



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**VARIABILIDAD LATITUDINAL EN LA DINÁMICA
POBLACIONAL DEL CALLO DE HACHA *Atrina tuberculosa*
(G. B. SOWERBY I, 1835) Y *Pinna rugosa* (SOWERBY, 1835)
DE LA COSTA ORIENTAL DE SONORA.**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Biología Marina)

P r e s e n t a

Carlos Acevedo Rodríguez

La Paz, Baja California Sur, marzo de 2023.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 11 horas del día 21 del Mes de febrero del 2023, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

Variabilidad latitudinal en la dinámica poblacional del callo de hacha *Atrina tuberculosa* (G.B.Sowerby I, 1835) y *Pinna rugosa* (Sowerby, 1835) de la costa oriental de Sonora

Presentada por el alumno:

Carlos Acevedo Rodríguez

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **BIOLOGÍA MARINA**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA



Dra. Juana López Martínez
Directora de Tesis



Ricardo García Morales
Co-Tutor de Tesis



Dra. Gracia Alicia Gómez Anduro
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos.



Dra. Jesús Ariaana Castillo Durán
Co-Tutora de Tesis

La Paz, Baja California Sur, a 21 de fe de 2023.

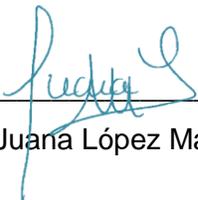
Los miembros del comité de tesis del (la) estudiante Carlos Acevedo Rodríguez del Programa de Maestría en uso, manejo y preservación de los recursos naturales, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio:
-iThenticate
- Filtros utilizados:
-Citas excluidas
-Bibliografía excluida
- Porcentajes de similitud:
17%
Se muestra captura de pantalla



Rank	Source	Word Count	Percentage
1	Internet	543 palabras	3%
2	Internet	541 palabras	3%
3	Internet	452 palabras	3%
4	Internet	253 palabras	2%
5	Internet	170 palabras	1%
6	Internet	136 palabras	1%
7	Internet	116 palabras	1%
8	Internet	114 palabras	1%
9	Internet	103 palabras	1%

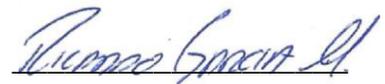
Firmas del comité



Dra. Juana López Martínez



Dra. Jesús Ariaana Castillo Durán



Dr. Ricardo García Morales

Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dra. Juana López Martínez
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Directora de Tesis

Dra. Jesús Ariaana Castillo Durán
Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura
Co-Tutora

Dr. Ricardo García Morales
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Tutor de Tesis

Comité Revisor de Tesis

Dra. Juana López Martínez
Dra. Jesús Ariaana Castillo Durán
Dr. Ricardo García Morales

Jurado de Examen

Dra. Juana López Martínez
Dra. Jesús Ariaana Castillo Durán
Dr. Ricardo García Morales

Suplente

Dr. Rufino Morales Azpetia

Resumen

Dentro de los grupos más exitosos en pesca y acuicultura se encuentran los moluscos bivalvos. En México se desembarcaron un total de 1 950 011 toneladas de productos pesqueros en 2020, siendo 12 059 toneladas proveniente de moluscos bivalvos. En el estado de Sonora, *Atrina tuberculosa* y *Pinna rugosa* constituyen una pesquería importante para las comunidades costeras pero que carece de información actualizada acerca de su dinámica poblacional y su relación con el ambiente. Se ha reportado que la costa oriental del Golfo de California se puede agrupar en 4 regiones con climatologías distintas en gradientes latitudinales. Por esta razón, se planteó analizar la dinámica poblacional de estas especies y ver si existen diferencias entre zonas en la costa oriental del Golfo de California. Para ello, se emplearon datos procedentes de evaluaciones hechas por personal del INAPESCA de sur a norte en el estado de Sonora durante la temporada 2017-2018. Se dividieron las zonas de muestreo en sur, centro y norte. Se mapeó la distribución de los organismos en las zonas de muestreo. Se determinó la estructura de tallas por zona. Con estas estructuras de tallas por zona se aplicó inferencia multi modelo para seleccionar el mejor modelo de crecimiento y se estimaron los parámetros de crecimiento. Se estimó la mortalidad, abundancia, biomasa y patrón de reclutamiento por medio de análisis de cohortes. Se obtuvieron datos de temperatura superficial del mar y clorofila a, por medio de imágenes de satélite. Se relacionaron los parámetros poblacionales con parámetros ambientales. Los resultados indican que existe una diferencia en el crecimiento entre zonas y que los parámetros ambientales tienen incidencia en estos procesos.

Palabras clave: Golfo de California, *Atrina tuberculosa*, *Pinna rugosa*, crecimiento, biomasa, abundancia, ambiente recurso.

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-1200-8824>

Vo.Bo.



Dra. Juana López Martínez
Directora de Tesis

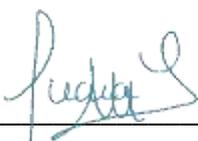
Summary

Among the most successful groups in fisheries and aquaculture are bivalve mollusks. In Mexico, a total of 1,950,011 tons of fishery products were landed in 2020, with 12,059 tons coming from bivalve mollusks. In the state of Sonora, *Atrina tuberculosa* and *Pinna rugosa* are an important fishery for coastal communities but lack updated information about their population dynamics and their relationship with the environment. It has been reported that the eastern coast of the Gulf of California can be grouped into 4 regions with different climatologies in latitudinal gradients. For this reason, it was proposed to analyze the population dynamics of these species and to see if there are differences between zones in the eastern coast of the Gulf of California. For this purpose, data from assessments made by INAPESCA staff from south to north in the state of Sonora during the 2017-2018 season were used. Sampling zones were divided into south, central and north. The distribution of organisms in the sampling zones was mapped. The size structure by zone was determined. With these zone size structures, multi-model inference was applied to select the best growth model and growth parameters were estimated. Mortality, abundance, biomass and recruitment pattern were estimated by cohort analysis. Sea surface temperature and chlorophyll a data were obtained from satellite images. Population parameters were related to environmental parameters. The results indicate that there is a difference in growth between zones and that environmental parameters have an impact on these processes.

Keywords: *Gulf of California, Atrina tuberculosa, Pinna rugosa, growth, biomass, abundance, ambient-resource*

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-1200-8824>

Vo.Bo.



Dra. Juana López Martínez
Directora de Tesis

Dedicatoria

A mi compañera de vida, Hairin. Enamorarme de ti ha sido lo más fácil que he hecho en mi vida. Gracias por creer en mí más que lo que yo lo hago. Sigamos caminando juntos por este hermoso camino llamado vida.

A mi madre, Sol. Mi deuda contigo siempre será grande, pues nunca podré pagarte todo lo que me has dado.

A mi padre, Alejandro. Por siempre enseñarme que ser papá no solo significa engendrar, sino estar ahí para enseñar y para querer. Espero ser la mitad de buen padre de lo que tú has sido conmigo.

A mis abuelos (+). Donde quiera que estén, espero que se sientan orgullosos de mí. Los extraño todos los días.

A mi bebé, ya quiero conocerte. Te espero con muchas ansias.

A mi hermana, por los recuerdos de la niñez y gracias por darme el regalo tan bonito que es ser tío.

A mi gordito, que dicha es verte crecer.

A mi negrita, gracias por enseñarme a ser papá.

A mi bebé de agosto.

Al Mar de Cortez, gracias por ser mi refugio y mi sustento.

A los bentónicos (Fanny, Magui, Saúl). Gracias por todas las aventuras, risas, borracheras, pero sobre todo por su amistad.

A las personas en las comunidades costeras que se juegan el pellejo todos los días por sacar adelante a sus familias, por no perder la esperanza y seguir adelante a pesar de que el futuro muchas veces se ve sombrío. Siempre tendrán mi respeto y admiración.

Agradecimientos

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y a la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos, por la formación, el apoyo y haberme dado la oportunidad de dar un paso adelante en mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACyT por el apoyo de la beca otorgada con número 773325/2020.

Al Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA) por el trabajo incansable que hace en beneficio del sector pesquero en México. Por haberme proporcionado los datos que hicieron posible la elaboración de esta tesis. Agradecimiento sobre todo a la Dra. Alma Rosa García Juárez y al M.C. Pedro Sierra.

Al Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera (CRIAP) en Guaymas, sobre todo al programa Almejas y Caracoles.

A mi Directora de tesis Dra. Juana López Martínez por aceptarme nuevamente como estudiante, por no perder la fe en mí e impulsarme a dar termino a este trabajo. Por sus correcciones, regaños y motivaciones. Sin duda siempre una gran maestra.

A mi Co-Tutora Dra. Ariaana Castillo Durán por el apoyo que me brindó a lo largo de mi carrera en el INAPESCA, por haber hecho la gestión institucional para poder usar los datos en esta tesis.

A mi Co-Tutor Dr. Ricardo García Morales, por el seguimiento a este trabajo, enseñanzas y disponibilidad.

A la M. en C. Estefany Larios, por haberme dado mi primera oportunidad como biólogo titulado, por sus enseñanzas y sobre todo su gran amistad.

A mis compañeros de Posgrado, sobre todo a Daniel, Paula, Andrea, Jyasu, Edgardo, Edgar.

A la Dra. Cinthya Nevárez por siempre estar presente.

A las y los pescadores que participaron en los muestreos hechos por todo el estado.

Por último, agradecer a mi familia que siempre han estado ahí, apoyándome.

Contenido	
Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	v
Lista de figuras	vii
Lista de tablas	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Aspectos biológicos y poblacionales de la familia Pinnidae.....	4
2.2 Aspectos biológicos del género <i>Atrina</i> y <i>Pinna</i> en el Pacífico mexicano	5
2.3 Estudios de crecimiento en Pinnidae	8
2.4 Estimación del crecimiento a partir de Inferencia Multimodelo	9
2.5 Generalidades de la pesquería del “Callo de Hacha” en Sonora.....	10
2.6 Características ambientales del Golfo de California.....	12
2.7 Variabilidad latitudinal de la temperatura y concentración de clorofila en la costa oriental del Golfo de California	14
3. JUSTIFICACIÓN	16
4. HIPOTESIS	17
5. OBJETIVOS	18
5.1 Objetivo general	18
5.2 Objetivos particulares.....	18
6. MATERIAL Y MÉTODOS	19
6.1 Zona de estudio	19
6.2 Muestreo	20
6.3 Distribución y densidad promedio	21
6.4 Crecimiento	22
6.5 Identificación de las cohortes.....	22
6.6 Asignación de edades	23
6.7 Modelación del crecimiento a partir de la inferencia multimodelo	23
6.8 Estimación de mortalidad, abundancia relativa y magnitud de reclutamiento.....	26
6.9 Reclutamiento, Mortalidad y tasa de explotación	28
6.10 Caracterización ambiental.....	29
7. RESULTADOS	30
7.1 Distribución.....	31
7.2 Estructura de tallas	36
7.2.1 <i>Atrina tuberculosa</i>	36
7.3 Edad	40
7.3.1 <i>Atrina tuberculosa</i>	40
7.3.2 <i>Pinna rugosa</i>	41
7.4 Crecimiento individual promedio	42
7.4.1 <i>Pinna rugosa</i>	42
7.4.2 <i>Atrina tuberculosa</i>	42
7.5 Inferencia multi-modelo.....	43
7.5.1 <i>Atrina tuberculosa</i>	43

7.5.2 Pinna rugosa.....	46
7.6 Abundancias	47
7.7 Abundancia y Mortalidad	52
7.8 Temperatura superficial del mar y concentración de clorofila	56
7.9 Relación ambiente y recurso	58
8. DISCUSIÓN	61
8.1 Distribución.....	61
8.2 Estructura de tallas	63
8.2.1 Atrina tuberculosa	63
8.2.2 Pinna rugosa.....	63
8.3 Crecimiento	64
8.4 Análisis de Cohortes de Jones basado en tallas	67
8.5 Ambiente, recurso	69
9. CONCLUSIONES.....	71
10. LITERATURA CITADA.....	73

Lista de figuras

Figura 1. Distribución del callo de hacha <i>Atrina maura</i> . Fuente: Discoverlife. https://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Atrina+maura	6
Figura 2. Distribución del callo de hacha <i>Pinna rugosa</i> . Fuente: https://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Pinna+rugosa	8
Figura 3. Anatomía de la almeja del género <i>Atrina</i> , indicando los distintos órganos (Foto tomada Grave, 1911).....	12
Figura 4. Zonas de pesca de callo de hacha en el litoral Sonorense prospectadas durante 2017-2018.....	19
Figura 5. Esquema de muestreo de organismos seguido en las recolectas de callo de hacha en el litoral sonorense durante 2017-2018 por personal del INAPESCA.....	20
Figura 6. Toma de medidas de longitud valvar total y ancho de la concha del callo de hacha <i>Atrina tuberculosa</i> y <i>Pinna rugosa</i>	21
Figura 7. Puntos de muestreo de callo de hacha realizados por personal del INAPESCA Guaymas durante el 2017.....	30
Figura 8. Mapa de densidad de Kernel de callo de hacha en la localidad de Agiabampo, Sonora. Periodo 2017-2018.....	32
Figura 9. Mapa de densidad de Kernel de callo de hacha en la localidad de Yavaros, Sonora. Periodo 2017-2018.....	32
Figura 10. Mapa de densidad de Kernel en la Bahía del Tobarí, Sonora. Periodo 2017-2018.....	33
Figura 11. Mapa de densidad de Kernel en la localidad de Bahía de Lobos, Sonora. Periodo 2017-2018.....	33
Figura 12. Mapa de densidad de Kernel en el municipio de Guaymas, Sonora. Periodo 2017-2018.....	34
Figura 13. Mapa de densidad de Kernel en la localidad de Bahía de Kino, Sonora. Periodo 2017-2018.....	34
Figura 14. Mapa de densidad de Kernel de callo de hacha en la localidad del Desemboque de los Seris, Sonora. Periodo 2017-2018.....	35
Figura 15. Mapa de densidad de Kernel en la localidad del Desemboque de Caborca. Sonora. Periodo 2017-2018.....	35
Figura 16. Mapa de densidad de Kernel de callo de hacha en la localidad de Puerto Peñasco....	36
Figura 17. Estructura de tallas del callo de hacha <i>Atrina tuberculosa</i> registradas durante el periodo de estudio en Sonora en 2017.....	37
Figura 18. Estructura de tallas por zona del callo de hacha <i>A. tuberculosa</i> durante 2017. a) zona sur, b) zona centro, c) zona norte.....	38
Figura 20. Estructura de tallas de <i>Pinna rugosa</i> registradas en 2017 en Sonora.....	39
Figura 21. Cohortes estimadas para <i>Pinna rugosa</i> mediante análisis multinomial en el litoral de Sonora en 2017.....	40
Figura 22. Estructura de edades de callo de hacha <i>Atrina tuberculosa</i> en el litoral Sonorense. Periodo 2017-2018.....	41
Figura 23. Estructura de edades de <i>Pinna rugosa</i> en el litoral Sonorense. Periodo 2017-2018....	41
Figura 24. Curvas de crecimiento ajustadas en los tres modelos de crecimiento aplicados y datos de longitud a la edad promedio observados de <i>Atrina tuberculosa</i> del litoral sonorense en 2017.....	43

Figura 25. Curvas de crecimiento para el MCVB para las tres zonas aplicados a datos de longitud a la edad promedio de <i>Atrina tuberculosa</i> en 2017-18. a) zona sur, b) zona centro, c) zona norte.	45
Figura 26. Anomalías de los parámetros de crecimiento de <i>Atrina tuberculosa</i> por zonas de estudio en el 2017-18.....	46
Figura 27. Curvas de crecimiento generadas para los tres modelos aplicados a datos de longitud a la edad promedio de <i>Pinna rugosa</i> en 2017.	47
Figura 28. Captura mensual de callo de hacha (todas las especies) obtenida por la flota artesanal en las costas de Sonora durante 2017-2018.....	48
Figura 29. Relación longitud total (mm) vs peso (gr) de callo de hacha <i>Atrina tuberculosa</i> en las costas de Sonora.	48
Figura 30. Anomalías de mortalidad, abundancia, biomasa y patrón de reclutamiento por zonas durante 2017-2018.....	52
Figura 31. Estacionalidad de la temperatura superficial del mar promedio por zonas en el litoral de Sonora, México en 2017.....	56
Figura 32. Temperatura superficial promedio por localidad durante el periodo 2017-2018 en el litoral Sonorense.	57
Figura 33. Valores promedio de la concentración de clorofila por localidad en el litoral de Sonora en 2017 y 2018.	58
Figura 34. Relación de la temperatura superficial del mar y el crecimiento por zonas en el litoral de Sonora en 2017-18. a) L_{∞} vs TSM, b) K (coeficiente instantáneo de crecimiento vs TSM.....	59
Figura 35. Relación parámetros de crecimiento y concentración de clorofila del mar por zonas en el litoral de Sonora en 2017-18. a) L_{∞} vs Chl, b) K (coeficiente instantáneo de crecimiento vs Chl.....	60

Lista de tablas

Tabla 1. Densidad promedio org/m ² de callo de hacha por localidad en el litoral sonorense durante 2017-2018.....	31
Tabla 2. Valores de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy (L_{∞} (mm) y K (anual)) obtenidos con los métodos Powell-Wetherall, Shepherd y ELEFAN I.....	42
Tabla 3. Valores de los AIC obtenidos de los modelos ajustados con los datos de longitud total para <i>Atrina tuberculosa</i> en el 2017 en Sonora.....	44
Tabla 4. Parámetros de crecimiento Del Modelo de crecimiento de Von Bertalanfy de <i>Atrina tuberculosa</i> por zonas del litoral de Sonora en 2017-18.....	45
Tabla 5. Valores de los AIC obtenidos de los modelos ajustados con los datos de longitud total para <i>Pinna rugosa</i> en el 2017-18.....	47
Tabla 6. Estructura de tallas de <i>Atrina tuberculosa expandida a la captura</i> total en la zona norte durante 2017.....	49
Tabla 7. Estructura de tallas de <i>Atrina tuberculosa expandida</i> con el factor de ampliación a la captura total en la zona centro durante el 2017.....	50
Tabla 8. Estructura de tallas de <i>Atrina tuberculosa</i> con el factor de ampliación a la captura total en la zona sur durante el 2017.....	51
Tabla 9. Captura, abundancia promedio, mortalidad por pesca (F) y tasa de explotación (E), por intervalo de tallas de <i>Atrina tuberculosa</i> en la zona sur durante el 2017.....	53
Tabla 10. Captura, abundancia promedio, mortalidad por pesca (F), tasa de explotación (E), para cada intervalo de tallas de <i>Atrina tuberculosa</i> en la zona centro durante el 2017.....	54
Tabla 11. Captura, abundancia promedio, mortalidad por pesca (F), tasa de explotación (E), para cada intervalo de tallas de <i>Atrina tuberculosa</i> en la zona norte durante el 2017.....	55
Tabla 12. Coeficiente de mortalidad total (Z), mortalidad por pesca (F), tasa de explotación (E), abundancia media, biomasa promedio y magnitud de reclutamiento por zonas de <i>Atrina tuberculosa</i> en la zona norte durante el 2017.....	56

1. INTRODUCCIÓN

Los moluscos bivalvos se encuentran dentro de los grupos más exitosos en acuicultura y pesca. el consumo de este grupo ha tenido un aumento significativo en los últimos años. Estas dos actividades representaron una producción aproximada de 5 923 000 toneladas en 2020 derivadas de la pesca y 17 511 000 toneladas derivadas de la acuicultura (FAO, 2022). En México, se desembarcaron un total de 1 950 011 toneladas de productos pesqueros en 2020, siendo 12 059 toneladas proveniente de moluscos bivalvos (CONAPESCA, 2020). Del total de la producción pesquera nacional cerca del 50% se obtiene en la región noroeste (INAPESCA 2010). En el estado de Sonora, existen al menos 10 especies de bivalvos que presentan un alto potencial de explotación comercial y englobadas dentro de estas 10 especies se encuentran las correspondientes a la familia Pinnidae, conocidas comúnmente como “callos de hacha”, siendo las más importantes en el estado de Sonora *Atrina tuberculosa* (Sowerby, 1835), *Atrina maura* (Sowerby, 1835) y *Pinna rugosa* (Sowerby, 1835).

El callo de hacha constituye uno de los recursos pesqueros más importantes para el estado de Sonora. Internacionalmente, las especies de Pinnidos alcanzan un costo aproximado de \$16. 5 dólares por kilogramo, en el estado de Sonora actualmente pueden tener costos de hasta \$750 pesos el kilogramo en playa. Por esta razón, se ha intensificado su extracción en la última década, lo que ha provocado una disminución en las zonas de pesca, reduciéndose considerablemente la producción total (DOF, 2018).

En México, el manejo pesquero se encuentra bajo la gestión de varios departamentos dentro de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). La principal ley de manejo pesquero es la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables (LGPAS) (DOF, 2018b), que establece las obligaciones y pautas para la mayoría de las pesquerías en el país a través de la Carta Nacional Pesquera (DOF, 2018). Por ley, el Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA) está encargado de recomendar cuotas de pesca a la Comisión Nacional de Pesca (CONAPESCA), quien es responsable de implementar las acciones de manejo necesarias para cumplir con las recomendaciones. Finalmente, la vigilancia y monitoreo de las actividades pesqueras son responsabilidad del CONAPESCA y de la Secretaría de Marina (SEMAR) (DOF, 2018b). A pesar de estos marcos regulatorios algunas pesquerías, como la del callo de hacha, carecen de un plan de

manejo o de una norma oficial adecuados, lo que permite que varias pesquerías artesanales operen bajo el régimen de acceso abierto (Cisneros-Montemayor *et al.*, 2013). Por lo anterior, este trabajo pretende generar información acerca de la dinámica y el estado de salud del recurso en la costa oriental del estado de Sonora, observar si existen diferencias latitudinales en sus parámetros para coadyuvar a generar estrategias que permitan un manejo integral de este recurso.

una norma oficial adecuados, lo que permite que varias pesquerías artesanales operen bajo el régimen de acceso abierto (Cisneros-Montemayor *et al.*, 2013). Por lo anterior, este trabajo pretende generar información acerca de la dinámica y el estado de salud del recurso en la costa oriental del estado de Sonora, observar si existen diferencias latitudinales en sus parámetros para coadyuvar a generar estrategias que permitan un manejo integral de este recurso.

