



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

**DINÁMICA POBLACIONAL DE LA MEDUSA *Stomolophus
meleagris* (L. AGASSIZ 1862) EN EL SUR DEL LITORAL DEL
ESTADO DE SONORA, MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
(BIOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:
EDGARDO BASILIO FARACH ESPINOZA

TUTORA PRINCIPAL:
DRA. JUANA LÓPEZ MARTÍNEZ
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, SEDE GUAYMAS

COMITÉ TUTOR:
DR. MANUEL GALLARDO CABELLO
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM
DR. JORGE ZAVALA HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, UNAM
DRA. ELAINE ESPINO BARR
CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIÓN PESQUERA, MANZANILLO

ASESOR EXTERNO:
DR. JOSÉ EDUARDO VALDEZ HOLGUÍN
UNIVERSIDAD DE SONORA

MÉXICO, CD. MX., FEBRERO, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



DINÁMICA POBLACIONAL DE LA MEDUSA *Stomolophus meleagris* (L. AGASSIZ 1862) EN EL SUR DEL LITORAL DEL ESTADO DE SONORA, MÉXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
(BIOLOGÍA MARINA)

PRESENTA:
EDGARDO BASILIO FARACH ESPINOZA

Director(a) de tesis: Dra. Juana López Martínez

Comité tutor: Dr. Manuel Gallardo Cabello
Dr. Jorge Zavala Hidalgo
Dra. Elaine Espino Barr
Dr. José Eduardo Valdez Holguín

MÉXICO, CD. MX., FEBRERO, 2018

Agradecimientos

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, por la oportunidad que me dio de formar parte de su Institución para realizar mis estudios de posgrado y por brindar el apoyo necesario para la culminación de los mismos.

A CONACYT, por otorgar la beca de manutención que me dio la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado en México y poder ampliar mis conocimientos y enriquecer mi formación académica, profesional y personal.

A la Fundación Heinrich Böll, por otorgar beca parcial que hizo posible mi traslado a México e iniciar con mis estudios y por el apoyo que siempre brindó durante el proceso de mi formación en México.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) sede Guaymas, por brindarme la oportunidad de realizar la estancia para el desarrollo de mi tesis. A los proyectos titulados “Cambio Climático y la población de la medusa *Stomolophus meleagris*. Impacto en la estructura y funcionamiento del ecosistema marino y en las pesquerías del Golfo de California” SEMARNAT-CONACYT-2014-1249458 y “Respuestas Poblacionales de Algunas Especies Marinas del Golfo de California al Cambio Climático” CB-2015-257477 del cual forma parte la presente tesis.

A la Dra. Juana López Martínez, por el apoyo y la orientación brindada para la realización de la tesis y por los consejos que seguro ayudarán en mi desempeño profesional. A mi comité tutor, Dr. Manuel Gallardo Cabello, Dra. Elaine Espino Barr, Dr. Jorge Zavala Hidalgo y Dr. José Eduardo Valdez Holguín, por el apoyo y por el tiempo brindado para la revisión y corrección de la tesis.

Al personal del laboratorio de pesquerías del CIBNOR sede Guaymas, Dra. Eloísa Herrera Valdivia, Dr. Rufino Morales Azpeitia, M.C. Javier Álvarez Tello y M.C. Edgar Arzola Sotelo por brindar información, ayuda y consejos que hicieron posible el desarrollo de mi tesis.

Al Dr. Ricardo García Morales, por la ayuda ofrecida para entender un poco sobre sensores remotos e imágenes de satélite, que ayudaron para el desarrollo de la tesis.

A mi compañera Laura, por su paciencia en momentos difíciles y disponibilidad de ayudar y hacer mi estancia en México más alegre. A mis compañeros en Guaymas, Leobardo, Claudia, Viviana y Margarita, a todos, gracias por hacer de mi estancia una experiencia única.

A mis padres, que, a pesar de estar lejos, me animaron con sus consejos a siempre seguir adelante.

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	7
2.1 Clasificación.....	7
2.2 Morfología y Anatomía.....	8
2.3 Ciclo de vida	9
2.4 Hábitos alimenticios	10
2.5 Reproducción.....	11
2.6 Interacciones biológicas.....	12
2.7 Pesquería de le especie	13
2.8 Estudios previos sobre la especie en el Golfo de California	14
2.9 Legislación y ordenamiento de la pesquería en México	15
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. HIPÓTESIS	17
5. OBJETIVOS	18
5.1 Objetivo general.....	18
5.2 Objetivos particulares	18
6. ÁREA DE ESTUDIO.....	18
7. MATERIALES Y MÉTODOS	22
7.1 Muestreos biológicos	22
7.2 Análisis de datos.....	23
7.2.1 Relaciones Biométricas.....	23
7.2.2 Estructura de tallas y número de cohortes	24
7.2.3 Crecimiento	24
7.2.4 Mortalidad Natural.....	25
7.2.5 Mortalidad total, mortalidad por pesca y tasa de explotación.....	26
7.2.6 Patrón de reclutamiento	27
7.2.7 Análisis de las cohortes.....	28
7.3 Parámetros ambientales y recurso	31
8. RESULTADOS	33
8.1 Relaciones biométricas.....	33
8.2 Estructura de tallas y número de cohortes.....	35
8.3 Crecimiento.....	41
8.4 Mortalidad natural	45
8.5 Mortalidad total, mortalidad por pesca y tasa de explotación	45
8.6 Patrón de reclutamiento.....	46
8.7 Análisis de cohortes.....	48
8.8 Temperatura superficial del mar, clorofila – a, intensidad de precipitación, ONI, SOI y recurso	56
8.8.1 Condiciones ambientales imperantes.....	57

8.8.2 <i>Relación ambiente-recurso</i>	58
9. DISCUSIÓN	66
10. CONCLUSIONES.....	78
11. RECOMENDACIONES	78
12. LITERATURA CITADA.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Anatomía de <i>Stomolophus meleagris</i> . Tomado de Álvarez-Tello (2007).	9
Figura 2. Ciclo de vida de <i>Stomolophus meleagris</i> . Tomado de Brotz <i>et al.</i> 2016.	10
Figura 4. Localización de la zona de estudio, región Sur del litoral de Sonora. ...	19
Figura 5. Representación y datos biométricos de la medusa <i>Stomolophus meleagris</i>	23
Figura 6. Relación Lt - Pt de 1,419 organismos de <i>Stomolophus meleagris</i> medidos de la zona de estudio durante el 2004 – 2016.	33
Figura 7. Relación Dc - Pt de 570 organismos de <i>Stomolophus meleagris</i> medidos de la zona de estudio durante el 2004 – 2016.	34
Figura 8. Relación Lt - Lc de 661 organismos de <i>Stomolophus meleagris</i> medidos de la zona de estudio durante el 2004 – 2016.	34
Figura 10. Histograma de frecuencias de tallas de <i>Stomolophus meleagris</i> del año 2004 en el Sur del litoral de Sonora, México.....	36
Figura 11. Histograma de frecuencias de tallas de <i>Stomolophus meleagris</i> del año 2006 en el Sur del litoral de Sonora, México.....	36
Figura 12. Histograma de frecuencias de tallas de <i>Stomolophus meleagris</i> del año 2007 en el Sur del litoral de Sonora, México.....	37
Figura 13. Histograma de frecuencias de tallas de <i>Stomolophus meleagris</i> del año 2008 en el Sur del litoral de Sonora, México.....	37
Figura 14. Histograma de frecuencias de tallas de <i>Stomolophus meleagris</i> del año 2009 en el Sur del litoral de Sonora, México.....	38
Figura 15. Histograma de frecuencias de tallas de <i>Stomolophus meleagris</i> del año 2011 en el Sur del litoral de Sonora, México.....	39
Figura 16. Histograma de frecuencias de tallas de <i>Stomolophus meleagris</i> del año 2012 en el Sur del litoral de Sonora, México.....	39
Figura 17. Histograma de frecuencias de tallas de <i>Stomolophus meleagris</i> del año 2013 en el Sur del litoral de Sonora, México.....	40
Figura 18. Histograma de frecuencias de tallas de <i>Stomolophus meleagris</i> del año 2016 en el Sur del litoral de Sonora, México.....	40

Figura 19. Curvas de crecimiento de la medusa bola de cañón <i>Stomolophus meleagris</i> para la región Sur del litoral de Sonora, en el periodo 2004 - 2016.	43
Figura 20. Anomalías estandarizadas del índice de funcionamiento de crecimiento de <i>Stomolophus meleagris</i> para la región Sur del litoral de Sonora, para cada año muestreado en el período 2004 – 2016.....	45
Figura 21. Patrón de reclutamiento de <i>Stomolophus meleagris</i> para la región Sur del litoral de Sonora para cada año de muestreo en el periodo 2004 – 2016.	47
Figura 22. Variación interanual del patrón de reclutamiento de <i>Stomolophus meleagris</i> para la región Sur del litoral de Sonora en el periodo 2004 – 2016.	48
Figura 23. Magnitud de reclutamiento, abundancia, biomasa media, mortalidad por pesca, mortalidad natural, mortalidad total y tasa de explotación de la medusa bola de cañón <i>Stomolophus meleagris</i> en la Zona Sur, Sonora durante 2005-2013, estimados con el análisis de cohortes basado en tallas (Jones 1982).	52
Figura 24. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón <i>Stomolophus meleagris</i> durante el 2005 para la región Sur del litoral de Sonora.	52
Figura 25. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón <i>Stomolophus meleagris</i> durante el 2006 para la región Sur del litoral de Sonora.	52
Figura 26. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón <i>Stomolophus meleagris</i> durante el 2007 para la región Sur del litoral de Sonora.	53
Figura 28. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón <i>Stomolophus meleagris</i> durante el 2009 para la región Sur del litoral de Sonora.	54
Figura 29. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón <i>Stomolophus meleagris</i> durante el 2011 para la región Sur del litoral de Sonora.	54
Figura 30. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón <i>Stomolophus meleagris</i> durante el 2012 para la región Sur del litoral de Sonora.	55
Figura 31. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón <i>Stomolophus meleagris</i> durante el 2013 para la región Sur del litoral de Sonora.	55

Figura 32. Valores del Oceanic Niño Index (ONI) y el Southern Oscillation Index (SOI) entre los años 2003 – 2016.	56
Figura 33. Valores mensuales promedio de TSM, Chl – a y precipitación de los años 2003 – 2016 para la región sur del litoral de Sonora.....	58
Figura 34. Correlación ($p < 0.05$) entre los valores promedio mensuales de la TSM, Chl-a y precipitación durante 2003-2016 para la región Sur del litoral de Sonora.	58
Figura 35. Valores y anomalías estandarizadas de los parámetros ambientales en el área de estudio y parámetros poblacionales de la medusa <i>Stomolophus meleagris</i> durante 2004-2016 para la región Sur del litoral de Sonora.	61
Figura 36. Correlación ($p < 0.05$) entre los parámetros ambientales y los parámetros poblacionales de la medusa <i>Stomolophus meleagris</i> durante 2004-2016 para la región Sur del litoral de Sonora.....	65

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Valores de la talla media (mm) anual \pm límite de confianza 95% de la medusa <i>Stomolophus meleagris</i> en el área de estudio.	35
Tabla II. Número de cohortes y talla media de cada una de <i>Stomolophus meleagris</i> en el área de estudio, durante el periodo 2004 - 2016.	41
Tabla III. Prueba Chi-cuadrado para los parámetros de crecimiento (L_{∞} y K) con muestras repetidas y muestras no repetidas de <i>Stomolophus meleagris</i> para la región Sur del litoral de Sonora de los años 2008, 2012 y 2013.	42
Tabla IV. Valores de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para <i>Stomolophus meleagris</i> durante los años de muestreo en el área de estudio.	43
Tabla V. Valores de Φ' y anomalía estandarizada de Φ' del crecimiento de <i>Stomolophus meleagris</i> para la región Sur del litoral de Sonora durante el período 2004 – 2016.	44
Tabla VI. Valores M año ⁻¹ y $A_{0,95}$ (en meses) de <i>Stomolophus meleagris</i> para la región Sur del litoral de Sonora para cada año de muestreo en el periodo 2004 – 2016.	45
Tabla VII. Mortalidad total (Z), mortalidad por pesca (F) y tasa de explotación (E) de la medusa bola de cañón <i>Stomolophus meleagris</i> en la Zona Sur, Sonora durante 2004-2016, estimados con el método de curva de captura convertida a tallas.	46
Tabla VIII. Abundancia (N), magnitud de reclutamiento (R), biomasa media (B), mortalidad por pesca promedio (F), mortalidad natural (M), mortalidad total (Z) y tasa de explotación (E) de la medusa bola de cañón <i>Stomolophus meleagris</i> en la Zona Sur, Sonora durante 2005-2013, estimados con el análisis de cohortes basado en tallas (Jones 1984).	50
Tabla IX. Modelos de regresión de las relaciones ambiente – recurso durante 2004-2016 para la región Sur del litoral de Sonora.	63

RESUMEN

La escifomedusa *Stomolophus meleagris* es conocida como medusa bola de cañón, y es una especie que se ha convertido en un importante recurso pesquero en el litoral del estado de Sonora, en la costa oriental del Golfo de California, zona caracterizada por presentar condiciones climatológicas y oceanográficas altamente variables y que pueden ejercer un efecto en la dinámica de varias pesquerías, incluyendo la medusa, por lo que es necesario continuar con su evaluación, de tal manera que se aplique un manejo adecuado y su pesca sea sustentable. En el presente trabajo se evaluó la dinámica de la población de la medusa bola de cañón en la región sur del litoral de Sonora durante 2004-2016, con el propósito de evaluar los cambios interanuales en el crecimiento, mortalidad natural, reclutamiento y abundancia de la especie y su relación con variables ambientales como la temperatura superficial del mar (TSM) y la concentración de clorofila – a (Chl-a), así como también su relación con eventos interanuales como El Niño Oscilación del Sur (ENOS), utilizando el Índice de Oscilación de El Niño (ONI) y el Índice de Oscilación del Sur (SOI) por sus siglas en inglés. Las tallas medias (L_m) oscilaron entre $36 \leq L_m \leq 119$ mm. Se presentaron entre 3 – 5 cohortes en cada año. El crecimiento estimado con el modelo de von Bertalanffy mostró una longitud total asintótica (L_∞) que varió entre $145.0 \leq L_t \leq 179.8$ mm, mientras que el coeficiente instantáneo de crecimiento anual ($K \text{ año}^{-1}$) $4.40 \leq K \leq 6.00$. Los valores del coeficiente instantáneo de mortalidad natural utilizando la ecuación empírica de Jensen ($M \text{ año}^{-1}$) fueron: $6.6 \leq M \leq 9.0$. El patrón de reclutamiento mostró máximos porcentajes en junio y julio. La abundancia (N) varió en $2 \times 10^6 \leq N \leq 363 \times 10^6$ individuos. La mortalidad por pesca anual ($F \text{ año}^{-1}$) fue $0.81 \leq F \leq 6.16$. La tasa de explotación anual ($E \text{ año}^{-1}$) osciló en $0.11 \leq E \leq 0.41$. Los valores de la TSM anual promedio $24.89 \leq TSM \leq 26.56$ °C. La concentración anual promedio de Chl-a fue $1.98 \leq \text{Chl-a} \leq 4.99$ mg/m³. La TSM y Chl-a muestran variación estacional e interanual, éstas pueden verse influenciadas por factores de mayor escala como el ENOS. La especie mostró variabilidad interanual en sus diferentes parámetros poblacionales, siendo más evidentes en la talla media, el índice de funcionamiento de crecimiento (Φ') y la abundancia. La Φ' mostró relación positiva significativa ($p < 0.05$) con la Chl-a y el SOI por lo que su crecimiento se vio beneficiado con el aumento en las concentraciones de Chl-a cuando hubo condiciones normales y de La Niña. Mientras que mostró una relación negativa ($p < 0.05$) con la TSM y el ONI, por lo que su crecimiento se vio afectado con el incremento de la TSM por condiciones de El Niño y la disminución de la Chl-a.

Palabras clave: *Stomolophus meleagris*, Golfo de California, parámetros poblacionales, variación interanual.

ABSTRACT

The scyphomedusae *Stomolophus meleagris* is known as cannon ball jellyfish, and is a species that has become an important fishing resource in the coast of the State of Sonora, the eastern coast of the Gulf of California, an area characterized by highly variable weather and oceanographic conditions that can exert an effect on the dynamics of several fisheries, including jellyfish, so it is necessary to continue with its evaluation, so that a proper management is applied and its fishery becomes sustainable. In the present work the population dynamics of the cannon ball jellyfish in the southern region of the Sonoran seacoast during 2004-2016 was evaluated, with the purpose of estimating the inter-annual changes in growth, natural mortality, recruitment and abundance of the species and their relationship with environmental variables such as: sea surface temperature (SST) and chlorophyll-a (Chl-a) concentration, as well as their relationship with inter-annual events such as El Niño Southern Oscillation (ENSO), using the Oscillation Niño Index (ONI) and the Southern Oscillation Index (SOI). The mean sizes (L_m) ranged from $36 \leq L_m \leq 119$ mm. Each year it presented between 3 - 5 cohorts. The estimated growth applying the von Bertalanffy model showed a total asymptotic length (L_∞) that varied between $145.0 \leq L_t \leq 179.8$ mm, whereas the instantaneous coefficient of annual growth ($K \text{ year}^{-1}$) $4.40 \leq K \leq 6.00$. The values of the instantaneous coefficient of natural mortality applying Jensen's empirical equation ($M \text{ year}^{-1}$) were $6.6 \leq M \leq 9.0$. The recruitment pattern showed maximum percentages in June and July. The abundance (N) varied within $2 \times 10^6 \leq N \leq 363 \times 10^6$ organisms. The annual fishing mortality rate ($F \text{ year}^{-1}$) was $0.81 \leq F \leq 6.16$. The annual exploitation rate ($E \text{ year}^{-1}$) ranged from $0.11 \leq E \leq 0.41$. The values of the annual SST were $24.89 \leq \text{SST} \leq 26.56$ °C. The values of the annual concentration of Chl-a was $1.98 \leq \text{chl-a} \leq 4.99$ mg / m³. The SST and Chl-a show seasonal and inter-annual variation, these can be influenced by larger-scale phenomena such as ENSO. The species showed inter-annual variability in its different population parameters, being more evident in the average size, the growth performance index (Φ') and the abundance. Φ' showed a significant positive relationship ($p < 0.05$) with Chl-a and SOI, so its growth benefited from the increase in Chl-a concentrations when there were normal and La Niña conditions. Φ' showed a negative relationship ($p < 0.05$) with SST and ONI, its growth was affected by the increase in SST due to El Niño conditions and decrease in Chl-a.

Keywords: *Stomolophus meleagris*, Gulf of California, population parameters, inter-annual variation.

1. INTRODUCCIÓN

El seguimiento del estado de explotación de las especies que conforman los principales recursos pesqueros mundiales es realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. De acuerdo al documento SOFIA (2016), en 2014 el total mundial de la producción de la pesca fue de 93.4 millones de toneladas, de las cuales 81.5 millones de toneladas provinieron de aguas marinas. China es el principal productor, seguido de Indonesia, los Estados Unidos de América y la Federación de Rusia.

En general, el estado de las poblaciones de peces marinos en el mundo no ha mejorado. Sobre la base del análisis de la FAO de las poblaciones de peces comerciales examinadas, la proporción de poblaciones de peces explotadas a niveles sostenibles desde el punto de vista biológico disminuyó del 90 % en 1974 al 68.6 % en 2013, por lo tanto, se estima que el 31.4 % de las poblaciones de peces tuvieron una pesca excesiva. Del número total de poblaciones evaluadas en 2013, las explotadas plenamente representaron el 58.1 % y las infraexplotadas, el 10.5 %. En consecuencia, se incrementó el porcentaje de las poblaciones explotadas a un nivel biológicamente insostenible. Las 10 especies más productivas representaron alrededor del 27 % de la producción de la pesca marina mundial en 2013. Sin embargo, la mayoría de sus poblaciones está plenamente explotada y es imposible aumentar su producción; el resto son objeto de sobrepesca y solo se puede aumentar su producción después de restaurar las poblaciones (SOFIA 2016).

Tras el agotamiento de poblaciones más tradicionales, se están dedicando esfuerzos a capturar poblaciones de recursos menos valiosos que anteriormente se explotaban poco o nada; por lo tanto, se está produciendo en algunas regiones un cambio a largo plazo en la composición de las capturas. Estos cambios en la composición por especies de las capturas han respondido a distintas causas, tales como la adaptación de la industria y los mercados a recursos que anteriormente tenían poco valor, los efectos de la pesca en la estructura de las comunidades marinas y las variaciones en los sistemas ambientales que influyen en la productividad de las poblaciones (López-Martínez *et al.* 2012). Además, se presenta

a nivel mundial un reclamo cada vez mayor para que se haga uso de los recursos pesqueros de manera sustentable y en armonía con el ecosistema (ejemplo de lo anterior son la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CNUDM), la Declaración de Cancún, la Declaración de Río y el Programa 21 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), el Acuerdo de las Naciones Unidas sobre las Poblaciones de Peces Transzonales y las Poblaciones de Peces Altamente Migratorias y el Código de Conducta de la FAO para la Pesca Responsable, la Declaración y Plan de Acción de Kioto sobre la contribución sostenible de la pesca a la seguridad alimentaria). Recientemente, en el 2015, los estados miembros de las Naciones Unidas adoptaron el compromiso de implementar la Agenda 2030, para el desarrollo sostenible. En esta Agenda, se incluyen objetivos relativos a la contribución y la práctica de la pesca en pro de la seguridad alimentaria y la nutrición en la utilización de los recursos naturales en la que se garantice un desarrollo sostenible en términos económicos, ambientales y sociales. Asimismo, en el Acuerdo de París de la Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se reconoce que el cambio climático constituye una grave amenaza para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible en todo el mundo. Por lo tanto, la gobernanza debe garantizar que la pesca se adapte a las repercusiones del cambio climático y mejore la resiliencia de los sistemas de producción de alimentos (SOFIA 2016).

Consecuentemente, se presenta un reto fuerte si se desea mantener la actividad pesquera: la búsqueda de alternativas para diversificar la actividad, esto es, la exploración y ubicación de recursos que ofrezcan potencial pesquero, como también el aprovechamiento sustentable de estos recursos. Ejemplos en la diversificación de la explotación de los recursos pesqueros incluye a varios grupos de invertebrados marinos como por ejemplo los equinodermos (erizos de mar y pepinos de mar) y algunos cnidarios (medusas), recursos que son muy apreciados en los mercados asiáticos para el consumo humano.

Durante las últimas décadas a nivel global ha habido un incremento en los individuos de varios grupos de los cnidarios, por ejemplo, las medusas (escifozoarios). El incremento de las temperaturas del agua debido al calentamiento global, la reducción de sus depredadores debido a la sobre-pesca y contaminación del agua están entre las posibles causas del incremento de las poblaciones de medusas (Mills 2001).

En las 200 especies de escifozoarios o medusa, todas marinas, la medusa es la fase más conocida del ciclo de vida. De los diversos grupos de medusas que actualmente existen, solamente las medusas que pertenecen al orden Rhizostomeae están siendo cosechadas como alimento ya que son más grandes y sus cuerpos más rígidos, haciéndolas más atractivas para los mercados que las consumen. Indonesia fue el primer país en utilizar a la medusa como alimento, seguido rápidamente por otros países asiáticos. En el resto del mundo, desde la década de los setenta se han desarrollado pesquerías importantes de medusas, las capturas han aumentado exponencialmente, alcanzando las 500,000 t por año a mediados de la década de los noventa. La mayoría de las capturas son del oeste y noroeste del océano Pacífico y la zona oriental del océano Índico. China ha sido el primer país en consumir la medusa por sus propiedades medicinales y nutricionales, sin embargo, es Japón el principal consumidor de este recurso, donde cerca del 50 % de la medusa comercializada es consumida en platillos por su alto contenido de colágeno. Los Estados Unidos de América, Argentina y Australia, fueron los primeros países no asiáticos interesados en la producción de medusa deshidratada y salada, desarrollando programas de cooperación entre gobierno, empresa e institutos de investigación, estableciendo una regulación temporal para la captura de este recurso (Omori y Nakano 2001).

En América hay al menos 13 especies de medusas del orden Rhizostomeae de las cuales las más abundantes son: *Cassiopea xamachana*, *Lychnorhiza lucerna*, *Phyllorhiza punctata*, *Rhopilema verrilli* y *Stomolophus meleagris*. De éstas especies, la *S. meleagris* ya está siendo explotada en algunas regiones, mientras que *L. lucerna* está siendo estudiada en Argentina, las otras dos especies no son

de interés comercial (Brotz *et al.* 2017).

En América, las capturas de las pesquerías de medusas son relativamente bajas si se las compara con las de Asia, representando solamente alrededor del 3% de las capturas mundiales; sin embargo, se está presentando una expansión geográfica en las capturas de medusas en el continente americano. En Argentina, por varios años se ha estado capturando la medusa *L. lucerna* en los alrededores del Río de la Plata para investigar la calidad del producto de esta especie (Schiariti *et al.* 2008, Brotz *et al.* 2017). En Canadá se ha estudiado la pesquería de la medusa *Aurelia* sp. en el Atlántico y el Pacífico, sin resultados positivos, ya que no existe una demanda comercial hacia esta especie. En Ecuador, desde el 2013, comerciantes chinos comenzaron a promover la posibilidad de capturar la medusa "bola de cañón" *Stomolophus meleagris*. En Honduras, en el 2007 se capturó *S. meleagris* en la costa Atlántica para ver su potencial pesquero, en el 2015 se iniciaron estudios para desarrollar la pesquería de la misma especie en la costa del Pacífico. En Nicaragua se han reportado capturas de *S. meleagris* en el 2008, en la costa del Atlántico. En Perú ha habido indicios recientes de explotar la especie *Chrysaora plocamia*, cerca de Pisco, para exportar a China. En EEUU, hay pesquería de medusa bola de cañón en la región sureste del país (Brotz *et al.* 2017).

En México, solamente la medusa *S. meleagris* es explotada comercialmente y a pesar de haber sido descrita por científicos mexicanos a finales de los años 70, en general se sabe poco sobre esta especie en aguas nacionales mexicanas (López-Martínez y Álvarez-Tello 2013). De acuerdo a López-Martínez *et al.* (2009), recientemente gran parte de los descubrimientos sobre la biología de la especie se han llevado a cabo desde el 2004 como resultado de acuerdos de cooperación entre científicos y compañías pesqueras. Información como los sitios y estacionalidad de los afloramientos de la especie, su biología reproductiva, crecimiento, mortalidad, reclutamiento, relaciones entre medusa – ambiente, y el asentamiento de pólipos han sido objeto de investigación. En relación a la pesquería de esta especie, la mayoría de las capturas son obtenidas en el Golfo de California (GC), específicamente en el estado de Sonora (López-Martínez y Álvarez-Tello 2013).

El GC, presenta un ambiente complejo con intensas variaciones debido a sus propiedades climatológicas y oceanográficas, en parte influenciadas por su ubicación en la zona de transición entre la región tropical y subtropical (Lluch-Cota 2000). Las condiciones oceanográficas del GC varían en una amplia escala espacial y temporal, ejerciendo influencia en el ecosistema marino y proporcionando hábitats productivos y ricos biológicamente para una gran diversidad de especies con importancia ecológica y comercial García-Morales *et al.* (2017).

S. meleagris al ser una especie que se ha convertido en un importante recurso pesquero en el GC, donde como se mencionó previamente se presentan condiciones climatológicas y oceanográficas altamente variables, pudiera verse afectada por dicha variabilidad. En el presente trabajo se estudió la dinámica de la población de la medusa bola de cañón en la región Sur del Litoral de Sonora, con el propósito de evaluar la variabilidad interanual en el crecimiento, mortalidad natural y abundancia de la especie y su relación con la temperatura superficial del mar (TSM) y concentración de Clorofila – a (Chl-a), así como eventos El Niño y La Niña.

2. ANTECEDENTES

Las medusas de la clase de los Escifozoos son un grupo de organismos muy antiguos, existen evidencias geológicas que datan del Período Cámbrico. Evolutivamente poseen características que les han permitido sobrevivir por más de 500 millones de años, distribuyéndose en casi todos los mares y océanos del planeta.

