., Macewicz, B. J., y Kimbrell, C. A. 1989. Fecundity and other aspects of the reproduction of sablefish, *Anoplopoma fimbria*, in central California waters. *CalCOFI Rep*, 30(1989): 61-72.
- Hunter, J. R., y Macewicz, B. J. 1985. Measurement of spawning frequency in multiple spawning fishes. NOAA Technical Report NMFS, 36: 79-94.
- Hunter, R. J.; Macewicz, B. J.; Lo, N. C. H.; Kimbrell, C. A. 1992. Fecundity, spawning, and maturity of female Dover sole *Microstomus pacificus*, with an evaluation of assumptions and precision. *Fishery Bulletin* 90: 101-128.
- Jacob-Cervantes, M., Aguirre-Villaseñor, H. 2014. Inferencia multimodelo y selección de modelos aplicados a la determinación de L₅₀ para sardina

crinuda *Opisthonema libertate* del sur del Golfo de California. *Ciencia Pesquera*, 22 (1): 61-68.

Jakobsen, T., Fogarty, M.J., Megrey, B.A., Moksness, E., (eds.). 2016. Fish reproductive biology: implications for assessment and management. Wiley-Blackwell. USA. 488p.

Jennings, S., Kaiser, M. J., y Reynolds, J.D. 2001 Marine fisheries ecology. Blackwell, Oxford.

Kjesbu, O.S., Klungsoyr, J., Kryvi, H., Wittames, P.R., Greer Walker, M. 1991. Fecundity, atresia, and egg size of captive Atlantic cod (*Gadus morhua*) in relation to proximate body composition. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 53: 610-620.

Kurita, Y. y Kjesbu, O.S. 2009. Fecundity estimation by oocyte packing density formulae in determinate and indeterminate spawners: Theoretical considerations and applications. *Journal of Sea Research* 61(3), 188-196 doi:10.1016/j.seares.2008.10.010.

Lambert, Y. 2008. Why Should We Closely Monitor Fecundity in Marine Fish Populations? *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 41: 93–106.

Lambert, Y., Kjesbu, O. S., Kraus, G., Marteinsdottir, G. y Thorsen, A. 2005. How variable is the fecundity within and between cod stocks?. ICES.

Muñoz, M., Sàbat, M., Vila, S., y Casadevall, M. 2005. Annual reproductive cycle and fecundity of *Scorpaena notata* (Teleostei, Scorpaenidae). *Scientia Marina*, 69(4): 555-562.

Murua, H., y Saborido-Rey, F. 2003. Female reproductive strategies of marine fish species of the North Atlantic. *Journal of Northwest Atlantic fishery science*, 33(1): 23-31.

Núñez-Vázquez, E.J., Yotsu-Yamashita, M., Sierra-Beltrán, .A.P., Yasumoto, T., y J.L., Ochoa. 2000. Toxicities and distribution of tetrodotoxin in the tissues of puffer fish found in the coast of the Baja California Peninsula, Mexico. *Toxicon*, 38: 729-734.

Punt, A. E., Hobday, D., Gerhard, J., y Troynikov, V. S. 2006. Modelling growth of rock lobsters, *Jasus edwardsii*, off Victoria, Australia using models that allow for individual variation in growth parameters. *Fisheries Research*, 82(1-3): 119-130.

Ramezani-Fard, E., Kamarudin, M. S., y Harmin, S. A. 2012. Endocrine control of oogenesis in teleosts. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 1: 1-11.

- Rocha, C., Favaro, L.F y Spach, H.L. 2002. Reproductive biology of *Sphoeroides testudineus* (Linneus) (Pisces, Osteichthyes, Tetraodontidae) of the Gamboa Do Banguacu, bay of Paranagua, State of Parana, Brazil, Revista Brasileira da Zoología., 19(1): 57-63.
- Sánchez-Cárdenas, R. 2005. Tesis Licenciatura. Aspectos reproductivos del botete diana *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Pisces: Tetraodontidae), en la bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. México. 86 pp.
- Sánchez-Cárdenas, R. 2007. Tesis Maestría. Estrategia reproductiva de *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Tetraodontidae) en la Costa de Mazatlán, Sinaloa, México. CICIMAR-IPN. 82 pp.
- Sánchez-Cárdenas, R., Arellano-Martínez, M., Valdez-Pineda, M. C., Morán-Angulo, R. E. and Ceballos-Vázquez, B. P. 2011, Reproductive cycle and sexual maturity of *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Tetraodontiformes, Tetraodontidae) from the coast of Mazatlan, Sinaloa, Mexico. Journal of Applied Ichthyology, 27: 1190–1196.
- Schultz, Y. D., Favaro, L. F. y Spach, H. L. 2002. Aspectos reproductivos de *Sphoeroides greeleyi* (Gilbert), Pisces, Osteichthyes, Tetraodontidae, da gamboa do Baguaru, Baia De Paranagua, Parana, Brasil.
- Sokal, R. R., F. J. Rohlf. 1981. Biometry: The principles and practice statistics in biological research. Segunda edición. W.H. Freeman. USA. 859 pp.
- Sokal, R. R., F.J. Rohlf .1995. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. Tercera edición. W.H. Freeman, 887 pp.
- Thomson, D.A. 1978. Peces del Golfo de California. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora, México. 68 pp.
- Thorsen, A. y Kjesbu, O. S. 2001. A rapid method for estimation of oocyte size and potential fecundity in Atlantic cod using a computer-aided particle analysis system. Journal of Sea Research 46 (3-4): 295-308.
- Valdez-Pineda, M.C., Morán-Angulo, R.E., Voltolina, D., y Castillo-Vargasmachuca, S. 2014. Population structure and reproductive aspects of puffer fish *Sphoeroides annulatus* (Jenyns, 1842) (Osteichthyes: Tetraodontidae), landed in Teacapán, Sinaloa, Mexico. Latin American Journal of Aquatic Research, 42(1): 121-126.
- Walker Jr, H. J., y Bussing, W. A. 1996. Two new pufferfishes of the genus *Sphoeroides* from the eastern Pacific. Copeia, 1996 (3): 677-684.

Wallace, R. A., y Selman, K. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *American Zoologist*, 21(2): 325-343.

Weibull, W. 1951. A Statistical Distribution Function of Wide Applicability. *Journal of Applied Mechanics*, 18, 293- 297.

West, G. 1990. Methods of assessing ovarian development in fishes: a review. *Marine and Freshwater Research*, 41(2): 199-222.

Witthames, P. R., Thorsen, A., Murua, H., Saborido-Rey, F., Greenwood, L. N., Dominguez, R. y Kjesbu, O. S. 2009. Advances in methods for determining fecundity: application of the new methods to some marine fishes. *Fishery Bulletin*, 107(2): 148-164.

www.giovanni.gsfc.nasa.govwww.giovanni.gsfc.nasa.gov Consultada en Febrero 2018.