2. ANTECEDENTES

El *phylum* Mollusca se divide en 8 clases con representantes actuales y 2 extintas. Las denominadas clases menores comprenden a los Solenogastres, Caudofoveata, Monoplacophora y Scaphopoda, las 2 primeras agrupadas tradicionalmente en la clase Aplacophora. Las clases mayores comprenden a los Polyplacophora, Gastropoda, Bivalvia y Cephalopoda, mientras que las clases extintas son Rostroconchia, probable ancestro de bivalvos y Helcionelloida, similar a Latouchella, una especie marina extinta y todas las clases están representadas en el mar (Castillo-Rodríguez, 2014). Los moluscos marinos son un grupo zoológico con mucha atracción para paleontólogos, zoólogos, biólogos y arqueólogos marinos, coleccionistas y genetistas entre otras especialidades, debido a la vasta complejidad de tipos morfológicos y características de vida que contribuyen al éxito en su colonización en bosques de manglar, lagunas costeras y zonas arrecifales, estableciendo nichos ecológicos desde la zona intermareal, hasta taludes y profundidades oceánicas, incluyendo las ventilas hidrotermales y trincheras de más de 5 000 m de profundidad (Castillo-Rodríguez, 2014; Ponder. W *et al.*, 2019) Además de su importancia ecológica e interés científico, los moluscos constituyen uno de los recursos alimenticios importantes en México, representando aproximadamente el 11.13 % en cuanto a la pesca y el 23.24 % de la producción acuícola para el país (Cerros-Cornelio *et al.*, 2021). El Pacífico mexicano contribuye con el 8.35 % de la captura y el 2.42 % del cultivo de estos organismos (Ríos-Jara *et al.*, 2008; Castro-Mondragón *et al.*, 2016). En las costas mexicanas, los moluscos son un recurso esencial en la pesca ribereña y son altamente valorados, generando importantes ingresos y contribuyendo a la seguridad alimentaria de cientos de personas (Castro-Mondragón *et al.*, 2016).

A lo largo del litoral mexicano se explotan más de 80 especies de bivalvos y gasterópodos, producto de la situación geográfica que determina una gran diversidad climática y ambiental. Aunado a esto, existe una alta variedad de hábitats, dado por la heterogeneidad de tipos de costa, diferentes características climáticas y regímenes hidrológicos, lo que ha permitido que las diversas especies manifiesten al máximo su potencial adaptativo bajo condiciones muy variadas (Baqueiro-Cardenas, 2003).

Los factores que determinan el comportamiento poblacional y reproductivo para especies de moluscos de zonas frías y templadas son de variada naturaleza, que el potencial reproductivo de moluscos bivalvos en lo que a la sexualidad y presencia de hermafroditismo se refiere, es fijado genéticamente con la fuerte influencia del medio a través de la temperatura, intensidad y duración de la luz determinando la intensidad y la época de reproducción ((Lucas, 1965; Baqueiro-Cárdenas y Aldana-Aranda, 2003).

2.1 Aspectos biológicos y poblacionales de la familia Pinnidae

La familia Pinnidae se caracteriza por sus conchas frágiles de forma alargada y triangular que en algunas especies pueden alcanzar hasta los 50 cm de longitud y en el caso de la especie *Pinna nobilis* llega a alcanzar los 120 cm de longitud (Zavodnik *et al.*, 1991). Además, tienen una larga vida, llegándose a reportar individuos de hasta 45-50 años (Rouanet *et al.*, 2015). Las especies de los géneros *Atrina* y *Pinna*, usualmente, existen como metapoblaciones, compuestas de pequeños grupos o parches de individuos en bahías y zonas lagunares con influencia marina (García-Cubas y Reguero, 1995; Hanafi *et al.*, 2008). Esta familia incluye cerca de unas 100 especies (Salgado, 2020) y está ampliamente distribuida en todos los océanos del mundo, residiendo principalmente en fondos arenosos o lodazales de aguas poco profundas, como manglares o arrecifes de coral (Sturman, 2015). Aunque presentan etapas larvarias meropláticas, suelen enterrarse de manera parcial en el fondo marino, donde terminan pasando la mayor parte de su vida (Salgado 2020).

Las conchas cuentan con una fina pero muy iridiscente capa interna de nácar en la parte de la concha cercana al extremo puntiagudo. Constan de dos músculos aductores, siendo el músculo posterior más grande, conocido comúnmente como “callo”, este músculo es el que comúnmente es consumido por el ser humano.

Con relación a los aspectos reproductivos de los Pinnidae, estudios realizados en China reportaron una gran diferencia en la morfología, estructura y número de núcleos y organelos en los ovocitos de la población mediterránea de *Atrina pectinata* durante sus tres periodos de desarrollo (período acelerado de crecimiento, período de formación de la llema y periodo de madurez (Yongqiang y Xiang, 1988). Especies como *Pinna nobilis* presentan hermafroditismo (Degaulejac, 1995) *Atrina seminuda*, en Sudamérica, se reproduce todo el año, pero la actividad

reproductiva aumenta en ciertos periodos, sobre todo en el verano (Gaspar-Soria *et al.*, 2002; Salomé-Rangel *et al.*, 2017)

2.2 Aspectos biológicos del género *Atrina* y *Pinna* en el Pacífico mexicano

En México, las especies de la familia Pinnidae son conocidas comúnmente como callos de hacha, se encuentran generalmente en bahías y lagunas costeras a profundidades que van de 0.5 a 45m, con sustratos constituidos por arena fina y limo-arcilla. Son dominantes en la zona bentónica de los sitios donde habita, y suele formar densos bancos de tamaño y persistencia variable. En el Pacífico mexicano, están representados principalmente por las especies *Pinna rugosa* y *Atrina maura* (Keen, 1971, Holguin, 1988, Lemer 2016), especies que han recibido mayor atención como objetivo pesquero, debido a las características del músculo abductor posterior, el cual ha tenido una elevada demanda en el mercado regional y nacional. En Sonora, el callo de hacha se encuentra representado en 4 especies (DOF, 2018):

- *Atrina tuberculosa* (Sowerby, 1835)
- *Atrina maura* (Sowerby, 1835)
- *Atrina oldroydii* (Sowerby, 1835)
- *Pinna rugosa* (Sowerby, 1835)

El bivalvo *Atrina maura* (Sowerby, 1835), habita ambos litorales de la península de Baja California, hasta Perú (Keen, 1971) (Fig. 1), encontrándose en bahías protegidas de suelos arenosos, limosos o arcillosos. En la provincia del Pacífico mexicano, las poblaciones de esta especie (Sowerby 1835) han sido poco estudiadas, y las investigaciones realizadas han estado enfocadas principalmente al conocimiento del ciclo reproductivo. Así, mientras que por un lado se redoblan esfuerzos para desarrollar biotecnologías que permitan cultivar esta especie, las poblaciones silvestres están siendo impactadas por la presión pesquera y por fenómenos naturales. Tal es el caso de la población de *A. maura* de la laguna costera Corralero-Alotengo, que fue fuertemente diezmada después de que el área donde habita recibió, entre otras cosas, grandes volúmenes de agua dulce como resultado de las intensas lluvias provocadas por el paso de los huracanes "Paulina" y "Rick", en octubre y noviembre de 1997. De forma que en dicho trabajo se analizó la abundancia, estructura poblacional y el crecimiento en talla de *A. maura* dentro del sistema lagunar Corralero-Alotengo, Oaxaca, México, antes de que sucedieran estas

alteraciones. De acuerdo con el arreglo espacial de abundancia, se diferenciaron dos grandes grupos, uno de la boca a la región media del banco de *A. maura* y otro, de la mitad del banco hacia el interior del sistema lagunar (Ahumada-Sempoal *et al.*, 2002).

Temporalmente, se encontraron tres períodos de abundancia; febrero-abril-mayo, julio-agosto, y marzo-junio-septiembre. La distribución de tallas indicó que *Atrina maura* se recluta al bento de febrero a julio en esa zona. Asimismo, aun cuando se tuvo un amplio intervalo de tallas, dominaron los organismos con longitud valvar mayor o igual a 15 cm (77.69%). Se estimó un crecimiento en talla de 3.7 cm/mes durante el periodo sin lluvias (febrero a mayo) y de 3.5 cm/mes durante la temporada de lluvias (junio a septiembre). De febrero a mayo la proporción sexual fue 1:1, la dominancia de machos fue evidente en el período de junio a septiembre, y se detectó madurez gonadal a partir de 10 cm de longitud valvar (Ahumada-Sempoal *et al.*, 2002).



Figura 1. Distribución del callo de hacha *Atrina maura*. Fuente: Discoverlife. <https://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Atrina+maura>.

En Bahía Magdalena, B. C. S., se han encontrado organismos gonocóricos de *Atrina maura*, con proceso gametogénico y desove sincrónico de enero a marzo (Rodríguez-Jaramillo *et al.*, 2001) y en la costa del Pacífico tropical mexicano, específicamente en Acapulco, Guerrero, *Atrina maura* presenta dos periodos reproductivos, (noviembre-enero y otro de abril a junio) (Aguilar, 1964), mientras que en otras regiones tiene picos reproductivos de abril a julio y de octubre a noviembre (Angel-Perez *et al.*, 2007)), aunque se han encontrado individuos sexualmente maduros todo el año. La talla de primera madurez sexual se ha estimado en 16 cm de longitud total (valvar) (Soria, 1989), aunque esta talla puede variar por zonas, ejemplo el sistema lagunar

Corralero-Alotengo, Oaxaca, donde los individuos de *Atrina maura*, tienen su primera maduración sexual a los 10 cm de longitud (Ahumada-Sempoal *et al.*, 2002).

Los juveniles de *Atrina maura* alcanzan una termotolerancia superior de 33.2°C y la temperatura óptima para el crecimiento estimada es de 29 °C (Leyva-Valencia *et al.*, 2001). El ciclo reproductivo de esta especie tiene una relación directa con el IGS e inversa con el IRM y existen evidencias de una relación estrecha de la época de desove y postdesove con la temperatura del agua y un predominio de las hembras casi todo el año (Angel-Pérez *et al.*, 2007). En Sonora, análisis histológicos de 69 individuos durante 2003 y 2004 en Bahía de Kino, mostraron que la madurez gonadal en la especie *Atrina tuberculosa* se encuentra en la fase terminal de desove en el mes de octubre y noviembre. Para el mes de enero se encontró que existen pocos organismos indiferenciados y que la actividad gametogénica ya presenta evidencias de su inicio, sin embargo, es durante los meses de abril a mayo cuando se presenta la madurez en hembras y machos, en julio entran en el periodo de desove. Para los meses de agosto y septiembre los organismos analizados se encuentran desovados (Moreno *et al.*, 2005).

Por otra parte, *Pinna rugosa* es un bivalvo que se distribuye desde el norte del Golfo de California, hasta Salinas, Ecuador, Islas Clipperton (Francia) y Galápagos (Ecuador) (Fig. 2), en bajos mareales con sustratos arenoso-limosos, en aquellos manglares ubicados en ambientes de baja energía. Habita también en playones elevados donde la especie de mangle *A. germinans* está presente. Se localiza también en el borde externo de estuarios (<https://costarica.inaturalist.org/taxa/196187-Pinna-rugosa>).

En el Pacífico mexicano se han reportado individuos de *P. rugosa*, provenientes de la Bahía de la Paz, B. C. S, maduros y en desove durante primavera (marzo-abril) y verano (julio-septiembre), presentando hermafroditismo aislado (Noguera de Gómez y Gómez-Aguirre, 1972; Santiago, 1981), mientras en la Bahía de Bacoichibampo, Sonora se reportaron evidencias de una relación directa entre el desove de *P. rugosa* y el incremento de la temperatura del mar (Cendejas *et al.*, 1985).



Figura 2. Distribución del callo de hacha *Pinna rugosa*. Fuente: <https://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Pinna+rugosa>.

Gómez-Valdez en 2019 estudió las características de la biología reproductiva de dos especies de callo de hacha de importancia comercial (*Atrina maura* y *Pinna rugosa*) en la Laguna Ojo de Liebre, en Baja California Sur, relacionándola con factores bióticos y ambientales. Los resultados de este estudio indican que la zona de estudio tuvo condiciones cálidas originadas por el fenómeno del Niño 2014-2015 y escases de alimento debido al fenómeno “The Blob” con anomalías térmicas positivas y anomalías negativas de clorofila a afectando la actividad reproductiva estacional y la fisiología metabólica de ambas especies. *A. maura* es gonocórica mientras que *P. rugosa* es hermafrodita (Gómez-Valdez, 2019) Las hembras de *A. maura* presentaron eventos reproductivos cortos con picos de desove, mientras que los machos desovaron a lo largo del año. *P. rugosa* se reproduce principalmente en verano con inactividad reproductiva en los meses fríos (Gómez-Valdez, 2019).

2.3 Estudios de crecimiento en Pinnidae

Algunas especies como *Pinna nobilis*, *Pinna carnea* o *Pinna rugosa* presentan de las tasas de crecimiento más rápidas de la clase Bivalva (Richardson *et al.*, 2004). Este crecimiento es mayor durante los primeros meses de vida (García-March *et al.*, 2007) y puede variar dentro de una misma población, cuyos individuos viven a distintas profundidades (García-March *et al.*, 2007a) y entre poblaciones (Richardson *et al.*, 1999a) (Esto se debe a que las condiciones ambientales y oceanográficas como la temperatura, la profundidad o la hidrodinámica influyen en gran medida en la tasa de crecimiento de la especie (García-March *et al.*, 2007b; Hendriks *et al.*, 2011).

En el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy, aplicado a la población de *P. nobilis* en el Mediterráneo con lecturas de edades en las conchas, la velocidad de crecimiento inicial determinada fue muy rápida; los individuos crecen rápido hasta los 5 años de vida aproximadamente, alcanzando una longitud anteroposterior de unos 40 cm. A medida que el ejemplar aumenta de tamaño y madura sexualmente, la tasa de crecimiento decrece poco a poco hasta ser prácticamente nula (Añon-Herbella, 2020). En este estudio, los valores de longitud asintótica (L_{∞}) variaron en 20 cm entre ambientes con dinámicas oceanográficas distintas (Añon-Herbella, 2020).

Con respecto a las especies del género *Atrina* en México, *A. rigida* tiene vida corta y longevidad no mayor a 2 años; mientras que *A. maura* presenta una longevidad de más de dos años (Baqueiro-Cárdenas y Aldana-Aranda, 2003). Estos bivalvos presentan una eficiencia de crecimiento elevada, al comparar los parámetros de crecimiento de distintas estimaciones y especies de Pinnidae, los coeficientes instantáneos de crecimiento (K) de *A. seminuda* y *A. rigida* son las más elevadas (Rangel-González, 2011). *Atrina seminuda* en la isla Choche, Venezuela presentó una L_{∞} de 27.2 cm y una K de 1.01, además de que las hembras alcanzan una longitud mayor que los machos (Rangel-González, 2011).

Se han desarrollado estudios en acuicultura donde se ha registrado el crecimiento mensual desde edades tempranas de especies de interés comercial en México, como lo son *Atrina maura* y *Pinna rugosa*. En la Bahía de La Paz *Pinna rugosa* aumentó su talla de los 3.3 a 17.1 cm en tan solo 6 meses (Arizpe, 1995). Por otra parte, *Atrina maura* cultivada durante 15 meses en la costa sureste del Golfo de California, mostró una longitud valvar y el peso corporal inicial de $n=2500$ semillas de $28,41 \pm 4,96$ mm y $0,3 \pm 0,2$ g, respectivamente, los organismos se mantuvieron 4 meses en suspensión y 11 meses sembrados en arena hasta la cosecha y la talla máxima estimada fue de $220,48 \pm 12,41$ mm de longitud valvar y $284,26 \pm 54,45$ g de peso. La altura de la concha promedio fue de $220,48 \pm 12,41$ mm y el peso promedio de $284,26 \pm 54,45$ g (Gongora-Goméz *et al.*, 2016).

2.4 Estimación del crecimiento a partir de Inferencia Multimodelo

Existen pocos estudios donde se halla utilizado la Inferencia Multimodelo IMM para modelar el crecimiento de las especies del género *Atrina* y *Pinna*. Destaca el estudio hecho por Aragón-

Noriega (2013), donde modeló el crecimiento de *A. maura* a partir de los datos de longitud-edad registrados en cultivo reportados por Góngora-Gómez en 2011. Los modelos de crecimiento usados fueron Von Bertalanfy, Gompertz, Logístico (Ricker, 1975), el caso uno del modelo desarrollado por Schnute (Schnute, 1981) y Schnute & Richards (Schnute y Richards, 1990) . La L_{∞} encontrada fue de 218.9 mm (IC 212.3-225.5) de longitud valvar. Según el criterio de Akaike AIC, se encontró el modelo de Gompertz como el modelo ganador, mientras que el menos compatible con los datos fue el de Schnute & Richards para *Atrina maura* (Aragón-Noriega, 2013). Una crítica completa de la aplicación *a priori* del MCVB en otras especies de callo de hacha como *Pinna nobilis* se puede consultar en Katsanevakis (2007), en donde se mencionan Gompertz y Logístico como los mejores modelos para describir el crecimiento absoluto especialmente en moluscos bivalvos (Aragón-Noriega, 2013).

2.5 Generalidades de la pesquería del “Callo de Hacha” en Sonora

La pesquería de bivalvos en Sonora está integrada por 8 especies:

- *Megapitaria squalida* (Almeja chocolata)
- *Megapitaria aurantiaca* (Almeja roja)
- *Dosinia ponderosa* (Almeja blanca)
- *Atrina maura* (Callo de hacha)
- *Atrina tuberculosa* (Callo de hacha)
- *Pinna rugosa* (Callo de hacha)
- *Argopecten spp.* (Almeja Catarina)
- *Panopea generosa* (Almeja chiluda o generosa)

Se utiliza como unidad de pesca una embarcación menor de fibra de vidrio con motor fuera de borda y equipo de buceo semiautónomo tipo Hooka. La extracción es manual, utilizando un pequeño trinche o una espátula y una bolsa de malla llamada “jaba” para la colecta de organismos. Participan 3 pescadores en la faena de pesca (un buzo, un cabo de vida y un motorista). Los bivalvos se distribuyen desde el intermareal hasta profundidades altas (120 m), pero por la seguridad de los buzos, se permite la captura hasta los 30 m (CNP, 2017).

En particular la pesca de callo de hacha es de gran importancia en las comunidades costeras del estado de Sonora. La pesca está dirigida a 4 especies repartidas en dos géneros (*Atrina* y

Pinna) todos dentro de la familia Pinnidae (Keen, 1971). Son organismos bentónicos que habitan en bahías y lagunas costeras constituidas por arena fina, limo y arcilla (Góngora-Gómez *et al.* 2016). Generalmente forman bancos y presentan un rango amplio en lo que respecta a profundidad (0.5 hasta 45 m), las conchas presentan un aspecto trigonal, cuneiforme y son muy delgadas; las valvas permanecen enterradas por su extremo puntiagudo y perpendicular al fondo, encontrándose fijas a piedras, conchas, o algún otro sustrato rígido, el color de la concha fluctúa de ámbar-purpureo a café oscuro (Rodríguez Jaramillo, 2004). Este molusco es altamente cotizado en el mercado nacional e internacional. En la parte interna de cada organismo se encuentra la región blanda o visceral en la cual se localizan los holanes, los músculos retractores, el musculo abductor anterior y posterior (Fig. 3), siendo este último el de mayor tamaño; estos músculos se conocen como “callo” y corresponden a la porción comestible.

Las especies principalmente explotadas son *Atrina tuberculosa* y *Pinna rugosa*, *A. maura* y en menor medida *A. oldroydii*. Sin embargo, los avisos de arribo (documento entregado por los pescadores a las autoridades pesqueras donde notifican las capturas extraídas) que pueden ser utilizados como indicadores de la pesquería son ambiguos, bajo el contexto que engloban básicamente todo el recurso bajo la denominación *Atrina maura* o *Atrina* sp. (DOF, 2012), no permitiendo fácilmente desglosar la información de todas las especies y no reconociendo al recurso “callo” como un conjunto de especies, lo que dificulta un manejo apropiado de la pesquería.

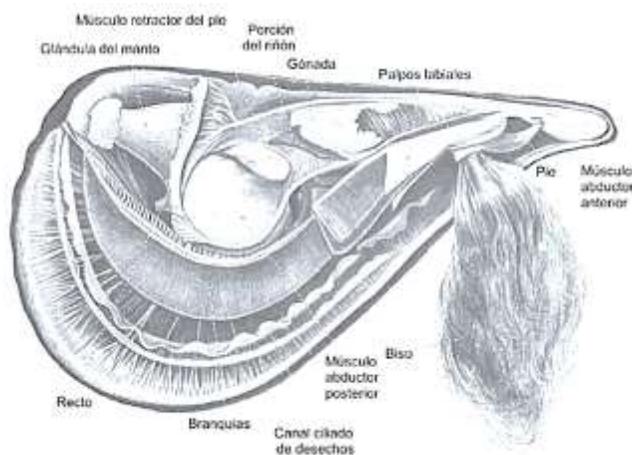


Figura 3. Anatomía de la almeja del género *Atrina*, indicando los distintos órganos (Foto tomada Grave, 1911).

La talla mínima de captura de las especies de callo varía dependiendo de la especie, para *Atrina maura* y *Atrina tuberculosa* es de 140 mm de longitud total de concha, mientras que para *Atrina oldroydii* y *Pinna rugosa* es de 150 mm (CNP, 2017). Dentro del estado de Sonora, la pesquería de callo de hacha se lleva a cabo durante todo el año, con máxima actividad pesquera en invierno (diciembre-marzo), esto debido a que a medida que la temperatura del agua asciende, la masa blanda de los organismos (callo) pierde peso. Este fenómeno es conocido por los pescadores como “callo flaco” y representa realizar un esfuerzo mayor para obtener cuotas de captura redituables (Moreno *et al.*, 2005). Durante los meses de abril y mayo se presenta la mayor cantidad de hembras y machos maduros y para el mes de julio, comienza el periodo de desove (Moreno *et al.*, 2005). Actualmente existe un acuerdo vigente de veda para Bahía de Kino y zonas adyacentes, establecida en 2018, que va del 1 de julio al 30 de noviembre (DOF, 2018), así como también un Proyecto de Mejora Pesquera (FIP) también en la comunidad de Bahía de Kino.