2.1 Clasificación

La medusa *Stomolophus meleagris* fue descrita por L. Agassiz en 1862 y presenta la siguiente clasificación de acuerdo a la establecida por Cavalier-Smith (2004):

Superreino: Eukaryota; **Reino:** Animalia; **Categoría:** Coelentrata; **Phylum:** Cnidaria; **Clase:** Scyphozoa; **Orden:** Rhizostomae; **Suborden:** Daktyliophorae; **Familia:** Stomolophidae; **Género:** *Stomolophus*; **Especie:** *meleagris*

2.2 Morfología y Anatomía

Las medusas son organismos que pueden ser vistos nadando en la superficie del mar, algunas especies secretan un veneno neurotóxico y en algunos casos mortal (López-Martínez y Álvarez-Tello 2013). En las 200 especies de escifozoarios o medusa, todas marinas, la medusa es la fase más conocida del ciclo de vida, la fase de pólipo está muy poco estudiada. Cuando está presente, el pólipo tiene su celenterón repartido en cuatro tabiques. Se divide transversalmente para dar origen a medusas juveniles, llamadas éfira, de tal manera que un solo pólipo da origen a varias medusas. La medusa adulta, que puede ser muy grande (>2m de diámetro y con tentáculos de hasta 70m de largo), difiere en la misma etapa de los hidrozooarios por tener una mesoglea bien desarrollada, gónadas en su gastrodermis, una boca por lo general lobulada y carente de velo, también poseen condrocitos en las paredes celulares.

Las medusas del orden Rhizostomeae son medusas sin tentáculos marginales; los adultos poseen múltiples aberturas orales. Estas medusas presentan una umbrela gruesa y rígida, con forma de hongo. En *Stomolophus* la condición de medusas juveniles de 3 mm de diámetro y sin tentáculos está siempre presente. La familia Stomolophidae, presenta una umbrela con 16 crestas por octante, los que están adyacentes al órgano sensorial marginal son más largos que los demás. Los tentáculos orales están fusionados a lo largo de toda su longitud, alcanzan un diámetro de hasta 180 mm (Gosner 1971).

La medusa *S. meleagris* está compuesta por una capa externa o epidermis que cubre la superficie exterior del cuerpo y una capa interna o gastrodermis que cubre la superficie interior del organismo. Entre la epidermis y la gastrodermis existe una capa de material gelatinoso, llamado mesoglea (Fig. 1) (Ruppert y Barnes 1996, Álvarez-Tello 2007).

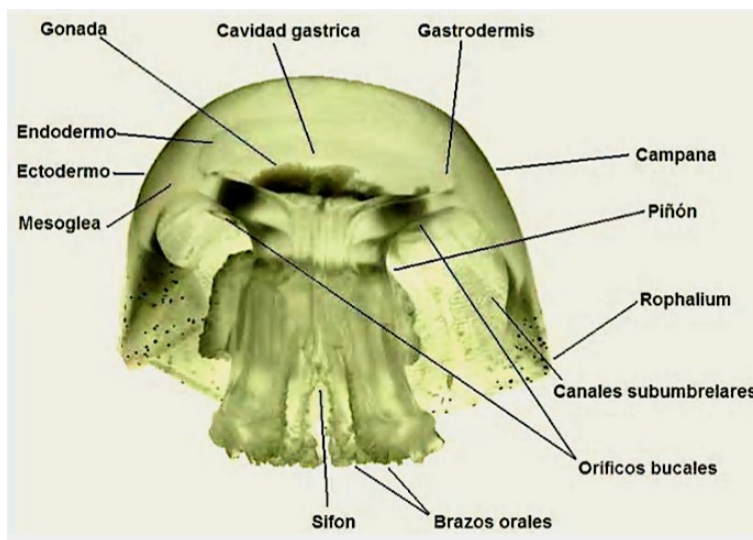


Figura 1. Anatomía de *Stomolophus meleagris*. Tomado de Álvarez-Tello (2007).

2.3 Ciclo de vida

La historia de vida o ciclo de vida de *S. meleagris* (Fig. 2) es semejante a los ciclos descritos para otras especies neríticas de escifozoarios (Naumov 1961, Russell 1970). El huevo fertilizado se desarrolla en una pequeña larva llamada plánula. Después de nadar en el agua por varios días, la plánula se adhiere a un sustrato adecuado y se transforma en un pólipo sésil o escifistoma. Este pólipo sésil se alimenta y crece, adquiriendo un tamaño máximo de unos cuantos milímetros. Estos se reproducen asexualmente de varias maneras, incluyendo la formación de podocistos y yemas móviles e inmóviles, sin embargo, solamente en *S. meleagris* se han observado los podocistos. En adición a su función en la reproducción asexual, los podocistos en los escifozoarios son resistentes a condiciones ambientales adversas (Cargo y Schultz 1966). Bajo condiciones favorables el pólipo sésil sufre estrobilación; durante este proceso al pólipo se le conoce como estróbilo. Dos acontecimientos del desarrollo se llevan a cabo por separado, la segmentación y la metamorfosis, los cuales están involucrados en el proceso de estrobilación (Thiel 1938, Spangenberg 1968). La estrobilación resulta de la derivación de varios organismos a partir de un solo individuo. Una o más éfiras de vida libre pueden ser producidas y la porción basal de la estróbila queda como un pequeño escifistoma después de liberar la éfira. Este pequeño escifistoma rápidamente regresa a su tamaño normal y es capaz de repetir la estrobilación. La éfira se desarrolla hasta

llegar a ser una medusa, completándose el ciclo de vida (Calder 1982).

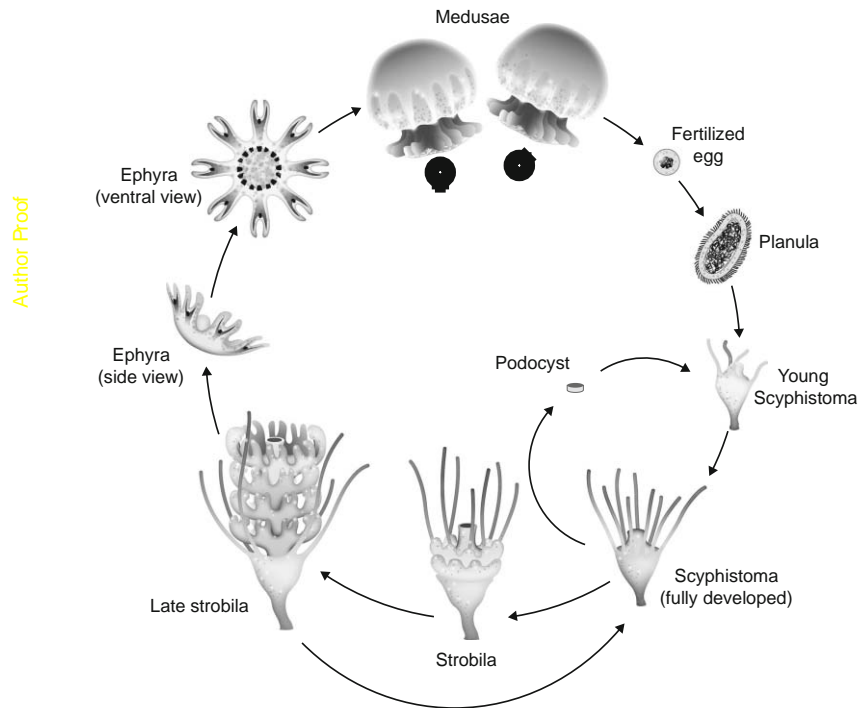


Fig. 2 Life cycle of the cannonball jellyfish *Stomolophus meleagris*. Gametes are released by sexually mature medusae. scyphistomae. Scyphistomae may increase their abundance by the asexual formation of podocysts. Young medusae (ephyrae)

Figura 2. Ciclo de vida de *Stomolophus meleagris*. Tomado de Brotz *et al.* 2016.

López-Martínez *et al.* (2004) menciona que en la fase de medusa (fase que es objeto de interés comercial), la longevidad es de 3-6 meses, mientras que en la fase de pólipo (fase que no se conoce al estar en el fondo del mar), de acuerdo a estudios preliminares realizados en el laboratorio del CIBNOR bajo un ambiente controlado, su longevidad puede llegar a ser de 4-9 años.

2.4 Hábitos alimenticios

La mayoría de las medusas se alimentan de plancton, sin embargo, algunas son filtradoras o dependen de simbiontes fotosintéticos para su nutrición (Barnes *et al.* 2001). Las escifomedusas son depredadores importantes en una variedad de ecosistemas marinos (Möller 1980, Lindahl y Hernroth 1983, Matsakis y Conover 1991, Purcell 1992, Costello y Colin 1995). La mayoría de las medusas capturan a sus presas utilizando sus nematocistos (Arai 1997, Álvarez-Tello *et al.* 2015). Generalmente son considerados organismos carnívoros y tienen una gran importancia como depredadores planctónicos. Algunas incluyen en su dieta a

carnívoros de primer y segundo orden (Ramírez y Zamponi 1981, Padilla-Serrato *et al.* 2013). Otras especies prefieren pequeños crustáceos, larvas y huevos de peces (Alvariño 1985, Padilla-Serrato *et al.* 2013).

En medusas, los diferentes mecanismos que determinan la selectividad de las presas aún no está muy bien definido (Costello y Colin 1994, Colin y Costello 2007, Padilla-Serrato *et al.* 2013). Varios estudios en diferentes regiones han descrito que a pesar de que *S. meleagris* es un planctívoro politrófico, la especie se alimenta predominantemente de ciertas presas, que no necesariamente representan a las especies de mayor abundancia en el plancton, sugiriendo selectividad por sus presas (Larson 1991, Álvarez-Tello *et al.* 2015). En comparación con otras medusas, la especie carece de tentáculos, que le ayudaría a capturar una mayor variedad de presas (Costello y Colin 1995). Por lo tanto, los huevecillos de peces componen gran parte de su dieta, al igual que larvas de bivalvos, gasterópodos, copépodos, decápodos y cirrípedos, tal y como lo sugieren investigaciones en el Golfo de México por Larson (1991) y Puente-Tapia (2009); al igual que en el Golfo de California (Padilla-Serrato *et al.* 2013, Álvarez-Tello *et al.* 2015).

2.5 Reproducción

La especie *S. meleagris* no presenta dimorfismo sexual, tampoco se puede determinar por medio de estructuras anatómicas el grado de maduración gonadal. Por lo que el análisis gonádico histológico es indispensable para determinar el estado de madurez que presenta el individuo, así mismo para determinar el sexo del organismo. Se ha sugerido que las medusas cuentan con una alta fecundidad (Boero *et al.* 2008, Carvalho Saucedo *et al.* 2012). Existe una relación de la fecundidad con longitud, diámetro y peso húmedo, de tal manera que los individuos más fecundos son los de mayor longitud y peso. De igual manera el índice gonadosomático presenta un aumento significativo con la longitud (Carvalho Saucedo *et al.* 2012).

El aumento de la clorofila *a* sugiere un incremento en la disponibilidad de alimento para la medusa *S. meleagris*. Se ha observado que la abundancia de alimento junto

con el aumento progresivo de la temperatura contribuye a la maduración y el período reproductivo de la especie en determinadas zonas (Carvalho Saucedo *et al.* 2011).

La abundancia y el tamaño de *S. meleagris* en las lagunas costeras del norte del Pacífico oriental tropical, pueden deberse a una mayor oscilación de la temperatura del mar en la región, por lo que es posible que la talla de primera madurez varíe con los cambios estacionales. Por lo que es importante considerar las variables como temperatura, biomasa planctónica y salinidad, entre otras, para entender su relación con la estacionalidad reproductiva de esta especie (Luna y Aguirre 1999, Carvalho Saucedo *et al.* 2011).

2.6 Interacciones biológicas

Las medusas presentan múltiples asociaciones biológicas (Pagès 2000, Ohtsuka *et al.* 2009), destacando las establecidas con peces juveniles (Rountree 1983, López-Martínez y Rodríguez-Romero 2008), así como con cangrejos (Gutsell 1928, Rountree 1983). Además de estas asociaciones, se conoce la existencia de interacciones con ciliados, dinoflagelados, helmintos, nemátodos, ofiuros, cnidarios y una amplia variedad de crustáceos, entre los que figuran los cirrípedos pedunculados parásitos (Ohtsuka *et al.* 2009).

S. meleagris presenta interacciones biológicas complejas con organismos pelágicos de su entorno. Se han reportado asociaciones con cirrípedos en el Golfo de California (Álvarez-Tello *et al.* 2013). López-Martínez y Rodríguez-Romero (2008), también reportan asociación de *S. meleagris* con el pez *Hemicaranx zelotes* en el Golfo de California, también mencionan que existen reportes de asociaciones de *S. meleagris* con otras especies en los que se discuten los beneficios de tales asociaciones (Philips *et al.* 1969, Rountree 1983) tales como: *Chloroscombrus chrysurus*, *Peprilus burti*, *Peprilus triacanthus*, *Monacanthus hispidus*, *Alutera schoepfi*, *Caranx bartholomaei* y *Caranx hippos*. Así mismo, se conocen asociaciones de esta medusa con cestodos (Philips y Levin 1973) y con los cangrejos *Libinia dubia* (Whitten *et al.* 1950, Rountree 1983) y *Libinia emarginata* (Hildebrand 1954).

Es importante conocer el papel de la medusa en el funcionamiento de los ecosistemas, sus interacciones inter-específicas y los potenciales efectos de su extracción por la pesca en la región del Golfo de California. Las medusas también forman parte de la dieta de organismos pelágicos, incluyendo sifonóforos, ctenóforos, quetognatos (Alvariño 1985, Padilla-Serrato *et al.* 2013), otras medusas (Larson 1987, Padilla-Serrato *et al.* 2013), peces (Runge *et al.* 1987, Padilla-Serrato *et al.* 2013) y tortugas (Johnson-Díaz *et al.* 1993, Márquez 1996, Padilla-Serrato 2013).

2.7 Pesquería de le especie

En China y en Japón la pesca de medusas comestibles tiene una historia centenaria, la medusa constituye un importante ingrediente de la cocina tradicional. Sería hasta los años setenta del siglo pasado que la medusa ganaría relevancia como producto de exportación en todo el Sudeste Asiático, más que nada debido al aumento de su demanda en el mercado japonés.

Desde los 70 las capturas mundiales se han incrementado en forma exponencial, desarrollándose grandes pesquerías comerciales llegando a rebasar las 500,000 toneladas. Aunque tradicionalmente confinadas a aguas asiáticas, pequeñas cantidades de medusas son cosechadas en Australia, USA, UK, Namibia, Turquía y Canadá. Su valor excede los \$12.5 millones de dólares (López-Martínez *et al.* 2004).

En México, Mungaray (2007) menciona que la “bola de cañón” provoca gran actividad pesquera, ya que su captura es bien pagada; desde el 2002 ha dado empleo a unos 350 pescadores en promedio, y en el pico de la producción hasta más de 500, el 80% son eventuales, esto en el estado de Sonora. El mismo autor expresa que la Empresa Pesquera México, S.A. de C.V. promueve esta pesquería, ya que procesa y comercializa productos pesqueros para exportación. El 100% de la producción de medusa va a Malasia, Japón, Corea y China.

La mayor parte de las capturas de le medusa *S. meleagris* en aguas mexicanas, se obtienen en el Golfo de California en la región costera del Estado de Sonora (Fig.

3). Con los volúmenes de capturas obtenidas entre los años 2001-2010 en el Estado de Sonora, la pesca de la medusa se ubica en tercera posición, siendo solamente superada por la pesca de sardina y equiparándose con la pesca de calamar (López-Martínez y Álvarez-Tello 2013).

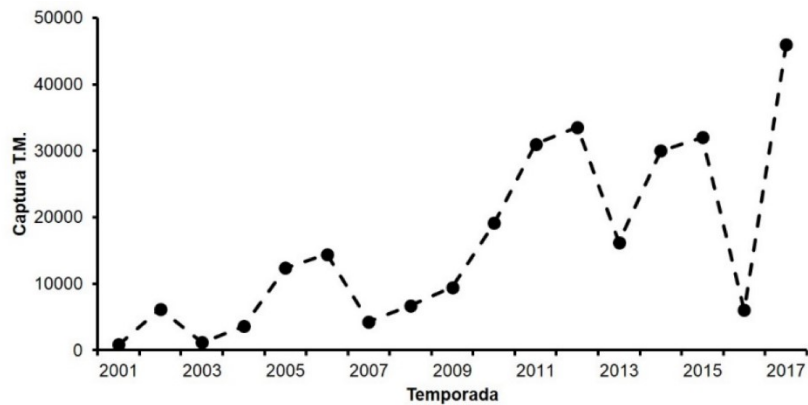


Figura 3. Volumen de capturas de la medusa *Stomolophus meleagris* en el Estado de Sonora (2001-2017). Tomado de López-Martínez *et al.* (en prensa).

El equipo de pesca que se ha utilizado para su captura en diferentes regiones para la captura de medusas incluye varios tipos de redes como ser redes de arrastre, redes cuchara, redes de mano, red de cerco (Omori y Nakano 2001). En México, la captura de medusa se lleva a cabo en botes de fibra de vidrio, comúnmente llamadas “pangas”, que involucra a tres pescadores con sus respectivas redes cuchara para la captura. Estas redes consisten en un aro de alrededor de 0.4 m de diámetro, montado en un mango de 1.5 a 2.0 m de largo. La red tiene una abertura de malla de 0.07 a 0.12 m (López-Martínez y Álvarez-Tello 2013).

2.8 Estudios previos sobre la especie en el Golfo de California

El Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), a través de varios años ha realizado diferentes estudios de esta especie en el Golfo de California, en particular el litoral de Sonora, entre los cuales destaca:

- Estimación de la abundancia de la medusa en la región Sur del litoral de Sonora durante 2005 y 2006.
- Desarrollo de estudios orientados a conocer aspectos de la dinámica poblacional de

la medusa, tales como crecimiento, mortalidad y reclutamiento.

- Obtención de resultados de talla de primera madurez, periodo reproductivo en fase medusoide. Planteamiento de una escala histológica para determinación del estadio de madurez, resultado sin precedentes a nivel mundial para esta especie.
- Se han iniciado estudios para la caracterización de los estadios planctónicos y bentónicos de la especie, para describir el ciclo de vida completo.
- Identificar potenciales relaciones entre variables ambientales (temperatura y precipitación) y la medusa.
- Se han llevado a cabo análisis de la fase pólipo en condiciones controladas de laboratorio, donde se han obtenido pólipos de 5 años de vida.
- Se planteó la posibilidad de que el mayor número de áreas de avistamiento y aprovechamiento de medusas de los últimos años sean el reflejo de una ampliación de la distribución de la medusa, más que crecimiento de poblaciones aisladas, por consiguiente, se trate de una metapoblación.

(López-Martínez *et al.* 2017)

2.9 Legislación y ordenamiento de la pesquería en México

Gracias a los esfuerzos que el CIBNOR ha destinado hacia los estudios biológicos y pesqueros de la especie en el Golfo de California, por medio de la pesca de fomento, se ha logrado generar conocimientos necesarios para plantear propuestas de manejo de la especie en fase de medusa. Estos esquemas de manejo incluyen, reglamentación del arte permitida, niveles de esfuerzo, periodos de pesca, entre otros. Así mismo, durante 2008-2009 se planteó por parte del CIBNOR una propuesta de Plan de Manejo de la especie que contempló entre otras cosas, aspectos biológicos, descripción de la pesquería y medidas de manejo administrativas, así como puntos de referencia biológicos sugeridos.

En el 2011, la CONAPESCA, a través del INAPESCA, emitió la actualización de la Carta Nacional Pesquera, instrumento normativo de la política y el manejo pesquero en México, donde en la ficha correspondiente a la medusa bola de cañón, sale ya en esquema de manejo de pesca comercial para la zona II (Las Guásimas), Sonora, únicamente (López-Martínez *et al.* 2012). En la ficha de la especie, se mencionan

generalidades de la medusa bola de cañón (parámetros de crecimiento, longevidad y mortalidad), zonas de captura, unidad de pesca, indicadores de la pesquería, medidas de manejo, el esfuerzo pesquero y los lineamientos y estrategias de manejo.

3. JUSTIFICACIÓN

Las medusas se distribuyen en todos los mares del mundo y a diversas profundidades (Omori y Nakano 2001). Por la naturaleza de su ciclo de vida, el zooplancton gelatinoso (al cual pertenecen las medusas) viene y se va estacionalmente, presentando sus abundancias máximas (blooms) durante la primavera o el verano, cuando el alimento planctónico es más abundante. Los factores que contribuyen a la formación de los blooms son probablemente muchos y complejos (Mills 2001).

Las medusas de género *Stomolophus* abundan tanto en las costas del norte del Atlántico y Golfo de México como en el Océano Pacífico (Gómez-Aguirre 1991). En el Pacífico, el género *Stomolophus* puede ser encontrado desde la parte norte de Sonora, en la región del Alto Golfo, hasta el Ecuador, en Sudamérica (Luna y Aguirre 1999). Si bien es más tropical, su distribución incluye áreas subtropicales y templadas y se sugiere que pudo haber sido empujado hacia el Norte por las condiciones generadas por eventos climáticos como “El Niño”, como se ha demostrado para otras especies, y potenciar su capacidad de reproducción con su habilidad para colonizar nuevas áreas (Gómez-Aguirre 1991).

Las interacciones de la medusa con el resto de especies presentes en los ecosistemas pueden llegar a ser muy complejas y dependen de varios factores. La medusa perjudica las poblaciones de peces de dos maneras: en primer lugar, hay especies de medusas que se alimentan de huevos o larvas de peces; en segundo lugar, hay especies de medusa que compiten con peces depredadores por el mismo alimento. En este sentido, cabe recordar que los peces depredadores de mayor tamaño son los más valorados comercialmente. Las interacciones también pueden resultar beneficiosas para las pesquerías. La medusa constituye una fuente de

alimento de peces adultos o sub-adultos. En cuanto al mantenimiento del equilibrio de los ecosistemas pesqueros, lo interesante sería determinar el impacto que la medusa en grandes cantidades (las “proliferaciones de medusa”) tiene en las poblaciones de peces y su impacto a mayor escala en las pesquerías comerciales (Magesh 2004).

Muchos estudios atribuyen el afloramiento de poblaciones de medusas a las tendencias climáticas en largos períodos de tiempo, de hasta diez años. Aun con poco conocimiento sobre los afloramientos de medusas, existe un mercado cada vez más grande basado en la pesca de *S. meleagris*, siendo el mercado asiático el más importante. En los últimos años, México ha tomado ventaja de esta nueva oportunidad de mercado y las pesquerías de *S. meleagris* se han establecido en el Golfo de California, generando ingresos significativos en los Estados de Sonora y Sinaloa (Garrido *et al.* 2007, Carvalho *et al.* 2011, Girón-Nava *et al.* 2015).

Las distribuciones de poblaciones de medusa son muy esporádicas e imprevisibles. Se sabe muy poco sobre por qué o cuándo se producen proliferaciones de medusa. Las condiciones meteorológicas, las corrientes, la temperatura del agua, la salinidad y las relaciones tróficas pueden ser factores determinantes para el tamaño de sus poblaciones.

La pesquería de medusa es relativamente nueva en México y aún no se consume en el país; sin embargo, es una importante alternativa para los pescadores, como una nueva fuente de trabajo y un rubro más para la exportación que genera divisas al país. Con este trabajo, se contribuiría al mejor aprovechamiento de la especie por parte de los pescadores ribereños de las diferentes comunidades costeras entre el sur de Bahía Lobos y Agiabampo, Sonora.

4. HIPÓTESIS

Las características poblacionales de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* en la región sur del litoral de Sonora, México, situada entre el sur de Bahía Lobos y Agiabampo, presentan variaciones interanuales debido a cambios ambientales, específicamente temperatura superficial del mar y clorofila *a*.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

- Evaluar la dinámica poblacional de la medusa *S. meleagris* en la zona Sur del litoral de Sonora, México, comprendida entre Bahía Lobos y Agiabampo, durante el período de 2004 a 2016.

5.2 Objetivos particulares

1. Analizar las tallas, el crecimiento individual promedio, la mortalidad natural y el patrón de reclutamiento de *S. meleagris* en la zona Sur del litoral de Sonora de 2004 a 2016.
2. Estimar la magnitud de reclutamiento, la mortalidad por pesca, la tasa de explotación, la abundancia y biomasa de *S. meleagris* en la zona Sur del litoral de Sonora.
3. Evaluar la relación entre las variaciones de temperatura superficial del mar, clorofila *a*, intensidad de precipitación, ONI y SOI con los cambios en los parámetros poblacionales de la medusa *S. meleagris*.

6. ÁREA DE ESTUDIO

El Golfo de California es un mar marginal de 1,000 km de largo por 100-150 km de ancho, limitado por la península de Baja California al Oeste y la costa de Sonora, Sinaloa y Nayarit al Este y comunicado abiertamente al Océano Pacífico hacia el sur (Roden 1964).

El Golfo de California ofrece un medio ambiente con temperaturas extremas, alta evaporación, y condiciones generales de aridez. El tipo de clima prevaleciente, de acuerdo con la clasificación de Köppen modificado por García (1988), corresponde al BW (h´) hw (x´), es decir, muy árido, cálido, con régimen de lluvias de verano, extremos con oscilaciones térmicas diurnas entre 7 y 14 °C, con un promedio mensual de oscilación de 12 grados. El campo de vientos sobre el Golfo de California es de naturaleza monzónica, con vientos del noroeste durante el invierno (noviembre-mayo) y del sur o sureste en verano (junio-septiembre).

El área de interés para el presente proyecto queda comprendida en la región central del Golfo desde los 27°18'00" N, 110° 36'00" O hasta los 26°18'00" N, 109°16'00" O (Bahía Lobos a Agiabampo) (Fig. 4). En esta región del Golfo de California se presenta una alta productividad durante el invierno debido a la surgencia costera asociada con los patrones de viento de invierno (Maluf 1983, Lluch-Cota 2000, García-Morales *et al.* 2017).

Las lagunas costeras fueron formadas dentro de áreas bajas a lo largo de la zona costera, localizadas bajo el nivel medio del mar. Presentan conexiones permanentes o efímeras con el mar abierto y en algunos casos, la interacción entre la laguna y el mar abierto está limitado por algún tipo de barrera física (Lankford 1977).



Figura 4. Localización de la zona de estudio, región Sur del litoral de Sonora.

Bahía de Lobos (27°18'N, 110°36'O) es una laguna costera, antiestuarina, somera y se comunica al mar por medio de dos bocas abiertas todo el año, la Boca Norte de 2.4 km de amplitud con dos canales del 4 m y 11 m de profundidad, y Boca Sur de 0.8 km de amplitud. El cuerpo de la laguna tiene 7,260 has de superficie y 2 m de profundidad promedio. Está influenciada por un clima árido con lluvias en verano

e invierno, así como por un patrón de vientos estacionales. La circulación del agua es generada principalmente por las mareas, los aportes de agua dulce son un colector de aguas residuales y las lluvias, la temperatura del agua varía entre 16°C y 38°C y la salinidad entre 17 y 39 partes por mil. Pero sólo se registran valores bajos de salinidad donde desemboca el colector, los sedimentos se componen de arenas en las bocas y limos en el resto de la laguna. Tanto la vía detrítica como la vía fotosintética son importantes en su producción orgánica, su productividad primaria es de 34 a 83 mg C/m³ /h. El fitoplancton se caracteriza por diatomeas de agosto a noviembre y nanoflagelados de diciembre a febrero (Arreola-Lizárraga 1995).

El sistema lagunar Tóbari-Siaric (27°06'N, 109°58'W) localizado en el litoral sur de Sonora con una superficie de más de 7000 ha. y una isla arenosa de 12 km de longitud que forma dos bocas en cada uno de sus extremos con la laguna (Rosales *et al.* 1992). Representa un importante humedal costero receptor de aguas residuales de origen agrícola. La profundidad promedio es de 1.4 m. Las zonas profundas se ubican en los canales principales de acceso a las bocas, con profundidades en la boca norte de 5 m y 8 m en la boca sur (Cruz *et al.* 2000).

La región de Yavaros está situada en el flanco sureste del delta del río Mayo; comprende a las lagunas de Yavaros, de Etchoropo y Moroncarit, al Estero Moroncarit y al antiguo y al actual estuario del río Mayo. Las lagunas son remanentes de un cuerpo alargado, paralelo a los antiguos cordones de dunas, hoy estabilizadas, de la porción centro-occidental de la región. La Laguna de Yavaros es somera, con 2.0 m de profundidad media; tiene un sistema de canales de marea bien formados, desarrollados desde la boca lagunar hasta la porción central de la laguna. La máxima profundidad de la laguna es de 10 m y se encuentra en el canal principal de entrada. La laguna se comunica con el Golfo de California mediante una boca amplia limitada por dos barreras litorales formadas por varias series de antiguos cordones de playa.

Para la región de Yavaros, los valores de la temperatura del agua varían de 19 a 23°C, y los de la salinidad del agua oscilan entre 10 y 32 UPS. Estas modificaciones

causadas por la insolación, la evaporación y el ingreso del agua procedente del distrito agrícola. Mientras que para la región del sistema lagunar – estuarino Agiabampo – Bacorehuis – Río Fuerte Antiguo, la temperatura media del agua es de 25.1°C, con oscilaciones desde 13.4 hasta 31.8 °C y salinidad media de 35.2, con variaciones desde 18.8 hasta 51.2. El clima de la región es un clima cálido y muy seco, con una temperatura media anual de 22 °C, y una precipitación media anual de 300 mm (Secretaría de Marina 1999).

En la Laguna de Etchoropo la profundidad media es de 0.10 m y en la Laguna Moroncarit es de 0.30 m. La velocidad de las corrientes lagunares varía de 2.5 a 50.0 cm/seg y corresponde con la marea; las mayores velocidades se registran en el canal principal. El ingreso de la marea es franco en la boca de la Laguna de Yavaros y se amortigua por fricción. Estas modificaciones fueron causadas por la insolación, la evaporación y el ingreso del agua procedente del distrito agrícola. La concentración de los sedimentos arenosos suspendidos en el agua lagunar fluctúa de 0 a 3 g/L; la turbidez del agua es de 0.90 a 2.00 m de visibilidad. El comportamiento de estos parámetros está influenciado por la marea y por el drenaje superficial. Las corrientes de litoral son originadas por el oleaje del SE y por los vientos del NW-SE. Los sedimentos arenosos transportados por las corrientes de litoral y de marea han formado un incipiente delta exterior frente a la boca de la Laguna de Yavaros. El estado evolutivo de la región de Yavaros varía desde intermedio en la Laguna de Yavaros, hasta avanzado en las de Etchoropo y Moroncarit.

El sistema lagunar – estuarino Agiabampo – Bacorehuis – Río Fuerte Antiguo, se encuentra ubicado en la zona costera al sur del estado de Sonora y al norte del estado de Sinaloa, México, con comunicación directa con el Golfo de California. La distancia en línea recta a la laguna de Agiabampo – Bacorehuis es de 64.9 km; al estero Las Lajitas 51.4 km, al estero La Chicura 50.7 km; al estero de San Juan 49.8 km y al estero río Fuerte Antiguo 48.9 km.

En los cuerpos de agua que componen el sitio, destaca el hecho de no presentar aportes de agua dulce naturales importantes, excepto los que recibe de los drenes

del Distrito de riego del valle del Carrizo, Fuerte - Mayo y del valle del Fuerte. La profundidad promedio de la laguna de Agiabampo - Bacorehuis es de 2.11 m, con variaciones entre los 9.0 y 0.40 m. Por su parte en el estero Las Lajas la profundidad media es de 3.0 m, en el estero La Chicura viva es de 2.10 m, en el estero de San Juan de 3.0 m y en el estero Río Fuerte Antiguo es de 2.7 m. La temperatura media del agua es de 25.1 °C, con oscilaciones desde 13.4 hasta 31.8 °C y salinidad media de 35.2 ‰ con variaciones desde 18.8 hasta 51.2 ‰. El clima de la región es del tipo BW(h') w(e), (García, 1973). Es un clima cálido muy seco, con una temperatura media anual de 22° C, y una precipitación media anual de 300 mm (Secretaría de Marina, 1999). Según Lankford, (1977) se clasifica como Tipo II-A (sedimentación terrígena diferencial) y con base en la clasificación de Kjerfve (1994), como lagunas estranguladas (CHK).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó con datos históricos de 2004 a 2016 recabados por el personal técnico del Laboratorio de Pesquerías del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) sede Guaymas, unidad de Sonora, dentro de varios proyectos CONACyT y datos que se generaron durante 2016 al amparo del proyecto SEMARNAT-CONACyT 2014-1-245498.

7.1 Muestreos biológicos

Se efectuaron muestreos quincenales a bordo de embarcaciones menores durante el período de presencia de la medusa. El inicio y fin de actividades extractivas por parte de las embarcaciones pesqueras se determinó por la disponibilidad del recurso y estado físico de los mismos ejemplares de medusa, evaluados mediante prospecciones, a lo largo de toda el área de muestreo. El equipo utilizado para la pesca son redes tipo cuchara (tres por embarcación), que consisten en un aro metálico de 0.50 m de diámetro con mango de 1 a 1.5 m de largo, el paño de la bolsa que puede estar elaborado de diversos materiales naturales y sintéticos, con luz de malla de 5 pulgadas. Las redes son operadas manualmente. Igualmente se utilizó una red Neuston de 50 X 50 cm y luz de malla de 2 pulgadas con cuerpo de

la red de 3 m para capturar organismos de tallas más chicas y así obtener una muestra heterogénea de tal manera que estén representadas diferentes clases de tallas.

En el laboratorio del CIBNOR Guaymas, los organismos fueron medidos en longitud total en mm (Lt), longitud de campana en mm (Lc), diámetro de la campana en mm (Dt), y el peso húmedo en gramos (Pt). La longitud total es la distancia entre la parte superior de la campana y la base del piñón (Fig. 5). Con las diferentes medidas, se estimaron relaciones biométricas, de tal manera que, de necesitar de una medida que no pudo ser obtenida de algún organismo, ésta se pueda inferir por medio de un análisis de regresión.

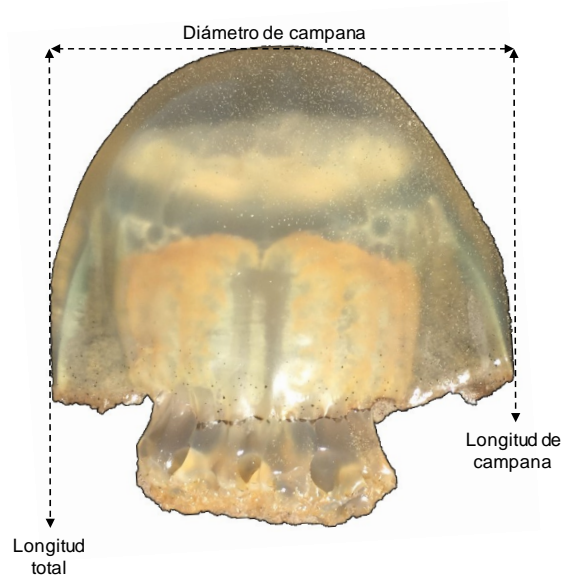


Figura 5. Representación y datos biométricos de la medusa *Stomolophus meleagris*.

7.2 Análisis de datos

7.2.1 Relaciones Biométricas

Con los datos de los muestreos biológicos se obtuvieron relaciones biométricas utilizando las mediciones de peso total, longitud total, longitud de campana y diámetro de campana, empleando el procedimiento de Mínimos Cuadrados del

método de estimación no lineal (Downie y Heath 1981), para minimizar la suma de desviaciones cuadradas. Esto con el objetivo de determinar el tipo de crecimiento que presentan las medusas en el área de estudio.

7.2.2 Estructura de tallas y número de cohortes

Se construyeron estructuras de tallas para obtener una representación de la composición de las agregaciones de la especie; se realizaron a partir de los organismos obtenidos por medio de los pescadores que utilizaron la red tipo cuchara, como también de los individuos obtenidos de los muestreos biológicos realizados con la red Neuston, con el objetivo de contar en la medida de lo posible con un espectro más amplio de tallas.

Para la obtención de las estructuras de tallas, los datos fueron agrupados mensualmente en intervalos de 5 mm de longitud total. Con la finalidad de determinar el número de cohortes (grupos de organismos nacidos en el mismo periodo y lugar) presentes en las capturas, suponiendo una distribución normal de tallas alrededor de la talla media de cada cohorte, se utilizó el método propuesto por Bhattacharya (Pauly y Caddy 1985). Una vez obtenidas las medias y desviaciones estándar correspondientes a cada cohorte y tomando estos valores como semilla, se efectuó el análisis final mediante el método de máxima verosimilitud Hasselblad's NORMSEP (Sparre y Venema 1997).

7.2.3 Crecimiento

Del análisis de la distribución de frecuencia de tallas se estimó el crecimiento ajustando al modelo de von Bertalanffy (Pauly y Munro 1984) suponiendo que la medusa *S. meleagris* sigue la cinética de von Bertalanffy (Pauly y Munro 1984, García y Josse 1988), cuyo modelo tiene la siguiente forma:

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

Donde: t = edad; L_t = longitud del organismo a la edad t; L_∞ = constante, que es la longitud asintótica o la longitud máxima que la especie puede alcanzar; K =

constante, conocida como coeficiente instantáneo de crecimiento; t_0 = constante, que representa la edad que supuestamente debe tener especie para que su longitud sea igual a cero.

Para iniciar las estimaciones, valores semilla de L_∞ fueron calculados mediante el método de Powell (1979) y Wetherall *et al.* (1987) y el valor de K mediante el método New Shepherd's Length Composition Analysis, NSLCA (Shepherd *et al.* 1987, Pauly y Arreguín-Sánchez 1995). Con estos valores como hipótesis, se hizo la estimación final de dichos parámetros a través del método Electronic Length Frequency Analysis, ELEFAN I (Pauly 1987).

Para los cálculos de crecimiento se usó el software FAO ICLARM Stock Assessment Tools FISAT (Gayanilo *et al.* 1995).

Para la estimación del tercer parámetro de la ecuación de crecimiento, la t_0 , se utilizó la ecuación empírica propuesta por Pauly (1984):

$$\text{Log}_{10}(t_0) = -0.3922 - [0.2752 * \text{Log}_{10}(L_\infty)] - [1.038 * \text{Log}_{10}(K)]$$

Para comparar las estimaciones de crecimiento entre años, se utilizó el índice de funcionamiento de crecimiento Φ' (Pauly y Munro 1984). Este índice se estimó a partir de la expresión:

$$\Phi' = \text{Log}_{10} K + 2 * \text{Log}_{10} L_\infty$$

Donde: K y L_∞ son los parámetros de crecimiento previamente obtenidos para cada año.

7.2.4 Mortalidad Natural

Para la estimación de la mortalidad natural, hasta la fecha existen solamente ecuaciones empíricas que han sido probadas para algunos grupos de organismos, principalmente peces y crustáceos. No existe un método desarrollado específicamente para celenterados.

La mortalidad natural (M) fue evaluada mediante tres ecuaciones empíricas:

1.- la ecuación empírica propuesta por Pauly (1980, 1987), este método proporciona un estimado de M, sobre la base de la relación que existe entre este parámetro y los parámetros de crecimiento, en especial, el parámetro K de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy. Además, considera la temperatura (T°) del hábitat de la especie, por el efecto que tiene sobre el coeficiente K y la longitud asintótica (L_∞).

$$\ln M = -0.0066 - 0.279 * \ln L_{\infty} + 0.6543 * \ln K + 0.463 * \ln T$$

Donde: T es la temperatura media anual del hábitat, medida en °C;

2.- La ecuación empírica de Jensen (1996),

$$M_{\text{annual}} = 1.5 * K$$

Donde: K es el coeficiente instantáneo de crecimiento del modelo de crecimiento de von Bertalanffy.

3.- La ecuación empírica de Taylor (1960),

$$M = 2.996 / A_{0.95} - Tr$$

Donde: A_{0.95} corresponde a la edad límite, que es aquella cuando un individuo alcanza una longitud correspondiente al 95% de L_∞, y Tr es la edad de reclutamiento a la población.

La edad límite, que corresponde también a la longevidad del organismo en años, se deriva de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy, siendo:

$$A_{0.95} = (2.996 / K) + t_0$$

Donde: K es una constante, conocida como coeficiente instantáneo de crecimiento; t₀ es una constante, que representa la edad que supuestamente debe tener especie para que su longitud sea igual a cero.

7.2.5 Mortalidad total, mortalidad por pesca y tasa de explotación

Se utilizó el método de la curva de captura linealizada convertida a tallas (Pauly

1984), donde se asume que las muestras de frecuencia de tallas representan a una población estacionaria y donde la población no presenta oscilaciones anuales de crecimiento, la ecuación es:

$$\ln (N_i/\Delta t_i) = a + b * t_i$$

Donde: N es el número de organismos de la clase i, Δt es el tiempo necesario para que el organismo crezca a lo largo de la clase i, t es la edad (o edad relativa, calculada con $t_0=0$) correspondiente a la longitud media de la clase i, y donde b, con el signo cambiado, es un estimado de Z.

La mortalidad por pesca se calcula por medio de la relación:

$$Z = F + M;$$

Donde: Z es el coeficiente de mortalidad total anual, M es la tasa de mortalidad natural anual y F la mortalidad por pesca anual.

La tasa de explotación se obtiene por la proporción:

$$E = F/Z;$$

Donde: E es el valor adimensional de la fracción de muerte por explotación (Csirke 1980).

Estos tres parámetros (F, Z y E) fueron estimados con mayor precisión por medio del Análisis de cohortes basado en tallas de Jones (1984), descrito más adelante.

7.2.6 Patrón de reclutamiento

Se obtuvo mediante el método de ELEFAN II (Pauly 1987) que reconstruye los pulsos de reclutamiento de una serie de tiempo de datos de frecuencias de tallas, de tal manera que determina el número de pulsos anuales y la fuerza relativa de cada pulso. Se requiere de los parámetros L_∞ y K, donde se realiza una proyección hacia atrás a lo largo de la trayectoria definida por el modelo de crecimiento de von Bertalanffy de las frecuencias sobre el eje del tiempo de una serie temporal de muestras.

7.2.7 Análisis de las cohortes

Para la obtención de los coeficientes de mortalidad por pesca, abundancia a talla, magnitud de reclutamiento y tasa de explotación se realizó un Análisis de Cohortes basado en tallas de Jones (1984).

Se calculó el peso promedio para cada marca de clase en la estructura de tallas de las muestras, y fue multiplicada por su frecuencia, la sumatoria de los productos fue el peso de la muestra para el año.

Se obtuvieron las capturas totales, obtenidas en las oficinas de pesca, junto con el peso total de las muestras, se obtuvo el factor de ampliación mediante la siguiente ecuación:

$$FA = \sum P_c / \sum P_m$$

Donde: FA es el factor de ampliación, P_c es el peso de la captura total mensual, y P_m es el peso de la muestra.

El factor de ampliación se multiplicó por la frecuencia de cada intervalo de tallas, y se obtuvo el número total de organismos por intervalo de talla presentes en la captura mediante la siguiente ecuación:

$$C_{mi} = FA * f_{mi}$$

Donde: C_{mi} es el número de organismos del intervalo de tallas, FA es el factor de ampliación, f_{mi} es la frecuencia del intervalo de talla i en las muestras, i es el intervalo de tallas.

La estimación de mortalidad por pesca específica para cada talla (F_i), mortalidad por pesca promedio (F) y abundancias por tallas (N_i) para la especie, se realizaron mediante un análisis de cohortes basado en tallas de Jones (1984), incorporando la mortalidad natural (M) para cada año, suponiendo una M constante para todas las edades y dentro de cada año y un crecimiento constante. El método supone un sistema de parámetros constantes y se basa en estructuras de tallas agrupadas en forma anual, da seguimiento a una cohorte en un año hacia atrás y además supone que la estructura de tallas encontradas pertenece a una misma cohorte (Pope 1972)

convertida a tallas (Jones 1984). El análisis de cohortes se describe con la siguiente ecuación:

$$N_{L1} = (N_{L2} * H_{L1, L2} + C_{L1, L2}) * H_{L1, L2}$$

Donde: N_{L1} es el número de organismos que alcanzan la longitud L_1 , N_{L2} es el número de organismos que alcanzan la longitud L_2 y $C_{L1, L2}$ son el número de organismos que son capturados entre las longitudes L_1 y L_2 .

Donde:

$$H_{L1, L2} = (L_{\infty} - L_1 / L_{\infty} - L_2)^{M/2K}$$

Utilizando la ecuación

$$C_{mi} = N_{i+\Delta t} * (F_i/Z_i) * (EXP (Z_i \cdot \Delta t_i) - 1)$$

El último término de la ecuación anterior ($EXP (Z_i \cdot \Delta t_i) - 1$) tiende a cero para la edad más grande, por lo que la ecuación anterior, definida para N , queda como:

$$N_{i+\Delta t} = C_{mi} / (F_i/Z_i)$$

Esta ecuación permite estimar la abundancia específica para la talla más grande. Se requiere del valor de la tasa de explotación terminal (F/Z) para iniciar los cálculos. Conociendo la captura en número por intervalo de talla y la abundancia para el intervalo de talla más grande, se realiza un retrocálculo de la abundancia, mortalidad por pesca y tasa de explotación para el resto de los intervalos de tallas.

La mortalidad por pesca (F) está dada por la siguiente relación:

$$F = M \frac{F/Z}{1 - F/Z}$$

Donde:

$$F/Z = C_{L1, L2} / N_{L1} - N_{L2}$$

Para estimar la abundancia media anual para el intervalo de talla, la abundancia a talla fue ajustada por el tiempo que pasan en cada clase de talla o δt . Esto se obtiene por medio de la ecuación:

$$N_{Media_{L1,L2}} \delta t = N_{L1} - N_{L2} / Z$$

Una vez estimados los valores de $F_{y,i}$ y $N_{y,i}$ se estimó la mortalidad por pesca promedio anual \bar{F}_y como el producto de la mortalidad por pesca específica a talla, multiplicada por un factor de ponderación que en éste caso es el número de sobrevivientes:

$$\bar{F}_y = \frac{\sum F_i * N_i}{\sum N_i}$$

Donde: N_i = número de sobrevivientes de talla i

El valor de la tasa de explotación para cada año, se obtendrá con:

$$E_y = \bar{F}_y / (\bar{F}_y + M_y)$$

Durante el tiempo Δt , que es el tiempo que le toma a una cohorte crecer del límite inferior al superior del intervalo de talla L_i , el número de sobrevivientes decrece de N_1 a N_2 . El número medio de sobrevivientes de tal intervalo de longitud es calculado como:

$$N_{mi} \Delta t = [N_{talla1,talla2} - N_{talla1,talla2}] / Z_{talla1,talla2} .$$

La correspondiente biomasa media por intervalo de tallas es el producto del número medio de sobrevivientes de tal intervalo de talla multiplicado por el peso medio del intervalo de talla ($W_{talla1,talla2}$), el cual es obtenido con:

$$W_{talla1,talla2} = a * [(talla_1 + talla_2) / 2]^b ,$$

Donde a y b son los parámetros de la relación peso longitud.

Por lo tanto, la expresión para estimar la biomasa media por intervalo de tallas es:

$$B_{mi}\Delta t = N_{mi}\Delta t * W_{talla1,talla2}$$

El estimado de la biomasa media anual durante la vida de una cohorte, o de todas las cohortes durante un año es:

$$\bar{B} = \sum \bar{B}_i \Delta t_i$$

El índice i se refiere aquí a los intervalos de longitudes (longitud $_i$, longitud $_{i+1}$).

7.3 Parámetros ambientales y recurso

Se obtuvo la temperatura superficial del mar (TSM) y las concentraciones de clorofila – a (Chl – a) por medio de imágenes satelitales del sensor Aqua MODIS Sea Surface Temperature (11µ daytime) y Aqua MODIS Chlorophyll concentration, OCI Algorithm, respectivamente, con período de composición mensual y una resolución de 4 km para ambos parámetros. Posteriormente, las imágenes de los sensores satelitales fueron visualizadas y analizadas por medio del software Windows Image Manager (WIM) para obtener los valores numéricos de la TSM y de las concentraciones de Chl – a en el área de estudio.

Se utilizaron los valores de los acumulados diarios de la precipitación que se encuentran en la base de datos del Sistema Meteorológico Nacional (<http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica>) y en la base de datos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (<http://clima.inifap.gob.mx>) de las estaciones meteorológicas más cercanas a la costa, ubicadas dentro de la zona de estudio. Los valores diarios de cada estación fueron sumados para obtener los valores mensuales que posteriormente fueron promediados y se obtuvo el valor anual de precipitación para el área de estudio.

Los valores del Índice Oceánico de El Niño (ONI) por sus siglas en inglés, fueron obtenidos de la página de la NOAA http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.ph,

donde se publica la media de tres meses continuos de las anomalías de la TSM en la región Niño 3.4 (5° N – 5° S, 120° – 170° W). Los valores del Southern Oscillation Index (SOI) por sus siglas en inglés se obtuvieron de la página de la NOAA <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/>, donde se muestran los valores estandarizados basados en las diferencias de la presión observada a nivel del mar entre Tahití y Darwin, Australia, los cuales se han visto que corresponden muy bien con los cambios de la temperatura oceánica a lo largo del Pacífico oriental tropical.

Debido a que la aparición de la especie en fase medusa en esta región de Sonora ocurre por lo general a partir de octubre y hasta junio, se considera el tiempo entre estos meses como un “año biológico de la medusa”. Por lo tanto, para realizar la relación ambiente – recurso, las variables ambientales (TSM y Chl – a) y los valores del ONI y SOI fueron promediados a partir de octubre del año anterior a junio del siguiente año. Los valores de la precipitación se promediaron a partir de julio del año anterior hasta febrero del año siguiente, debido a que son los meses que presentan la mayor intensidad de lluvias, temporada que comprende la desaparición de la fase medusa, asentamiento de las plánulas, inicio de estrobilación y liberación de éfiras. Posteriormente, se obtuvieron anomalías estándar de la TSM, Chl – a, precipitación y parámetros poblacionales de la especie, para observar los años donde las variables se observaron más altas o bajas en relación al valor promedio de la serie de tiempo.

Con la finalidad de evaluar la relación entre las variables ambientales y los parámetros poblacionales, se aplicó una correlación lineal de Pearson, al igual que regresiones mediante estimación no lineal, utilizando Mínimos Cuadrados y como indicador de la significancia el coeficiente de determinación (R^2), mismo que representa el porcentaje de varianza explicada por cada modelo.

8. RESULTADOS

Durante los años de 2004 a 2016 se recolectó y analizó un total de 2,394 organismos en fase medusa. Durante 2005, 2010, 2014 y 2015 no hubo presencia de la especie en el área de estudio, por lo cual no se cuenta con datos de esos años.

8.1 Relaciones biométricas

La relación Lt - Pt en la medusa (n = 1,419) se ajustó a una función potencial, donde el valor del factor de condición (a) fue de 0.0006, mientras que el valor del coeficiente de isometría (b) fue de 2.9161, obteniéndose la siguiente relación: $Pt = 0.0006 * Lt^{2.9161}$ ($R^2 = 0.96$) (Fig. 6), mostrando que los individuos presentaron un crecimiento de tipo isométrico. La relación Dc - Pt de los organismos (n = 570) se ajustó a una función potencial $Pt = 0.0006 * Dc^{2.9583}$, ($R^2 = 0.96$) (Fig. 7), presentando crecimiento isométrico. La relación Lt – longitud de campana (Lc) en la medusa (n = 661) se ajustó a una función potencial donde el valor de (a) fue de 0.6627 y el valor de (b) fue de 1.0715, se obtuvo la siguiente relación: $Lc = 0.6627 * Lt^{1.0715}$, ($R^2 = 0.95$), que muestra un crecimiento isométrico entre longitudes (Fig. 8).

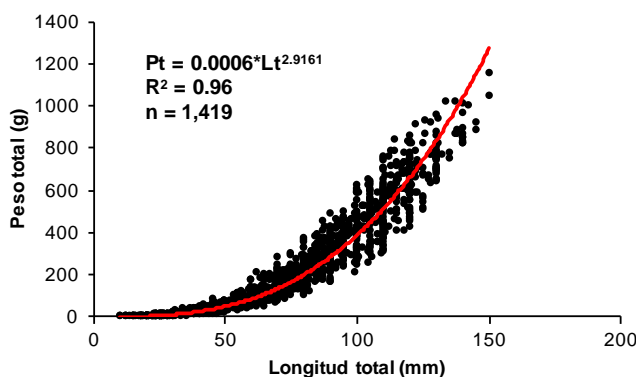


Figura 6. Relación Lt - Pt de 1,419 organismos de *Stomolophus meleagris* medidos de la zona de estudio durante el 2004 – 2016.

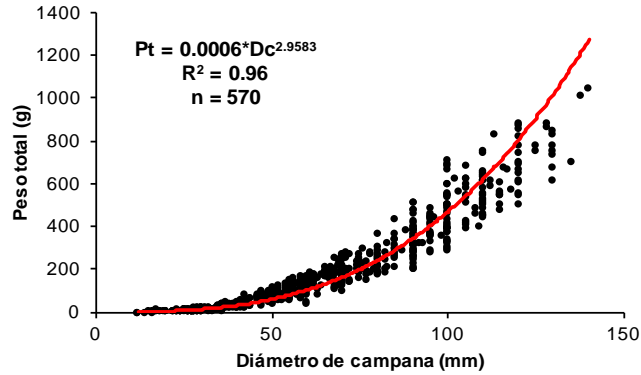


Figura 7. Relación Dc - Pt de 570 organismos de *Stomolophus meleagris* medidos de la zona de estudio durante el 2004 – 2016.

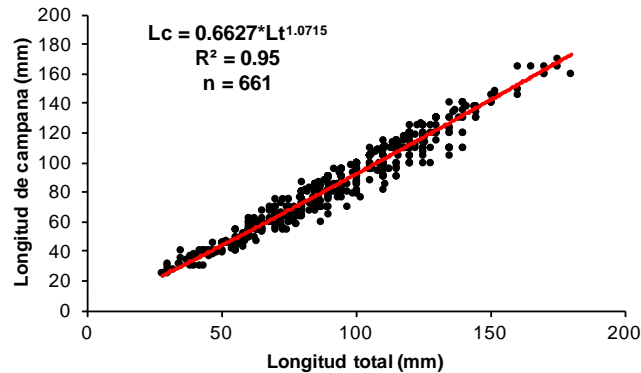


Figura 8. Relación Lt - Lc de 661 organismos de *Stomolophus meleagris* medidos de la zona de estudio durante el 2004 – 2016.

En la figura 9 se observa una variación interanual de las longitudes medias (\pm límite de confianza 95%) de los organismos en el área de estudio para cada año muestreado. El 2007 presenta la talla media más chica, mientras que en 2006 y 2011 se presentan las tallas medias grandes. En el 2008, 2011 y 2012 la talla media presenta la mayor varianza, mientras que 2006 y 2007 son los años que presentan menor varianza. Los valores de cada longitud media se observan en la tabla I.

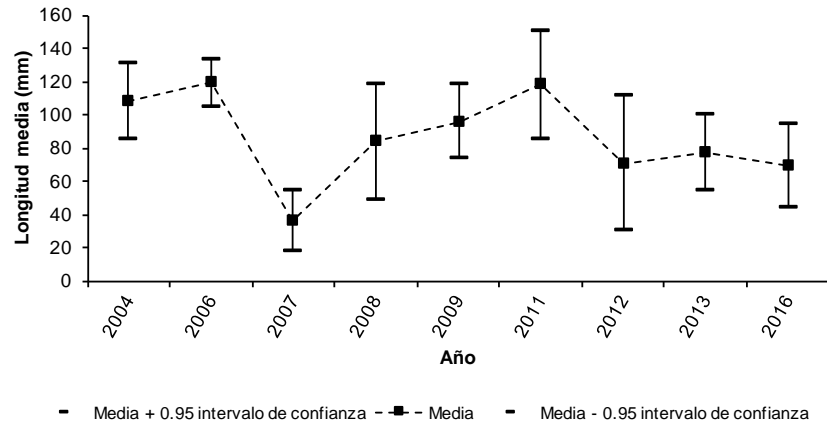


Figura 9. Talla media (\pm límites de confianza 95%) de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* para la región Sur del litoral de Sonora, en el periodo 2004 - 2016.