2.6 Características ambientales del Golfo de California.

El Golfo de California es una de las regiones más diversas del mundo (Brusca y Hendrickx, 2010; Paez-Osuna *et al.*, 2016), presenta una alta productividad biológica (Arias-Aréchiga, 1998; Lluch-Cota, 2004; Álvarez-Borrego, 2012) y por esta razón ocupa una posición muy importante dentro de los 24 mares marginales y de los 5 grandes golfos del Océano Pacífico (Sparks, 1999). En el

ocurren fenómenos oceanográficos y meteorológicos, entre estos últimos, se pueden mencionar las surgencias estacionales que se presentan a lo largo de ambas costas del golfo, destacando las continentales, remolinos ciclónicos y anticiclónicos, procesos intensos de mezcla generados por vientos y mareas, así como intrusiones de Agua Superficial Ecuatorial proveniente del Pacífico (Alvarez-Borrego, 1979; Lavín y Marinone, 2003; Marinone, 2003; Zamudio *et al.*, 2008).

El océano Pacífico influye en el comportamiento oceanográfico del Golfo, por lo que sus aguas y las de la región tropical del Pacífico presentan una similitud (Lavin *et al.*, 1997). El forzamiento dinámico que ejerce el Pacífico sobre el golfo es uno de los aspectos oceanográficos más importantes, ya que integra y refleja el efecto de fenómenos tan relevantes como los balances globales de calor y sal, la circulación termohalina, la circulación barotrópica (Makarov y Jiménez, 2003) y el efecto del intercambio termodinámico y de momentum con la atmósfera (Emilsson y Alatorre, 1997).

La variabilidad estacional e interanual de las condiciones oceanográficas y atmosféricas en el golfo influyen en la distribución, abundancia y disponibilidad de los recursos marinos (Santamaría del Ángel *et al.*, 1994). El patrón de vientos presenta un comportamiento estacional bien definido, siendo dominantes y fuertes los vientos del noroeste durante el invierno y débiles y de dirección sureste en el verano, con frecuentes calmas. Lo anterior es producto de los cambios estacionales de los centros de presión atmosférica en su vecindad y la reorientación que sufren tales vientos por la presencia de cordilleras montañosas en ambos lados del golfo.

Respecto a la variabilidad interanual en el GC, el fenómeno del ENSO ha sido señalado como el evento más importante (Herrera-Cervantes *et al.*, 2007). Este fenómeno tiene dos fases, la cálida El Niño y la fría La Niña (García-Morales *et al.*, 2017). Pero igual que la variabilidad interanual, existe variabilidad en otras escalas que se superponen y dan como resultado las condiciones peculiares del GC (Herrera-Cervantes *et al.*, 2007; Robles-Tamayo *et al.*, 2020; Farach *et al.*, 2021). Estas condiciones oceanográficas y meteorológicas han propiciado que el Golfo de California, particularmente el Golfo superior y central, se considere una región de gran complejidad ecológica, caracterizándose por presentar una alta diversidad de especies de peces y gran abundancia de especies de importancia comercial (Cisneros-Mata *et al.*, 1997).

2.7 Variabilidad latitudinal de la temperatura y concentración de clorofila en la costa oriental del Golfo de California

La costa oriental del Golfo de California está caracterizada por varios cuerpos de agua, que juegan un papel importante en las actividades pesqueras. Los patrones de vientos estacionales en esta zona generan una circulación en la superficie marina a lo largo de la costa, se mueve al sur de octubre-marzo y al norte de junio a septiembre (Badan, 1985; Reyes, 1997). Parámetros ambientales como la temperatura y la clorofila se ven afectados por estos procesos (García-Morales *et al.*, 2017).

Este estudio se centra en la zona costera oriental del Golfo de California, zona donde se observan una gran cantidad de fenómenos de mesoescala, con estructuras como giros ciclónicos y anticiclónicos, filamentos de concentraciones de clorofila, surgencias y también la intrusión de agua proveniente de la Corriente Costera Mexicana (García-Morales *et al.*, 2017; Farach-Espinosa *et al.*, 2021).

La temperatura superficial del mar (TSM) está considerada como la variable oceanográfica más importante, ya que tiene influencia en las propiedades físicas y biológicas de los océanos, resultando en una manera de medir y observar los cambios que ocurren en los ecosistemas marinos (Filliponi *et al.*, 2017).

La temperatura superficial del mar en el Golfo de California evidencia una distribución en un gradiente latitudinal. Soto Mardones (1999) y Escalante y colaboradores (2013) observaron una tendencia de la TSM a disminuir latitudinalmente de sur a norte. Sin embargo, un estudio hecho por Robles-Tamayo y colaboradores (2018) reportó que durante los meses cálidos esta tendencia cambia y ocurre un incremento latitudinal de sur a norte, siendo esta última la región donde se encuentran las temperaturas más altas. Esto se debe a que la región está rodeada por desiertos que aportan gran radiación solar (Robles-Tamayo *et al.*, 2018), además de su baja profundidad (Lavin, M.F. y Marinone, S.G., 2003) que llega hasta los 300 m comparada con la del centro que puede alcanzar hasta los 2,800 m (Roden, 1958). Análisis estadísticos muestran que la costa oriental del Golfo de California se puede agrupar en 4 regiones: sur, centro, región de las grandes islas y norte; todas con climatologías y periodos de transición distintos (Robles-Tamayo *et al.*, 2018). Este estudio se encuentra agrupado en la zona centro, la Región de Grandes Islas y la zona norte del Golfo de California.

Otra variable para considerar es la concentración de clorofila a, ya que es de gran utilidad para cuantificar la biomasa fitoplanctónica, base principal de la red trófica en la zona pelágica, permitiendo conocer la distribución de zonas de productividad primaria y determinar los niveles de fertilidad de los océanos (Chávez *et al.*, 2011; Robles-Tamayo *et al.*, 2020)

La concentración de clorofila presenta un gradiente latitudinal a lo largo de la costa oriental del golfo (Robles-Tamayo *et al.*, 2018). Se puede observar una variabilidad estacional muy clara entre meses con los valores de concentración más altos en primavera y los más bajos en verano (Robles-Tamayo *et al.*, 2020; Farach-Espinoza *et al.*, 2021).

3.JUSTIFICACIÓN

La pesquería de Pinnidos como *Atrina tuberculosa* y *Pinna rugosa* representa una importante fuente de ingresos para el sector ribereño Sonorense en épocas de baja producción o periodos de veda en pesquerías de mayor escala, se conoce que las tallas de los ejemplares se incrementan hacia el norte del Golfo de California, por esta razón es importante evaluar las diferencias latitudinales en la dinámica de las especies a lo largo de la costa oriental del Golfo de California, para generar información que coadyuve a plantear esquemas de manejo orientados a estos recursos.

4. HIPOTESIS

Las poblaciones de “callo de hacha” modifican latitudinalmente sus procesos fisiológicos y por lo tanto sus parámetros poblacionales.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar la variación latitudinal de la dinámica poblacional de *Atrina tuberculosa* y *Pinna rugosa* en la costa oriental de Sonora.

5.2 Objetivos particulares

1. Determinar la distribución y abundancia del callo de hacha en la costa oriental de Sonora.
2. Determinar el crecimiento, mortalidad, magnitud de reclutamiento y tasa de explotación del callo de hacha en la costa oriental de Sonora.
3. Evaluar la variación latitudinal en los parámetros poblacionales del callo de hacha en la costa oriental de Sonora.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

La información base de la presente tesis fue obtenida por personal técnico del proyecto Bentónicos del INAPESCA, que desarrollaron recolectas en muestreos de callo de hacha en el litoral sonorense del GC durante los años 2017 y 2018, misma que fue integrada en bases de datos en hojas de cálculo y de la que se obtuvo permiso para su uso para el desarrollo de la presente tesis.

6.1 Zona de estudio

La zona de estudio comprendió el litoral Sonorense en el Golfo de California, donde se localizan zonas de pesca de recursos bentónicos muy importantes. De sur a norte las localidades evaluadas fueron: Agiabampo, Yavaros, Bahía de Lobos, Guaymas, Bahía de Kino, Desemboque de los Seris, Desemboque de Caborca y Puerto Peñasco (Fig. 4). La zona se dividió en 3 subzonas menores, siguiendo lo reportado por Robles-Tamayo (2018), quienes mencionan diferencias latitudinales en la temperatura superficial del mar.

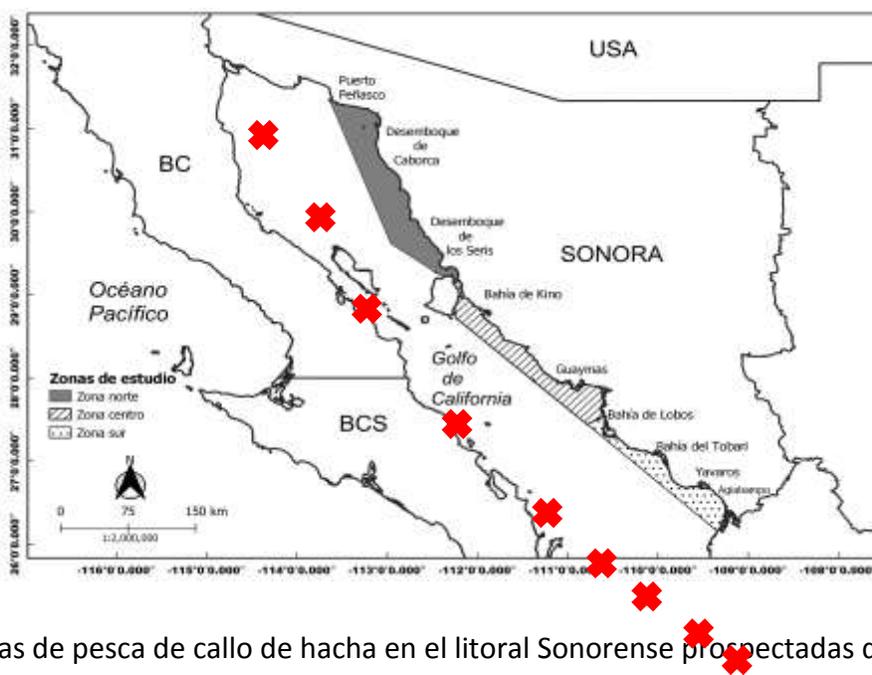


Figura 4. Zonas de pesca de callo de hacha en el litoral Sonorense prospectadas durante 2017-2018.

6.2 Muestreo

Se llevaron a cabo 521 recolectas de organismos en 9 localidades, durante los meses de febrero, marzo, abril, mayo, julio y agosto del 2017 y julio y septiembre del 2018. La recolecta de los organismos se llevó a cabo a bordo de una embarcación menor con motor fuera de borda, donde se trasladó a las zonas de pesca del recurso. En la zona de pesca, se llevaron a cabo 1011 inmersiones aleatorias mediante buceo semiautónomo, siguiendo la siguiente metodología:

1. Se tomaron las coordenadas de los puntos de inmersión con un GPS eTrex 10 marca Garmin para georreferenciar la densidad de organismos por punto de muestreo.
2. Se trazaron transectos en línea de 50 m² con intervalo entre cada cuadrante de muestreo de 50 m, en donde se contabilizaron los organismos presentes (Fig. 5).
3. Se tomó una muestra representativa de la población para tomar los datos biométricos correspondientes. Los muestreos biológicos consistieron en identificación de la especie, siguiendo las claves por FAO (1995) para la identificación de invertebrados del Pacífico Centro-Oriental y mediciones biométricas.
4. Se obtuvo la longitud total y ancho de la valva con una cinta métrica de la marca MEDca y se tomó el peso total de cada organismo, utilizando una balanza digital Ohaus Scout pro sp6000 con capacidad de 6000 g con precisión de 1 g en gramos (Fig 6).

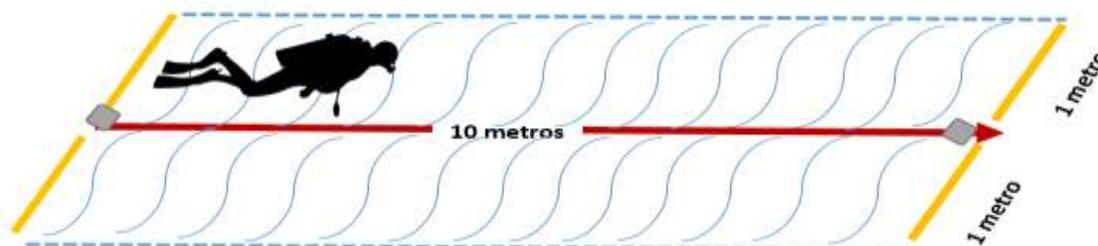


Figura 5. Esquema de muestreo de organismos seguido en las recolectas de callo de hacha en el litoral sonorense durante 2017-2018 por personal del INAPESCA.

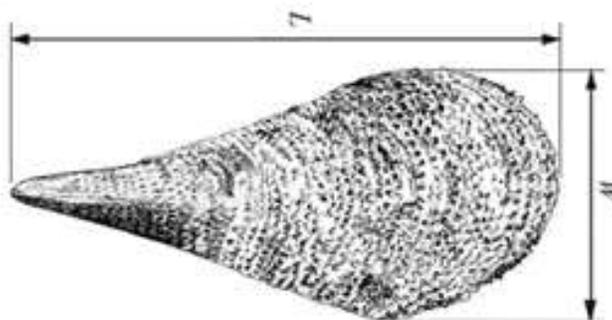


Figura 6. Toma de medidas de longitud valvar total y ancho de la concha del callo de hacha *Atrina tuberculosa* y *Pinna rugosa*.

6.3 Distribución y densidad promedio

Con la finalidad de determinar la densidad de las especies, se estimó la densidad de organismos por transecto dividiendo el valor contabilizado entre 50 m^2 , posteriormente se obtuvo el promedio de la densidad por zona y por estado. Para determinar si existían diferencias entre las densidades, se llevó a cabo una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis por medio del software estadístico PAST (Hammer 2014). Con los datos de información geográfica, se mapearon los puntos del muestreo para determinar la distribución del callo de hacha por medio de QGis (Sherman 2002), que es un sistema de información geográfica de software libre y de código abierto, que permite manejar formatos raster y vectoriales, así como bases de datos. Una vez mapeados, se calculó la densidad de Kernel que consiste en cuantificar las relaciones de puntos dentro de un radio de influencia, en base a la función estadística detallada más abajo, analizando los patrones trazados por un conjunto de datos puntuales, estimando su densidad en el área de estudio. La ecuación de densidad de Kernel tiene la siguiente forma:

$$\lambda_R(P) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r^2} K\left(\frac{P - P_1}{R}\right) \quad (1)$$

Dónde:

K = Es una función Kernel bivariada y simétrica llamada función de estimación o de suavizado.

R = Radio de influencia y determina el grado de suavizado; esencialmente es el radio de un disco centrado en P , donde el P_i contribuirá significativamente a $\lambda(P)$.

Mediante mapas de calor (una representación gráfica de datos donde los valores, en este caso de densidad, se representan mediante colores) se representó la magnitud de la densidad elaborados en QGIS.

6.4 Crecimiento

Con los datos de tallas y pesos se obtuvo la relación biométrica peso vs longitud ajustando a diversas funciones utilizando estimación no lineal y como criterio de ajuste el coeficiente de determinación R^2 . Para obtener la estructura de tallas por especie, fecha y localidad, los datos de longitud valvar total de los organismos se agruparon en intervalos de 2 cm.

6.5 Identificación de las cohortes

Con las estructuras de tallas previamente estimadas, se identificaron las cohortes (una cohorte es grupo de organismos de la misma edad que pertenecen a un mismo stock) presentes en las muestras, por medio de un análisis multinomial usando la siguiente ecuación:

$$F_i = \sum_{a=1}^n \left[\left(\frac{1}{\sigma_a \sqrt{2\pi}} \right) e^{-\frac{(x_i - \mu_a)^2}{2\sigma_a^2}} \right] * P_a \quad (2)$$

Dónde F_i es el total es la frecuencia de la longitud total i en la cohorte de la muestra; x_i es el punto medio del grupo de longitud, μ_a es la longitud media de la cohorte a ; P_a es el factor peso de la cohorte a ; y σ_a es la desviación estándar de la longitud en la cohorte a .

El modelo multinomial fue ajustado mediante la siguiente función de probabilidad:

$$-LL_{\{X|\mu_a, \sigma_a, P_a\}} = \sum_{i=1}^n f_i \ln \left(\frac{f_i}{\sum f_i} \right) - \left[\sum f_i - \sum f_i \right]^2 \quad (3)$$

Dónde $LL_{\{X|\mu_a, \sigma_a, P_a\}}$ es la probabilidad log negativa de los datos para los parámetros μ_a, σ_a, P_a ; f_i es el total de la frecuencia observada para el grupo i ; F_i es el total de la

frecuencia esperada para el grupo i ; de acuerdo con el modelo multinomial (Haddon, 2001; Montgomery et al., 2010). Finalmente, las cohortes se separaron mediante el índice de separación (S.I.), usando la siguiente ecuación:

$$S.I. = 2 * \frac{(\mu_n - \mu_i)}{(\sigma_n + \sigma_i)} \quad (4)$$

Dónde μ_n y μ_i es longitud total media de los grupos modales n y i , respectivamente. σ_n y σ_i son la desviación estándar de los grupos modales n y i , respectivamente. Por lo tanto, si S.I. > 2, es viable separar los componentes normales de las frecuencias observadas (Sparre & Venema, 1997).

6.6 Asignación de edades

Al no contar con datos de lecturas de edades en la concha, se utilizaron los datos de longitud- edad reportados por Gongora-Gómez (2011) para una especie del género *Atrina* y los reportados por Ariezpe en 1995 para *Pinna rugosa*. Para asignar las edades se siguió la metodología empleada por López-Martínez et al. (2020), donde asignaron edades tempranas a partir de mediciones de ephyras de *Stomolophus meleagris* obtenidas en laboratorio y mediante separación de cohortes, se asignaron las edades a los datos de longitud de organismos obtenidos en el campo. En este estudio, tomando en cuenta los parámetros de crecimiento estimados para otras especies de Pinnidos y tomando como edad inicial la longitud inicial de la semilla en los cultivos y la tasa diaria de crecimiento obtenida en ambos estudios, se asignó una edad a las tallas modales estimadas, lo que permitió continuar con la Inferencia Multimodelo IMM para estimar el crecimiento de *Atrina tuberculosa* y *Pinna rugosa*.

6.7 Modelación del crecimiento a partir de la inferencia multimodelo

Con los datos de longitud de tallas y edades estimadas, se exploró la inferencia multimodelo para escoger el mejor modelo de crecimiento que se ajustara a los datos obtenidos en campo. Los modelos usados fueron el Modelo de Crecimiento de von Bertalanffy (MCVB), Gompertz y logístico (Ricker 1975).

- a) El MCVB (von Bertalanffy, 1938) es el modelo más usado en pesquerías para describir el crecimiento, asume que las condiciones son constantes (Araya y Cubilos, 2006). Sostiene que el crecimiento está condicionado a procesos fisiológicos y que es el resultado de dos procesos opuestos, el catabolismo y el anabolismo (von Bertalanffy, 1938). La forma del modelo presenta una forma exponencial inversa, es de tipo asintótica y tiene tres parámetros en su ecuación, está representado por la siguiente ecuación:

$$L_{(t)} = L_{\infty} (1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad (5)$$

Dónde $L_{(t)}$ es la longitud a la edad t ; L_{∞} es la longitud máxima que puede alcanzar el organismo; K determina la velocidad de crecimiento, t es la edad a la longitud $L_{(t)}$ y t_0 la edad hipotética a la cual la longitud del organismo es igual a 0.

- b) El modelo de Gompertz (Gompertz 1825) ha demostrado que describe mejor el crecimiento absoluto de muchas especies acuáticas (Katsanevakis 2006) y es usado a menudo (Ricker 1975). Presenta una forma sigmoidea en su curva y asume un decremento exponencial de la tasa de crecimiento con relación a la edad (Katsanevakis y Maravelias 2008). El modelo es de tipo asintótico y presenta tres parámetros en su ecuación:

$$L_{(t)} = L_{\infty} (e^{-e^{-K(t-t_0)}}) \quad (6)$$

Dónde $L_{(t)}$ es la longitud a la edad t ; L_{∞} es la longitud máxima que puede alcanzar el organismo; K determina la velocidad de crecimiento, t es la edad a la longitud $L_{(t)}$ y t_0 la edad hipotética a la cual la longitud del organismo es igual a 0.

- c) El modelo logístico (Ricker 1975) es un modelo que al igual que el de Gompertz, tiende a caracterizar bien el crecimiento cuando éste es relativamente lento en estadios tempranos de vida (Griffiths et al. 2010). Presenta una curva sigmoidea, es de tipo asintótico y presenta también tres parámetros en su ecuación:

$$L_{(t)} = \frac{L_{\infty}}{(1 + e^{-k(t-t_0)})} \quad (7)$$

Dónde $L_{(t)}$ es la longitud a la edad t ; L_{∞} es la longitud máxima que puede alcanzar el organismo; K determina la velocidad de crecimiento, t es la edad a la longitud $L_{(t)}$ y t_0 la edad hipotética a la cual la longitud del organismo es igual a 0.

Selección de modelo

La selección del mejor modelo de crecimiento del callo de hacha se llevó a cabo utilizando el criterio de información de Akaike (AIC) (Burnham y Anderson 2002, Katsanevakis 2006, Katsanevakis y Maravelias 2008) a través de la siguiente ecuación:

$$AIC = (2 \times -\ln L) + (2 \times k) \quad (8)$$

contemplando los valores SRC (suma de residuales cuadrados) y el número de parámetros de cada modelo (k). Después de esto, se realizó una corrección de los valores de AIC en cada uno de los modelos (AICc). Éste es un procedimiento para muestras pequeñas, donde el valor de n/k es menor a 40, pero que se recomienda realizar, aunque el tamaño de la muestra sea grande (Burnham y Anderson 2002). Con base en los valores de AICc, se identificó el valor mínimo y se determinó el valor de delta (Δ) para cada modelo.

$$\Delta_i = AIC_i - AIC_{min} \quad (9)$$

El modelo ganador se ajustó a las estructuras de tallas separadas por subzonas para comparar los parámetros de crecimiento y determinar potenciales diferencias latitudinales en el crecimiento.

Con la finalidad de comparar el crecimiento entre especies, se estimó el índice de funcionamiento del crecimiento, mediante el índice Phi prima Φ' a través de la ecuación de Pauly & Munro (1984):

$$\phi' = \log_{10}K + 2*\log_{10} L_{\infty} \quad (10)$$

Dónde K es el coeficiente instantáneo de crecimiento en base anual y L_{∞} es la longitud máxima a la que teóricamente puede crecer el organismo.