Tabla I. Valores de la talla media (mm) anual \pm límite de confianza 95% de la medusa *Stomolophus meleagris* en el área de estudio.

Año	Talla media (mm)	Límite de confianza 95%
2004	108	± 22.8
2006	119	± 14.5
2007	36	± 18.2
2008	84	± 34.7
2009	96	± 22.3
2011	118	± 32.6
2012	71	± 40.8
2013	77	± 22.9
2016	69	± 25.0

8.2 Estructura de tallas y número de cohortes

En el año 2004 se colectaron 191 organismos, solamente hubo presencia de individuos durante los meses de abril y mayo. Las medusas muestreadas se encontraron en el intervalo de 17 mm a 172mm Lt, mostrando una distribución polimodal (Fig. 10). En ambos meses predominaron los organismos con Lt entre 99 y 118 mm, se identifican 4 grupos o cohortes (Tabla II).

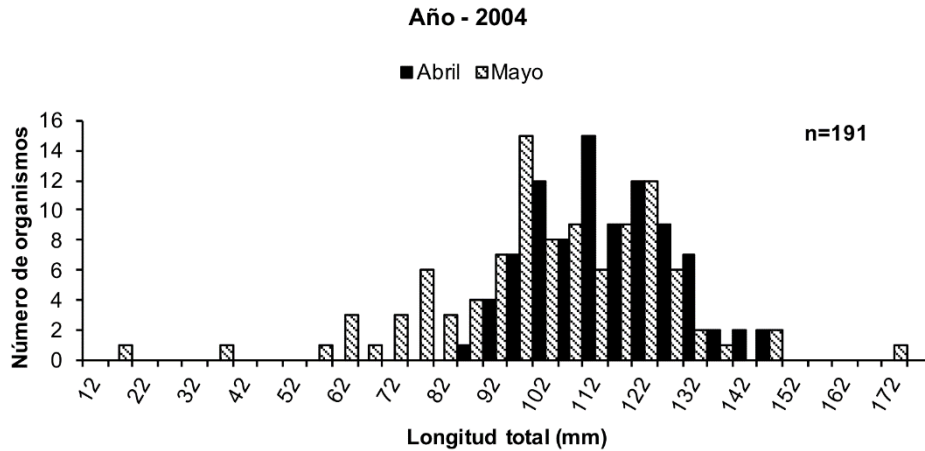


Figura 10. Histograma de frecuencias de tallas de *Stomolophus meleagris* del año 2004 en el Sur del litoral de Sonora, México.

Durante el año 2006, solamente hubo presencia de *S. meleagris* en el mes de junio. Se colectaron y midieron 80 individuos, lo cuales se encontraron en un intervalo de 82 a 142 mm Lt, presentando una distribución polimodal (Fig. 11). La talla con la mayor frecuencia fue de 121 mm y se diferencian tres cohortes en el año (Tabla II).

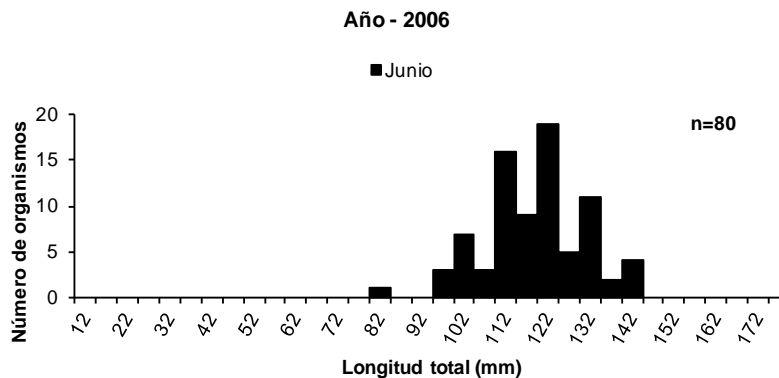


Figura 11. Histograma de frecuencias de tallas de *Stomolophus meleagris* del año 2006 en el Sur del litoral de Sonora, México.

El año 2007 la especie se presentó solamente en el mes de marzo, con individuos de tallas chicas en el intervalo de 12 a 65 mm Lt, la frecuencia presenta una distribución bimodal (Fig. 12). En este año, se observan tres cohortes, donde la

mayoría de los organismos se concentran en las tallas más chicas, entre los 17 y 52 mm Lt (Tabla II).

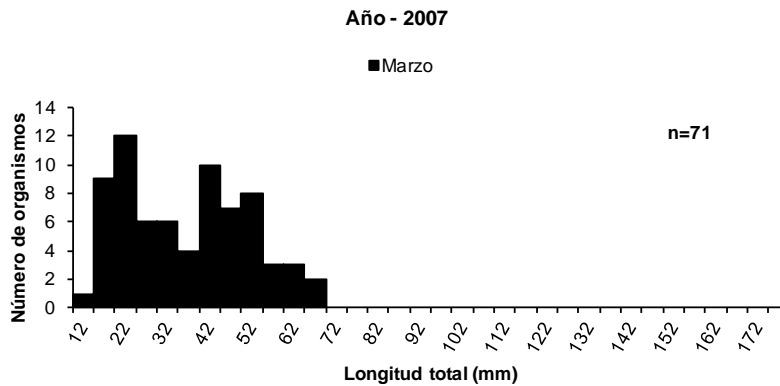


Figura 12. Histograma de frecuencias de tallas de *Stomolophus meleagris* del año 2007 en el Sur del litoral de Sonora, México.

En el año 2008 se colectaron 531 individuos entre los meses de febrero, marzo y abril, los cuales se encontraron en un intervalo de talla de 17 a 177 mm Lt, mostrando una distribución polimodal (Fig. 13). Se identifican tres cohortes, en la cuales la mayoría de los individuos se concentran en las longitudes medias de 49 y 107 mm, como se observa en la tabla II.

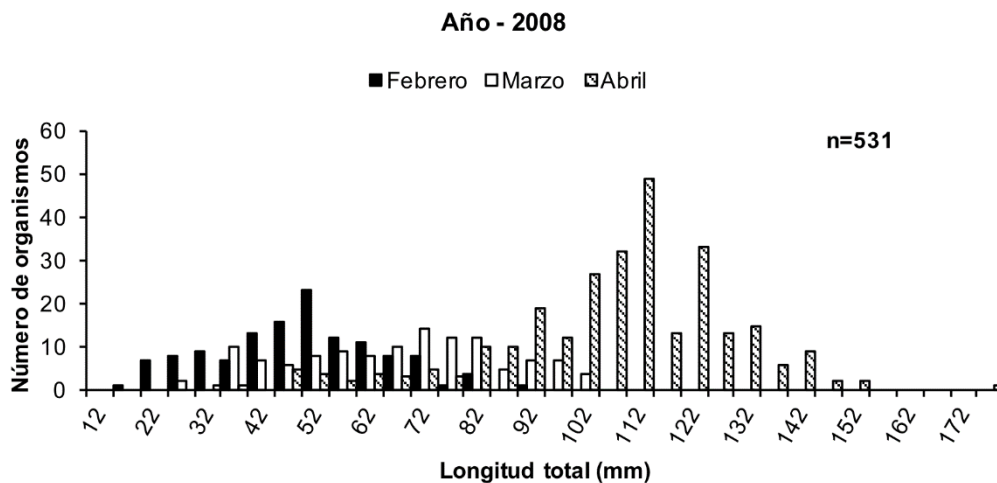


Figura 13. Histograma de frecuencias de tallas de *Stomolophus meleagris* del año 2008 en el Sur del litoral de Sonora, México.

En el 2009 se muestrearon 364 organismos en los meses de abril y mayo, los cuales se encontraron en un intervalo de 47 a 147 mm Lt, presentando una distribución polimodal (Fig. 14).

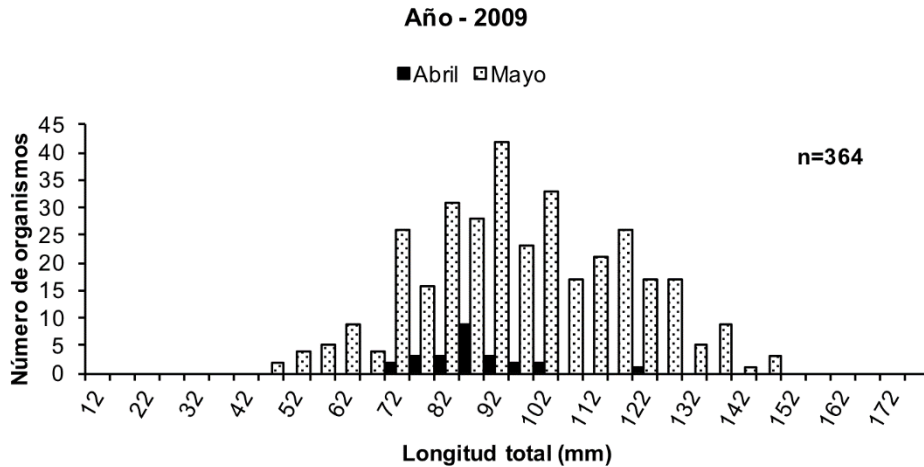


Figura 14. Histograma de frecuencias de tallas de *Stomolophus meleagris* del año 2009 en el Sur del litoral de Sonora, México.

En este año se distinguen cuatro cohortes, de los cuales el grupo con mayor abundancia contiene los organismos con talla media de 90 mm Lt, como se puede apreciar en la tabla II.

Para el año 2011 se muestrearon organismos (n = 310) en los meses de abril y mayo, los cuales se encontraron en un intervalo entre 22 a 177 mm Lt, el más amplio de todos los años de muestreo en la zona de estudio. Tiene una distribución polimodal (Fig. 15), en la cual se distinguen 4 cohortes de las cuales el grupo con la talla media de 123 mm es el que contiene la mayor abundancia de organismos, ver tabla II.

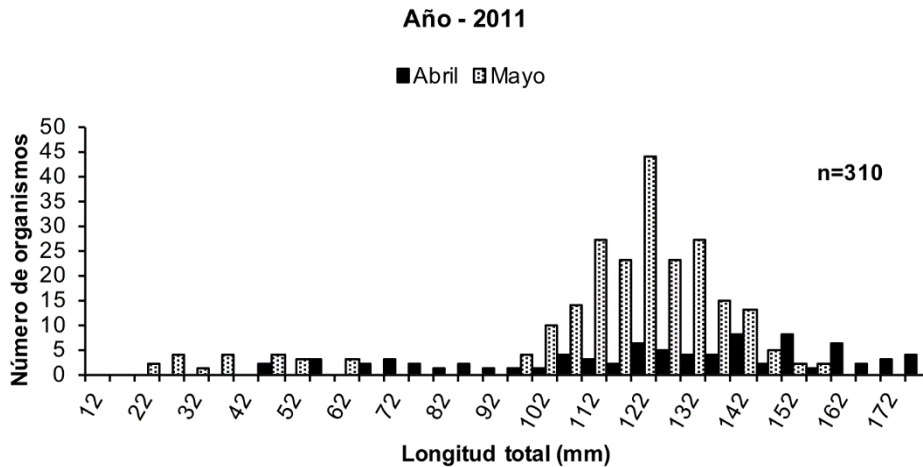


Figura 15. Histograma de frecuencias de tallas de *Stomolophus meleagris* del año 2011 en el Sur del litoral de Sonora, México.

Durante el año 2012 se colectaron 318 organismos en los meses de febrero (n = 107), marzo (n = 155), y abril (n = 56). El intervalo de tallas fue amplio, entre 12 a 152 mm Lt, con una distribución polimodal (Fig. 16). Identificándose 5 cohortes en todo el año, concentrándose los individuos en tallas medias de 29 y 101 mm Lt (Tabla II).

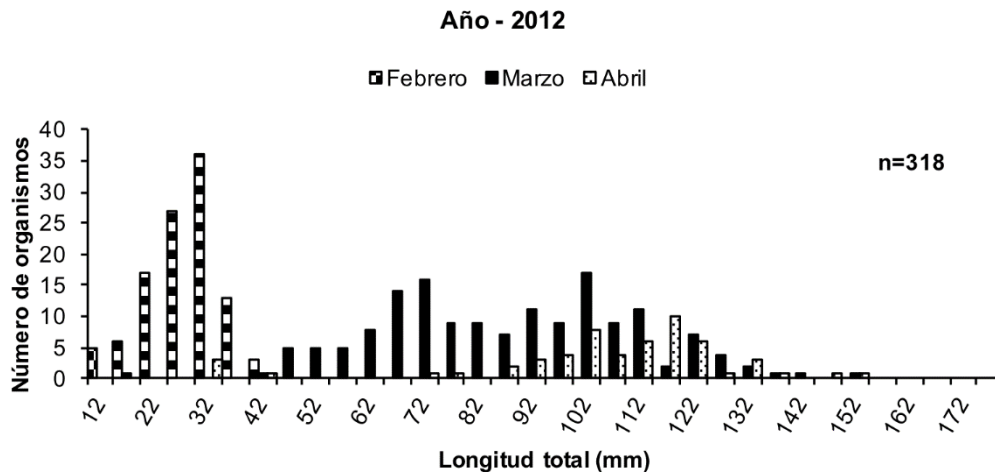


Figura 16. Histograma de frecuencias de tallas de *Stomolophus meleagris* del año 2012 en el Sur del litoral de Sonora, México.

En el 2013 solamente hubo presencia de *S. meleagris* en el mes de abril (n = 60), donde se presentó en un intervalo de 32 a 112 mm Lt, con una distribución polimodal

(Fig. 17). La mayor abundancia de organismos se presentó en la talla de 82 mm Lt, se diferencian 4 cohortes, en los que las tallas medias de cada una y el número de individuos, se puede ver en la tabla II.

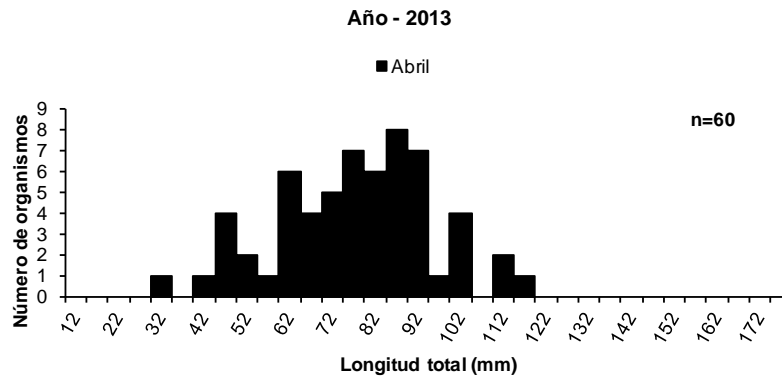


Figura 17. Histograma de frecuencias de tallas de *Stomolophus meleagris* del año 2013 en el Sur del litoral de Sonora, México.

En el año 2016 se colectaron 469 organismos en los meses de enero (n = 60), en febrero (n = 340) y en mayo (n = 69). El intervalo de tallas para todo el año fue de 12 a 122 mm Lt, presentándose en una distribución polimodal (Fig. 18). Se identifican 4 cohortes, siendo la primera y tercera cohorte la que posee el mayor número de organismos, ver tabla II.

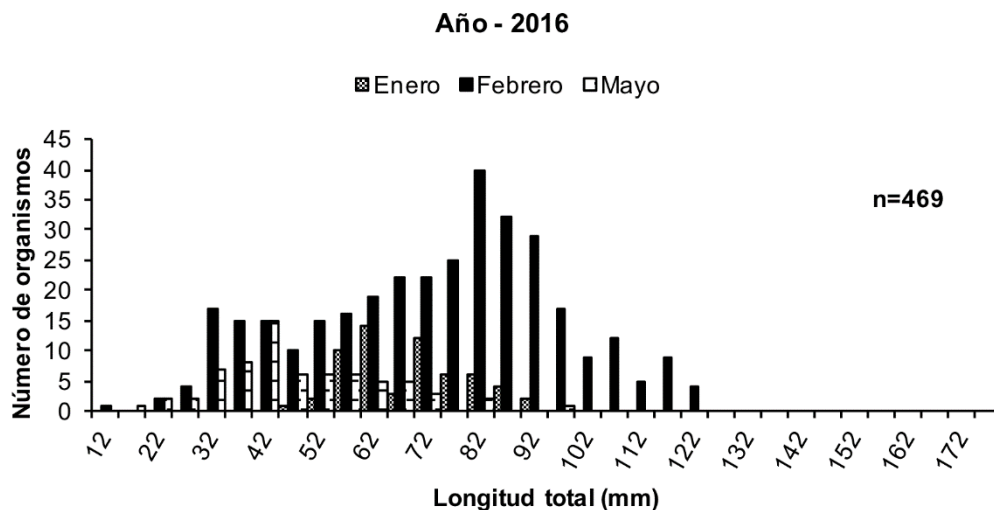


Figura 18. Histograma de frecuencias de tallas de *Stomolophus meleagris* del año 2016 en el Sur del litoral de Sonora, México.

Tabla II. Número de cohortes y talla media de cada una de *Stomolophus meleagris* en el área de estudio, durante el periodo 2004 - 2016.

Año	Cohorte	Talla media (mm)	Desviación Estándar	Tamaño de la Población	Índice de separación
2004	1	27	10	2	0
	2	76	10	20	4.7
	3	99	5	51	2.9
	4	118	9	88	2.7
2006	1	102	5	14	0.0
	2	121	3	35	5.2
	3	130	4	13	2.2
2007	1	21	4	26	0.0
	2	44	9	42	3.3
	3	64	3	3	3.3
2008	1	49	14	191	0.0
	2	74	8	44	2.3
	3	107	20	269	2.4
2009	1	55	5	10	0.0
	2	90	14	272	3.7
	3	120	7	66	3.0
	4	137	6	16	2.7
2011	1	43	14	28	0.0
	2	74	6	7	3.0
	3	123	13	252	5.1
	4	161	11	24	3.2
2012	1	29	7	115	0.0
	2	71	12	82	4.3
	3	101	8	66	3.0
	4	119	10	53	2.0
	5	151	3	3	5.1
2013	1	49	8	11	0.0
	2	61	3	6	2.3
	3	82	8	37	3.9
	4	106	5	6	3.8
2016	1	39	9	118	0.0
	2	60	5	76	2.9
	3	82	12	253	2.5
	4	114	6	22	3.7

8.3 Crecimiento

Las curvas de crecimiento se estimaron por medio de la repetición de la frecuencia de tallas con el propósito de obtener una serie más larga en el tiempo y poder seguir la progresión de las modas, esto bajo el supuesto de parámetros constantes. Para

comparar los valores obtenidos con este método y los valores de las curvas de crecimiento obtenidas por medio de los datos mensuales sin repetición, se aplicó la prueba χ^2 de bondad de ajuste para los años 2008, 2012 y 2016; ver tabla III para observar los valores de la χ^2 calculada y la χ^2 crítica para ambos parámetros del crecimiento. La H_0 es que no hay diferencia significativa entre los valores de los datos repetidos y los datos sin repetir para obtener los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy, en los tres años la H_0 se acepta.

Tabla III. Prueba χ^2 para los parámetros de crecimiento (L_∞ y K) con muestras repetidas y muestras no repetidas de *Stomolophus meleagris* para la región Sur del litoral de Sonora de los años 2008, 2012 y 2013.

Prueba χ^2 ($p < 0.05$)			
Año 2008			
	χ^2 calculada	χ^2 crítica	H_0
L_∞	3.090	21.026	Se acepta
K	0.677	19.675	Se acepta
Año 2012			
	χ^2 calculada	χ^2 crítica	H_0
L_∞	0.281	21.026	Se acepta
K	0.011	19.675	Se acepta
Año 2016			
	χ^2 calculada	χ^2 crítica	H_0
L_∞	1.558	21.026	Se acepta
K	0.210	19.675	Se acepta

La tabla IV muestra los valores de los parámetros de crecimiento y se observa que presentan variación interanual, donde $145 \leq L_\infty \leq 179.80$ mm; $4.40 \leq K \leq 6.00$ año⁻¹ y $-0.0296 \leq t_0 \leq -0.0396$. Las curvas de crecimiento de la medusa para cada año de muestreo se observan en la figura 19.

Tabla IV. Valores de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy para *Stomolophus meleagris* durante los años de muestreo en el área de estudio.

AÑO	L_{∞} (mm Lt)	K año ⁻¹	t_0
2004	174.6	4.40	-0.0396
2006	153.0	5.40	-0.0332
2007	145.0	4.70	-0.0390
2008	179.6	4.65	-0.0371
2009	150.0	4.90	-0.0370
2011	179.8	4.40	-0.0393
2012	157.5	6.00	-0.0296
2013	145.2	5.80	-0.0313
2016	148.2	4.80	-0.0380

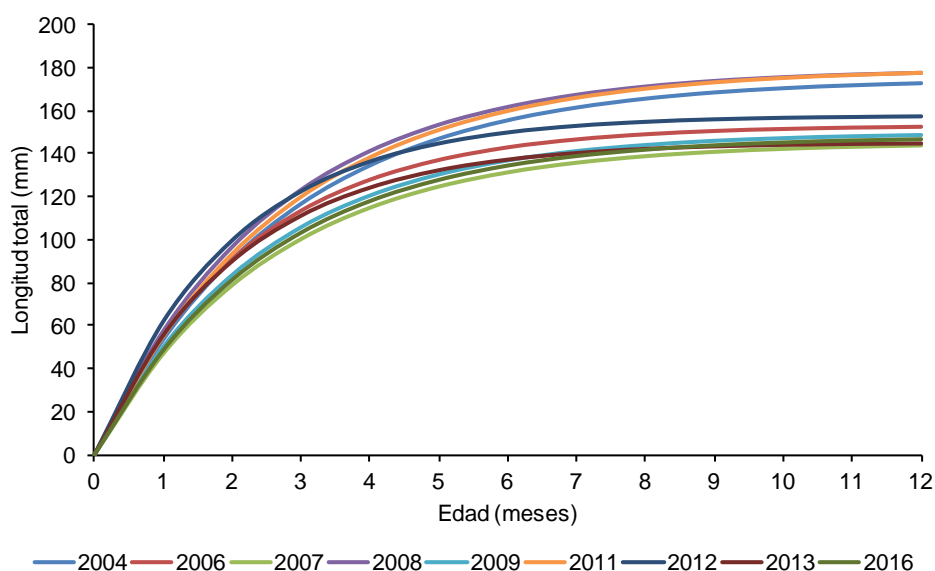


Figura 19. Curvas de crecimiento de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* para la región Sur del litoral de Sonora, en el periodo 2004 - 2016.

Las anomalías estandarizadas muestran la manera que ha variado el crecimiento de la medusa bola de cañón entre el 2004 – 2016, los valores para cada año se muestran en la tabla V. Se observa que, en los años 2004, 2008, 2011 y 2012 el crecimiento se vio favorecido, en comparación con los años donde el crecimiento

se vio afectado (2007, 2009 y 2016). El año 2008 presentó el mayor índice de funcionamiento del crecimiento, seguido del año 2012 y 2011. El año 2007 presentó el menor valor, con una anomalía muy por debajo de la media de todo el periodo de muestreo, seguido por el año 2016 y 2009 (Fig. 20).

Tabla V. Valores de Φ' y anomalía estandarizada de Φ' del crecimiento de *Stomolophus meleagris* para la región Sur del litoral de Sonora durante el período 2004 – 2016.

Año	Φ'	Anomalía Estandarizada de Φ'
2004	3.128	0.458
2005	-	-
2006	3.102	0.067
2007	2.995	-1.544
2008	3.176	1.181
2009	3.042	-0.836
2010	-	-
2011	3.153	0.835
2012	3.173	1.136
2013	3.087	-0.159
2014	-	-
2015	-	-
2016	3.022	-1.138

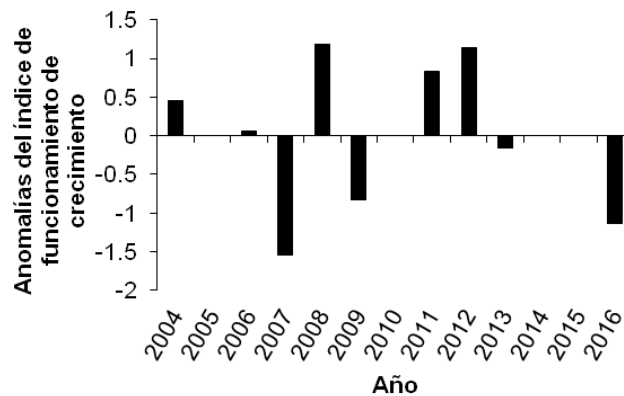


Figura 20. Anomalías estandarizadas del índice de funcionamiento de crecimiento de *Stomolophus meleagris* para la región Sur del litoral de Sonora, para cada año muestreado en el período 2004 – 2016.

8.4 Mortalidad natural

Los valores del coeficiente instantáneo de mortalidad natural anual ($M \text{ año}^{-1}$) obtenidos por el método Pauly para la medusa en los años muestreados oscilan entre 5.3 y 6.7, mientras que los valores obtenidos por medio del método de Jensen varían entre 6.6 y 9.0, los valores obtenidos por el método de Taylor oscilan entre 4.9 y 6.7. La longevidad ($A_{0,95}$) de los organismos varía entre 6 y 8 meses, los valores se muestran en la Tabla VI.

Tabla VI. Valores $M \text{ año}^{-1}$ y $A_{0,95}$ (en meses) de *Stomolophus meleagris* para la región Sur del litoral de Sonora para cada año de muestreo en el periodo 2004 – 2016.

Año	$M \text{ año}^{-1}$ (Jensen)	$M \text{ año}^{-1}$ (Pauly)	$M \text{ año}^{-1}$ (Taylor)	$A_{0,95}$ (mes)
2004	6.6	6.2	4.9	8
2006	8.1	6.3	6.0	6
2007	7.0	5.8	5.2	7
2008	7.0	5.4	5.1	7
2009	7.4	6.0	5.5	7
2011	6.6	5.3	4.9	8
2012	9.0	6.7	6.7	6
2013	8.7	6.7	6.5	6
2016	7.2	5.9	5.3	7

8.5 Mortalidad total, mortalidad por pesca y tasa de explotación

La mortalidad total (Z), mortalidad por pesca (F) y tasa de explotación (E) de la medusa obtenidos con el método de la curva de captura linealizada convertida a tallas, muestra valores altos, con valores de $12.29 \leq Z \leq 20.65$, $4.19 \leq F \leq 13.60$ y $0.34 \leq E \leq 0.66$. Los valores para cada año se muestran en la tabla VII.

Tabla VII. Mortalidad total (Z), mortalidad por pesca (F) y tasa de explotación (E) de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* en la Zona Sur, Sonora durante 2004-2016, estimados con el método de curva de captura convertida a tallas.

Año	Z anual	F anual	E anual
2004	18.42	11.82	0.64
2006	12.29	4.19	0.34
2007	20.65	13.60	0.66
2008	19.33	12.33	0.64
2009	12.57	5.17	0.41
2011	16.23	9.63	0.59
2012	13.84	4.84	0.40
2013	18.65	9.95	0.53
2016	13.34	6.14	0.46

8.6 Patrón de reclutamiento

En los años de muestreo de *S. meleagris* en la región Sur del litoral de Sonora, se observa que el reclutamiento a la población de nuevos individuos presenta varios pulsos anuales (Fig. 21). El reclutamiento muestra variabilidad interanual, en algunos años se concentra de abril a agosto (2004 y 2009). Por otro lado, en 2007 y 2012 se retrasa, comenzando en junio y finalizando alrededor de octubre. El 2011 es el año donde el reclutamiento se concentra en menos meses, de mayo a agosto (Fig. 22).

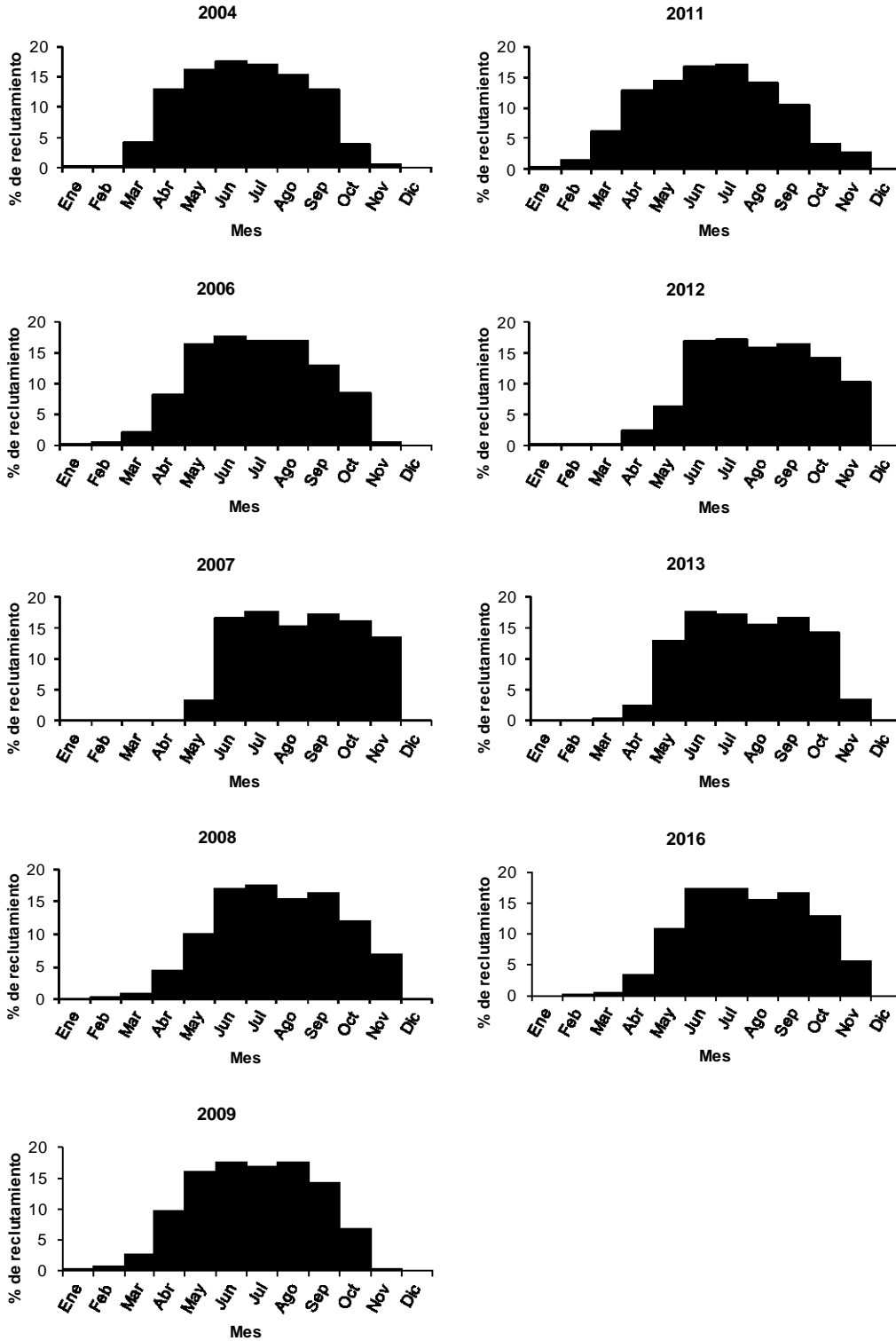


Figura 21. Patrón de reclutamiento de *Stomolophus meleagris* para la región Sur del litoral de Sonora para cada año de muestreo en el periodo 2004 – 2016.

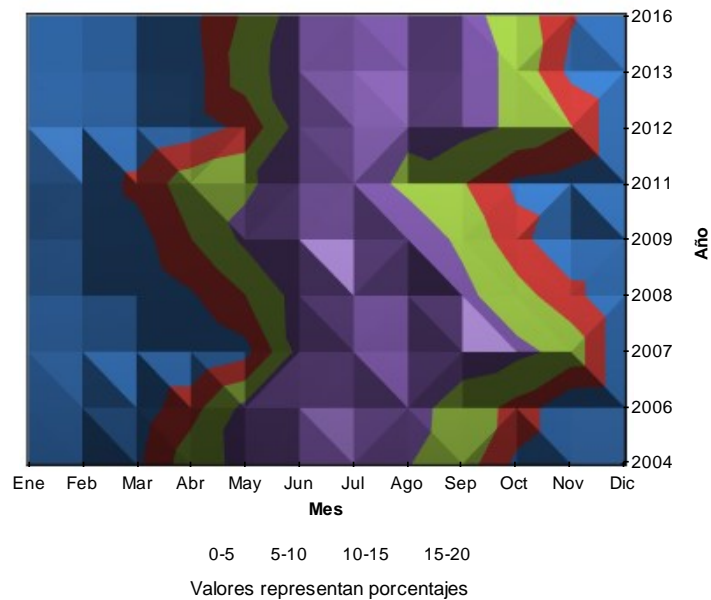


Figura 22. Variación interanual del patrón de reclutamiento de *Stomolophus meleagris* para la región Sur del litoral de Sonora en el periodo 2004 – 2016.

8.7 Análisis de cohortes

La abundancia anual de individuos estimada en el área de estudio se observa en la tabla VIII. En 2005 se obtuvo una abundancia (N) de N= 44,061,661 individuos. Las capturas se centraron en individuos de tallas superiores a los 97 mm de Lt, la especie aún estaba sub explotada, con tasa de explotación $E = 0.19$ (Fig. 24). En 2006 la abundancia media estimada fue N= 27,565,129 individuos, las capturas se centraron en individuos de tallas superiores a los 112 mm, la especie aún continuaba sub explotada (Fig. 25). Para el 2007 N= 2,000,000, la menor registrada en el período, las capturas se concentraron en organismos a partir de los 97 mm y la especie continuaba sub explotada (Fig. 26). En 2008 N= 13,608,112 organismos, las capturas se centraron en individuos de tallas superiores a los 102 mm (Fig. 27). En 2009 N= 5,967,603 organismos, las capturas se concentraron en individuos de tallas superiores a los 92 mm (Fig. 28). En el 2011 N= 363,445,308 organismos, las capturas se centraron en individuos de tallas superiores a los 122 mm (Fig. 29), el recurso se encontró sub-explotado ($E = 0.11$). En 2012 N= 87,433,250 individuos,

las capturas se concentraron en organismos de tallas mayores a los 102 mm (Fig. 30), el recurso aún continuaba sub explotado, con una E de 0.3.

En 2013 la abundancia estimada fue $N= 25,759,671$ individuos, las capturas se centraron en individuos de tallas superiores a los 72 mm de Lt (Fig. 31), es el año donde se presentó la más alta tasa de explotación ($E = 0.41$).

Tabla VIII. Abundancia (N), magnitud de reclutamiento (R), biomasa media (B), mortalidad por pesca promedio (F), mortalidad natural (M), mortalidad total (Z) y tasa de explotación (E) de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* en la Zona Sur, Sonora durante 2005-2013, estimados con el análisis de cohortes basado en tallas (Jones 1984).

Parámetro	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2012	2013
Abundancia (# de individuos)	44,061,661	27,565,129	2,002,422	13,608,112	5,967,603	363,445,308	87,433,250	25,759,671
Reclutamiento (# de individuos)	3,268,329	4,405,500	190,547	1,114,544	687,144	25,594,763	7,320,338	3,145,206
Biomasa media (Ton)	91.46	185.91	2.65	33.47	18.70	1,213.09	120.00	24.57
Mortalidad por pesca promedio (F año⁻¹)	1.56	2.58	2.5	2.22	2.35	0.81	2.33	6.16
Mortalidad natural(M) (Jensen)	6.6	8.1	7.1	7	7.4	6.6	9	8.7
Mortalidad total (Z año⁻¹)	8.16	10.68	9.55	9.22	9.75	7.41	11.33	14.86
Tasa de explotación (E año⁻¹)	0.19	0.24	0.26	0.24	0.24	0.11	0.21	0.41

El R de la especie varió durante los años donde hubo muestreo y captura, reflejándose en las variaciones de la N y B media en la zona de estudio. La F, Z y E se mantuvieron estables durante el 2005-2009, en el 2011 repentinamente bajó y posteriormente aumentó en los próximos dos años cuando ya se había establecido la pesca comercial para esta especie en Sonora. En el 2004, 2010, 2014, 2015 y 2016, no se reportaron capturas para la zona, por lo tanto, no se presentan análisis de cohortes (Fig. 23).

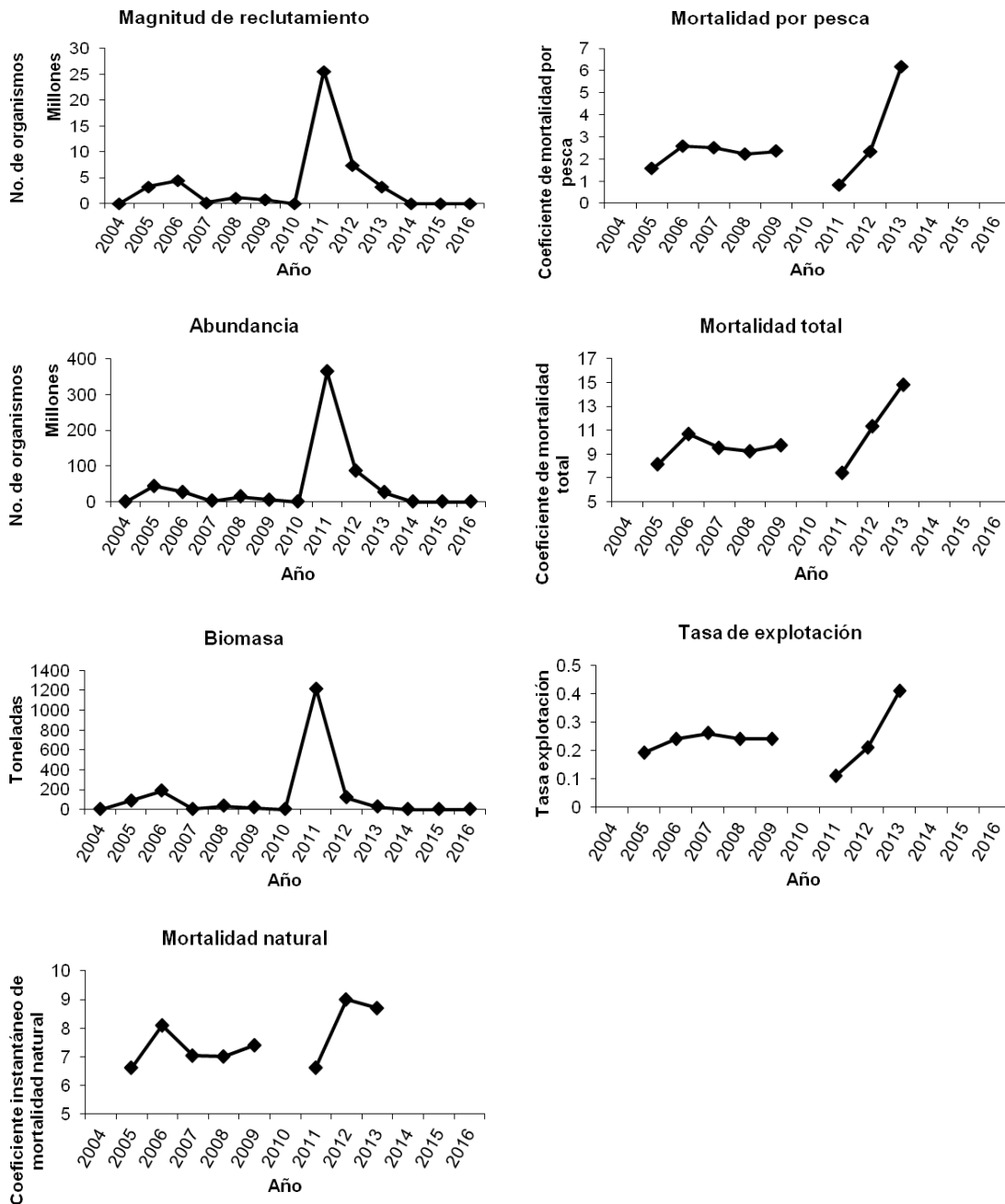


Figura 23. Magnitud de reclutamiento, abundancia, biomasa media, mortalidad por pesca, mortalidad natural, mortalidad total y tasa de explotación de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* en la Zona Sur, Sonora durante 2005-2013, estimados con el análisis de cohortes basado en tallas (Jones 1982).

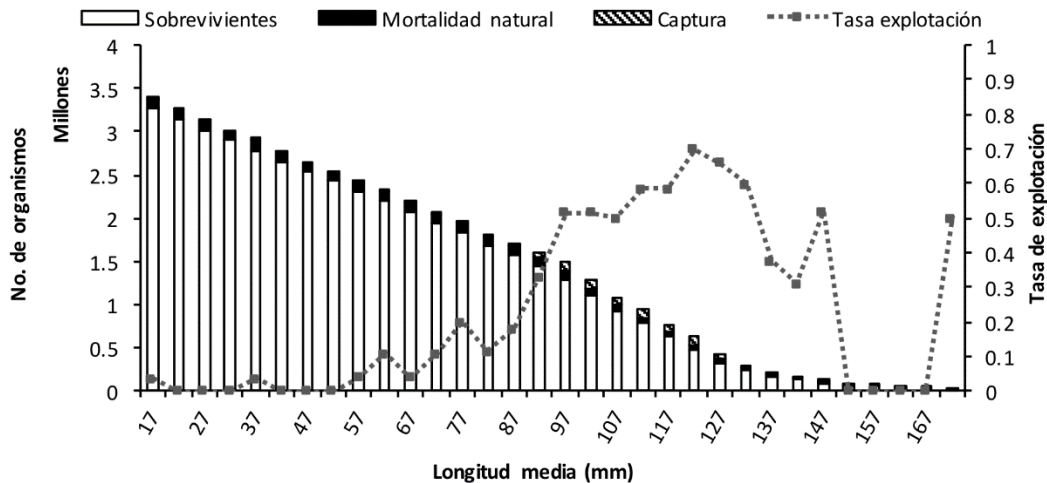


Figura 24. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* durante el 2005 para la región Sur del litoral de Sonora.

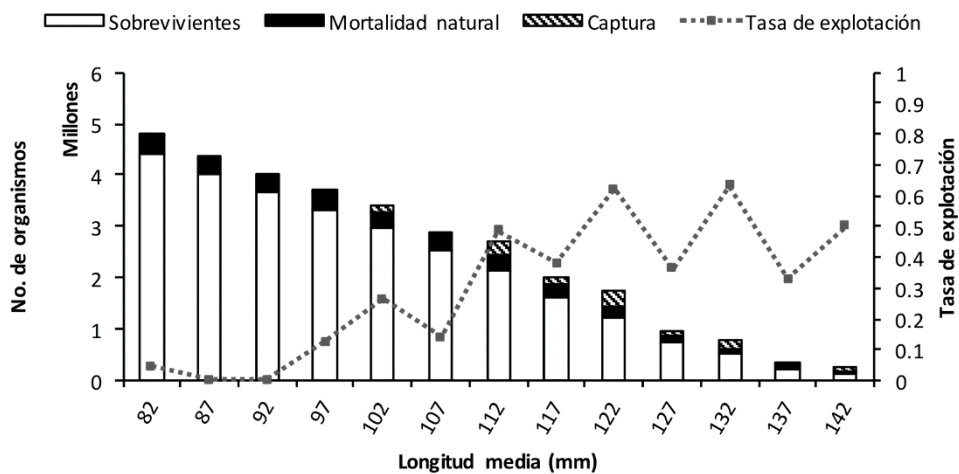


Figura 25. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* durante el 2006 para la región Sur del litoral de Sonora.

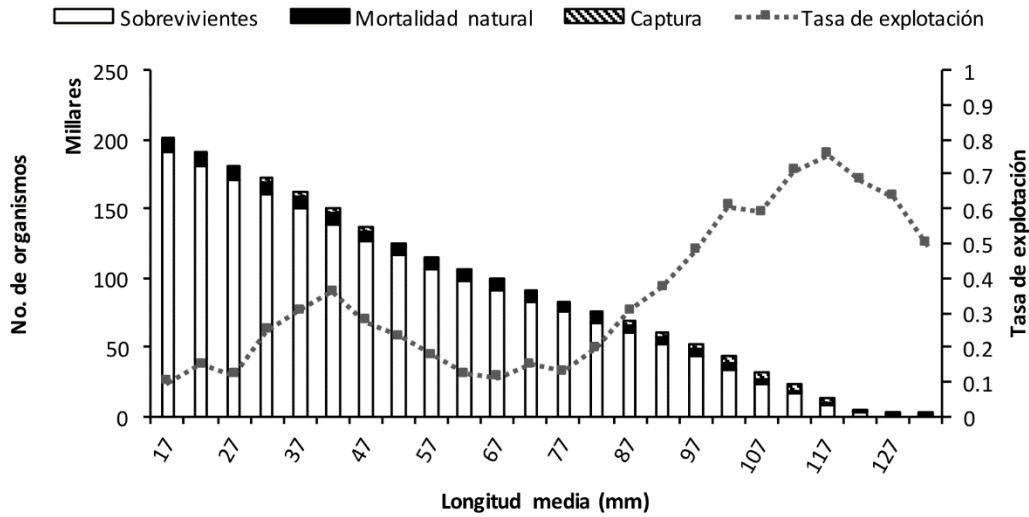


Figura 26. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* durante el 2007 para la región Sur del litoral de Sonora.

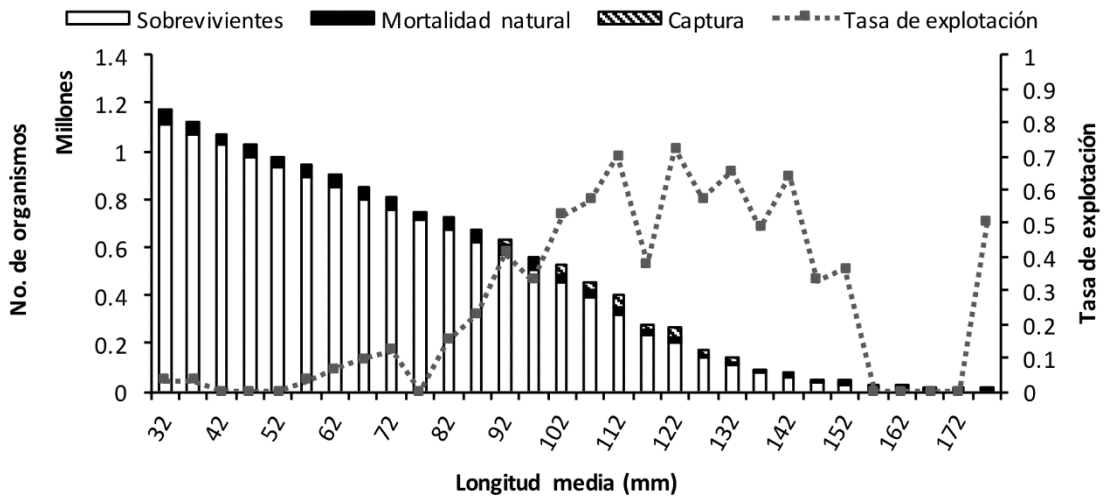


Figura 27. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* durante el 2008 para la región Sur del litoral de Sonora.

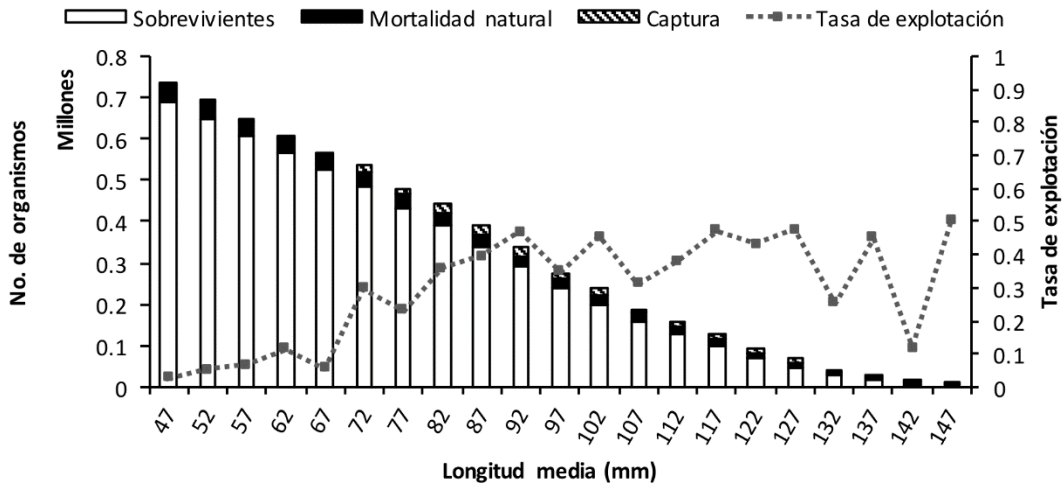


Figura 28. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* durante el 2009 para la región Sur del litoral de Sonora.

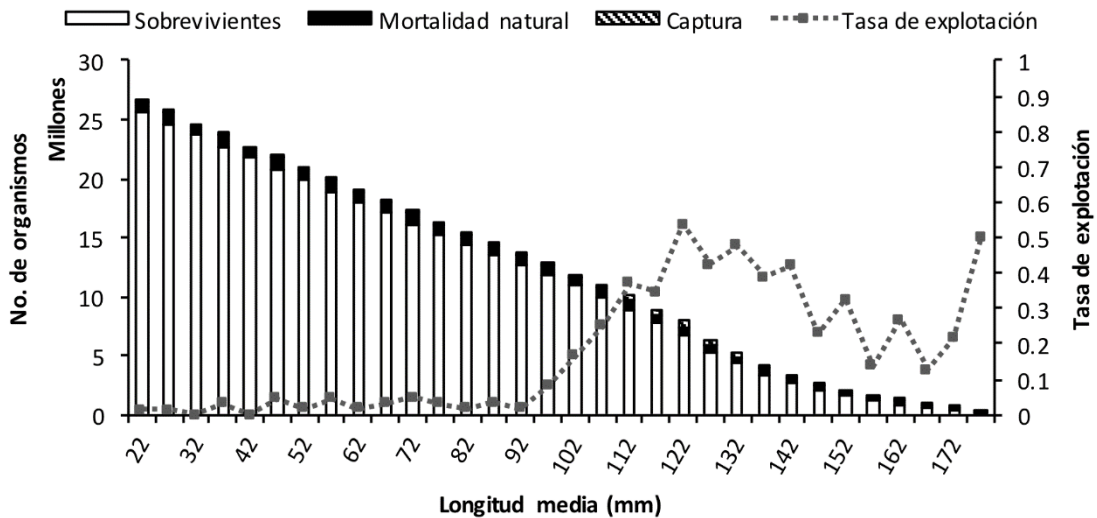


Figura 29. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* durante el 2011 para la región Sur del litoral de Sonora.

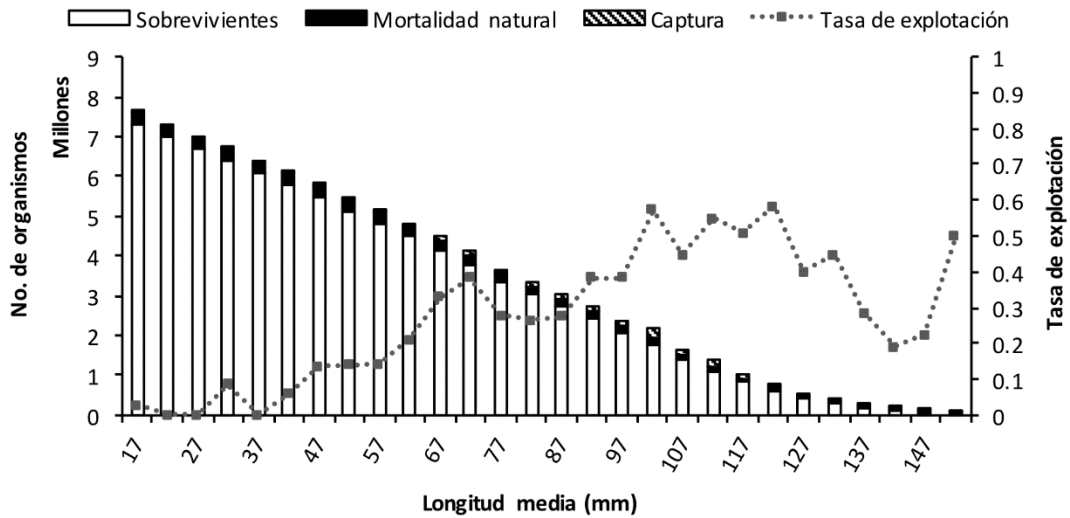


Figura 30. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* durante el 2012 para la región Sur del litoral de Sonora.

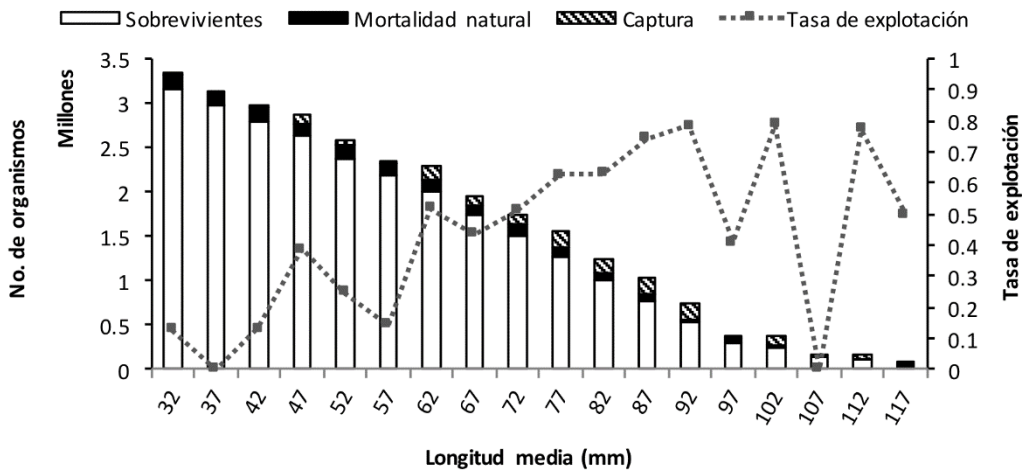


Figura 31. Abundancia y tasa de explotación para cada clase de talla de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* durante el 2013 para la región Sur del litoral de Sonora.