Para la obtención de la t_0 se utilizó la ecuación empírica de Pauly (1980) (Sparre y Venema, 1995):

$$\log_{10}(-t_0) = -0.3922 - 0.2752(\log_{10}L_{\infty}) - 1.038(\log_{10}K) \quad (11)$$

Con los estimados de crecimiento se calcularon las anomalías para cada parámetro, restando el promedio de cada parámetro al valor estimado y dividiéndolo entre su desviación estándar. Los datos de anomalías fueron graficados.

6.8 Estimación de mortalidad, abundancia relativa y magnitud de reclutamiento

Con los parámetros de crecimiento calculados y en conjunto con las capturas, se estimaron las abundancias, magnitud de reclutamiento, tasa de explotación y mortalidad por pesca a través de un análisis de cohortes basado en tallas (Pope 1972, Jones 1984) para cada subzona de estudio.

Para ello, se obtuvo la captura de callo de hacha para la temporada 2017-18, misma que es declarada por los productores en las oficinas de pesca de la CONAPESCA ubicadas en Puerto Peñasco, Hermosillo, Guaymas y Huatabampo en el estado de Sonora. Debido a que la captura no está desagregada por especie, se realizaron entrevistas a los pescadores de la región dedicados a la pesca de callo de hacha para determinar el % de captura de cada una de las especies de callo, valor con el que posteriormente, se desagregó la captura por especies.

Con la captura declarada por año para cada especie y la estructura de tallas, se extrapolo la estructura de las muestras al total de la captura. Para ello, se utilizó la relación longitud peso estimada previamente, la cual se ajustó a un modelo potencial:

$$W = aLT^b \quad (12)$$

La relación longitud-peso sigue un modelo potencial que relaciona una medida lineal (talla) con una de volumen (peso) de acuerdo con la ecuación: $W = aL^b$ (Ricker, 1975; Gulland, 1983), en donde W es el peso total del callo de hacha en gramos, a es una constante equivalente al factor de condición (F_c), L es la longitud total de la valva (LT) y b es el coeficiente de crecimiento.

Con esta relación biométrica se calculó el peso promedio para cada marca de clase en la estructura de tallas de las muestras, la cual fue multiplicada por su frecuencia respectiva, la sumatoria de la cual fue el peso de la muestra anual. De la relación entre las capturas totales en kg obtenidas de las oficinas de pesca, así como el peso total de las muestras en gr, se obtuvo el factor de ampliación mediante la siguiente ecuación:

$$FA = \frac{\sum W_c}{\sum W_m} \quad (13)$$

FA es el factor de ampliación, W_c es el peso de la captura total del mes y W_m es el peso de la muestra. A su vez el factor de ampliación se multiplicó por la frecuencia de cada intervalo de tallas, mediante la siguiente ecuación:

$$C_{mi} = FA * f_{mi} \quad (14)$$

C_{mi} es la captura (número de organismos) del intervalo de tallas i , 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.

Con la sumatoria de los meses en cada intervalo de talla, se obtuvo la estructura de tallas anual en las capturas, misma que fue utilizada posteriormente para la estimación de abundancias.

La estimación de abundancia (N) fue realizada por medio de un análisis de cohortes basado en tallas de Jones (1984, Ramírez Aristizábal 2021), en base anual e incorporando mortalidad natural (M) constante para todas las edades y dentro del año un crecimiento constante. Este método supone un sistema de parámetros constantes y se basa en estructuras de tallas en base anual, da seguimiento a una cohorte en un año hacia atrás y supone además que la estructura

de tallas encontradas pertenece a una misma cohorte (propuesto por Pope en 1972 y revisado por Jones en 1984). La ecuación para el análisis de cohortes es la siguiente:

$$N(L1) = [N(L1) * H(L1, L2) + C(L1, L2)] * H(L1, L2) \quad (15)$$

Dónde: $N(L1)$ es el número de peces que alcanzan la longitud $L1$, $N(L2)$ es el número de peces que alcanzan la longitud $L2$ y $C(L1, L2)$ son el número de peces que son capturados entre las longitudes $L1$ y $L2$.

6.9 Reclutamiento, Mortalidad y tasa de explotación

Se estimó la mortalidad natural M mediante la ecuación empírica propuesta por Pauly (1980; 1987), que se basa en el supuesto de que existe una relación directa entre el crecimiento, la temperatura del ambiente y la mortalidad natural. La ecuación tiene la forma:

$$\ln M = -0.0152 - 0.279 * \ln L_{\infty} + 0.6543 * \ln K + 0.463 * \ln T \quad (16)$$

Dónde:

L_{∞} (mm) y K (anual) son parámetros de la ecuación de von Bertalanffy para una temperatura superficial media del agua (T) de 23°C.

Los estimados de magnitud de reclutamiento, abundancia a talla, mortalidad por pesca mensual promedio (F), mortalidad total (Z) y tasa de explotación ϵ fueron obtenidos mediante un análisis de cohortes basado en tallas de Jones (1984). Este método supone un sistema de parámetros constantes y se basa en estructuras de tallas en base anual, da seguimiento a una cohorte en un año hacia atrás y supone además que la estructura de tallas encontradas pertenece a una misma cohorte

La tasa de explotación ϵ , fue obtenida dividiendo la tasa de mortalidad por pesca entre la tasa de mortalidad total, brinda una gruesa determinación acerca de si el recurso es objeto de sobrepesca o no, en el supuesto de que el valor óptimo de E (E_{opt}) es aproximadamente igual a 0,5. La utilización de $E \approx 0,5$ como valor óptimo para la tasa de explotación se basa en el supuesto según el cual el rendimiento sostenible se encuentra optimizado cuando $F \approx M$ (Gulland, 1971).

6.10 Caracterización ambiental

Para la caracterización ambiental, se utilizaron imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (TSM) de una composición de los sensores (MODIS) MODIS-Aqua y MODIS-Terra y del Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). La concentración de clorofila a (Chl-a) se obtuvo de los sensores, MODIS-Aqua, MODIS-Terra, VIIRS y Ocean and Land Colour Instrument (OLCI) con resolución espacial de 1 x 1 km y temporal de un mes, con formato HDF (Hierarchical Data Format).

La información extraída se anexó a una base de datos en Excel donde agruparon los valores primero por localidad y después por zona de estudio (norte, centro, sur). Posteriormente se calculó el promedio, desviación estándar y se graficó la estacionalidad de ambos parámetros ambientales durante el periodo de estudio. Para finalizar, se correlacionó las variables ambientales con los parámetros poblacionales por zonas para determinar si existía una relación entre ellos.

7. RESULTADOS

Durante el 2017 se muestrearon 9 zonas de pesca de callo de hacha en el estado de Sonora (Fig 7). Se llevaron a cabo un total de 1011 inmersiones donde se contabilizaron un total de 2914 organismos. La densidad promedio fue de 0.05 ind/m². La densidad promedio más alta se observó en la localidad de Agiabampo, localizada en la zona sur del estado y la menor en la Bahía del Tobarí también en el sur del estado. Las densidades promedio de cada localidad pueden observarse en la Tabla (1) y se midieron un total de 847 organismos. Se identificaron tres especies del género *Atrina* y una del género *Pinna*:

- *Atrina maura* (Sowerby, 1835)
- *Atrina tuberculosa* (Sowerby, 1835)
- *Atrina oldroydii* (Sowerby, 1835)
- *Pinna rugosa* (Sowerby, 1835)

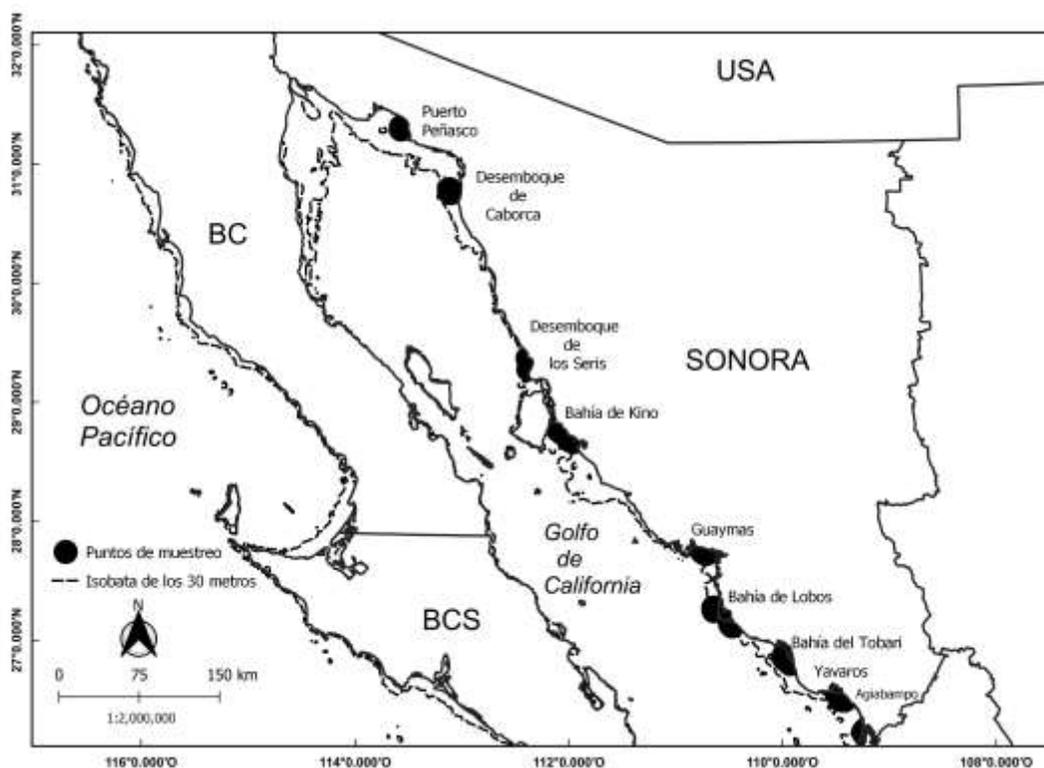


Figura 7. Puntos de muestreo de callo de hacha realizados por personal del INAPESCA Guaymas durante el 2017.

Tabla 1. Densidad promedio org/m² de callo de hacha por localidad en el litoral sonorense durante 2017-2018. Fuente: Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura Guaymas, Sonora, México.

Zona	Localidad	Densidad promedio (organismos/m²)
Norte	Puerto Peñasco	0.05
Norte	Desemboque de Caborca	0.04
Norte	Desemboque de los Seris	0.02
Centro	Bahía de Kino	0.02
Centro	Guaymas	0.12
Sur	Bahía de Lobos	0.02
Sur	Bahía del Tobarí	0.01
Sur	Yavaros	0.04
Sur	Agiabampo	0.11

7.1 Distribución

Los mapas de la densidad de Kernel mostraron la distribución de los organismos durante los dos años de análisis. Casi todas las localidades presentaron una distribución similar, para el caso de Guaymas, Desemboque de Caborca y Puerto Peñasco la distribución fue más uniforme (Fig 12, 15, 16).

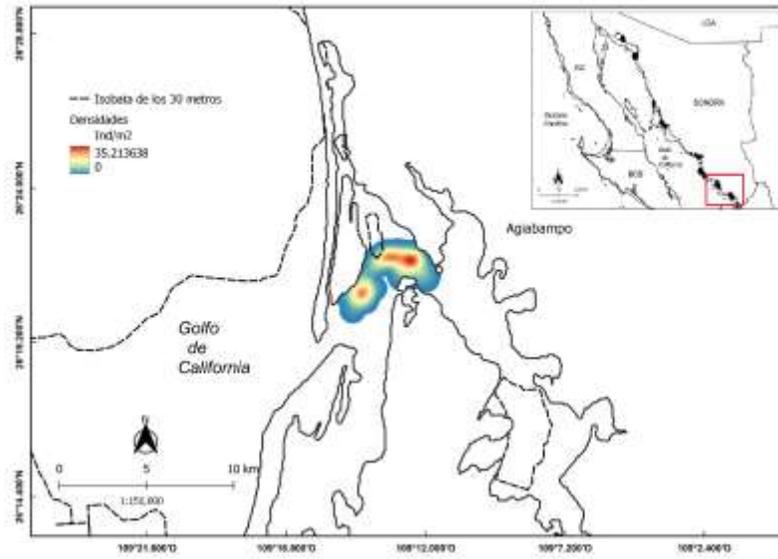


Figura 8. Mapa de densidad de Kernel de callo de hacha en la localidad de Agiabampo, Sonora. Periodo 2017-2018.

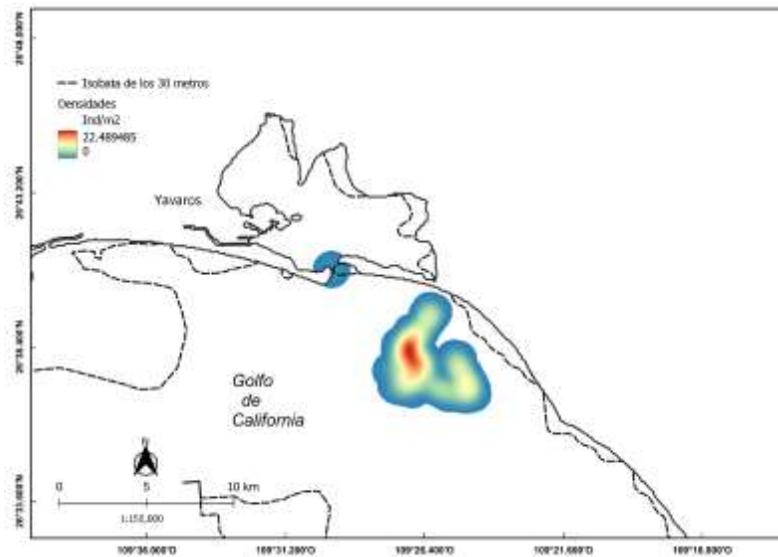


Figura 9. Mapa de densidad de Kernel de callo de hacha en la localidad de Yavaros, Sonora. Periodo 2017-2018.

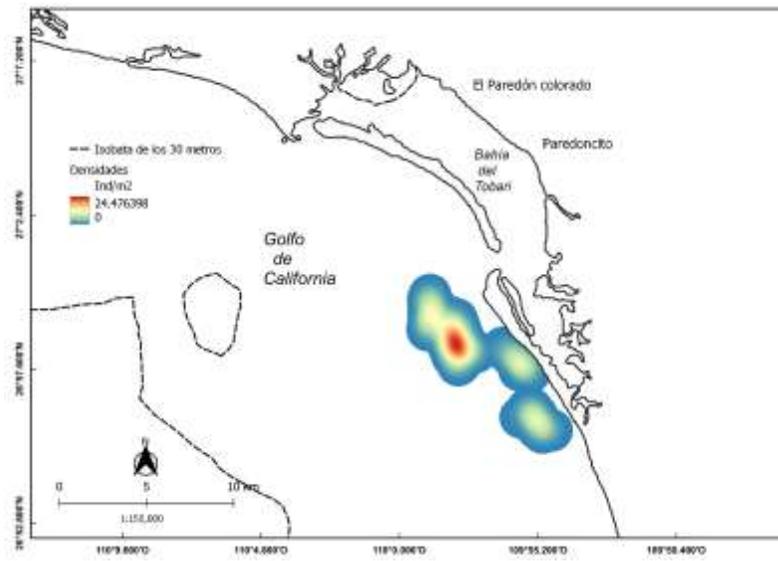


Figura 10. Mapa de densidad de Kernel en la Bahía del Tobari, Sonora. Periodo 2017-2018.

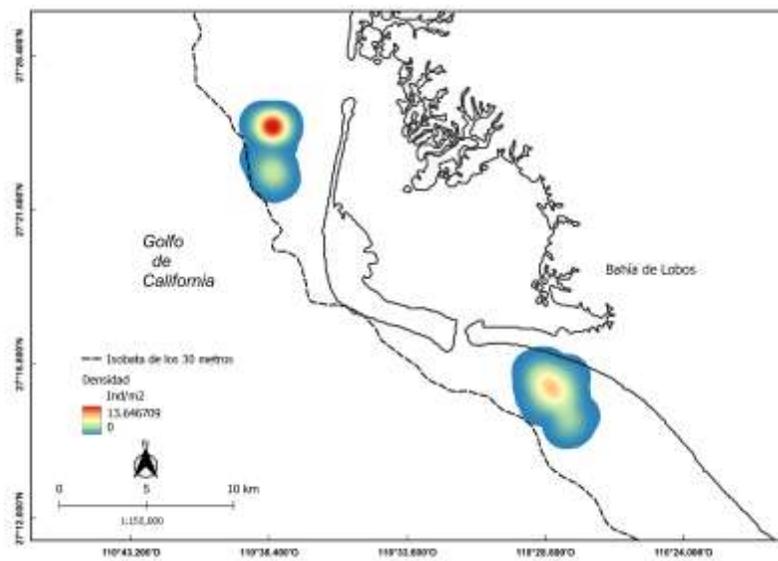


Figura 11. Mapa de densidad de Kernel en la localidad de Bahía de Lobos, Sonora. Periodo 2017-2018.

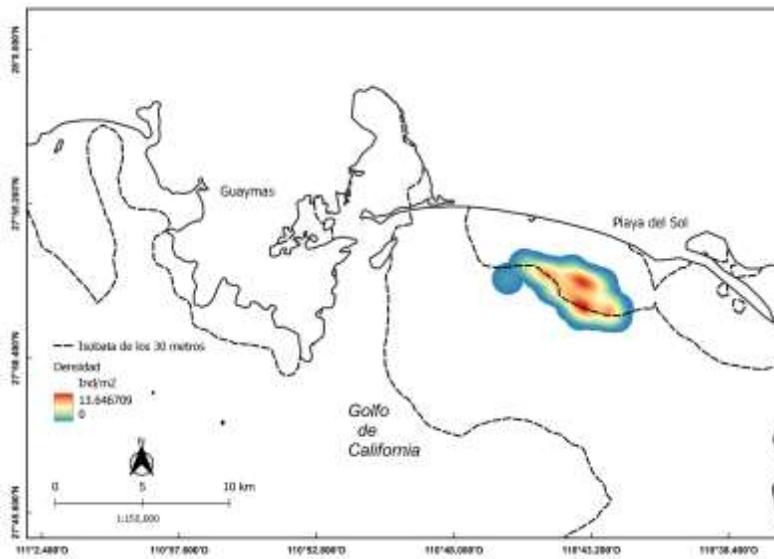


Figura 12. Mapa de densidad de Kernel en el municipio de Guaymas, Sonora. Periodo 2017-2018.

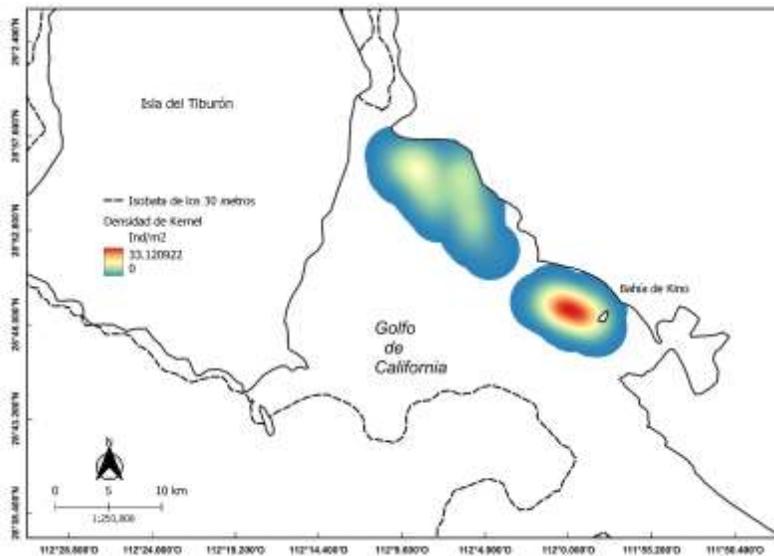


Figura 13. Mapa de densidad de Kernel en la localidad de Bahía de Kino, Sonora. Periodo 2017-2018.

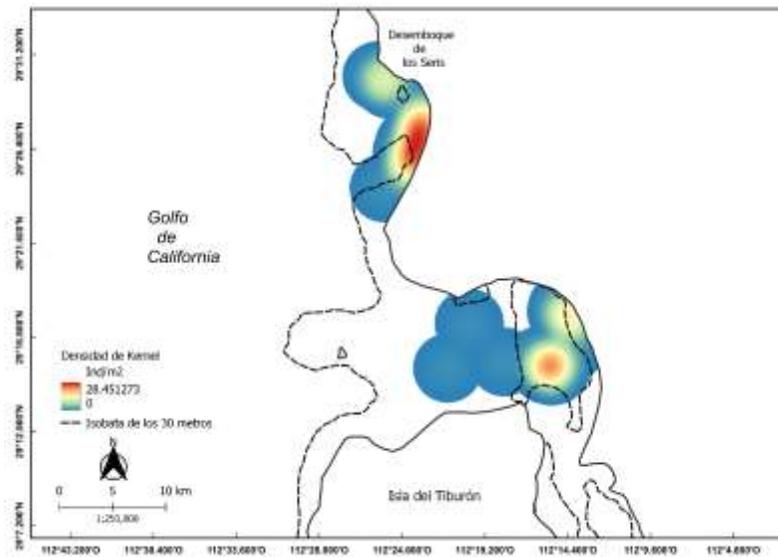


Figura 14. Mapa de densidad de Kernel de callo de hacha en la localidad del Desemboque de los Seris, Sonora. Periodo 2017-2018.

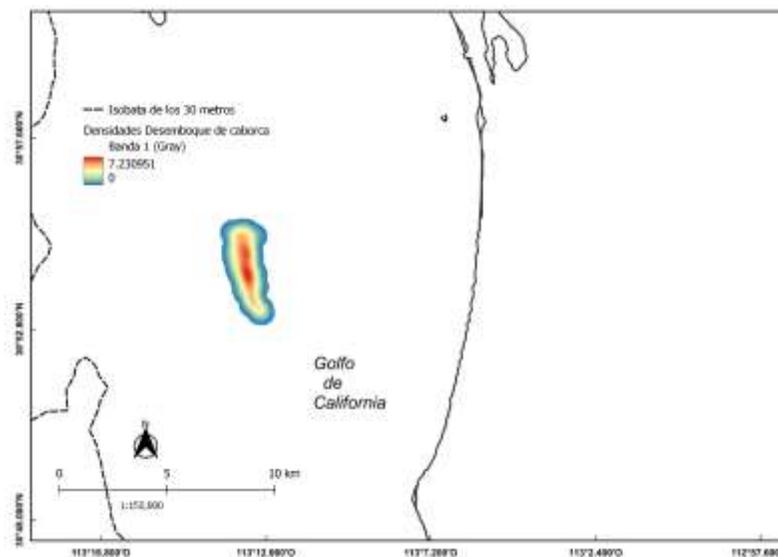


Figura 15. Mapa de densidad de Kernel en la localidad del Desemboque de Caborca, Sonora. Periodo 2017-2018.

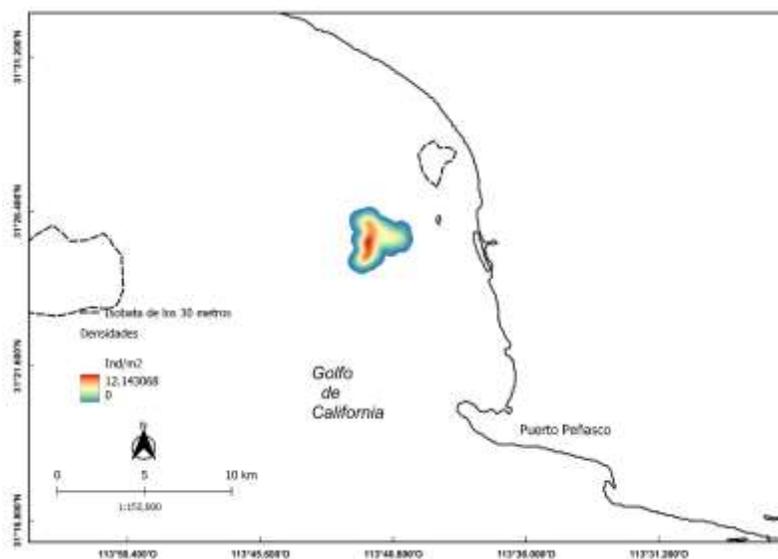


Figura 16. Mapa de densidad de Kernel de callo de hacha en la localidad de Puerto Peñasco.

7.2 Estructura de tallas

7.2.1 *Atrina tuberculosa*

Se contabilizaron un total de 521 organismos de *A. tuberculosa* en el 2017 (Fig. 17). La especie estuvo presente en todas las localidades. El rango de tallas para esta especie estuvo entre los 105 y 318 mm de longitud total (Fig 17). La talla más pequeña se registró en la zona sur mientras que la mayor en la zona norte. El análisis multinomial identificó claramente 4 cohortes (Fig 19). La prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existían diferencias entre las distribuciones de tallas del callo de hacha, mostró que son significativamente diferentes entre las localidades ($H= 307.2$, $p < 0.05$) (Fig. 18).

Pinna rugosa

Se contabilizaron un total de 152 organismos de *Pinna rugosa* en el 2017 (Fig. 20). La especie estuvo presente solo en la zona norte. El rango de tallas para esta especie estuvo entre los 215 y 515 mm de longitud total (Fig. 20). El análisis multinomial identificó 4 cohortes en la estructura de tallas de la especie (Fig. 21).

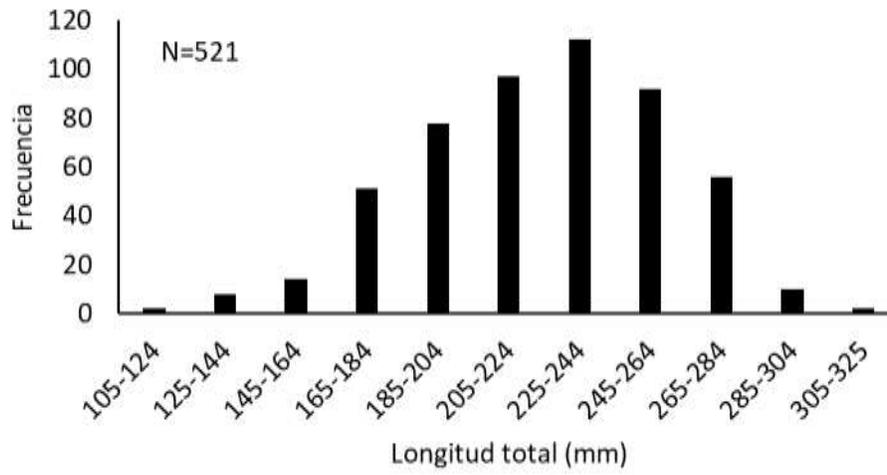


Figura 17. Estructura de tallas del callo de hacha *Atrina tuberculosa* registradas durante el periodo de estudio en Sonora en 2017.

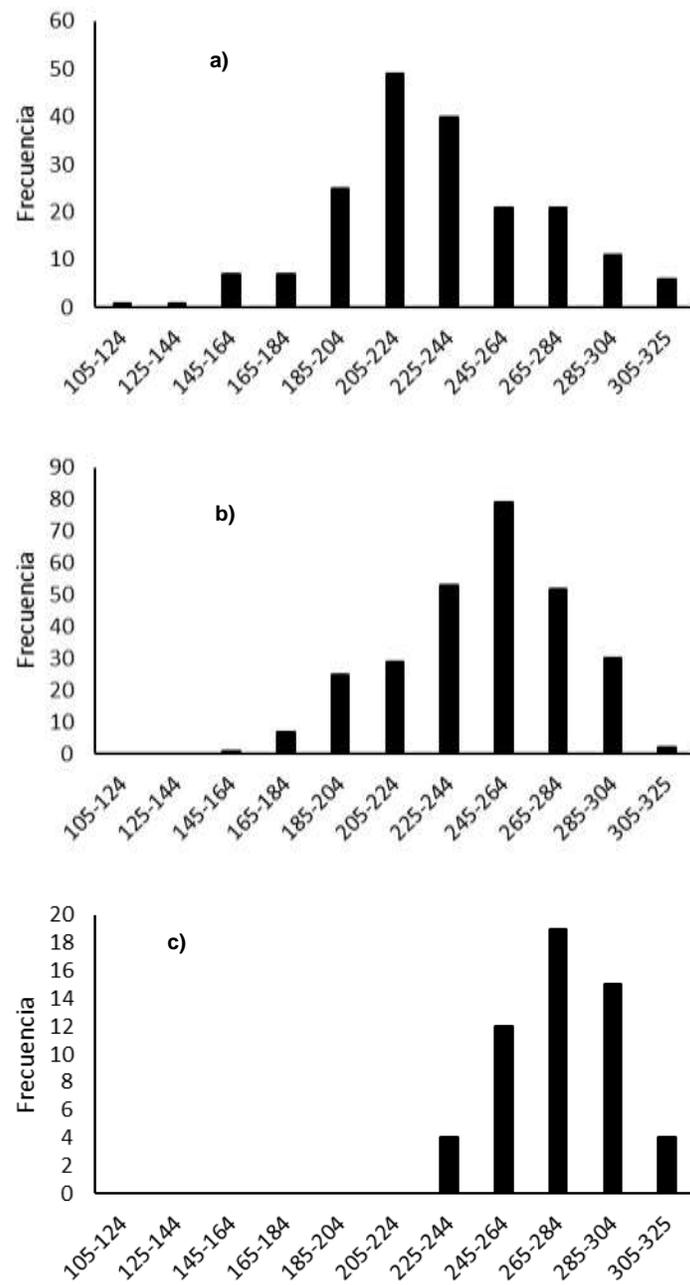


Figura 18. Estructura de tallas por zona del callo de hacha *A. tuberculosa* durante 2017. a) zona sur, b) zona centro, c) zona norte.

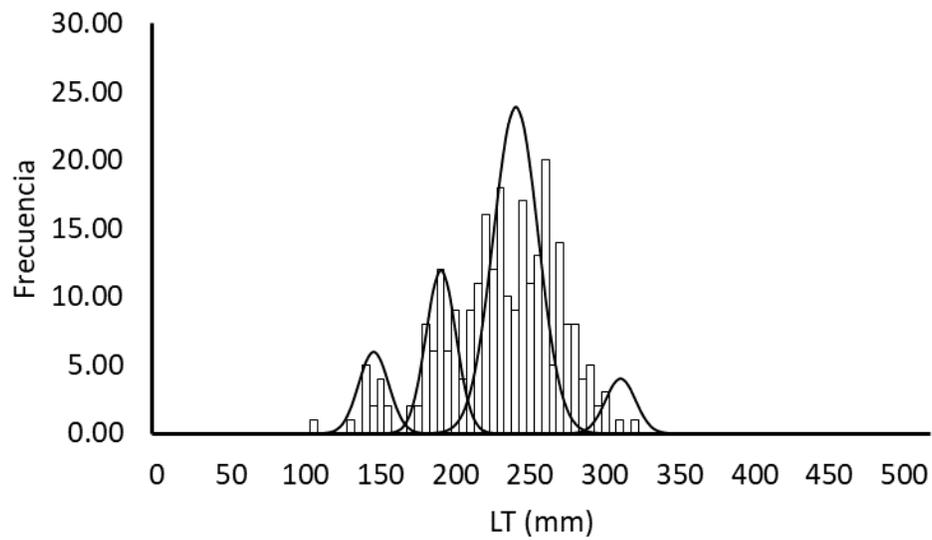


Figura 19. Cohortes de *Atrina tuberculosa* estimadas mediante análisis multinomial en el litoral de Sonora, México, durante 2017-2018.

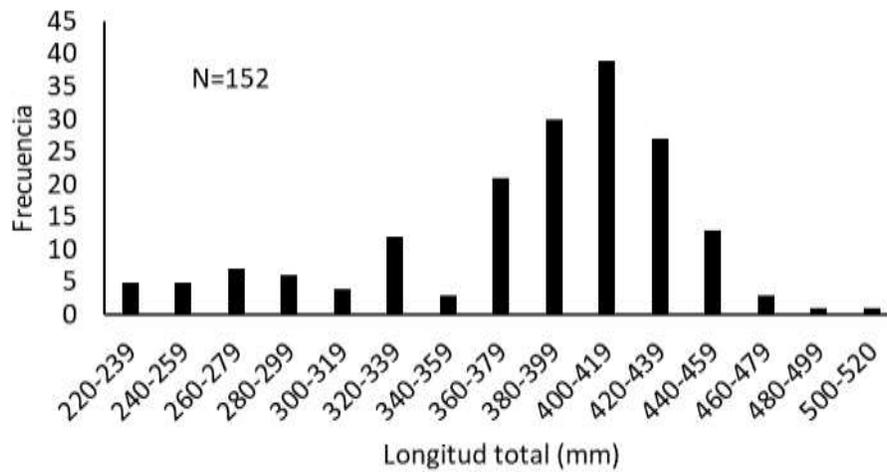


Figura 20. Estructura de tallas de *Pinna rugosa* registradas en 2017 en Sonora.

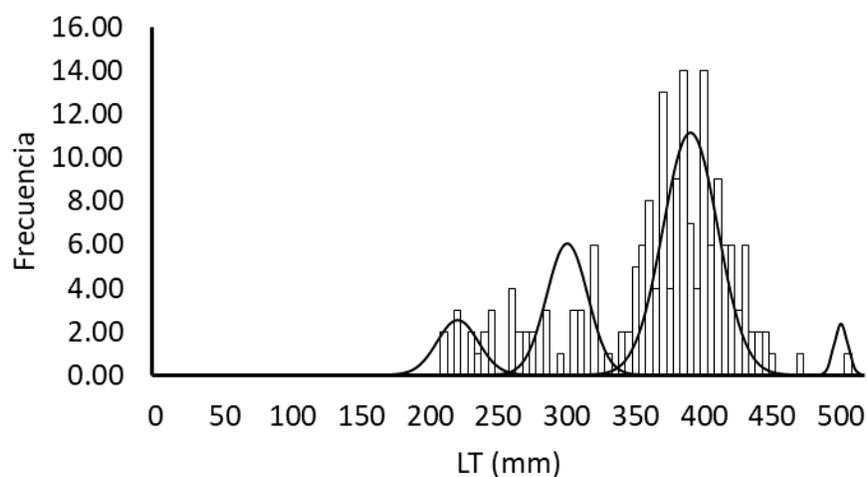


Figura 21. Cohortes estimadas para *Pinna rugosa* mediante análisis multinomial en el litoral de Sonora en 2017.

7.3 Edad

7.3.1 *Atrina tuberculosa*

Se identificaron 8 grupos de edades del 1 al 8.5. Los organismos tuvieron un promedio de edad de 3 años, también coincidió con ser el grupo de edades que predominó en el muestreo con 182 organismos, seguido por los grupos de 2 y 4 (160 y 117 ejemplares respectivamente) (Fig. 22). Solamente se encontró un organismo en los grupos de edades de 7 y 8 años.

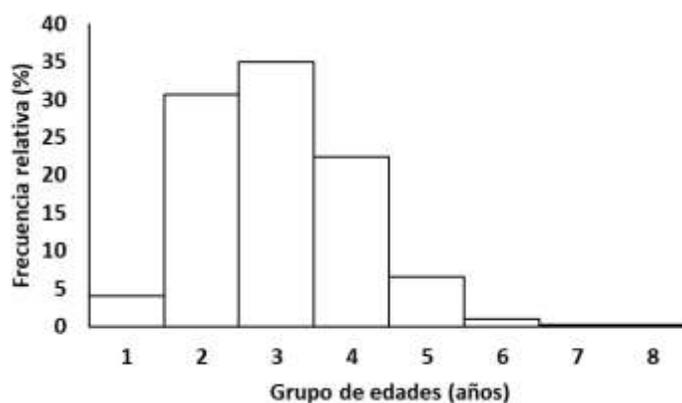


Figura 22. Estructura de edades de callo de hacha *Atrina tuberculosa* en el litoral Sonorense. Periodo 2017-2018.

7.3.2 *Pinna rugosa*

Se identificaron 12 grupos de edad. Los organismos se concentraron en edades de 4 a 7, siendo las edades 5 y 6 las edades predominantes en los muestreos (Fig. 23).

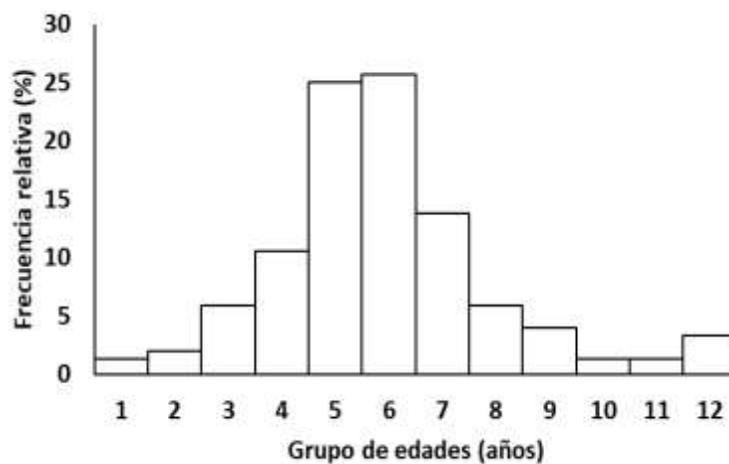


Figura 23 Estructura de edades de *Pinna rugosa* en el litoral Sonorense. Periodo 2017-2018.

7.4 Crecimiento individual promedio

7.4.1 *Pinna rugosa*

Los valores del coeficiente instantáneo de crecimiento K en base anual y la longitud total asintótica (en mm) durante el periodo de estudio estuvieron en el intervalo de $0.55 \leq K \leq 0.64$ y $466 \leq L_{\infty} \leq 478$ mm LT.

7.4.2 *Atrina tuberculosa*

Los valores del coeficiente instantáneo de crecimiento K en base anual y la longitud total asintótica (en mm) durante el periodo de estudio estuvieron en el intervalo de $0.43 \leq K \leq 0.50$ y $311 \leq L_{\infty} \leq 320$ mm LT.

Tabla 2. Valores de los parámetros del modelo de crecimiento de von Bertalanffy (L_{∞} (mm) y K (anual)) obtenidos con los métodos Powell-Wetherall, Sheperd y ELEFAN I. K = Coeficiente Instantáneo de Crecimiento Individual anual, L_{∞} = Longitud total asintótica (mm), Score = grado de ajuste.

<i>Atrina tuberculosa</i>					
2017	Powell-Wetherall	Sheperd	Elefan I	C	WP
L_{∞} (mm)	313.75	303.00	317	0	0
K /anual	1.125	0.30	0.45	0	0
Score	-0.966	0.99	0.228	0	0
<i>Pinna rugosa</i>					
2017	Powell-Wheterall	Sheperd	Elefan I	C	WP
L_{∞} (mm)	462.69	492.00	472.00	0	0
K /anual	0.351	0.58	0.61	0	0
Score	-0.991	0.99	0.408	0	0

7.5 Inferencia multi-modelo

7.5.1 *Atrina tuberculosa*

La figura 24 presenta las tallas observadas y las ajustadas a los tres modelos estimados, los cuales describen trayectorias claramente distintas, se puede ver a simple vista cual modelo describe mejor los datos observados. La Tabla 3 muestra jerárquicamente el orden de los modelos. El MCVB tuvo el menor peso de AIC, mientras que el modelo Logístico el mayor. La longitud asintótica promedio fue de 411.73 mm de longitud total. El modelo ganador fue el MCVB que estimó una L_{∞} de 334.57 mm de longitud total, una K de 0.34 y una t_0 de -0.07. Con los valores de K y t_0 se estimó una longevidad de 8.7 años para *A. tuberculosa*. Los parámetros de crecimiento por zonas fueron ajustados al MCVB para comparar el crecimiento entre zonas (Fig. 25). Los valores del índice de funcionamiento del crecimiento por zona se presentan en la Tabla 4. Las anomalías de los parámetros de crecimiento se prestan gráficamente en la Fig. 26.

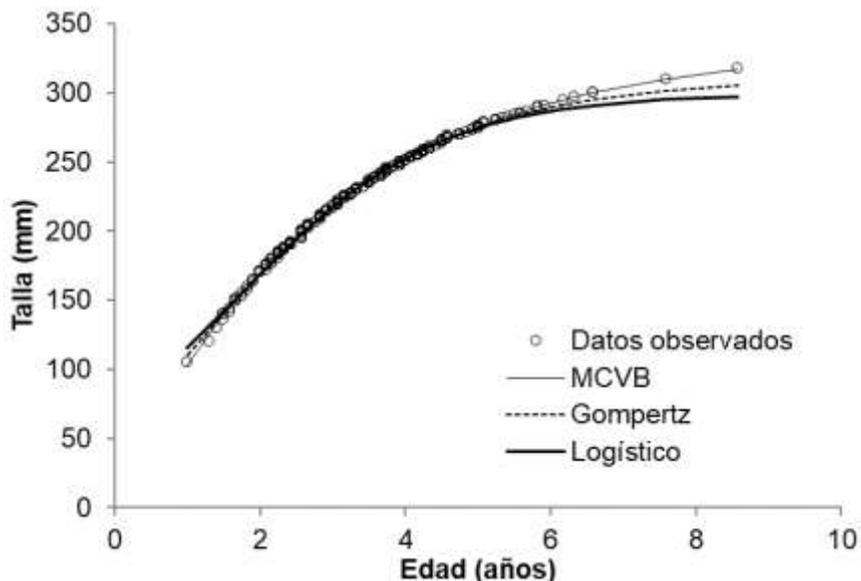
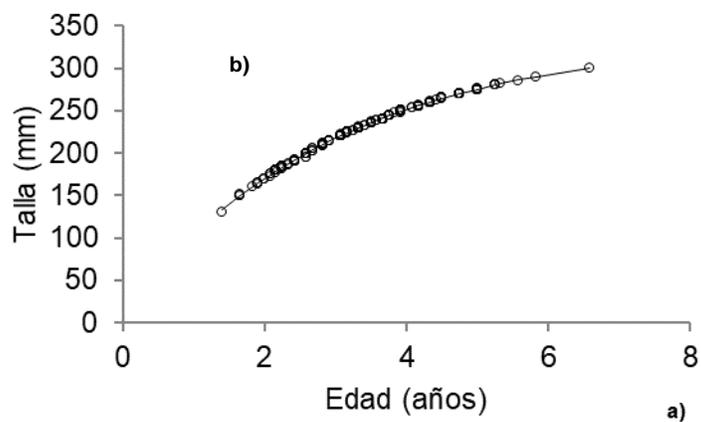
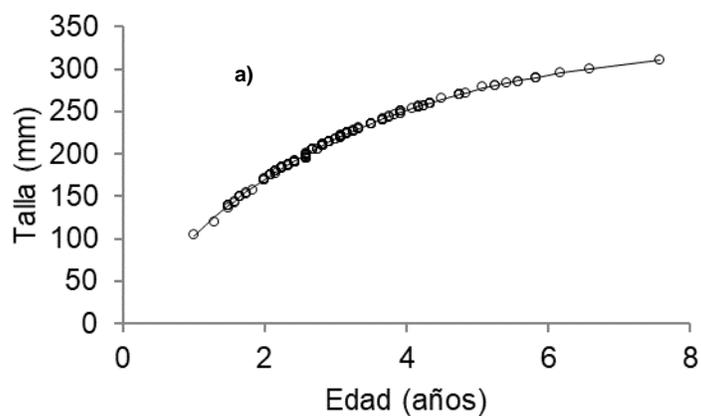


Figura 24. Curvas de crecimiento ajustadas en los tres modelos de crecimiento aplicados y datos de longitud a la edad promedio observados de *Atrina tuberculosa* del litoral sonorenses en 2017.

Tabla 3. Valores de los AIC obtenidos de los modelos ajustados con los datos de longitud total para *Atrina tuberculosa* en el 2017 en Sonora.