8.8 Temperatura superficial del mar, clorofila – a, intensidad de precipitación, ONI, SOI y recurso

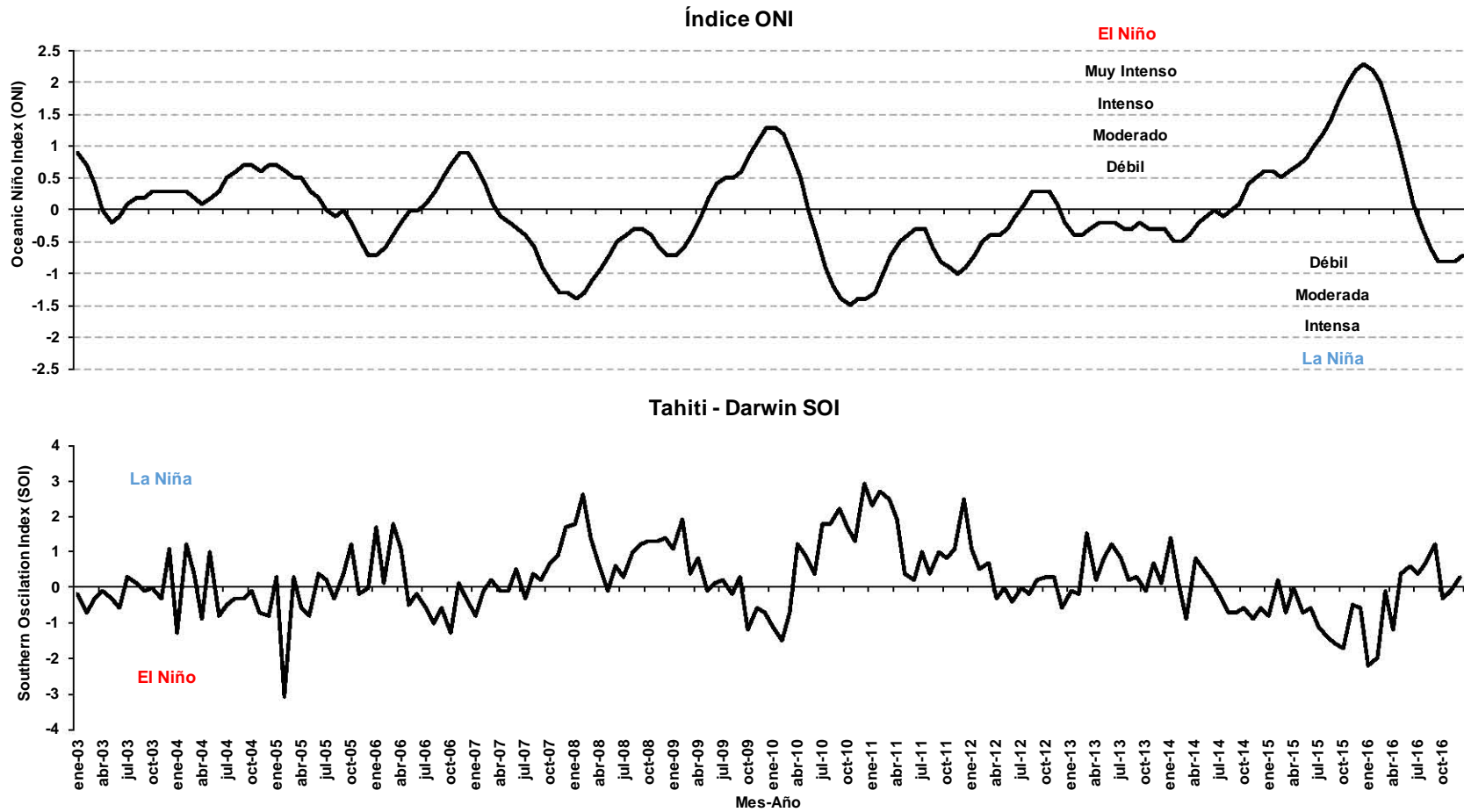


Figura 32. Valores del Oceanic Niño Index (ONI) y el Southern Oscillation Index (SOI) entre los años 2003 – 2016.

8.8.1 Condiciones ambientales imperantes

La figura 32 muestra gráficamente los valores del Oceanic Niño Index (ONI) y del Southern Oscillation Index (SOI), se observa que durante 2003-2016 sucedieron varios eventos El Niño y La Niña con diferentes niveles de intensidad y duración.

Los promedios mensuales de la TSM, Chl – a y precipitación en el área de estudio para el 2003-2016 se muestran en la figura 33. Los valores más altos de la TSM corresponden a los meses de verano (junio-octubre), mientras que los valores mínimos se presentan en invierno (diciembre-marzo). Los valores máximos de Chl – a se observan durante noviembre-abril, y los mínimos durante junio-septiembre. La precipitación con mayor intensidad se presenta entre los meses de julio y octubre y con menor intensidad se presentan durante noviembre a febrero (Fig. 33).

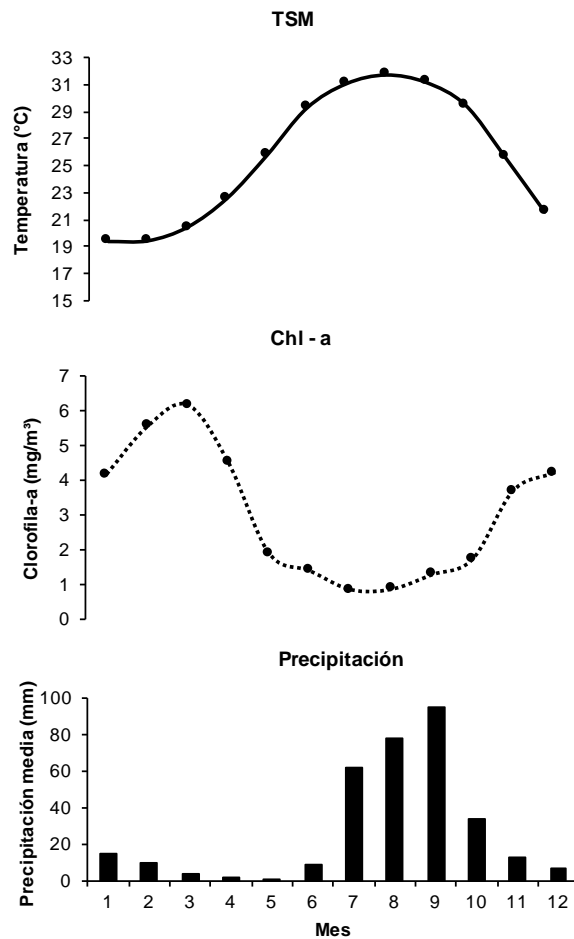


Figura 33. Valores mensuales promedio de TSM, Chl – a y precipitación de los años 2003 – 2016 para la región sur del litoral de Sonora.

Estas tres variables ambientales muestran marcada estacionalidad en el área de estudio. En la figura 34 se observa una relación inversa de la TSM con la Chl-a, donde un modelo exponencial explica 89% de la varianza. De igual manera, la precipitación presenta relación inversa con la Chl-a, un modelo exponencial explica el 55% de la varianza. La dispersión de los datos de Chl-a entre los 0-20 mm de precipitación, se debe a las lluvias que suceden en invierno provocadas por los frentes de alta presión provenientes del norte, esto mismo sucede entre la TSM y la precipitación. Se observa también una relación directa de la precipitación con la TSM, donde un modelo lineal explica más del 55 por ciento de la varianza.

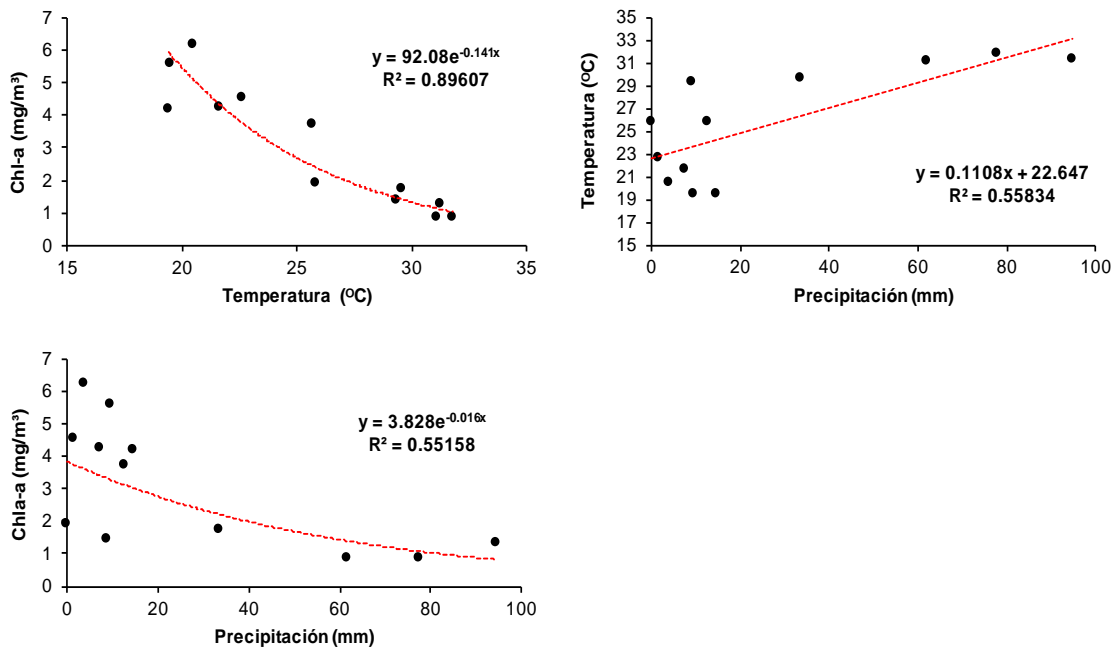


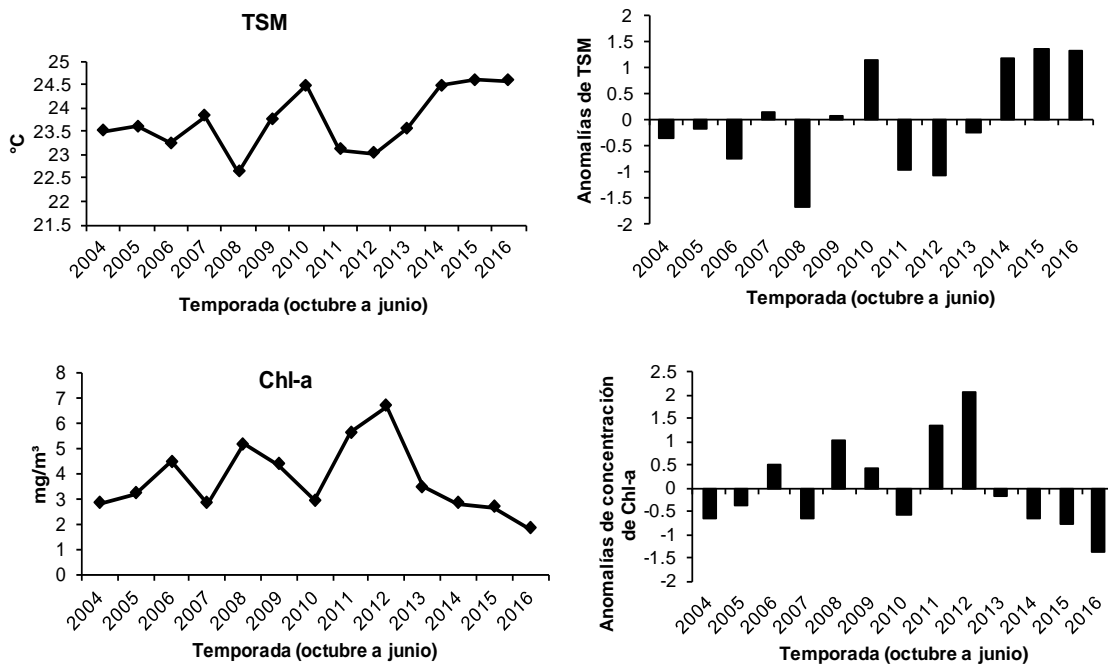
Figura 34. Correlación ($p < 0.05$) entre los valores promedio mensuales de la TSM, Chl-a y precipitación durante 2003-2016 para la región Sur del litoral de Sonora.

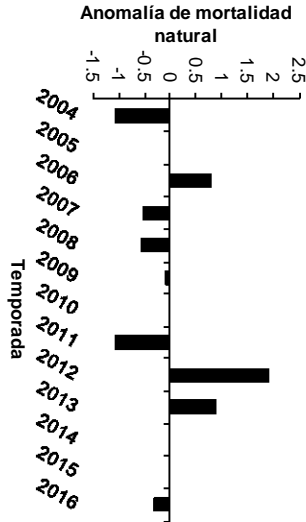
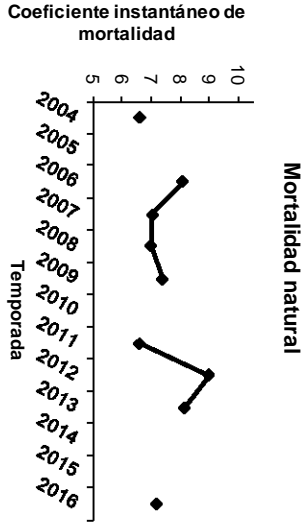
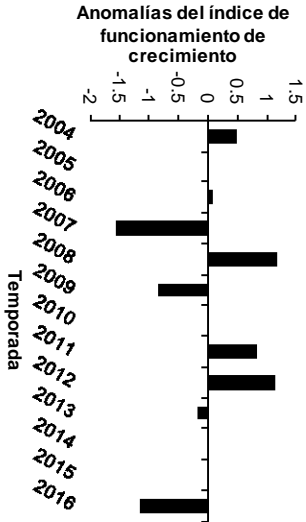
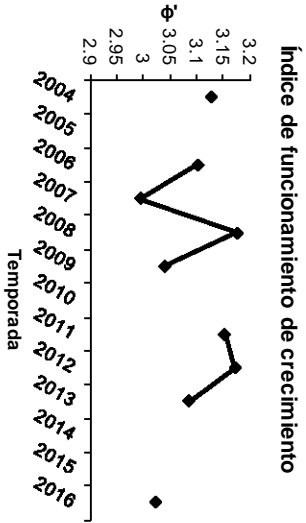
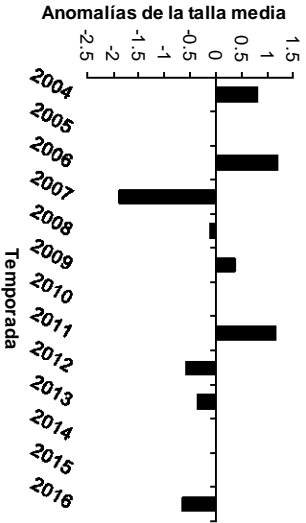
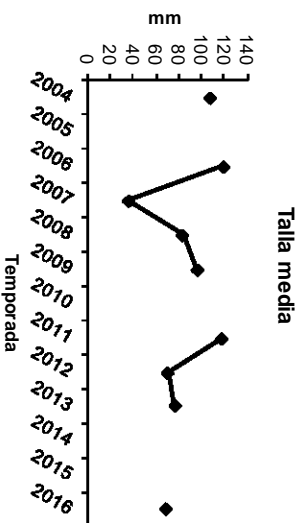
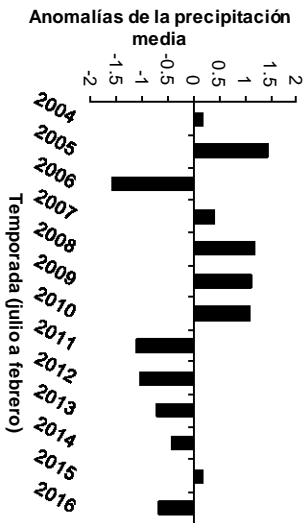
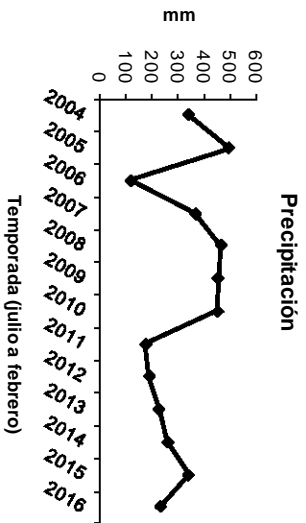
8.8.2 Relación ambiente-recurso

Para el análisis entre ambiente y especie, las variables ambientales (TSM y Chl – a) y los valores del ONI y SOI se ordenaron a partir de octubre del año anterior hasta

junio del siguiente año, temporada en la que la especie inicia y finaliza su fase de vida libre en la zona de estudio, mientras que para relacionar la especie con la precipitación se agruparon los valores de las lluvias de julio del año anterior hasta febrero del año siguiente, ya que es el periodo con mayor intensidad de precipitación y el que podría tener mayor efecto sobre los organismos que son liberados por medio de la reproducción asexual de los pólipos que comienza entre octubre-noviembre y los cuales culminarán con su crecimiento al año siguiente.

La figura 35 muestra variabilidad interanual en los parámetros ambientales y en los parámetros poblacionales de la especie, manifestándose en algunos años (2005, 2010, 2014 y 2015) la ausencia de organismos en el área. La abundancia, biomasa y captura del recurso no es constante para la zona, donde se observa que en el 2011 es donde se presenta los mayores valores, seguido del 2006 y 2012, pero con un número de individuos muy por debajo en relación al 2011. Con las anomalías estandarizadas se pueden apreciar los años donde los parámetros presentan cambios positivos o negativos en relación a la media para la serie de tiempo en esa región.





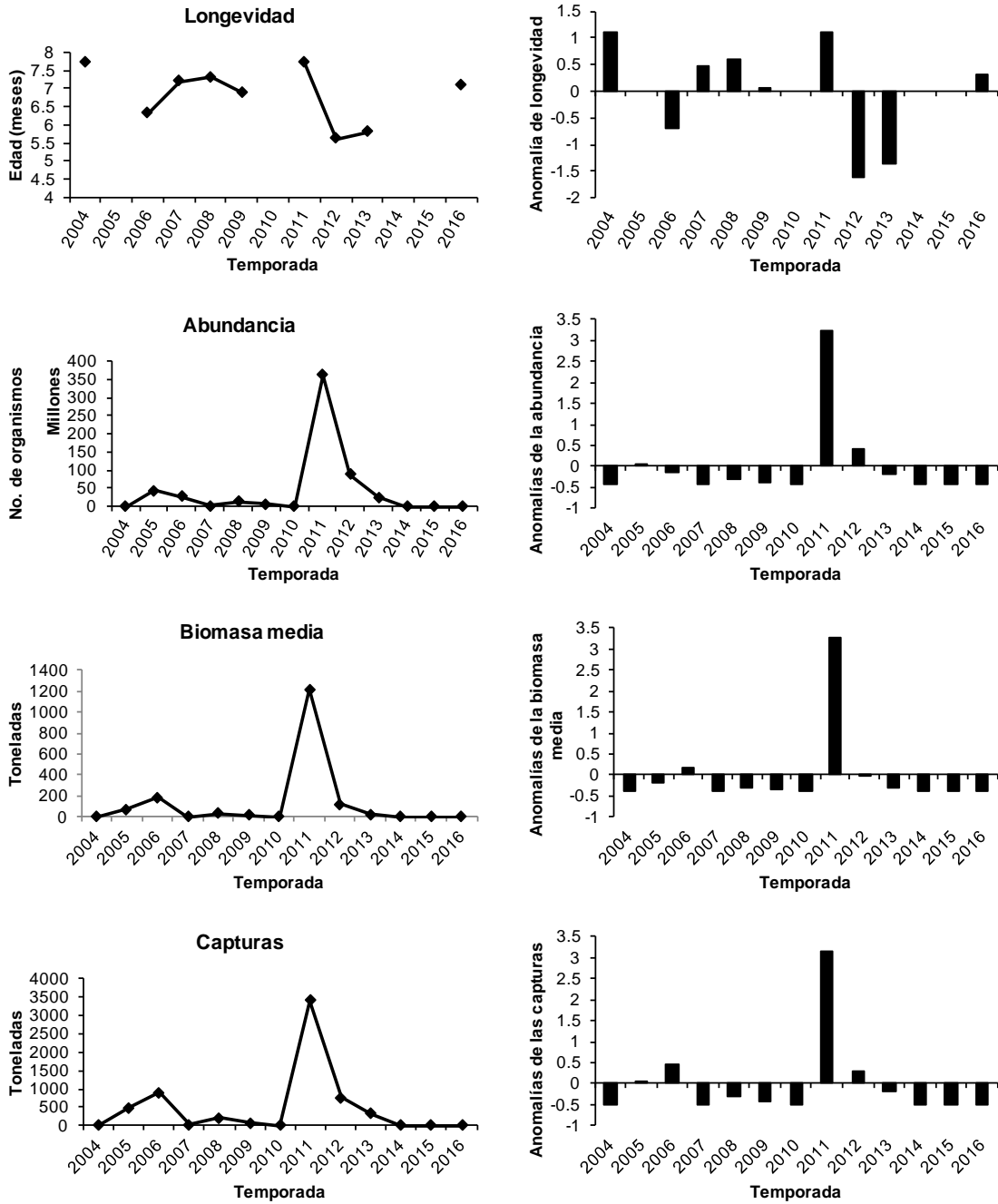


Figura 35. Valores y anomalías estandarizadas de los parámetros ambientales en el área de estudio y parámetros poblacionales de la medusa *Stomolophus meleagris* durante 2004-2016 para la región Sur del litoral de Sonora.

En la tabla IX se muestran los diferentes modelos de regresión aplicados para la correlación entre el ambiente y el recurso, se observa cual modelo es el que mejor explica la variabilidad de los datos, los modelos estadísticamente significativos ($p < 0.05$) corresponden a la relación de ϕ' con la TSM, la Chl – a, ONI y SOI. La figura 36 muestra las correlaciones significativas ($p < 0.05$), se observa que la relación de ϕ' con respecto a la TSM es negativa y se representa mejor por medio de un modelo logarítmico que explica el 74% de la variabilidad. Cuando se relaciona ϕ' con la Chl – a (correlación positiva) y con el índice ONI (correlación negativa), la variabilidad de ϕ' en ambos casos se explica mejor por medio de un modelo lineal que explica el 57% y el 53% respectivamente.

Tabla IX. Modelos de regresión de las relaciones ambiente – recurso durante 2004-2016 para la región Sur del litoral de Sonora.

Modelo de regresión				
Parámetros	Lineal	Exponencial	Logarítmica	Potencial
TSM vs Phi'	$y = -0.101x + 5.4679$ $R^2 = 0.7373$	$y = 6.6649e^{-0.033x}$ $R^2 = 0.7354$	$y = -2.39\ln(x) + 10.64$ $R^2 = 0.7417$	$y = 35.488x^{-0.773}$ $R^2 = 0.7397$
Chl – a vs Phi'	$y = 0.0324x + 2.9634$ $R^2 = 0.5691$	$y = 2.9655e^{0.0105x}$ $R^2 = 0.5668$	$y = 0.1193\ln(x) + 2.9362$ $R^2 = 0.5377$	$y = 2.9394x^{0.0386}$ $R^2 = 0.5364$
Precipitación vs Phi'	$y = -9E-05x + 3.123$ $R^2 = 0.02829$	$y = 3.1229e^{-3E-05x}$ $R^2 = 0.02921$	$y = 0.0268\ln(x) + 2.9484$ $R^2 = 0.0331$	$y = 3.2677x^{-0.01}$ $R^2 = 0.04367$
ONI vs Phi'	$y = -0.0605x + 3.089$ $R^2 = 0.5268$	$y = 3.0883e^{-0.02x}$ $R^2 = 0.5262$	-	-
SOI vs Phi'	$y = 0.0579x + 3.069$ $R^2 = 0.44325$	$y = 3.0684e^{0.0188x}$ $R^2 = 0.44361$	-	-
TSM vs Talla media	$y = -17.555x + 498.49$ $R^2 = 0.1357$	$y = 22147e^{-0.239x}$ $R^2 = 0.1315$	$y = -411.6\ln(x) + 1385.2$ $R^2 = 0.1339$	$y = 4E+09x^{-5.615}$ $R^2 = 0.1307$
Chl – a vs Talla media	$y = 5.372x + 64.169$ $R^2 = 0.0955$	$y = 58.917e^{0.0795x}$ $R^2 = 0.1097$	$y = 23.798\ln(x) + 54.242$ $R^2 = 0.1304$	$y = 52.092x^{0.3345}$ $R^2 = 0.1351$
Precipitación vs Talla media	$y = -0.0596x + 103.47$ $R^2 = 0.07717$	$y = 101.35e^{-7E-04x}$ $R^2 = 0.06332$	$y = -21.16\ln(x) + 204.16$ $R^2 = 0.13413$	$y = 356.99x^{-0.265}$ $R^2 = 0.11003$
ONI vs Talla media	$y = -13.94x + 84.465$ $R^2 = 0.1706$	$y = 79.777e^{-0.186x}$ $R^2 = 0.1599$	-	-
SOI vs Talla media	$y = 19.637x + 76.747$ $R^2 = 0.31056$	$y = 71.903e^{0.264x}$ $R^2 = 0.29442$	-	-
TSM vs M	$y = -0.2129x + 12.455$ $R^2 = 0.0222$	$y = 13.027e^{-0.024x}$ $R^2 = 0.0166$	$y = -4.959\ln(x) + 23.106$ $R^2 = 0.0216$	$y = 43.112x^{-0.558}$ $R^2 = 0.0161$
Chl – a vs M	$y = 0.2176x + 6.5555$ $R^2 = 0.1741$	$y = 6.6404e^{0.0268x}$ $R^2 = 0.1554$	$y = 0.7453\ln(x) + 6.4493$ $R^2 = 0.1421$	$y = 6.5508x^{0.0921}$ $R^2 = 0.1278$
Precipitación vs M	$y = 0.0029x + 8.2768$ $R^2 = 0.19848$	$y = 8.2333e^{-4E-04x}$ $R^2 = 0.18821$	$y = -0.802\ln(x) + 11.917$ $R^2 = 0.21386$	$y = 13.125x^{-0.103}$ $R^2 = 0.2059$

ONI vs M	$y = -0.136x + 7.4385$ $R^2 = 0.018$	$y = 7.4038e^{-0.016x}$ $R^2 = 0.0145$	-	-
SOI vs M	$y = -0.0388x + 7.4769$ $R^2 = 0.00134$	$y = 7.4461e^{-0.007x}$ $R^2 = 0.00256$	-	-
TSM vs Abundancia	$y = -9E+07x + 2E+09$ $R^2 = 0.09677$	$y = 6E+26e^{-1.91x}$ $R^2 = 0.24544$	$y = -2E+09\ln(x) + 7E+09$ $R^2 = 0.0945$	$y = 3E+67x^{-43.93}$ $R^2 = 0.23997$
Chl – a vs Abundancia	$y = 4E+07x + 1E+08$ $R^2 = 0.23101$	$y = 859729e^{0.7527x}$ $R^2 = 0.37938$	$y = 2E+08\ln(x) + 2E+08$ $R^2 = 0.22665$	$y = 186254x^{3.3522}$ $R^2 = 0.38095$
Precipitación vs Abundancia	$y = -355722x + 2E+08$ $R^2 = 0.19551$	$y = 1E+08e^{-0.005x}$ $R^2 = 0.26602$	$y = -9E+07\ln(x) + 6E+08$ $R^2 = 0.17441$	$y = 2E+11x^{-1.564}$ $R^2 = 0.27858$
ONI vs Abundancia	$y = 1E+08x + 4E+07$ $R^2 = 0.20861$	$y = 2E+07e^{-1.236x}$ $R^2 = 0.18899$	-	-
SOI vs Abundancia	$y = 1E+08x + 1E+07$ $R^2 = 0.38737$	$y = 1E+07e^{0.9948x}$ $R^2 = 0.21201$	-	-
TSM vs Biomasa	$y = -284.26x + 6847.6$ $R^2 = 0.08272$	$y = 6E+24e^{-2.271x}$ $R^2 = 0.26737$	$y = -6531\ln(x) + 20786$ $R^2 = 0.0807$	$y = 2E+73x^{-52.26}$ $R^2 = 0.26178$
Chl – a vs Biomasa	$y = 128.02x - 363.23$ $R^2 = 0.16697$	$y = 1.2127e^{0.8553x}$ $R^2 = 0.37754$	$y = 584.58\ln(x) - 644.43$ $R^2 = 0.17622$	$y = 0.1653x^{3.9832}$ $R^2 = 0.41451$
Precipitación vs Biomasa	$y = 1.2143x + 589.93$ $R^2 = 0.19937$	$y = 388.5e^{-0.006x}$ $R^2 = 0.26281$	$y = -333.8\ln(x) + 2088.5$ $R^2 = 0.19291$	$y = 3E+06x^{-1.925}$ $R^2 = 0.32495$
ONI vs Biomasa	$y = -333.67x + 104.18$ $R^2 = 0.20951$	$y = 33.76e^{-1.594x}$ $R^2 = 0.24215$	-	-
SOI vs Biomasa	$y = 354.82x + 5.2361$ $R^2 = 0.4103$	$y = 261621e^{1.32x}$ $R^2 = 0.28766$	-	-

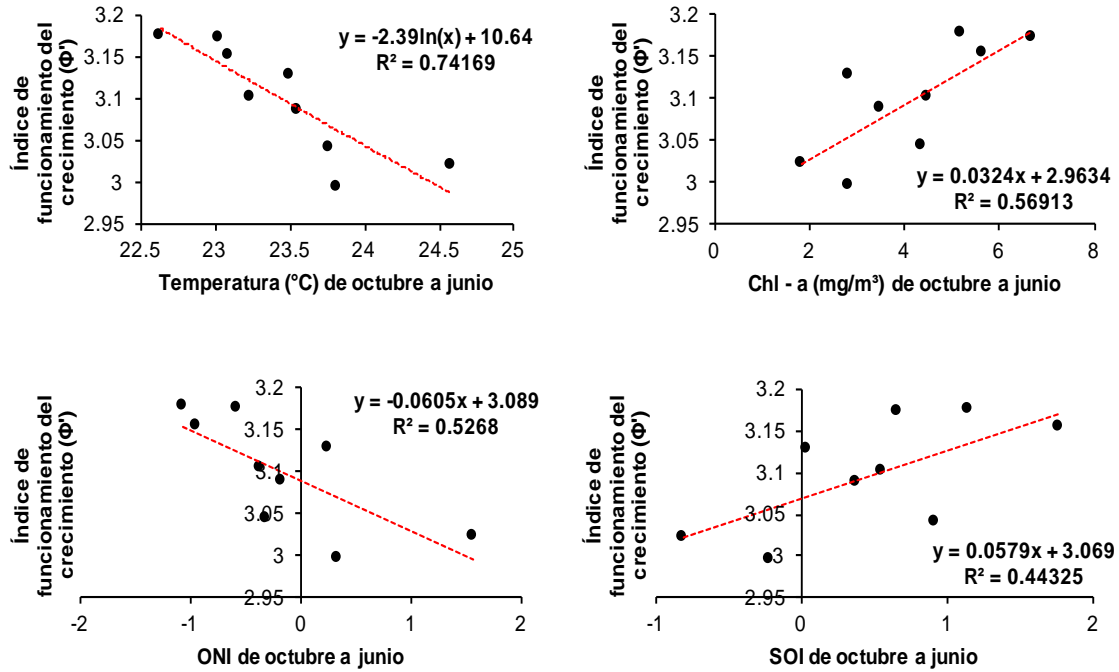


Figura 36. Correlación ($p < 0.05$) entre los parámetros ambientales y los parámetros poblaciones de la medusa *Stomolophus meleagris* durante 2004-2016 para la región Sur del litoral de Sonora.

9. DISCUSIÓN

Los parámetros (a y b) de las relaciones biométricas (Lt – Pt, Dc – Pt y Lt – Lc) muestran que durante el período del estudio, las medusas presentaron un crecimiento isométrico. Otros estudios como en la costa de Veracruz (Laguna Mandinga) por Pérez-Alvarado (2012) reporta una relación similar entre Dc y Pt para *S. meleagris*. López-Martínez *et al.* (2005) encuentra que en la Laguna de las Guásimas la misma especie presenta valores de la relación Lt - Pt (a = 0.0002 y b = 3.13) similares a los encontrados en este estudio. Álvarez-Tello (2007) muestra que en la misma laguna en años posteriores, la especie muestra valores de la relación Lt – Pt de a = 0.0003 y b = 3.02. También son valores similares a los obtenidos para organismos de la misma clase como *Chrysaora hysoscella* (Buecher *et al.* 2001). Esto demuestra que los organismos presentan relaciones biométricas similares y un crecimiento isométrico espacial y temporalmente al menos entre estas dos localidades de Sonora.

La longitud media de los organismos cambia interanualmente, presentando variación en los mismos meses de diferentes años, lo que refleja que no se trata de un problema de sesgo que pueda tener el muestreo por ausencia de organismos en varios meses en algunos años, sino de los efectos que el ambiente y/o la disponibilidad del alimento puedan tener sobre la especie en el área de estudio. En la mayoría de las temporadas donde las temperaturas fueron superiores al valor promedio, no hubo presencia de organismos en el área (Fig. 31). Si se parte del supuesto que la Chl – a es un indicador indirecto de la disponibilidad de alimento para la especie, las temporadas también coinciden con mínimos en la disponibilidad de alimento, y también con valores altos de intensidad de precipitación y del índice ONI. En la temporada 2006-2007, donde los valores de la temperatura y ONI fueron levemente mayores y la concentración de Chl – a levemente menor, la talla media se vio afectada, mostrando el valor mínimo en toda la serie de tiempo.

La amplitud del intervalo de tallas también es variable, en los años (2008 y 2012) donde se encontró la especie durante varios meses (3) es donde se presenta mayor amplitud, mientras que en los años (2006 y 2007) donde solamente se presentó

durante un mes, la amplitud es menor. Este mayor tiempo de aparición que se refleja en un amplio intervalo de tallas puede verse influenciado por un ambiente favorable y que la disponibilidad de alimento sea abundante y constante. En la mayoría de los años, hay mayor presencia de organismos durante los meses de marzo-mayo y mayor presencia de organismos hacia tamaños grandes, lo que sugiere que los ejemplares que se encuentran en el área han sido transportados o se han desplazado a partir de una zona donde ocurre liberación de las éfiras que se plantea es la laguna de Guásimas (López-Martínez *et al.* 2007, 2017). López-Martínez *et al.* (2017) menciona que la especie muestra entre 1 y 3 cohortes mensuales en la Laguna Las Guásimas, el número de cohortes en cada mes indica que los pólipos periódicamente liberaron éfiras al ambiente y estas fueron reclutadas a la población. Similar número de cohortes se encontró para esta área, si se considera que el número de cohortes en este caso no es mensual, sino por temporada (entre 1 y 3 meses), las cuales oscilan entre 3-4 cohortes, mostrando nuevamente que la especie presenta varios pulsos de reclutamiento, como se observa en la figura 21.

El crecimiento varió interanualmente, si bien la ausencia de tallas pequeñas del área pudiera generar un sesgo en el estimado, este estaría presente en todos los años debido a que el tipo de muestreo en campo se mantuvo todos los años igual. Sin embargo, López-Martínez *et al.* (2002) mostraron para la medusa bola de cañón en Las Guásimas que los valores del coeficiente instantáneo de crecimiento K está sub estimado en ausencia de tallas chicas. Esto mismo pudiera estar presentándose en la medusa en el sur de Sonora, debido a que en el área no hubo casi organismos de tallas chicas en los muestreos en varios años. No obstante, por los valores del coeficiente K estimados, el sesgo pudiera ser bajo ya que los valores de K son relativamente altos, característico de especies de corta longevidad y son similares a los reportados por López-Martínez *et al.* (2009, 2012) para la especie en años anteriores en esta zona y para *Phylloriza punctata* (García y Durbin 1993).

Se ha observado que, bajo condiciones controladas con experimentos de laboratorio, un incremento constante de la temperatura provoca malformación de

las éfiras de esta especie (Hernández-Tlapale 2010, Olgúin-Jacobson 2016), lo que podría afectar al desarrollo y crecimiento de los organismos en la fase medusoide. Por otra parte, en el GC durante el evento El Niño 1982-1983, Jiménez-Pérez y Lara-Lara (1988) mencionan que la distribución de biomasa y comunidad del zooplancton se ve afectada, donde la región al sur de los 27° N presentó menor biomasa que la región al norte de esta latitud y además está dominada por especies ecuatoriales y tropicales, zona que para este trabajo corresponde a más de la mitad del área de estudio. Así mismo Lavaniegos-Espejo y Lara-Lara (1990) mencionan que el fenómeno de El Niño afecta en esta zona del Golfo (sur de los 27° N) a la abundancia relativa de los diferentes taxones de zooplancton y disminuye su biomasa en relación a un año promedio, entre ellos la de copépodos. Por otra parte, Sánchez-Velasco *et al.* (2000) mencionan que es posible que el ENSO afecte al desove de especies como *S. caeruleus* y *E. mordax*. Padilla-Serrato *et al.* (2013) y Álvarez-Tello *et al.* (2016) mencionan que *S. meleagris* es un depredador especialista, Álvarez-Tello *et al.* (2016) determinan que la mayor parte de la dieta de la medusa en tallas chicas la componen los copépodos, necesarios para el desarrollo ontogénico de la medusa, mientras que en organismos adultos, la dieta la componen mayormente huevos de peces entre ellos los de anchoa y sardina, importantes para el desarrollo gonadal de la medusa. Las anomalías estándar de Phi' facilitan observar cuando el crecimiento se vio beneficiado o afectado. En los años 2005, 2010, 2014 y 2015 no hubo presencia de organismos y en el 2007 y 2016 el crecimiento se vio afectado; a excepción del 2014, los demás años fueron años El Niño con diferente intensidad, por lo tanto, la TSM se incrementó constantemente con duración de varios meses y las concentraciones de Chl – a disminuyeron en comparación con años promedio, lo que podría indicar que los individuos no se distribuyeron hasta esta área por la baja disponibilidad del alimento expresado en la baja concentración de la clorofila; cuando sí se dispersaron, pero su crecimiento no fue favorable pudiera deberse al aumento constante de la TSM. La figura 35 muestra como estas dos variables pueden afectar la Phi', sin embargo, en el medio natural, no se le puede atribuir a una sola variable ambiental el efecto sobre un parámetro poblacional de la especie, sino a las interacciones de varias

variables y factores las cuales van a promover una serie de cambios en el medio que ejercerán ciertos efectos en la fisiología de los organismos.

Álvarez-Tello (2007) estima mediante otro método a los propuestos en este estudio que la mortalidad natural M promedio anual para la región del Choyudo en Sonora fue de 6.1. López-Martínez *et al.* (2017) estimó que la especie presenta un alto coeficiente de mortalidad natural (6.0 – 9.6) para diversas zonas del litoral de Sonora, en ambos casos los valores son semejantes a los encontrados en este estudio (6.6 – 9.0). En los tres casos, los valores son relativamente altos, característico de organismos con alta tasa de crecimiento y de vida corta. Muchas veces se asocia la alta mortalidad natural a las condiciones ambientales, en especial a la alta temperatura, que puede desencadenar estrés metabólico para los organismos, provocando la desaparición de los individuos como se puede apreciar en otras especies como *Pelagia* (Rosa *et al.* 2013), mientras que temperaturas menos cálidas, pueden disminuir la tasa de mortalidad para esta misma especie (Malej y Malej 2004, Rosa *et al.* 2013). De igual manera, en *Cyanea*, se ha documentado que el incremento de la temperatura provoca el deterioro de la campana generando la muerte (Brewer 1989, Carvalho-Saucedo *et al.* 2011). Bajo esta premisa, se espera que el incremento de la temperatura provoque un aumento en la mortalidad durante el período de este estudio, sin embargo, no se aprecia una clara relación entre la TSM y la M , no obstante, si se observan individualmente los años, el 2011, 2008 y 2004 años con temperaturas debajo del promedio, son años que presentan un valor bajo de M , pero no así para los años 2006, 2012 y 2013 donde se presentan temperaturas menores al promedio, pero una alta mortalidad natural, por lo que el incremento de la TSM por sí sola no es un indicador de una alta mortalidad natural. Buena cantidad de evidencia indica que las medusas son anuales y que una vez que ocurre el desove, el organismo se deteriora y muere (Lucas 2001). Se sugiere que un período de desove prolongado de la medusa genera un gasto energético elevado que conlleva a la degradación de la gónada y a la susceptibilidad de invasión por parásitos (Spangenberg 1964, Carvalho-Saucedo *et al.* 2011), lo que resultaría en la muerte del organismo. Por lo que, sumado a las altas temperaturas, una alta tasa de reproducción sexual podría

provocar una alta mortalidad natural, sin embargo, en este estudio no se realizó análisis de maduración gonadal para poder llegar a resultados más concluyentes.

La estimación de la mortalidad natural es uno de los parámetros más crípticos en la dinámica de poblaciones, hasta el momento existen solamente ecuaciones empíricas que han sido aplicadas principalmente en peces y crustáceos por lo que los valores obtenidos mediante las ecuaciones empíricas de Pauly (1980, 1987) y de Taylor (1960) pudieran estar subestimados. Por lo tanto, las estimaciones que se realizaron por medio de la ecuación empírica de Jensen (1996) si bien son preliminares, son las más congruentes considerando el tipo de organismo que se está estudiando.

La longevidad reportada para *S. meleagris* por parte de Álvarez-Tello (2007) fue de 6.8 meses, mientras que López-Martínez *et al.* (2017), reporta una longevidad de alrededor de 6 meses para la misma especie. En este trabajo, la longevidad estimada se encuentra entre los 6 y 8 meses, valores que coinciden con el ciclo de vida de la especie, que comienza su etapa medusoide que por lo general va de noviembre a junio, con variaciones anuales en cuanto a su tiempo de aparición y de muerte.

La mortalidad total (Z), mortalidad por pesca (F) y tasa de explotación (E) de la medusa obtenidos con el método de la curva de captura linealizada convertida a tallas muestra valores altos. Para el caso de la E, los valores indican una sobre explotación de la especie, cuando durante los años 2004-2010, la especie no estaba siendo explotada comercialmente, solamente sometida a una pesca de fomento. Los altos valores de estos parámetros se pueden deber tal y como mencionan Gulland y Rosenberg (1992) a que el método debe utilizarse con mucha precaución cuando se trate de organismos de vida corta o cuando la población presente cambios apreciables en la composición por tallas de mes a mes, el supuesto del que se parte al aplicar el método es que la frecuencia de tallas que se está analizando representa la situación de equilibrio de la población en su conjunto, en el caso de *S. meleagris*, ninguna muestra dará esta situación.

Carvalho-Saucedo (2009) reporta periodos de reclutamiento de la especie entre mayo y noviembre, con mayor reclutamiento en junio y julio. López-Martínez *et al.* (2017) obtiene un patrón de reclutamiento para la especie que va de mayo a octubre y menciona que son fechas que coinciden con la liberación de los organismos en larvas plánula. Similares resultados se reportan para *A. aurita* por Lucas (2001), quien menciona que el tiempo y periodicidad del reclutamiento de plánulas al lecho marino puede ser continuo u ocurrir en un periodo de entre 2-3 meses durante el verano u otoño. En el presente estudio el patrón de reclutamiento muestra que son varios los meses donde se dan los pulsos que oscilan entre abril-mayo a septiembre-octubre con mayor frecuencia en junio y julio, período en el que ocurre y termina la reproducción sexual y por lo tanto hay liberación de larvas plánulas que serán reclutadas a la fase bentónica de la especie. Se observa una variación interanual en el patrón de reclutamiento, en términos generales parece que el reclutamiento se va retrasando en el tiempo desde el 2004 hasta el 2016.

Estimaciones más robustas de Z, F y E se obtienen por medio del análisis de cohortes basado en tallas, donde los parámetros muestran valores relativamente estables durante 2005-2009, ya que la especie aún no se sometía a una explotación comercial. A partir del 2011, cuando la especie comienza a ser capturada comercialmente, el incremento que sufren la F, Z y E del 2011 al 2013 fue exponencial, explicado en parte por la disminución en la abundancia de organismos y a un mayor esfuerzo pesquero. Entre el 2005 y 2012, fueron tallas grandes las sometidas a explotación pesquera porque así lo demandaba el mercado, sin embargo, para el 2013 ya se observa una alta explotación hacia tallas más chicas, esto debido a que el mercado ya no demandaba solamente a las tallas grandes; sino aquellas que posiblemente no alcanzaban talla de primera madurez.

Es necesario la identificación de procesos oceanográficos y ambientales que suceden en el Golfo de California (GC) para explicar las causas por las cuales la TSM y Chl-a varían estacional e interanualmente en el área, ya que muestran relación con algunos de los parámetros de la medusa.

Uno de los eventos importantes que sucede en el GC que es más evidente a lo largo de la costa occidental del Golfo es el proceso de surgencia. La surgencia: el proceso en el cual el forzamiento que el viento ejerce sobre la capa superficial del océano provoca la remoción de dicha capa hacia la derecha en este hemisferio, esto promueve que el agua de la capa sub-superficial sea traída hacia la superficie, si el bombeo de esta capa es lo suficientemente fuerte para romper con la termoclina esta agua que surge a la superficie suministra de nutrientes la zona fótica, lo que promueve el crecimiento de fitoplancton y genera una alta producción biológica, sosteniendo stocks masivos de especies de interés pesquero, entre otros (Bakun 1973, Lluch-Cota 2000, Espinosa-Carreón y Escobedo-Urías 2008, Lara-Lara *et al.* 2008). Varios autores han expresado que los eventos de surgencia se llevan a cabo de manera estacional, en la región central del GC se presenta de enero-abril y de noviembre-diciembre (Maluf 1983, Lluch-Cota 2000, García-Morales *et al.* 2017).

De acuerdo a Lluch-Cota (2000), a escala estacional el evento de surgencia está relacionado con la concentración de la clorofila y la TSM y que probablemente también con la dinámica poblacional de muchas especies de importancia e interés pesquero. El mismo autor menciona que cuando el índice de surgencia costera (CUI, por sus siglas en inglés) muestra picos más altos durante diciembre-enero, también ocurren los valores más bajos de la TSM y los niveles más altos de concentración de pigmento. Esta misma relación inversa entre los valores de TSM y la concentración de la Chl-a es documentada por García-Morales *et al.* (2017), que menciona que la concentración promedio de Chl-a mostró altos valores de noviembre-abril y valores mínimos de la TSM durante noviembre-abril. Por otro lado, durante el verano, los vientos son moderados y se presenta la llegada de la intrusión de la Corriente Costera Mexicana (CCM) al GC, la cual genera circulación ciclónica, altas temperaturas y características oligotróficas, por lo que la concentración de Chl-a disminuye entre junio-octubre y la TSM presenta valores altos.

La misma relación inversa entre estas dos variables se observa en el presente trabajo, donde un modelo potencial con una $R^2 = 0.68$ explica la variación de la Chl-a en relación a la TSM. Los valores promedio más altos de la concentración de este

pigmento van de enero-abril y de noviembre-diciembre con el valor máximo en abril y los valores más bajos de mayo-octubre siendo el mes de julio el que presenta la concentración más baja, mientras que la temperatura promedio muestra sus valores más altos en promedio durante mayo-octubre con valor máximo en agosto y el promedio mínimo va de noviembre-abril, con la temperatura más baja en enero. Periodos que coinciden, por un lado, con el inicio de fuertes vientos provenientes del noroeste que provocan eventos de surgencias y por el otro lado, con la llegada de la intrusión de la CCM que genera las condiciones ya descritas. Por lo tanto, en esta zona costera del sur de Sonora ambas variables también presentan patrón estacional, reforzando lo que ya varios autores han concluido para la costa occidental del GC.

La variación más importante en la escala interanual en el GC es causada por el ENOS (Soto-Mardones *et al.* 1999), por lo tanto, también es la mayor fuente de variabilidad interanual de la TSM y concentración de Chl-a (Herrera-Cervantes *et al.* 2010). Uno de los efectos del ENOS en el GC, es la intrusión de masas de aguas ecuatoriales y tropicales, que afectan la dinámica hidrológica de gran parte del Golfo. Durante año El Niño, Álvarez-Borrego y Schwartzlose (1979) indicaron que hubo intrusiones más fuertes de masas de agua sub superficial subtropical y del Pacífico Tropical Oriental hacia el GC que durante un año no El Niño (Álvarez-Borrego y Lara-Lara 1991). De igual manera, el evento ENOS de 1982-1983 provocó mayor transporte de agua ecuatorial hacia el interior del Golfo, penetrando hasta la cuenca de Guaymas durante la primavera (Robles y Mariones 1987, Bray 1988, Torres 1993, Soto-Mardones *et al.* 1999). Durante las condiciones de El Niño, las ondas costeras Kelvin transmiten señal del ENOS a lo largo de ambas costas del Golfo (Beier 1997, Herrera-Cervantes *et al.* 2007, 2010), hundiendo la termoclina (nutriclina) y reduciendo los efectos de las surgencias costeras provocadas por los vientos (Lluch-Cota *et al.* 2007, Herrera-Cervantes *et al.* 2010). Por lo tanto, al verse afectados los efectos de las surgencias, se espera que no ocurra un bombeo adecuado de agua sub-superficial hacia la superficie provocando que no haya transporte de nutrientes hacia la zona fótica y por lo tanto se ve afectado el crecimiento de fitoplancton, reflejándose en concentraciones bajas de Chl-a. Estas

ondas costeras también afectan en la propagación de anomalías costeras de la TSM, sin embargo, el forzamiento del ENOS en la variabilidad de la TSM es más evidente durante el invierno (Herrera-Cervantes *et al.* 2007). Lo contrario ocurre durante eventos La Niña, donde Herrera-Cervantes *et al.* (2010) mencionan que eventos fríos del ENOS, están asociados con anomalías positivas de la clorofila a, mientras que las anomalías negativas de la TSM parecen estar asociadas a eventos fríos del ENOS.

García-Morales *et al.* (2017) mencionan que la variabilidad en la concentración de la clorofila, también fue modulada por las fases del ENOS y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés), donde se muestra que cuando la fase positiva de la PDO disminuye, la concentración de clorofila aumenta, y cuando la fase positiva del ENOS se incrementa, la concentración de clorofila disminuye. En cuanto a la TSM, períodos extremos de altas temperaturas de junio-octubre fueron influenciados por la fase positiva del ENOS y por la fase negativa del PDO. El periodo de bajas temperaturas fue influenciado por la fase negativa del ENOS y fase positiva del PDO de noviembre a mayo.

En este trabajo, la TSM y concentración de Chl-a se relacionaron con el ENOS por medio de dos índices, el ONI y el SOI. La Chl-a muestra relación fuerte negativa con el ONI, con los valores negativos de la anomalía de este índice (evento La Niña) la concentración del pigmento aumentó y con los valores positivos del índice (evento El Niño) la concentración de clorofila disminuyó. Con el SOI, la Chl-a presenta una relación positiva, por lo que los valores positivos del índice los cuales indican un incremento de la presión atmosférica en la región del Océano Pacífico oriental que está asociado a evento La Niña, incidieron en un aumento en la concentración de este pigmento en el GC, mientras que los valores negativos (presión atmosférica alta relacionada a evento El Niño) ocasionaron que la Chl-a sufriera disminución en su concentración. Lo opuesto se observa con la relación de la TSM con estos dos índices, una relación positiva entre la TSM y el ONI, y una negativa entre TSM y SOI. Por consiguiente, la temperatura y la clorofila sí presentaron variabilidad interanual en esta zona durante 2004-2016 como respuesta a las diferentes fases

del ENOS. Sin embargo, es necesario mencionar que la señal del ENOS que se detecta en el GC depende de la intensidad y duración con que se presente este fenómeno, por lo tanto, los efectos que éste ejerce en la dinámica atmósfera-océano del Golfo, como son las intrusiones de masas de agua tropicales y ecuatoriales, las ondas Kelvin, los giros, las surgencias, entre otros, no será la misma. Consecuentemente las variaciones interanuales de la TSM y Chl-a también serán diferentes, igualmente las posibles respuestas de muchos organismos marinos tales como como la distribución, abundancia, reproducción, mortalidad y crecimiento en sus diferentes estadios de su ciclo de vida también variarán interanualmente. Esto hace que la evaluación de muchos recursos pesqueros sea compleja y ésta se deba realizar periódicamente para diseñar e implementar planes de manejo que sean adecuados a esta variabilidad ambiental del Golfo.

Es muy probable que condiciones favorables impulsadas por regímenes climáticas inter-decadales e inter-anales provoquen una elevada producción de medusas, y por lo tanto una mayor biomasa (Quiñones *et al.* 2015, López-Martínez *et al.* 2017). Las poblaciones de medusas están típicamente reguladas por procesos de abajo hacia arriba (West *et al.* 2009, Purcell 2012, Quiñones *et al.* 2015). En la zona norte de la Corriente de Humboldt, el contraste en los tipos de presa podría ser en parte la razón de las abundancias de *C. plocamia* (Quiñones *et al.* 2015). Ya se discutió sobre los cambios en la composición de especies de zooplancton que son alimento de *S. meleagris* en el GC durante algunos eventos fuertes de El Niño, por lo que es probable que la variabilidad en la abundancia en el área de estudio se deba a la disponibilidad del alimento tanto para los organismos en fase de pólipo, como también en larva y fase medusa. La abundancia y la Chl-a (indicador indirecto de disponibilidad de alimento) muestran relación positiva, pero no es significativa estadísticamente ($p > 0.05$), resultado similar se obtuvo con la relación de este parámetro poblacional con el índice SOI. Sin embargo, es importante considerar también el efecto que podrían tener los organismos depredadores de las larvas plánula y de las éfiras en la abundancia de pólipos y de medusas, ya que, en el caso de *P. noctiluca*, Rosa *et al.* (2013) mencionan que las abundancias de copépodos podría ser un factor limitante para los brotes y para las larvas de esta especie.

Debido a que la especie presenta ciclo de vida metagenético, la reproducción asexual de los pólipos por medio de la estrobilación son los que determinarán la abundancia. Por lo que es necesario examinar las condiciones que se presentan en la zona bentónica ya que son las que estimularán la producción de pólipos y a éstos a estrobilar y consecuentemente liberar éfiras a la columna de agua. Si las condiciones se mantienen favorables para los pólipos, continuarán estrobilando y periódicamente liberarán éfiras al ambiente, por lo tanto, observar varias cohortes o generaciones dentro de una misma temporada o año. Tal y como se ha observado para *P. noctiluca* que muestra un incremento en la reproducción asexual cuando hay aguas cálidas (Purcell *et al.* 1999, Holst 2012, Quiñones *et al.* 2015). Para los pólipos de *S. meleagris* bajo condiciones controladas en laboratorio, la tasa metabólica de rutina no se ve afectada en el intervalo de temperaturas de 19-27 °C (Castelo-Bautista 2012). También se ha observado siempre en condiciones de laboratorio que un periodo de oscilación térmica es el mejor tratamiento en términos del desempeño reproductivo para la especie ya que provoca una mayor producción de éfiras, podocistos y pólipos nuevos (Olguín-Jacobson 2016). Esto sugeriría que durante los cambios repentinos de temperatura que se dan por el ingreso de las señales del ENOS al GC que se encuentren dentro del rango óptimo para la especie, provocaría una alta tasa de reproducción asexual, reflejándose en alta abundancia de pólipos y medusoides. Tal es el caso de la abundancia ocurrida en 2011, que muestra el pico máximo en la zona de estudio. Por medio de las anomalías del ONI, se observa que en la primavera del 2010 se presentaron condiciones de El Niño débil, seguido de condiciones normales iniciando el verano, posteriormente a finales de verano e inicios de otoño condiciones de La Niña moderadas, esta secuencia de periodos del índice sugiere oscilaciones de la TSM entre otros efectos, que podrían conducir a una alta tasa de reproducción asexual consecuentemente a una alta abundancia. Proceso similar ocurrió en 2012 que de condiciones de La Niña débil en primavera de 2011 pasó a condiciones normales en el verano de 2011 seguido condiciones de La Niña débil nuevamente en otoño de ese mismo año, provocando oscilación de la TSM, y mostrándose entonces una alta abundancia, la segunda más alta en la serie de tiempo para esta zona. Se obtuvo una relación inversa de la

abundancia con la TSM, no significativa ($p > 0.05$), similar resultado se obtuvo con la abundancia y el ONI.

Se observa un pico máximo de abundancia durante 2011, para después descender, lo que podría representar un pulso para esta serie de tiempo en la zona, sin embargo, es necesario continuar con la evaluación de esta población para obtener una serie de tiempo más larga y poder observar si se manifiestan más pulsos y poder estimar los ciclos de estos pulsos.

Además de la temperatura y la disponibilidad de alimento, no se puede descartar la potencial importancia de las relaciones tróficas en la variabilidad de las medusas (Quiñones *et al.* 2015). Es necesario también la incorporación de estudios y de información de largo plazo en particular de biología y genética de poblaciones (Lucas y Dawson 2014, Dawson *et al.* 2015), junto con mediciones de variables ambientales bióticas y abióticas (Dawson *et al.* 2015) para entender mejor la variabilidad en la abundancia de las medusas.

10. CONCLUSIONES

Al presentar una corta longevidad en su fase de éfira y medusa, *Stomolophus meleagris* responde a eventos que ocurren desde una escala local, hasta una de cuenca. La especie muestra variabilidad interanual en sus diferentes parámetros poblacionales, siendo más evidentes en la talla, el crecimiento y la abundancia.