Modelos	Número de parámetros	AIC	Delta Δ	Wi
VBGM	3	-3862.52	0.00	1.00
Gompertz	3	-3563.94	298.58	0.00
Logístico	3	-3212.09	650.44	0.00



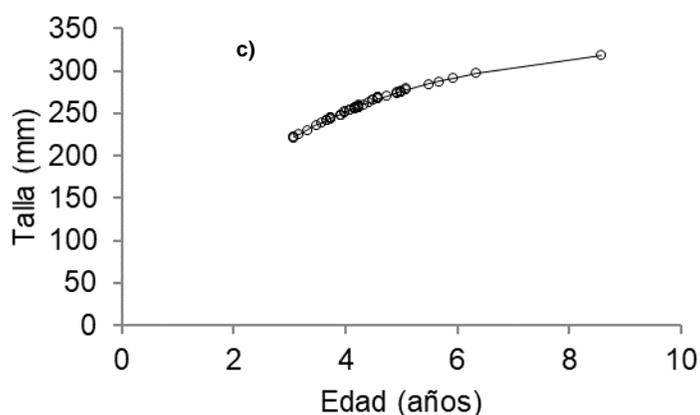


Figura 25. Curvas de crecimiento para el MCVB para las tres zonas aplicados a datos de longitud a la edad promedio de *Atrina tuberculosa* en 2017-18. a) zona sur, b) zona centro, c) zona norte.

Tabla 4. Parámetros de crecimiento Del Modelo de crecimiento de Von Bertalanfy de *Atrina tuberculosa* por zonas del litoral de Sonora en 2017-18.

Zonas	L_{∞} (mm)	K anual	T_0	Longevidad (años)	Índice de funcionamiento del crecimiento
Norte	337.03	0.330	-0.15	8.93	4.57
Centro	333.58	0.344	0.07	8.66	4.58
Sur	334.63	0.340	0.08	8.73	4.58

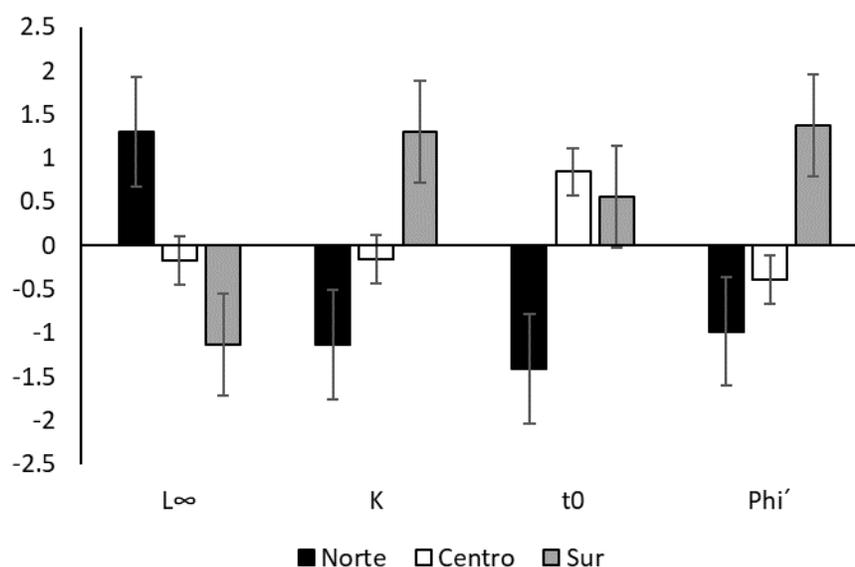


Figura 26. Anomalías de los parámetros de crecimiento de *Atrina tuberculosa* por zonas de estudio en el 2017-18.

7.5.2 *Pinna rugosa*

La Fig. 27 presenta los datos observados y las curvas resultantes para cada uno de los tres modelos utilizados, los cuales describen trayectorias similares por lo que a simple vista no se observa cual describe mejor los datos observados. La Tabla 5 muestra jerárquicamente el orden de los modelos. El modelo Logístico tuvo el menor peso de AIC mientras que el modelo MCVB el mayor. El modelo ganador fue el Logístico, que estimó una L_{∞} de 440.95 mm de longitud total, una K de 0.48 y una t_0 de 1.24. Con los valores de K y t_0 se estimó una longevidad de 8.29 años.

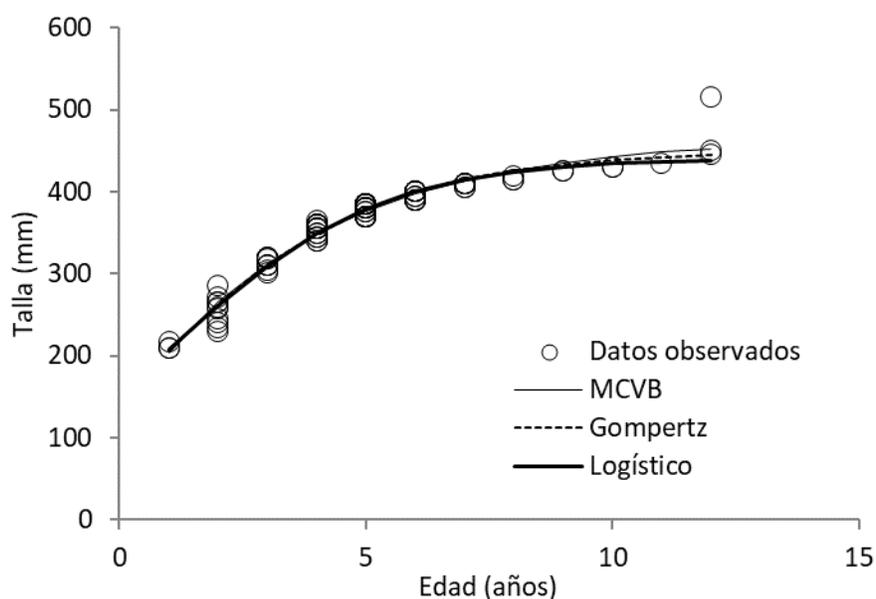


Figura 27. Curvas de crecimiento generadas para los tres modelos aplicados a datos de longitud a la edad promedio de *Pinna rugosa* en 2017.

Tabla 5. Valores de los AIC obtenidos de los modelos ajustados con los datos de longitud total para *Pinna rugosa* en el 2017-18. Donde AIC= valor de Akaike, Delta i= es el valor delta de Akaike y W_i = Peso ponderado de Akaike.

Modelos	Número de parámetros	AIC	Delta i	W_i
VBGM	3	-394.94	6.54	0.02
Gompertz	3	-401.47	0.01	0.49
Logístico	3	-401.48	0.00	0.49

7.6 Abundancias

Los datos de captura (kg) del callo de hacha obtenidos de los avisos de arribo durante la temporada de pesca 2017-2018 se presentan en la Fig. 28, donde se muestra una marcada estacionalidad, con las mayores capturas de la zona centro. Los valores de la relación longitud total vs peso se ajustaron a una función potencia ($R^2 = 0.737$) (Fig. 29) y muestran un

crecimiento de tipo alométrico positivo ($b=3.6192$). Esta relación se utilizó para obtener el peso de la muestra y en conjunto con los datos de las capturas se obtuvo el factor de ampliación (Tablas 6, 7, 8) para expandir la estructura de tallas obtenida de los muestreos en los campos pesqueros, a la captura total anual (Tabla 5).

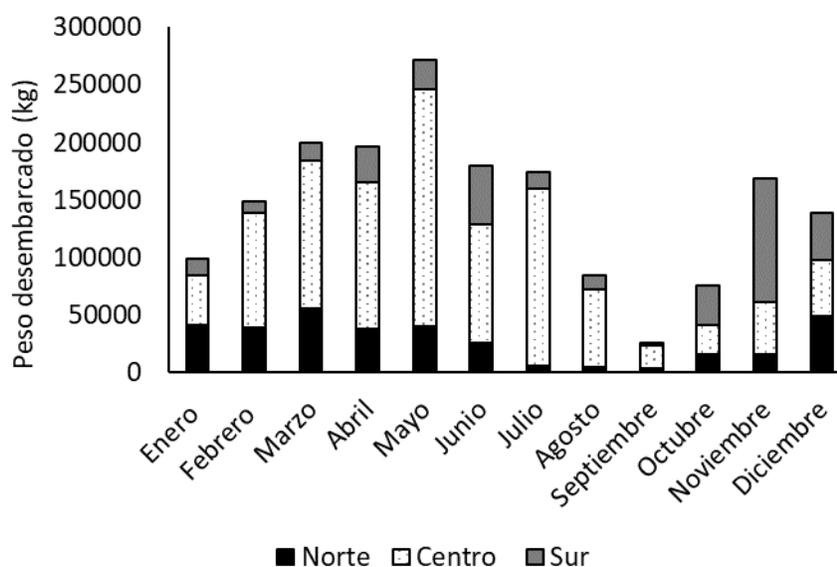


Figura 28. Captura mensual de callo de hacha (todas las especies) obtenida por la flota artesanal en las costas de Sonora durante 2017-2018.

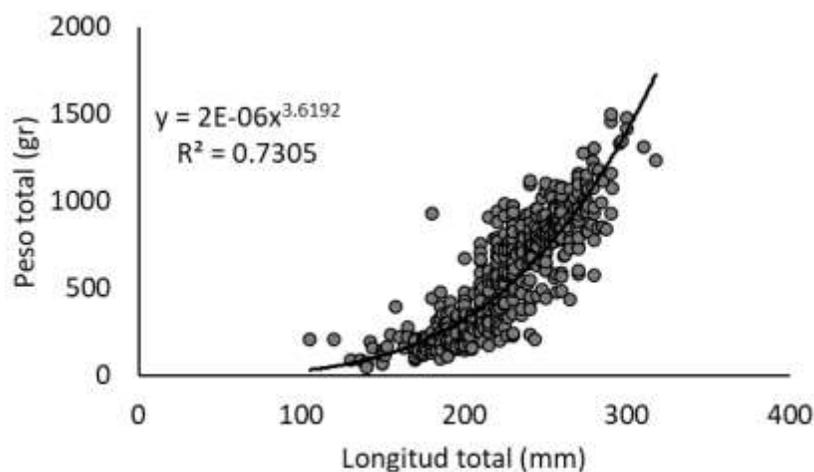


Figura 29. Relación longitud total (mm) vs peso (gr) de callo de hacha *Atrina tuberculosa* en las costas de Sonora.

Tabla 6. Estructura de tallas de *Atrina tuberculosa expandida* a la captura total en la zona norte durante 2017. Factor de ampliación= 589.212.

Longitud total	Número de organismos en la muestra	Peso promedio (gr)	Número de organismos
180-199	1	69129	26
200-219	0	95922	0
220-239	0	129005	0
240-259	7	169080	181
260-279	26	216854	671
280-299	16	273042	413
300-319	4	338365	103
320	1	413548	26

Tabla 7. Estructura de tallas de *Atrina tuberculosa* expandida con el factor de ampliación a la captura total en la zona centro durante el 2017. Factor de ampliación= 5.94

Longitud total	Número de organismos en la muestra	Peso promedio (gr)	Número de organismos
40-59	0	644	0
60-79	0	2271	0
80-99	0	5555	0
100-119	0	11118	0
120-139	0	19597	0
140-159	1	31647	6
160-179	4	47932	24
180-199	20	69129	119
200-219	32	95922	190
220-239	46	129005	274
240-259	80	169080	476
260-279	56	216854	333
280-299	35	273042	208
300-319	4	338365	24

Tabla 8. Estructura de tallas de *Atrina tuberculosa* con el factor de ampliación a la captura total en la zona sur durante el 2017. Factor de ampliación= 10.56

Longitud total	Número de organismos en la muestra	Peso promedio (gr)	Número de organismos
120-139	2	19597	27
140-159	5	31647	67
160-179	9	47932	121
180-199	18	69129	242
200-219	49	95922	659
220-239	39	129005	525
240-259	26	169080	350
260-279	23	216854	309
280-299	9	273042	121
300-319	9	338365	121

7.7 Abundancia y Mortalidad

La abundancia total de callo de hacha estimada para el estado de Sonora fue 2,166 toneladas, que en número de individuos representó 11, 400. La abundancia por zonas se puede ver en las tablas 9,10 y 11. La mortalidad por pesca específica a tallas (F) y el patrón de explotación (E) efectuada por las embarcaciones menores fueron estimados por zona para *Atrina tuberculosa*, los resultados mostraron que se capturaron organismos en el intervalo de 120 a 320 mm de LT, las tallas que fueron mayormente objeto de pesca durante la temporada 2017 se concentraron entre los 180 a 300 mm (Tablas 10). La mortalidad total promedio (Z), por pesca promedio (F), tasa de explotación promedio (E) y magnitud de reclutamiento por zonas se puede ver en la Tabla 12. Las anomalías de las abundancias, mortalidades, tasas de explotación y magnitud de reclutamiento se presentan en la Fig. 30.

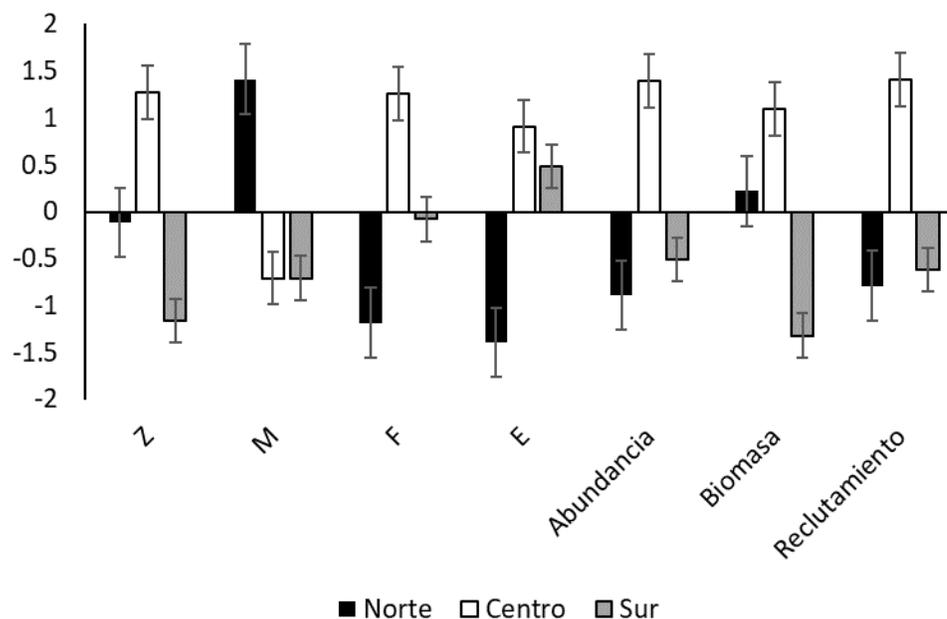


Figura 30. Anomalías de mortalidad, abundancia, biomasa y patrón de reclutamiento por zonas durante 2017-2018.

Tabla 9. Captura, abundancia promedio, mortalidad por pesca (F) y tasa de explotación (E), por intervalo de tallas de *Atrina tuberculosa* en la zona sur durante el 2017.

Longitud total (mm)	Captura total de organismos	Abundancia media (número de organismos)	Tasa de mortalidad por pesca anual (F)	Tasa de explotación anual (E)
120	27	2476	0.010867	0.020863
140	67	2345	0.028692	0.053263
160	121	2191	0.055261	0.097762
180	242	1998	0.121220	0.192041
200	659	1682	0.391875	0.434511
220	525	1285	0.408382	0.444676
240	350	935	0.374002	0.423078
260	309	614	0.503759	0.496922
280	121	351	0.344604	0.403232
300	121	133	0.907817	0.640292

Tabla 10. Captura, abundancia promedio, mortalidad por pesca (F), tasa de explotación (E), para cada intervalo de tallas de *Atrina tuberculosa* en la zona centro durante el 2017.

Longitud total (mm)	Captura total de organismos	Abundancia media (número de organismos)	Mortalidad por pesca anual (F)	Tasa de explotación anual (E)
140	23	6833	0.003317	0.006462
160	91	6450	0.014053	0.026816
180	453	5968	0.075951	0.129619
200	725	5326	0.136155	0.210716
220	1042	4498	0.231787	0.312471
240	1813	3284	0.552040	0.519792
260	1269	1891	0.671279	0.568265
280	793	736	1.078194	0.678881
300	91	106	0.851644	0.625453

Tabla 11. Captura, abundancia promedio, mortalidad por pesca (F), tasa de explotación (E), para cada intervalo de tallas de *Atrina tuberculosa* en la zona norte durante el 2017.

Longitud total (mm)	Captura total de organismos	Abundancia media (número de organismos)	Mortalidad por pesca anual (F)	Tasa de explotación anual (E)
180	26	2119	0.63132	0.019305
200	0	1974	0.61914	0.000000
220	0	1821	0.61914	0.000000
240	181	1612	0.73126	0.153328
260	671	1190	1.18339	0.476812
280	413	651	1.25417	0.506338
300	103	290	0.97561	0.365389
320	26	98	0.88331	0.299070

Tabla 12. Coeficiente de mortalidad total (Z), mortalidad por pesca (F), tasa de explotación (E), abundancia media, biomasa promedio y magnitud de reclutamiento por zonas de *Atrina tuberculosa* en la zona norte durante el 2017.

Zona	Mortalidad total (Z)	Mortalidad por pesca (F)	Tasa de explotación (E)	Abundancia	Biomasa (ton)	Magnitud de reclutamiento
Norte	0.862	0.243	0.228	9754	7022	2119
Centro	0.912	0.402	0.342	35095	9205	6833
Sur	0.825	0.315	0.321	14013	3199	2476

7.8 Temperatura superficial del mar y concentración de clorofila

Con los datos de temperatura superficial del mar se obtuvo la climatología por zona. Se pudo observar una clara estacionalidad en la temperatura superficial del mar durante el periodo de estudio. Las tres zonas presentaron estacionalidad marcada, con una temporada cálida durante los meses de mayo a septiembre y una temporada fría durante los meses de noviembre a marzo, siendo abril y octubre los meses transicionales (Fig. 31).

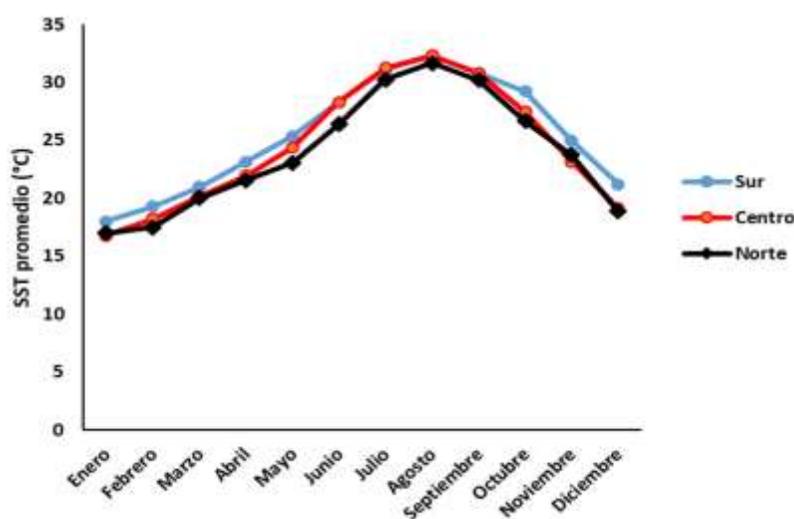


Figura 31. Estacionalidad de la temperatura superficial del mar promedio por zonas en el litoral de Sonora, México en 2017.

La Fig. 32 muestra los valores promedio de temperatura por localidad. La localidad más sureña (Agiabampo) fue la que presentó la temperatura más alta mientras que el Desemboque de los Seris, localizada en la zona norte del estado, fue la de menor valor promedio. La temperatura máxima en el periodo de estudio fue de 32.5°C, registrada en el mes de agosto, mientras que la temperatura mínima fue de 16.3°C registrada en el mes de enero.

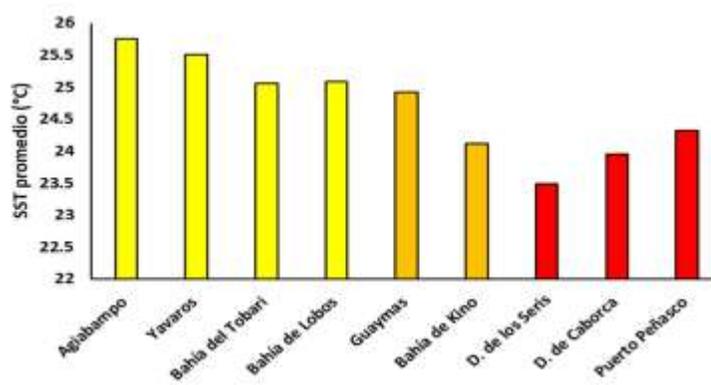


Figura 32. Temperatura superficial promedio por localidad durante el periodo 2017-2018 en el litoral Sonorense.

En cuanto a los valores promedio de Clorofila a por localidad, la zona sur y centro presentaron los valores más altos de clorofila a, siendo Guaymas la que registró los valores más altos. La zona norte presentó los valores más bajos durante el periodo de estudio (Fig. 33).

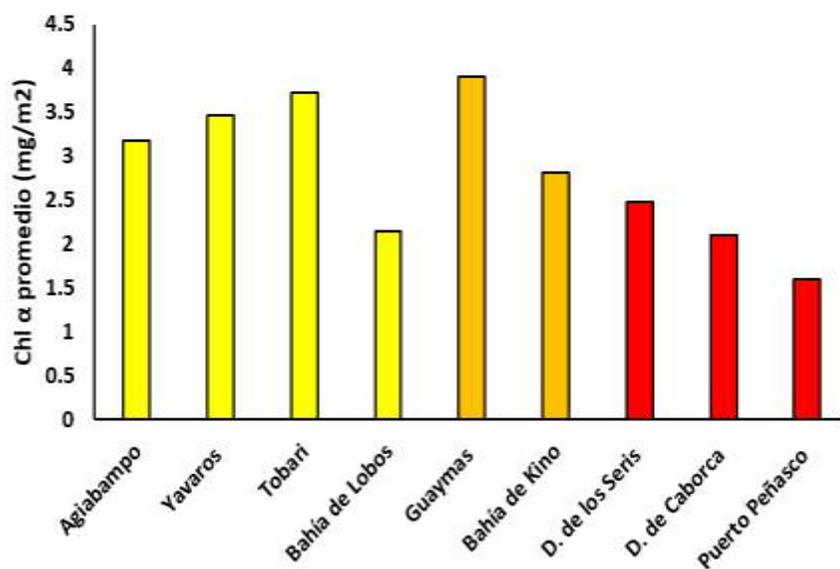


Figura 33. Valores promedio de la concentración de clorofila por localidad en el litoral de Sonora en 2017 y 2018.

7.9 Relación ambiente y recurso

Las Figs. 34 y 35 muestran la relación entre los parámetros de crecimiento y los valores promedio de temperatura superficial del mar y clorofila por zonas, obtenidos durante el periodo de estudio 2017-18. Se pudo observar una relación lineal entre el crecimiento y la temperatura superficial del mar, mientras que la relación con la concentración de clorofila a fue polinómica, similar a una forma de domo.