La ϕ^2 mostró relación positiva significativa ($p < 0.05$) con la Chl-a y el SOI por lo que su crecimiento se vio beneficiado con el aumento en las concentraciones de Chl-a cuando hubo condiciones normales y años de La Niña. Mientras que mostró una relación negativa ($p < 0.05$) con la TSM y el ONI y su crecimiento se vio afectado con el incremento de la TSM por condiciones El Niño y disminución de la Chl-a.

Por lo anteriormente presentado se concluye que el crecimiento y patrón de reclutamiento de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* en la región sur del litoral de Sonora, México, situada entre el sur de Bahía Lobos y Agiabampo, presentan variaciones interanuales debido a cambios ambientales, específicamente temperatura superficial del mar y clorofila a.

11. RECOMENDACIONES

Es necesario realizar más estudios de la ecología de la zona bentónica, debido a que la especie presenta ciclo de vida metagenético y la fase de pólipo es determinante para obtener estimaciones más robustas para determinar su estado.

Estudios de biología genética de la especie son necesarios ya que ayudarán a tener un mejor entendimiento de la dinámica temporal de las poblaciones, aún en las que están geográficamente adyacentes.

Series de tiempo más largas son necesarias para obtener mejores relaciones ambiente-recurso.

12. LITERATURA CITADA

- Álvarez-Borrego, S., R.A. Schwartzlose. 1979. Water masses of the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 6(1): 43–63.
- Álvarez-Borrego, S., J.R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*, 47: 555–567.
- Álvarez-Tello, F.J. 2007. *La pesquería de la medusa bola de cañón (Stomolophus meleagris) en la región de Bahía de Kino-El Choyudo, Sonora, durante 2006*. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Guaymas, Sonora, México. 74 p.
- Álvarez-Tello, F.J., J.L.J. Rodríguez-Romero. 2013. First record of the association between *Stomolophus meleagris* (Cnidaria: Scyphozoa: Rhizostomeae) and *Conchoderma cf virgatum* (Crustacea : Cirripedia : Thoracica) in the Gulf of California. *Hidrobiológica*, 23(1): 138–142.
- Álvarez-Tello, F.J., J. López-Martínez, D. B Lluch-Cota. 2015. Trophic spectrum and feeding pattern of cannonball jellyfish *Stomolophus meleagris* (Agassiz, 1862) from central Gulf of California. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(6): 1217–1227.
- Alvariño, A. 1985. Predation in the plankton realm, mainly with reference to fish larvae. *Inv. mar. CICIMAR*, 2: 1-122.
- Arai, M.N. 1997. *A functional biology of Scyphozoa*. London: Chapman and Hall. 316p.
- Arreola Lizárraga, J.A. 1995. *Diagnosis ecológica de Bahía de Lobos, Sonora, México*. Maestría en Ciencias Marinas Tesis, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B. C. S., México, xii, 120 p.
- Bakun, A. 1973. Daily and weekly upwelling indices, West Coast of north America 1946-71. US Dep. Comm. *NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-671*, 103p.
- Barnes, R.S.K., P.P. Calow, P.J.W. Olive, D.W. Golding, J.I. Spicer. 2001. *The Invertebrates: A Synthesis*. Blackwell Publishing Company. 497p.
- Beier, E. 1997. A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*, 27(5): 615–632.
- Boero, F., J. Bouillon, C. Gravili, M.P. Miglietta, T. Parsons, S. Piraino. 2008. Gelatinous plankton: Irregularities rule the world (sometimes). *Marine Ecology Progress Series*, 356: 299–310.
- Bray, N.A. 1988. Thermohaline circulation in the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 93(C5): 4993–5020.
- Brewer, R.H. 1989. The annual pattern of feeding, growth, and sexual reproduction in *Cyanea* (Cnidaria: Scyphozoa) in the Niantic River estuary, Connecticut. *The Biological Bulletin*, 176(3): 272–281.

- Brotz, L., A. Schiariti, J. López-Martínez, J. Álvarez-Tello, Y.H. Peggy Hsieh, R.P. Jones, J. Quiñones, Z. Dong, A.C. Morandini, M. Preciado, E. Laaz, H. Mianzan. 2017. Jellyfish fisheries in the Americas: origin, state of the art, and perspectives on new fishing grounds. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 27(1): 1–29.
- Buecher, E., C. Sparks, A. Brierley, H. Boyer, M. Gibbons. 2001. Biometry and size distribution of *Chrysaora hysoscella* (Cnidaria, Scyphozoa) and *Aequorea aequorea* (Cnidaria, Hydrozoa) off Namibia with some notes on their parasite *Hyperia medusarum*. *Journal of Plankton Research*, 23(10): 1073–1080.
- Calder, D.R. 1982. Life history of the cannonball jellyfish, *Stomolophus meleagris* L. Agassiz, 1860 (Scyphozoa, Rhizostomida). *The Biological Bulletin*, 162(2): 149–162.
- Cargo, D.G., L.P. Schultz. 1966. Notes on the biology of the sea nettle, *Chrysaora quinquecirrha*, in Chesapeake Bay. *Chesapeake Science*, 7(2): 95–100.
- Carvalho-Saucedo, L. 2009. Biología reproductiva de la fase medusa de *Stomolophus meleagris* L. Agassiz 1862, en la laguna Las Guásimas. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Sonora, México. 143 p.
- Carvalho-Saucedo, L., J. López-Martínez, F. García-Domínguez, C. Rodríguez-Jaramillo, J. Padilla-Serrato. 2011. Biología reproductiva de la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* en la laguna las Guásimas, Sonora, México. *Hidrobiologica*, 21(1): 77–88.
- Carvalho-Saucedo, L., J. López-Martínez, F. García-Domínguez. 2012. *Stomolophus meleagris* fecundity (Rhizostomeae: Stomolophidae) in the Gulf of California. *Revista de Biología Tropical*, 60(4): 1721–1729.
- Castelo-Bautista, B. 2012. Efecto de la temperatura en el metabolismo respiratorio en la fase pólipo de la medusa bola de cañón *Stomolophus Meleagris*. *Bachelor Thesis, La Paz: Universidad Autónoma de Baja California Sur*. 50 p.
- Cavalier-Smith, T. 2004. Only six kingdoms of life. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 271(1545): 1251.
- Colin, S.P., J.H. Costello. 2007. Functional characteristics of nematocysts found on the scyphomedusa *Cyanea capillata*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 351(1): 114–120.
- Costello, J.H., S.P. Colin. 1994. Morphology, fluid motion and predation by the scyphomedusa *Aurelia aurita*. *Marine Biology*, 121(2): 327–334.
- Costello, J.H., S.P. Colin. 1995. Flow and feeding by swimming scyphomedusae. *Marine Biology*, 124(3): 399–406.
- Cruz, C., J.A. Delgado, M.V. Muñoz. 2000. Observaciones oceanográficas en la laguna el Tobarí, Sonora. *Res. XII Congr. Nal. de Oceanogr.*, Huatulco, Oax., México.

- Csirke, J. 1980. Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. *FAO, Doc. Téc. Pesca*, (192): 82.
- Espinosa-Carreón, L., D. Escobedo-Urías. 2017. South region of the Gulf of California large marine ecosystem upwelling, fluxes of CO₂ and nutrients. *Environmental Development*, 22: 42-61.
- Dawson, M.N., K. Cieciel, M.B. Decker, G.C. Hays, C.H. Lucas, K.A. Pitt. 2015. Population-level perspectives on global change: genetic and demographic analyses indicate various scales, timing, and causes of scyphozoan jellyfish blooms. *Biological Invasions*, 17(3): 851-867.
- Downie, N.M., R.W. Heath. 1981. *Métodos estadísticos aplicados*. Madrid, España. 74 p.
- García, E. 1973. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM, 246 p.
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*, offset Larrios, 4a. ed, México.
- García, S., R. Josse. 1988. Notes on the assessment of stocks of small pelagic species on the basis of length frequency analysis and converted catch curves. *Fishbyte*, 6(1): 16–18.
- García, J.R., E. Durbin. 1993. Zooplanktivorous predation by large scyphomedusae *Phyllorhiza punctata* (Cnidaria: Scyphozoa) in Laguna Joyuda. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 173(1): 71–93.
- García-Morales, R., J. López-Martínez, J.E. Valdéz-Holguín, H. Herrera-Cervantes, L.D. Espinosa-Chaurand. 2017. Environmental variability and oceanographic dynamics of the central and southern coastal zone of Sonora in the Gulf of California. *Remote Sensing*, 9(9): 925.
- Garrido, M.A., M.A.J. Sánchez, T.F.J. Félix. 2007. Descripción de la pesquería del ostión del Golfo *Crassostrea virginica* en la Laguna Mecoacán del Estado de Tabasco, México. *Kuxulkab*, 13(25): 5–10.
- Gayanilo Jr.F.C., P. Sparre, D. Pauly. 1995. The FAO-ICLARM stock assessment tools (FiSAT) user's guide. *FAO Comp. Inf. Ser. (Fish.)*, (7): 126.
- Girón-Nava, A., C. López-Sagástegui, O. Aburto-Oropeza. 2015. On the conditions of the 2012 cannonball jellyfish (*Stomolophus meleagris*) bloom in Golfo de Santa Clara: A fishery opportunity? *Fisheries Management and Ecology*, 22(3): 261–264.
- Gómez-Aguirre, S. 1991. Larva éfira y diferenciación de *Stomolophus meleagris* (Scyphozoa: Rhizostomeae) en plancton de lagunas costeras de Tabasco, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología*: 383–389.
- Gosner, K.L. 1971. *Guide to identification of marine and estuarine invertebrates: Cape Hatteras to the Bay of Fundy*. New York, Wiley-Interscience. 693 p.

- Gulland, J.A., A.A. Rosenberg. 1992. A review of length-based approaches to assessing fish stocks. *FAO Fisheries Technical Paper*. Rome, FAO. (323): 100.
- Gutsell, J.S. 1928. The spider crab, *Libinia dubia*, and the jelly-fish, *Stomolophus meleagris*, found associated at Beauford, North Carolina. *Ecology*, 9(3): 358–359.
- Hernández-Tlapale, T.C. 2010. Efecto de la temperatura en la reproducción asexual de la fase pólipo en la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* L. Agassiz, 1862 (Schyphozoa, Rhizostomeae) en condiciones controladas. Tesis de licenciatura. Universidad del Mar. Puerto Ángel, Oaxaca. México. 55 p.
- Herrera-Cervantes, H., D.B. Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota, S. Gutiérrez-de-Velasco. 2007. The ENSO signature in sea-surface temperature in the Gulf of California. *Journal of Marine Research*, 65(5): 589–605.
- Herrera-Cervantes, H., D.B. Lluch-Cota, S.E. Lluch-Cota, S. Gutiérrez-de-Velasco, D. Lluch-Belda. 2010. ENSO influence on satellite-derived chlorophyll trends in the Gulf of California. *Atmósfera*, 23(3): 253–262.
- Hildebrand, H.H. 1954. A study of the fauna of the brown shrimp (*Penaeus aztecus* Ives) ground in the western Gulf of Mexico. *Institute of Marine Science*, 3(2): 233–366.
- Holst, S. 2012. Effects of climate warming on strobilation and ephyra production of North Sea scyphozoan jellyfish. *Hydrobiologia*, 690(1): 127–140.
- Jensen, A.L. 1996. Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 820-822.
- Jiménez-Pérez, L.C., J.R. Lara-Lara. 1988. Zooplankton biomass and copepod community structure in the Gulf of California during the 1982-1983 El Niño event. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 29: 122–128.
- Johnson-Díaz, K., J.L. Sierra-Cabral, A.I. Erosa-Solana. 1993. *Un tesoro de la Naturaleza: Las Tortugas Marinas*. Ed. EDAMEX. México, D.F. 177 p.
- Jones, R. 1984. Assessing the effects of changes in exploitation patterns using length composition data (with notes on VPA and cohort analysis). *FAO Fish. Tech. Pap.*, (256): 118.
- Kjerfve, B. 1994. Coastal lagoons. *Elsevier oceanography series*, 60: 1–8.
- Lankford, R.R. 1977. Coastal lagoons of Mexico: their origin and classification. *Estuarine processes*, 2: 182–215.
- Lara-Lara, J.R., V.V. Arenas-Fuentes, C. Bazán-Guzmán, V. Díaz-Castañeda, E. Escobar-Briones, M.C. García-Abad, G. Gaxiola-Castro, G. Robles-Jarero, R. Sosa-Ávalos, L.A. Soto-González, M. Tapia-García, J.E. Valdez-Holguín. 2008. Los ecosistemas marinos. En: Capital natural de México. *Conoc. Actual De. la Biodivers.* Conabio, México I, 135–159.

- Larson, R.J. 1987. Costs of transport for the scyphomedusa *Stomolophus meleagris* L. Agassiz. *Canadian Journal of Zoology*, 65(11): 2690–2695.
- Larson, R.J. 1991. Diet, prey selection and daily ration of *Stomolophus meleagris*, a filter-feeding scyphomedusa from the NE Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 32(199 1): 511–525.
- Lavaniegos-Espejo, B.E., J.R. Lara-Lara. 1990. Zooplankton of the Gulf of California after the 1982-1983 El Niño event: Biomass distribution and abundance. *Pacific Science*, 44(3): 297–310.
- Lindahl, O., L. Hernroth. 1983. Phyto-zooplankton community in coastal waters of western Sweden- an ecosystem off balance? *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 10(2): 119–126.
- Lluch-Cota, S.E. 2000. Coastal upwelling in the eastern Gulf of California. *Oceanologica Acta*, 23(6): 731–740.
- López-Martínez, J., F. Arreguín-Sánchez, S. Hernández-Vázquez, A.R. García-Juárez, W. Valenzuela-Quiñonez. 2002. Interannual variation of growth of the brown shrimp *Farfantepenaeus californiensis* and relation of this variation to temperature. *Fisheries Research* 61: 95-105.
- López-Martínez, J., D.B. Lluch-Cota, E. Herrera-Valdivia, S. Hernández-Vázquez, E. Alcántara-Razo, R. Morales-Azpeitia, J. Padilla-Serrato, C. Rodríguez-Jaramillo. 2004. Estimaciones de abundancia de la medusa bola de cañón (*Stomolophus meleagris*) al sur de Sonora para el establecimiento de una pesquería sustentable: Pesquera México S.A. de C.V. Informe final anual de proyecto. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 66 p.
- López-Martínez, J., D.B. Lluch-Cota, E. Herrera-Valdivia, S. Hernández-Vázquez, E. Alcántara-Razo, R. Morales-Azpeitia, J. Padilla-Serrato, C. Rodríguez-Jaramillo. 2005. Estimaciones de abundancia de la medusa bola de cañón (*Stomolophus meleagris*) al sur de Sonora para el establecimiento de una pesquería sustentable: Pesquera México S.A. de C.V. Informe final anual de proyecto. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 181 p.
- López-Martínez, J., R. Morales-Azpeitia, J. Padilla-Arredondo, E. Herrera Valdivia, C. Rodríguez, E. Alcántara-Razo. 2007. Estimaciones de abundancia de la medusa “Bola de Cañón” (*Stomolophus meleagris*) al sur de Sonora, para el establecimiento de una pesquería sustentable. Informe Final de Actividades. Guaymas, Sonora, México. 98 p.
- López-Martínez, J., J. Rodríguez-Romero. 2008. Primer registro de la asociación del jurelillo negro *Hemicaranx zelotes* Gilbert (Pisces: Carangidae) con la medusa bola de cañón *Stomolophus meleagris* Agassiz (Scyphozoa: Rhizostomatidae) en Bahía de Kino, Golfo de California. *Hidrobiológica*, 18(2): 173–176.
- López-Martínez, J., L. Ocampo, J.R. Rodríguez, N. Hernández. 2009. Medusa Bola de cañón: Un recurso con potencial pesquero. *BIOSIS*, 1: 2-3.
- López-Martínez, J., J. Rodríguez-Romero, E. Herrera-Valdivia, C. Rodríguez, E. Meza-Chávez, R. Morales-Azpeitia, M. Nevárez-Martínez. 2012. Seguimiento

- de la distribución y abundancia de la medusa “Bola de Cañón” *Stomolophus meleagris* en el sur de Sonora. Zona III. Informe final de proyecto. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 67 p.
- López-Martínez, J., J. Álvarez-Tello. 2013. The jellyfish fishery in Mexico. *Agricultural Sciences*, 4(6): 57–61.
- López-Martínez, J., E. Herrera-Valdivia, J. Álvarez-Tello, E. Arzola-Sotelo, M. Nevárez-Martínez, R. García-Morales, R. Morales-Azpeitia, E. Valdéz-Holguín, J. Padilla-Serrato, J. Rodríguez-Romero, F. Enríquez-Ocaña, C. Rodríguez-Jaramillo. 2017. Estado de la población de la medusa Bola de Cañón *Stomolophus meleagris*. Variabilidad interanual en la dinámica poblacional, abundancias y distribución. Informe de Proyecto SEMARNAT-2014-1-249458. 121 p.
- López-Martínez, J., M. Navarro-Fernández, M.A. Cisneros-Mata, M. Ross-Guerrero, C. Soto-Murillo, J. Álvarez-Tello, E.A. Arzola-Sotelo. (En prensa). La pesquería de medusa en México: Importancia económica y social. *Panorama Acuícola*.
- Lucas, C.H. 2001. Reproduction and life history strategies of the common jellyfish, *Aurelia aurita*, in relation to its ambient environment. *Hydrobiologia*, 451(1–3): 229–246.
- Lucas, C.H., M.N. Dawson. 2014. What are jellyfishes and thaliaceans and why do they bloom? In: *Jellyfish blooms*. Springer, pp. 9–44.
- Luna, A.O., S.G. Aguirre. 1999. *Stomolophus meleagris* (Scyphozoa: Rhizostomeae) en dos lagunas costeras de Oaxaca, México. *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología*, 70(2): 71–77.
- Magesh, J. 2004. Exportaciones de medusa, ¿Florecimiento o fiasco? Reporte Samudra No.39. United Kingdom.
- Malej, A., A. Malej Jr. 2004. Invasion of the jellyfish *Pelagia noctiluca* in the northern Adriatic: a non-success story. *Aquatic Invasions in the Black, Caspian and Mediterranean Seas*, 16: 273–285.
- Maluf, L.Y. 1983. The Physical Oceanography. In *Island Biogeography in the Sea of Cortez*. In: Case, T.J., Cody, M.L., (Eds.). University of California Press: Berkeley, CA, USA: 26–45.
- Márquez, R. 1996. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. Fondo de la Cultura Económica. México, D.F. 197 p.
- Matsakis, S., R.J. Conover. 1991. Abundance and feeding of medusae and their potential impact as predators on other zooplankton in Bedford Basin (Nova Scotia, Canada) during spring. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(8): 1419–1430.
- Mills, C.E. 2001. Jellyfish blooms: are populations increasing globally in response to changing ocean conditions? *Hydrobiologia*, 451(1): 55–68.
- Möller, H. 1980. Population dynamics of *Aurelia aurita* medusae in Kiel Bight, Germany (FRG). *Marine Biology*, 60(2–3): 123–128.

- Mungaray, J.V. 2007. La medusa bola de cañón: Un producto muy apreciado en Oriente es abundante en las costas de Sonora. *Revista SonoraEs* 41: 14-15.
- Naumov, D.V. 1961. Stsifoidnye meduzy morei SSSR (Scyphomedusae of the seas of the USSR). *Opredelitel po Faune SSSR*, 75: 1–98.
- Ohtsuka, S., K. Koike, D. Lindsay, et al. 2009. Symbionts of marine medusae and ctenophores. *Plankton and Benthos Research*, 4(1): 1–13.
- Olguín-Jacobson, C. 2016. Efecto de temperaturas oscilantes en la fisiología de pólipos de medusa *Stomolophus meleagris* (Rhizostomeae: Stomolophidae). Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. La Paz, Baja California Sur. México. 66 p.
- Omori, M., E. Nakano. 2001. Jellyfish fisheries in southeast Asia. In *Jellyfish Blooms: Ecological and Societal Importance*. Springer, pp. 19–26.
- Pagés, F. 2000. Biological associations between barnacles and jellyfish with emphasis on the ectoparasitism of *Alepa pacifica* (Lepadomorpha) on *Diplumaris malayensis* (Scyphozoa). *Journal of Natural History*, 34(11): 2045–2056.
- Padilla-Serrato, J.G., J. López-Martínez, A. Acevedo-Cervantes, E. Alcántara-Razo, C.H. Rábago-Quiroz. 2013. Feeding of the scyphomedusa *Stomolophus meleagris* in the coastal lagoon las Guásimas, northwest Mexico. *Hidrobiológica*, 23(2): 218–226.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 39(2): 175–192.
- Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters; a manual for use with programmable calculators. *ICLARM Stud. Rev.*, (8): 325.
- Pauly, D. 1987. A review of the ELEFAN system for analysis of length-frequency data in fish and aquatic invertebrates. In *ICLARM conf. Proc*, Vol. 13: 7-34.
- Pauly, D., J.L. Munro. 1984. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *Fishbyte*; 1:21.
- Pauly, D., J.F. Caddy. 1985. A modification of Bhattacharya's method for the analysis of mixtures of normal distribution, *FAO Fish, Circ.*, (781): 16.
- Pauly, D., F. Arreguín-Sánchez. 1995. Improving Shepherd's length composition analysis (SLCA) method for growth parameter estimations. *Naga, ICLARM Q.* 18(4): 31-33.
- Pérez-Alvarado, A.G.P.C. 2012. Análisis de algunos aspectos reproductivos de *Stomolophus meleagris* L. Agassiz, 1862 y *Aurelia aurita* Linné, 1758 (Cnidaria: Scyphozoa) en la Laguna de Mandinga, Veracruz. Tesis. Instituto Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Phillips, P.J., W.D. Burke, E.J. Keener. 1969. Observations on the trophic significance of jellyfishes in Mississippi Sound with quantitative data on the

- associative behavior of small fishes with medusae. *Transactions of the American Fisheries Society*, 98(4): 703–712.
- Phillips, P.J., N.L. Levin. 1973. Cestode larvae from Scyphomedusae of the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 23(3): 574–584.
- Pope J.G. 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *ICNAF Res Bull.*, 9(10):65-74.
- Powell, D.G. 1979. Estimation of mortality and growth parameters from the length frequency of a catch. *Rapp. P.-V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer.*, 175:167–169.
- Puente-Tapia, F.A. 2009. *Distribución en México de Stomolophus meleagris L. Agassiz, 1862 (Cnidaria: Scyphozoa: Rhizostomeae) y aspectos poblacionales en algunos sistemas estuarino-lagunares*. Tesis de Licenciatura. UNAM, Ciudad de México. 95 p.
- Purcell, J.E. 1992. Effects of predation by the scyphomedusan *Chrysaora quinquecirrha* on zooplankton populations in Chesapeake Bay, USA. *Marine Ecology Progress Series*, pp.65–76.
- Purcell, J.E., J.R. White, D.A. Nemazie, D.A. Wright. 1999. Temperature, salinity and food effects on asexual reproduction and abundance of the scyphozoan *Chrysaora quinquecirrha*. *Marine Ecology Progress Series*, 180: 187–196.
- Purcell, J.E. 2012. Jellyfish and ctenophore blooms coincide with human proliferations and environmental perturbations. *Annual Review of Marine Science*, 4: 209–235.
- Quiñones, J., H. Mianzan, S. Purca, K.L. Robinson, G.D. Adams, E. Marcelo Acha. 2015. Climate-driven population size fluctuations of jellyfish (*Chrysaora plocamia*) off Peru. *Marine Biology*, 162(12). doi: 10.1007/s00227-015-2751-4.
- Ramírez, F.C., M.O. Zamponi. 1981. Hydromedusae. *Atlas del zooplancton del Atlántico sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. INIDEP, Mar del Plata, pp.443–469.
- Robles, J. M., S.G. Marinone. 1987. Seasonal and interannual thermohaline variability in the Guaymas Basin of the Gulf of California. *Continental Shelf Research*, 7(7): 715–733.
- Roden, G.I. 1964. Shallow temperature inversions in the Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 69(14): 2899–2914.
- Rosa, S., M. Pansera, A. Granata, L. Guglielmo. 2013. Interannual variability, growth, reproduction and feeding of *Pelagia noctiluca* (Cnidaria: Scyphozoa) in the Straits of Messina (Central Mediterranean Sea): Linkages with temperature and diet. *Journal of Marine Systems*, 111: 97-107.
- Rosales P., J. Dwarak, C. Watts, J.R. Campoy. 1992. Caracterización del sistema lagunar Tóbari-Siaric, Sonora por percepción remota. *Res. III Congr. Nal. Oceanogr.* 229 p.

- Rountree, R.A. 1983. The ecology of *Stomolophus meleagris*, the cannon ball jellyfish, and its symbionts, with special emphasis on behavior. *Unpublished manuscript. Wilmington, NC, University of North Carolina.*
- Runge, J.A., P. Pepin, W. Silvert. 1987. Feeding behavior of the Atlantic mackerel *Scomber scombrus* on the hydromedusa *Aglantha digitale*. *Marine Biology*, 94(3): 329–333.
- Ruppert, E.E.B., R.D. Barnes. 1996. *Zoología de los invertebrados*. 5ª ed., México. 1114 p.
- Russell, F.S. 1970. *The medusae of the British Isles* (Vol. 2). CUP Archive.
- Sánchez-Velaso, L., B. Shirasago, M.A. Cisneros-Mata, C. Ávalos-García. 2000. Spatial distribution of small pelagic fish larvae in the Gulf of California and its relation to the El Niño 1997–1998. *Journal of Plankton Research*, 22(8): 1611–1618.
- Secretaría de Marina. 1999. Estudio de la calidad del agua en el estero El Capoa. Ramificación de la bahía de Bacorehuis, del sistema lagunar de Agiabampo. Informe técnico. Estación de Investigación Oceanográfica del Pacífico Centro. Topolobampo, Sinaloa. 13 p.
- Schiariti, A., M. Kawahara, S. Uye, H.W. Mianzan. 2008. Life cycle of the jellyfish *Lychnorhiza lucerna* (Scyphozoa: Rhizostomeae). *Marine Biology*, 156(1): 1.
- Shepherd, J.G., G.R. Morgan, J.A. Gulland, C.P. Mathews. 1987. Methods of analysis and assessment: Report of working group II. *En: Pauly D. y G.R. Morgan (eds.). Length-based methods in fisheries research. ICLARM Conf. Proc.*, 13: 353–362.
- SOFIA. 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. *Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos*. Dpto. de Pesca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. 224 p.
- Soto-Mardones, L., S. Marioni, A. Parés-Sierra. 1999. Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 25(1): 1–30.
- Spangenberg, D.B. 1964. New observations on Aurelia. *Transactions of the American Microscopical Society*, 83(4): 448–455.
- Spangenberg, D.B. 1968. Recent studies of strobilation in jellyfish. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev*, 6: 231–247.
- Sparre, P., S. Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales (Parte 1. Manual. Documento Técnico de Pesca N° 306. 1 Revisión 2. 420 pp.). Roma: FAO.
- Taylor, C.C. 1960. Temperature, growth, and mortality—the Pacific cockle. *ICES Journal of Marine Science*, 26(1): 117–124.
- Thiel, M.E. 1938. Die Chaetognathen Bevölkerung des Süd-Atlantischen Ozeans. *Wiss. Ergebn. dt. Atlant. Exped. "Meteor"*, 13(1): 1-110.

- Torres, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California, Tesis de maestría, CICESE, Ensenada, Baja California, México, 80 pp.
- West, E.J., K.A. Pitt, D.T. Welsh, K. Koop, D. Rissik. 2009. Top-down and bottom-up influences of jellyfish on primary productivity and planktonic assemblages. *Limnology and oceanography*, 54(6): 2058–2071.
- Wetherall, J.A., J.J. Polovina, S. Ralston. 1987. Estimating growth and mortality in steady-state fish stocks from length-frequency data. *En: Pauly D. y G.R. Morgan (eds.). Length-based methods in fisheries research. ICLARM Conf. Proc.*, 13:53–74.
- Whitten, H.L., H.F. Rosene, J.W. Hedgepeth. 1950. The invertebrate fauna of Texas Coast jetties; a preliminary survey. *Publications of the Institute of Marine Science*, 1(2): 53–87.