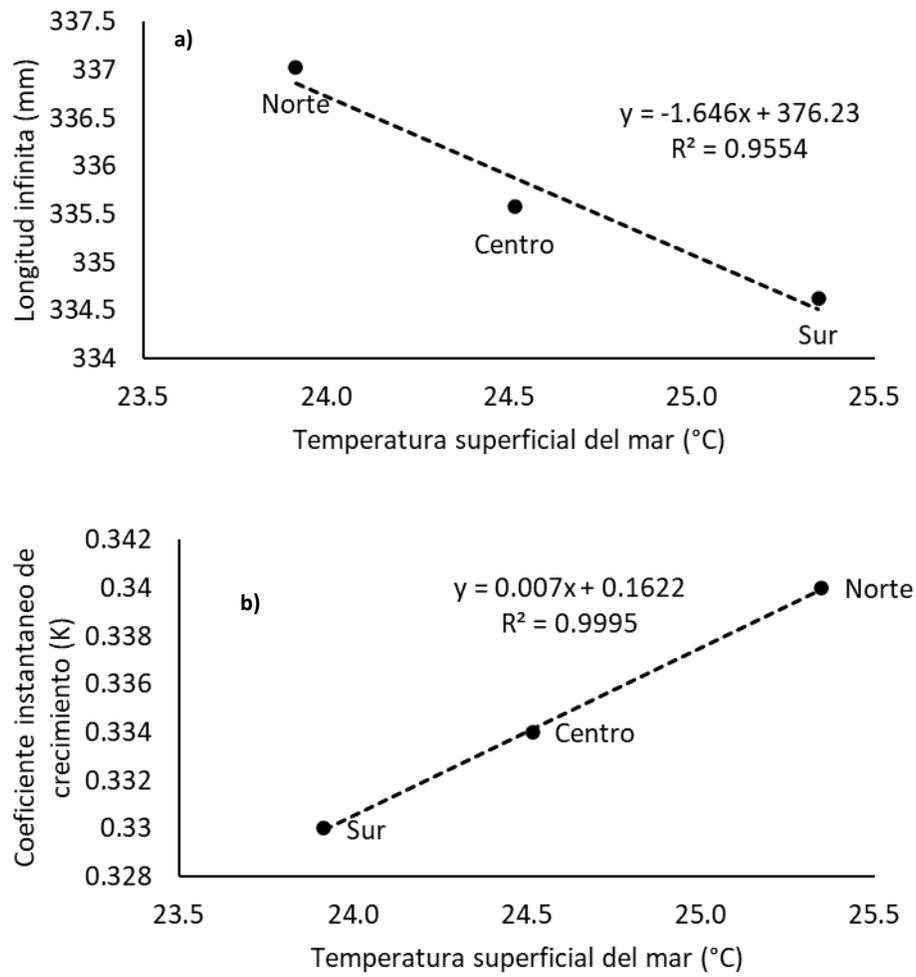


Figura 34. Relación de la temperatura superficial del mar y el crecimiento por zonas en el litoral de Sonora en 2017-18. a) L_{∞} vs TSM, b) K (coeficiente instantáneo de crecimiento vs TSM).

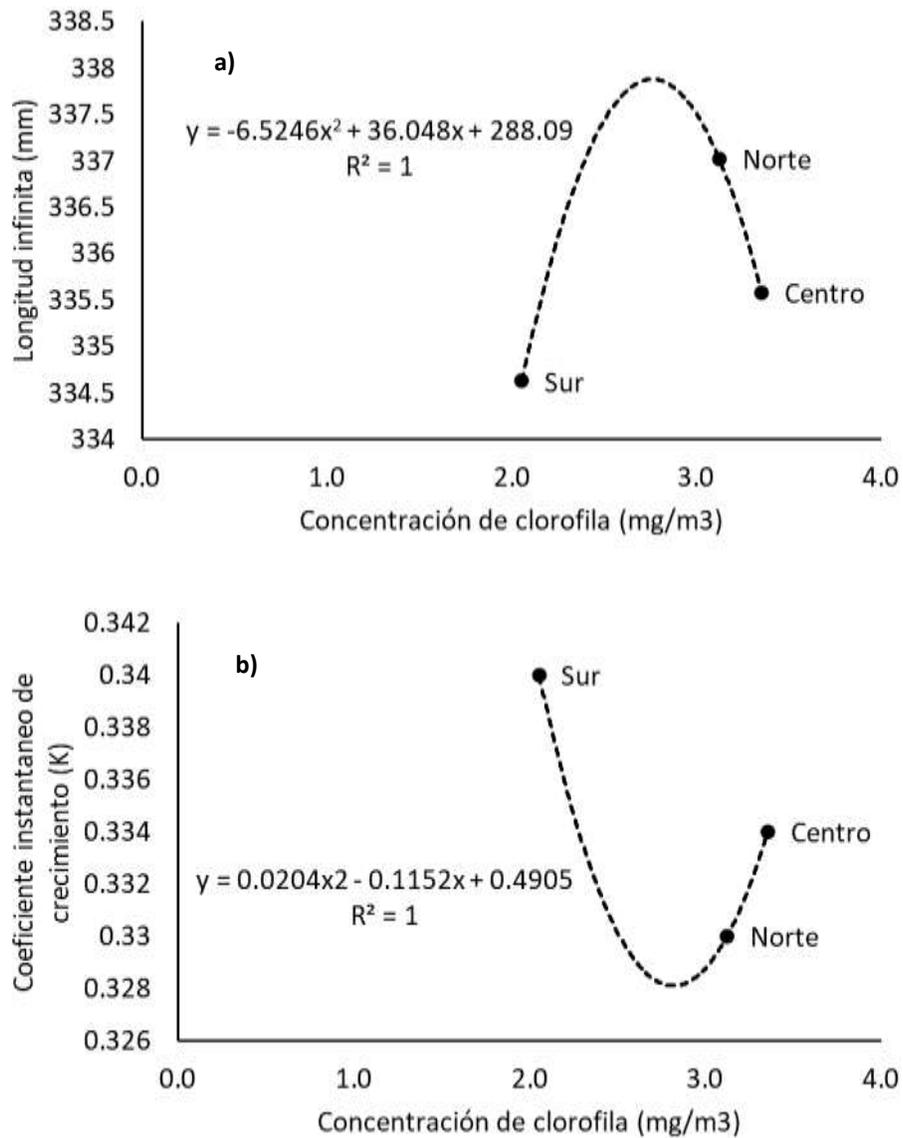


Figura 35. Relación parámetros de crecimiento y concentración de clorofila del mar por zonas en el litoral de Sonora en 2017-18. a) L^∞ vs Chl, b) K (coeficiente instantáneo de crecimiento vs Chl).

8. DISCUSIÓN

8.1 Distribución

Los muestreos mediante buceo autónomo o semiautónomo han demostrado ser muy efectivos para evaluar la densidad de los organismos pertenecientes al bentos, como es el caso de los moluscos bivalvos, ya que se puede estimar directamente las densidades en el espacio geográfico y resultan menos destructivos que otros métodos como los arrastres (Katsanevakis, 2007). Así mismo, los análisis geoestadísticos como el kriging o los mapas de calor estimados por la densidad de Kernel, han demostrado ser de gran utilidad para observar la distribución espacial de los organismos del bentos, especialmente de especies de interés comercial como el callo de hacha (Maynou *et al.*, 1998; Rangel, 2011). De igual manera, la pesca extractiva que utiliza este arte de pesca presenta una alta selectividad, ya que los buzos con experiencia pueden detectar y seleccionar los organismos que presentan una talla adecuada para su extracción, lo que hace posible en la teoría, cumplir con las medidas de manejo pesquero que indique la autoridad correspondiente.

Se ha reportado que las especies del género *Atrina* y *Pinna*, usualmente existen como metapoblaciones, compuestas de pequeños grupos o parches de individuos en bahías y zonas lagunares con influencia marina (García-Cubas y Reguero, 1995; Hanafi *et al.*, 2008; García-Cubas y Reguero, 1995; Hanafi *et al.*, 2008). En este estudio, los organismos presentaron este tipo de distribución por parches en todas las localidades evaluadas y se pueden observar puntos muy concretos donde se concentra la mayor densidad de organismos. La distribución de los bivalvos parece estar fuertemente influenciada por factores como la consistencia del sustrato, energía de las corrientes y mareas, salinidad y abundancia de nutrientes (Garrison *et al.*, 2007) (Garrison *et al.*, 2007). Particularmente, los pinnidae prefieren sustratos arenosos, limosos y arcillosos a los cuales pueden fijarse firmemente (García-March *et al.*, 2002; CENTODUCATI *et al.*, 2007; Katsanevakis, 2007; Góngora-Gómez *et al.*, 2016) (García-March *et al.*, 2002; Centoducati *et al.*, 2007; Katsanevakis, 2007; Góngora-Gómez *et al.*, 2016).

Las densidades de organismos/m² estimadas en este estudio presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre localidades. La densidad más alta se registró en la localidad de Guaymas con un valor de 0.12 org/m² que coincide con ser la zona con la mayor concentración de clorofila, lo que podría explicar que las zonas con mayor disponibilidad de alimento presentan los bancos más densos, aunque la Bahía del Tobarí también fue una de las zonas con mayor concentración de clorofila y registró la menor densidad del estado con 0.01 org/m². Esto puede ser causado por la diferencia del sustrato entre las zonas, en el Tobarí el sustrato que predominó fue arena fina (Cervantes-Escobar *et al.*, 2008) (Cervantes Escobar *et al.*, 2008) lo que dificulta la fijación de los organismos al sustrato.

En la zona de Agiabampo se registró una de las densidades más altas del estudio con 0.11 org/m². Cabe resaltar que en la zona de Agiabampo los pescadores llegaron a un consenso de que solo es permitido el buceo mediante apnea para la extracción de los organismos bentónicos, esto es beneficioso para la conservación de la especie ya que limita el tiempo de trabajo y la profundidad a la que pueden llegar los buzos en la zona, dejando bancos de organismos reproductivos que pudieran estar a profundidades mayores en la bahía y podría explicar la densidad tan alta de organismos que se encontró en el lugar. La densidad promedio del estado fue de 0.05 ± 0.06 org/m².

Para algunas especies de Pinnidos consideradas en riesgo, se han reportado densidades que oscilan entre los 1-10 individuos/100m² (García-March, 2005) (García-March, 2005) o incluso tan bajas como 0.04-0.03 organismos/100m² (Richardson *et al.*, 1999b) (Richardson *et al.*, 1999) como es el caso de *Pinna nobilis* en el Mediterráneo. Contrario a esto, en Florida se han encontrado densidades de *Atrina rigida* que oscilan entre 0.1 y 10 organismos/m². Por lo tanto, la densidad promedio estimada indicaría que el recurso fue escaso en el litoral sonorense durante el periodo de estudio. Hay que recalcar que los muestreos se llevaron a cabo a una profundidad no mayor a 16 metros por seguridad de los buzos, aunado a esto, la falta de personal y embarcaciones para llevar a cabo las evaluaciones, afectaron nuestra capacidad de cubrir un mayor espacio en las zonas de captura. Estas limitantes pueden verse

reflejadas en las densidades promedio de las zonas y del estado, por lo cual se recomienda un mejor diseño muestral, que abarque la mayor área posible, así como mayores profundidades, sin sobrepasar los 30 metros que están indicados como profundidad de captura límite en la Carta Nacional Pesquera.

8.2 Estructura de tallas

8.2.1 *Atrina tuberculosa*

Las estructuras de tallas reflejan que el grupo que sostuvo a la pesquería durante la temporada de estudio fue de los 235 a los 275 mm de longitud total con una edad relativa que van de los 3 a los 7 años. El análisis multinomial nos mostró 4 cohortes muy claras en la estructura de tallas, cabe recalcar que estos organismos poseen un crecimiento acelerado en sus primeras etapas de vida que depende principalmente de la disponibilidad de alimento y la temperatura, por lo que se pueden agrupar organismos de edades distintas dentro de una misma cohorte. Las estructuras de tallas nos indican que efectivamente se están reclutando nuevos organismos a la pesca lo que indican que el callo de hacha presenta un reclutamiento continuo durante todo el año.

8.2.2 *Pinna rugosa*

Las estructuras de tallas de esta especie reflejaron que los organismos que sostienen a la actividad pesquera de la zona norte van de los 375 a los 415 mm de longitud total con una edad relativa que va de los 4 a los 7 años. Todos los organismos observados en el muestreo se encuentran por encima de la talla mínima legal permitida para su extracción, por lo que solo contamos con organismos adultos. Hay que mencionar que el arte de pesca mediante el cual se extraen estos organismos es altamente selectiva, pues el buzo selecciona a priori los organismos que le representen un mejor rendimiento. Además, los muestreos son llevados a cabo por el INAPESCA para determinar las cuotas de pesca en las zonas de estudio, por lo que esto puede sesgar aún más el muestreo ya que mientras más organismos de tallas grandes haya en el muestreo mayor es la cuota de pesca que puede otorgarse.

8.3 Crecimiento

Son muchos los factores que influyen en el crecimiento de los bivalvos, entre los factores exógenos se encuentran la alimentación, considerada de las más importantes, la temperatura, las mareas, profundidad del agua y densidad poblacional, mientras que dentro de los factores endógenos el genotipo y el estado fisiológico son los más influyentes (Gosling, 2003) (Gosling, 2003).

Una práctica regular entre investigadores que analizan el crecimiento de organismos marinos es adoptar a priori, el modelo de crecimiento de von Bertalanffy, cuyas bases tienen una significación biológica (Piccolo, 2012). Sin embargo, en muchos casos este modelo parece no describir adecuadamente el proceso de crecimiento observado en la tendencia de los datos (Katsanevakis y Maravelias, 2008) (Katsanevakis y Maravelias, 2008). Ante el escaso conocimiento que se tiene sobre el crecimiento de las especies de callo de hacha en el litoral de Sonora en el presente estudio se evaluó el crecimiento individual promedio de dos de las especies de más importancia comercial en la región *Atrina tuberculosa* y *Pinna rugosa*. a través de un enfoque multimodelo, utilizando el criterio de información de Akaike (AIC) para seleccionar el mejor modelo posible desde el punto de vista estadístico. Las ventajas de utilizar el AIC recaen en el hecho de que los modelos pueden ordenarse según su ajuste a los datos. Además, el establecer una comparación entre diferentes modelos con distintos supuestos biológicos, tipos y formas de curva, resulta valioso para hacer inferencias objetivas sobre los estimados de crecimiento (Katsanevakis, 2006) (Katsanevakis, 2006).

Los supuestos que definen a cada modelo de crecimiento difieren entre sí, lo que se vio reflejado en los diferentes valores de cada parámetro según el modelo y escenario analizado. De los tres modelos evaluados en el presente trabajo el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy fue el que obtuvo el menor valor de AIC para la especie *Atrina tuberculosa*, por lo tanto, se consideró como el modelo más adecuado estadísticamente para describir la tendencia de los datos. Para el caso de *Pinna rugosa* el menor valor de AIC lo obtuvo el modelo de crecimiento Logístico.

Aragón-Noriega (2012) modeló el crecimiento de la especie *Atrina maura* en el 2012 a partir de datos reportados por Góngora-Gómez y colaboradores (2011) derivados del registro del crecimiento en longitud mensual medido durante 16 meses de cultivo en una localidad del Golfo de California. El autor reportó que el modelo que mejor representó el crecimiento en esta especie fue el modelo Logístico, el cual estimó una L_{∞} de 212.02 mm de longitud total. El resultado de la selección del mejor modelo para estimar el crecimiento para esta especie de callo de hacha concuerda con el modelo obtenido para *Pinna rugosa*, pero difiere con el estimado para *Atrina tuberculosa* donde se obtuvo que el MCVB fue el que mejor ajustó a nuestros datos. Una crítica completa de la aplicación a priori del MCVB en otras especies de callo de hacha como *Pinna nobilis* se puede consultar en Katsanevakis (2007), en donde se mencionan Gompertz y Logístico como los mejores modelos para describir el crecimiento absoluto especialmente en moluscos bivalvos.

Hay que recalcar que, aunque un modelo se ajuste a los datos, no quiere decir que sea el modelo real o verdadero. Más bien, significa que es el mejor modelo de entre el resto de los candidatos, en el sentido de que proporciona la aproximación más cercana a la realidad. Variables que pueden cambiar el modelo al que mejor se ajusta a los datos, pueden ser el tamaño muestral, dado que, con un tamaño mayor, los parámetros de un modelo pueden ser estimados de una manera más fiable (Akaike, 1983).

Otro estudio en donde se modeló el crecimiento mediante inferencia multimodelo en moluscos bivalvos es el de (Echazabal-Salazar, 2018) Echazabal-Salazar (2018) quien modeló el crecimiento de *Spondylus crassiquama* en la laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur y comparó los tres modelos utilizados en este estudio, además del modelo de crecimiento de Schunte. Para este caso, el MCVB fue el modelo que mejor se ajustó a la tendencia de sus datos. Como se ha reportado, el crecimiento de los bivalvos presenta amplias variaciones, asociadas a la historia de vida de cada una de las especies y de los factores ambientales que imperan en su hábitat. Se conoce que el ajuste del modelo de crecimiento a los datos depende de la estructura demográfica de la población estudiada. Normalmente los valores

grandes de k se encuentran cuando las poblaciones se componen de individuos más jóvenes (Hoffmann *et al.*, 2000) (Hoffmann *et al.*, 2000). En el caso de nuestro estudio nuestros datos biométricos corresponden en su mayoría a tallas comerciales, faltando el espectro de tallas de los organismos juveniles, por lo tanto, nuestra muestra de la población no está representada en su totalidad, por lo que la ausencia de tallas pequeñas puede generar un problema de subestimación de la K (López-Martínez *et al.*, 2005) (López-Martínez *et al.* 2005). Es de suma importancia para estudios futuros, el registrar el espectro completo de tallas para que los estimado de crecimiento sean más confiables. Otros estudios sobre la biología poblacional de bivalvos de importancia comercial en México indican una LT_{∞} de entre 8 – 10.4 cm de LT para *Megapitaria squalida*, 32.2 cm para *Atrina maura* y 20.4 cm para *Anadara tuberculosa* (Baqueiro y Aldana, 2003).

Por otro lado, Φ' se considera como una medida de similitud del patrón de crecimiento (Pauly y Munro, 1984). Los valores de Φ' para una misma especie tienden a ser muy parecidos; mientras más alejado sea el nivel taxonómico, la diferencia de los valores de Φ' será mayor (Pauly y Munro, 1984) (Munro y Pauly, 1983). Aunque no se han reportado valores de Φ' para los integrantes de los géneros *Atrina* y *Pinna*, en el presente estudio se establece este parámetro para la longitud total de *Atrina tuberculosa*, lo que constituye un aporte a las próximas investigaciones que puedan requerir dichos valores en aras de comparar con otras especies o zonas de distribución. En el caso de este estudio, el índice de Φ' fue calculado con la intención de observar si existen diferencias latitudinales en el crecimiento. Robles-Tamayo *et al.* (2018) mostró que existen 4 regiones con climatologías distintas en el estado de Sonora, también reportó que el Golfo de California se calienta de sur a norte en el periodo cálido y enfría de manera opuesta en el periodo frío. Como ya se ha descrito anteriormente, los factores ambientales influyen en el crecimiento de los bivalvos y las tallas más grandes observadas en el estudio se encontraron en la zona norte y las más pequeñas en el sur, por lo que surgió la inquietud de determinar si las diferencias latitudinales en la temperatura superficial del mar se verían reflejadas en el índice de funcionamiento del crecimiento. Las anomalías en el crecimiento calculadas por zona nos indican que existe una diferencia en el

crecimiento entre zonas sobre todo entre la zona norte y la zona sur, donde a menor temperatura mayor crecimiento. Esto coincide con lo reportado con Aumada-Sempoal (2002) para *A. maura* en Oaxaca, donde se observó un crecimiento mayor en la temporada fría. La temperatura es un factor ambiental que propicia la reproducción, por lo que puede ser que los organismos del sur, al estar en aguas más cálidas, alcancen la madurez sexual más rápido y prioricen la reproducción en favor del crecimiento. Análisis reproductivos deben hacerse para confirmar esta relación.

8.4 Análisis de Cohortes de Jones basado en tallas

Las variables morfométricas como la longitud y el peso son clave para comprender la biología de las especies a nivel individual y poblacional. Por ello, la información relativa a la relación talla-peso es esencial para la valoración y el manejo apropiado de las pesquerías, ya que, entre otros parámetros, hace posible la estimación de la biomasa de un recurso a partir de datos de las capturas (Park y Oh, 2002). Además, el análisis prospectivo de las relaciones biométricas ayuda a reconocer el tipo y proporción de crecimiento entre la longitud y el peso de una determinada especie, lo cual permite estimar la talla en la que se obtengan los mejores rendimientos de masa muscular, siendo de especial interés para bivalvos de importancia comercial, como las especies objeto de estudio.

Existe poca información acerca del estado de las poblaciones de callo de hacha sometidas a presión pesquera en el litoral sonorense. La labor de instituciones como el INAPESCA es evaluar los bancos para determinar cuál será la cuota de captura anual del recurso, sin embargo, el proyecto almejas y caracoles tiene que atender solicitudes de evaluaciones de todos los moluscos bivalvos de interés comercial, por lo que no es posible llevar un muestreo sistemático de las poblaciones de callo de hacha en el estado. Debido a la urgencia de generar información que permita dar un primer vistazo de cómo se encuentra la población, se tuvo que echar mano de métodos estadísticos que trabajan con pocos datos. El análisis de cohortes de tallas de Jones resulta como una buena alternativa en casos donde no se cuente con muchos datos, pero se necesite generar información urgente. Este análisis se aplica por lo

general a pseudocohortes, lo que significa que supone un sistema de parámetros constantes, es decir una mortalidad natural y un crecimiento constantes durante todo el año, algo que no se cumple en la naturaleza.

Las tasas de mortalidad tuvieron valores muy similares en las tres zonas de estudio. La zona con el mayor valor de mortalidad por pesca fue la zona centro y la zona sur le sigue de cerca mientras que la menor se estimó para el norte. Llama la atención que a pesar de que el callo de hacha se encuentra sujeto a una alta presión pesquera, el análisis de cohortes estimó una tasa de mortalidad por pesca menor que la tasa de mortalidad natural para las tres regiones de estudio. De igual manera, las tasas de explotación se encuentran por debajo del valor óptimo propuesto por (Gulland, 1971) Gulland (1971) que es de 0.5, lo que podría sugerir que el recurso está subexplotado. Todo esto puede ser explicado por la naturaleza del muestreo, se observó que la biomasa disminuye conforme aumenta la longitud de los organismos y las tasas de mortalidad por pesca y explotación aumentan a partir de las tallas que se encuentran por arriba de la talla mínima de captura establecida por la Carta Nacional Pesquera. Debido a que los muestreos se realizaron para establecer las cuotas de captura y a que esta actividad pesquera presenta una alta selectividad, los pescadores van tras los organismos más grandes ya que esto ayuda a que la estimación de la cuota de captura sea mayor y les genere una mayor ganancia durante la temporada, por lo que las estimaciones de las tasas de mortalidad pueden estar subestimadas al no contar con un espectro de tallas que refleje en su totalidad a la población.

El análisis también mostró una abundancia y una biomasa mayor en la zona centro del estado, lo que resulta lógico ya que el análisis utiliza el peso desembarcado de la temporada de pesca para extrapolar la frecuencia de tallas original y esta zona resulta ser la que aportó la mayor producción del recurso, seguida de la zona sur y por último la zona centro. En la zona centro del estado se encuentra la comunidad de Bahía de Kino, que es una comunidad especializada en pesquerías de buceo, siendo la que más aporta al estado de Sonora en producción de callo de hacha. Cabe destacar que en las tres zonas presentan una magnitud

de reclutamiento alta, lo que indica que nuevos organismos se están reclutando a la pesquería.

8.5 Ambiente, recurso

La estacionalidad marcada en las tres zonas tanto en la TSM y la clorofila, son coincidentes con lo reportado por Robles-Tamayo *et al.* (2018), García-Morales *et al.* (2017), Farach-Espinoza *et al.* (2022), existiendo una clara diferencia en ambas variables en los meses cálidos y los fríos. Por otra parte, llama la atención el comportamiento de la TSM promedio anual de sur a norte del Golfo de California, ya que va disminuyendo hasta un mínimo en la región del Desemboque de los Seris (cercana a la zona de las Grandes Islas) y posteriormente sube en dirección hacia el Alto Golfo. Este comportamiento posiblemente puede ser explicado porque la influencia del Océano Pacífico es mayor en la parte sur del Golfo y su influencia va disminuyendo hacia el norte, donde tiene su mínimo en la zona de Las Grandes Islas, posiblemente por la mezcla generada por la batimetría de la zona, que genera un ambiente muy turbulento, con surgencias de origen batimétrico constantes (Farach-Espinoza *et al.*, 2021, Farach-Espinoza *et al.*, 2022). El posterior incremento en la TSM hacia el Norte del GC puede deberse a lo somero de la zona (Robles-Tmayo *et al.*, 2018). Por otra parte, la concentración de clorofila muestra que la región con mayor productividad es la zona central, caracterizada con las surgencias costeras (Farach-Espinoza *et al.*, 2021), esto explica porque la densidad promedio, abundancia, biomasa y las capturas en esta zona fueron las más altas en Sonora; la zona tiene mayor disponibilidad de alimento (Chávez *et al.*, 2011; Robles-Tamayo *et al.*, 2020), por lo tanto, sus poblaciones prosperan mejor bajo estas condiciones. Destaca también que a pesar de que la zona sur tuvo los valores más bajos de clorofila, la abundancia estimada fue mayor a la de la zona norte pero no así la biomasa. Hay que aclarar que la abundancia es el número de organismos y biomasa el peso de la población. Los organismos más grandes del norte pesan más que los del sur, por lo que no necesariamente más abundancia representa más biomasa.

Muchos estudios muestran la relación que la temperatura y la disponibilidad alimenticia juegan en el crecimiento y sobrevivencia de los moluscos bivalvos (Broom y Mason 1978, Laing 2000, Hawkins *et al.*, 2005., Thébault *et al.*, 2008). La relación tan estrecha entre la temperatura y el crecimiento mostrado en los callos de hacha aquí analizados coincide con lo reportado por Góngora-Gómez *et al.*, (2015) y para otras especies por Seuront *et al.*, (2018). De hecho, se conoce que la temperatura controla el metabolismo y el rendimiento individual que, en última instancia, determina la aptitud de los organismos y la estructura de las poblaciones de moluscos (Seuront *et al.*, 2018). De acuerdo con lo aquí encontrado y a la hipótesis originalmente planteada, se concluye que efectivamente, las poblaciones de “callo de hacha” modifican latitudinalmente sus procesos fisiológicos y por lo tanto sus parámetros poblacionales en respuesta a múltiples factores, incluyendo la temperatura y la disponibilidad alimenticia. Se sugiere en un futuro incrementar el tamaño muestral buscando representatividad de un rango más amplio de tallas de ejemplares, así como considerar la composición de los sedimentos y batimetría para el análisis de la distribución de las poblaciones de organismos bentónicos como los callos de hacha.

9. CONCLUSIONES

La densidad promedio en el litoral sonoreense fue de 0.05 org/m^2 que se encuentra dentro del rango determinado para otras especies de la familia Pinnidae consideradas en riesgo como es el caso de *Pinna nobilis*. El recurso se distribuyó formando parches donde se concentraban las mayores densidades coincidiendo con lo reportado por la literatura para otras especies de la familia Pinnidae.

El mayor valor de densidad de org/m^2 se registró en Guaymas zona que también presentó los valores de concentración de clorofila más altos, por lo que se observa una relación entre la densidad de organismos y la disponibilidad de alimento.

Atrina tuberculosa fue la especie más abundante durante los muestreos y estuvo presente en las tres zonas en las que se dividió la zona de estudio. *Pinna rugosa* se registró en menor proporción y solo en la zona norte. La talla promedio de *Atrina tuberculosa* fue de 225.66 mm de longitud total con una talla mínima de 105 y una máxima de 318 mm. La talla promedio de *Pinna rugosa* fue de 364.14 mm y se registró una talla mínima de 210 y una máxima de 505 mm de longitud total.

Se identificaron 4 cohortes presentes en la estructura de tallas de los muestreos para ambas especies. El modelo de Crecimiento de Von Bertalanfy fue el que mejor el crecimiento para *Atrina tuberculosa*. El índice del funcionamiento del crecimiento mostró que existen diferencias latitudinales en el crecimiento de *Atrina tuberculosa*. Encontrándose un crecimiento mayor en la zona norte del estado, mientras que en la zona centro y sur ocurre un crecimiento similar. Hay que recalcar que la zona centro y sur de nuestro estudio pertenecen a la zonce centro descrita por Robles-Tamayo y colaboradores (2018). El modelo de crecimiento lógistico fue el que mejor describió el crecimiento de *Pinna rugosa*.

Las tasas de mortalidad no mostraron diferencias significativas entre las zonas. La zona con la mayor abundancia y biomasa es la zona centro que resultó también ser la zona con mayor producción registrada en los avisos de arribo durante el periodo de estudio. El análisis de cohortes mostró que la tasa de mortalidad por pesca y de explotación aumentan considerablemente a partir de que los organismos rebasan la talla mínima de captura propuesta por la Carta Nacional Pesquera lo que puede indicar que las medidas de manejo establecidas pueden funcionar para llevar a cabo una actividad sostenible en el tiempo.

La estacionalidad marcada en las tres zonas tanto en la TSM y la clorofila, son coincidentes con lo reportado anteriormente por diversos autores, evidenciando una clara diferencia en ambas variables en los meses cálidos y fríos.

Se concluye efectivamente que las poblaciones de callo de hacha modifican latitudinalmente sus procesos fisiológicos y por lo tanto sus parámetros poblacionales en respuesta factores como temperatura y disponibilidad de alimento.

Se recomienda aumentar el tamaño muestral para una mejor representación de la población y considerar la composición de los sedimentos y batimetría para el análisis de distribución de las poblaciones de organismos bentónicos como los callos de hacha.

10. LITERATURA CITADA

- Aguilar, I.F. (1964). *Contribución al estudio histológico de las gónadas de Atrina maura Sowerby, 1835 (Mollusca: Pinnidae)*. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.
- Ahumada-Sempoal, M., Serrano-Gúzman, S. y Ruiz-García, N. (2002). Abundancia, estructura poblacional y crecimiento de *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae) en una laguna costera tropical del Pacífico mexicano. *Revista Biología Tropical*, 50(3-4): 1091-1100.
- Akaike, H. (1983). Information measures and model selection. *Bulletin of the International Statistical Institute*, 50(1): 277-291.
- Álvarez-Borrego, S. (2012). Phytoplankton biomass and production in the Gulf of California: a review. *Botánica Marina*, 55(1): 119-128.
- Alvarez-Borrego, S. (1979). Water masses of the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 6(1-2): 43-63.
- Angel-Pérez, C., Serrano-Guzmán, S. y Ahumada-Sempoal, M. (2007). Ciclo reproductivo del molusco *Atrina maura* (Pterioidea: Pinnidae) en un sistema lagunar costero, al sur del Pacífico tropical mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 55(3-4): 839-852. doi: 10.15517/rbt.v55i3-4.5960.
- Añon-Herbella, T. (2020). *Estudio esclerocronológico de una población de Pinna nobilis procedente de Portlligat, Cabo de Creus (Girona)*. Tesis de Maestría. Universidad de la Laguna, Girona.
- Aragón-Noriega, E. A. (2013). Modelación del crecimiento individual del callo de hacha *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae) a partir de la inferencia multi modelo. *Revista de Biología Tropical*, 61(3): 1167-1174.
- Arias-Aréchiga, J. (1998). *Regionalización del Golfo de California: propuesta a partir de concentración de pigmentos fotosintéticos*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur.
- Arizpe, O. (1995). Mortality, growth and somatic secondary production of the bivalve, *Pinna rugosa* (sowerby), in suspended and bottom culture in Bahía de La Paz, Mexico. *Aquaculture Research*, 26(11): 843-853.
- Baqueiro-Cárdenas, E. y Aldana-Aranda, D. (2003). Patrones en la biología poblacional de moluscos de importancia comercial en México. *Revista Biología Tropical*, 51(4): 97-107.
- Broom M.J. Mason, J. (1978). Growth and spawning in pectinid *Chlamys opercularis* in relation to temperature and phytoplankton concentration. *Marine Biology*, 47: 277-285.
- Brusca, R., & Hendrickx, M. E. (2010). *The Gulf of California Biodiversity and Conservation*. 1^a ed. University of Arizona Press, Arizona.
- Bundy A y D Pauly. 2001. Selective harvesting by small-scale fisheries: ecosystem analysis of San Miguel Bay, Philippines. *Fisheries Research*, 53: 263-281.
- Castillo-Rodríguez, ZG. (2014). Biodiversidad de moluscos marinos en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 419-430.
- Castro-Mondragón, H., Flores-Garza, R., Valdez-González, A., Flores-Rodríguez, P., García-Ibáñez, S., & Rosas-Acevedo, J. L. (2016). Diversidad, especies de mayor importancia y composición de tallas de los moluscos en la pesca ribereña en Acapulco, Guerrero, México. *Acta Universitaria*, 26(6): 24-34. doi: 10.15174/au.2016.1025.

- Instituto Mexicano de Competitividad, Comunidad y Biodiversidad, Environmental Defense Fund de México, Fundación Idea, Sociedad de Historia Natural Niparajá (2013). La pesca ilegal e irregular en México: una barrera a la competitividad. Disponible en: <https://cobi.org.mx/la-pesca-ilegal-e-irregular-en-mexico-una-barrera-a-la-competitividad/> [consulta: 5 de febrero 2022].
- Cendejas, J., Carvallo, M. y Juárez, L. (1985). Experimental spat collection and early growth of the pen shell, *Pinna rugosa* (Pelecypoda, Pinnidae) from the Gulf of California. *Aquaculture*, 48(3-4): 331-336.
- Centoducati, G., Tarsitano, E., Bottalico, A., Marvulli, M., Lai, O. Y Crescenzo, G. (2007). Monitoring of the endangered *Pinna nobilis* Linné, 1758 in the Mar Grande of Taranto (Ionian Sea, Italy). *Environmental Monitoring and Assessment*, 131: 339-347.
- Cerros-Cornelio, J.C., Flores-Garza, R., Landa-Jaime, V., Garcia-Ibáñez, S., Rosas-Guerrero, V., Flores-Rodríguez, P. y Valdez-Gonzales, A. (2021). Composición de especies e ingreso económico por la pesca ribereña de moluscos en la Costa Grande de Guerrero México. *Revista Biociencias*, 8. <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e1054>.
- Cervantes-Escobar, A., Ruiz-Luna, A., & Berlanga-Robles, C. A. (2008). Evaluación de la condición de los sistemas de manglar en el noroeste de México.
- Chavez, F.P., Messié, M. y Pennigton, J.T. (2011). Marine primary production in relation to climate variability and change. *Annual Review of Marine Science*, 3: 227-260. Doi: 10.1146/annurev.marine.010908.163917.
- Cisneros-Mata, M.A., Botsford, W. y Quinn, J.M. (1997). Projecting viability of *Totoaba macdonaldi*, a population with unknown age-dependent variability. *Ecological Applications*, 7(3): 968-980.
- Cisneros-Montemayor A.M., Cisneros-Mata M.A., Harper S, Pauly D. (2013). Extent and implications of IUU catch in Mexico's marine fisheries. *Marine Policy*, 39: 283-288. doi: 10.1016/j.marpol.2012.12.003.
- Coan, E.V., Valentich-Scott, P. (2012). Bivalve seashells of tropical west America. Marine bivalve mollusks from Baja California to Peru, *Vie*, 318(1): 99-103.
- Diario Oficial de la Federación (2018). Ley General De Pesca Y Acuicultura Sustentables. Poder Ejecutivo—Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca (SAGARPA). *Diario Oficial de la Federación*, 19: 1-69.
- Diario Oficial de la Nación (DOF). 2018. Carta Nacional Pesquera. Insitituo Nacional de Pesca.
- DOF. (2012). Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. México. 24 de agosto de 2012.
- DOF. (2017). Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. México. 24 de agosto de 2017.
- Echazabal-Salazar, O. (2018). *Edad, Crecimiento Y Mortalidad De Spondylus crassisquama, Lamarck, 1819, En La Laguna Ojo De Liebre, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría.* Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur.
- Emilsson, I. y Alatorre, M. (1997). Evidencias de un Remolino Ciclónico de Mesoescala en la parte Sur del Golfo de California. *Unión Geofísica Mexicana*, 3: 113-139.

- Escalante, F., Valdez-Holguín, J.E., Álvares-Borrego, S. y Lara-Lara, J.R. (2013). Temporal and spatial variation of sea surface temperature, chlorophyll a, and primary productivity in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 39(2): 203:215. doi: 10.7773/cm.v39i2.2233.
- Espinoza-Tenorio, A., Espejel, I., Wolff, M. (2011a). Capacity building to achieve sustainable fisheries management in Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 54: 731-741.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. doi: 10.4060/cc0463es.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2014). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma. ISBN: 978-92-5-308275-9.
- Farach Espinoza, E. B., López Martínez, J., García Morales, R., Nevárez Martínez, M. O., Lluch Cota, D. B., Ortega García, S. (2021). Temporal variability of oceanic mesoscale events in the Gulf of California. *Remote Sensing*. 13(9):1-25. doi: 10.3390/rs13091774.
- Farach-Espinoza, E. B., López-Martínez, J., García-Morales, R., Nevárez-Martínez, M. O., Ortega-García, S., & Lluch-Cota, D. B. (2022). Coupling oceanic mesoscale events with catches of the Pacific sardine (*Sardinops sagax*) in the Gulf of California. *Progress in Oceanography*, 206, 102858. doi: 10.1016/j.pocean.2022.102858
- Fernández, J.I., Álvarez-Torres, P., Arreguín-Sánchez, F., López-Lemus, L.G., Ponce, G., Díaz de León-Corral, A., Arcos-Huitrón, E. y Del Monte-Luna, P. (2011). Coastal Fisheries of Mexico. En: *Coastal Fisheries of Latin America and the Caribbean*. FAO, Roma. pp. 231-284.
- Filliponi, F., Valentini, E. y Taramelli A. (2017). Sea surface temperatura change analysis, an essential climate variable for ecosystem services provisioning. *2017 9th Int Work Anal Multitemporal Remote Sens Images MultiTemp*. Doi: 10.1109/Multi-Temp. 2017.8035255.
- García-Cubas, A. y Reguero, M. (1995). Moluscos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México: Sistemática y Ecología. *Hidrobiológica*, 5(1-2): 1-24.
- García-March, J., García-Carrascosa, A., Cantero, A. y Wang, Y. (2007). Population structure, mortality and growth of *Pinna nobilis* Linnaeus, 1758 (Mollusca, Bivalvia) at different depths in Moraira bay (Alicante, Western Mediterranean). *Marine Biology*, 150(5): 861-871.
- García-March, J., García-Carrascosa, A.M. Y Peña, A.L. (2002). In situ measurement of *Pinna nobilis* shells for age and growth studies: A new device. *Marine Ecology*, 23(3): 207-217.
- García-March, J.F. (2005). Aportaciones al conocimiento de la biología de *Pinna Nobilis* Linneo, 1758 (Mollusca bivalvia) en el litoral mediterráneo ibérico. *Tesis de Doctorado*. Universidad de Valencia, Valencia.
- García-Morales, R., López-Martínez, J., Valdez-Holguín, J.E., Herrera-Cervantes, H., Espinosa-Chaurand, L.D. (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: 1-27. doi:10.3390/rs9090925.
- Garrison, J., Henk, B. y Creel, R. (2007). Neoichnology of the micro-tidal Gulf coast of Texas: Implications for paleoenvironmental and paleoecological interpretations of ancient micro-tidal

- classic shoreline systems. *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*. 57: 319-330.
- Gaspar-Soria, R., Pascual, S. y Fernández-Cartes, V. (2002). Reproductive cycle of the cholga paleta *Atrina seminuda* Lamarck, 1819 (Bivalvia: Pinnidae) from northern Patagonia, Argentina. *Journal of Shellfish Research*, 21(2): 479-488.
- Gómez-Valdez, M. (2019). *Características de la biología reproductiva de dos especies de callos de hacha de importancia comercial en Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur: Atrina maura y Pinna rugosa*. Tesis de Doctorado. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, Baja California Sur.
- Góngora-Gómez, A.M., García-Ulloa, M., Hernández-Sepúlveda, J.A., Domínguez-Orozco, A.L. y Sainz-Hernández, J.C. (2016). Crecimiento y supervivencia del callo de hacha *Atrina maura* (Bivalvia: Pinnidae) cultivado en la costa sureste del Golfo de California, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(3): 665-673. doi: 10.4067/S0718-19572016000300017.
- Góngora-Gómez, A. M., Hernández- Sepúlveda, J. A., Domínguez- Orozco, A. L., Villanueva-Fonseca, B. P. y García-Ulloa, M. (2015). Crecimiento, supervivencia y condición del callo de hacha *Atrina maura* (Sowerby, 1835) (Bivalvia: Pinnidae) en el estero La Piedra, Sinaloa, México. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 19(3): 73–86.
- Gosling, E. (2003). *Bivalve molluscs biology, ecology and culture*. 1^a ed. Blackwell Publishing Ltd, Hoboken, New Jersey, United States of America. ISBN:9780852382349.
- Grave, B. H. (1909). Anatomy and physiology of the wing-shell, *Atrina rigida*. *Bull Bureau Fish*, 29: 409–439.
- Gulland, J.A. (1971). Science and fishery management. *ICES Journal of Marine Sciences*, 33(3): 471-477.
- Gulland, J.A. 1983. Fish stock assessment. FAO, Roma.
- Hanafí, M., Arshad, A., Sidik, J. y Ghaffard, M. (2008). Morphometric analysis as an application tool to differentiate three local pen shells species. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 31(2): 287-298.
- Hawkins L.E., Hutchinson S., Laing I. (2005) The effects of temperature and food ration on metabolite concentrations in newly settled king scallop (*Pecten maximus*) spat. *Aquaculture* 250: 841–848.
- Hendriks, I., Cabanellas-Reboredo, M., Bouma, T., Deudero, S. y Duarte, C. (2011). Seagrass meadows modify drag forces on the shell of the fan mussel *Pinna nobilis*. *Estuaries and Coasts*, 34(1): 60-67.
- Herrera-Cervantes, H., Lluch-Cota, D.B., Lluch-Cota, S.E. y Gutiérrez-de-Velasco, S.G. (2007). The ENSO signature in sea-surface temperature in the Gulf of California. *Journal of Marine Research*, 65(5): 589-605.
- Hoffmann, A., Bradbury, A. y Goodwin, C.L. (2000). Modelling geoduck, *Panopea abrupta* (Conrad 1849) population dynamics growth. *Journal of Shellfish Research*, 19: 57-62.
- Holguín, H. (1988). *Moluscos de la franja Costera del estado de Oaxaca*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur.
- INAPESCA. (2010). Programa Nacional de Investigación Científica y Tecnológica en Pesca y Acuicultura. Instituto Nacional de Pesca. México. 70p.
- Joubert, C., Linard, C. Le Moullac G., Soyez C., Saulnier, D., Teaniniuraitemoana, V., Long Ky, C. y Gueguen, Y. (2014). Temperature and food influence shell growth and mantle gene

- expression of shell matrix proteins in the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *Plos One*, 9(8): e103944. doi: 10.1371/journal.pone.0103944.
- Katsanevakis, S. (2006). Modelling fish growth: Model selection, multi-model inference and model selection uncertainty. *Fisheries Research*, 81(2-3): 229-235.
- Katsanevakis, S. (2007). Density surface modelling with line transect sampling as a tool for abundance estimation of marine benthic species: The *Pinna nobilis* example in a marine lake. *Marine Biology*, 152(1): 77-85.
- Katsanevakis, S. y Maravelias, C.D. (2008). Modelling fish growth: Multi-model inference as a better alternative to a priori using von Bertalanffy equation. *Fish and Fisheries*, 9(2): 178-187.
- Keen, M. 1971. *Sea shells of Tropical West America*. 1^a ed. Stanford University, Stanford.
- Laing, I. (2000) Effect of temperature and ration on growth and condition of king scallop (*Pecten maximus*) spat. *Aquaculture*, 183: 325–334.
- Lavin, M., Beier, E. y Badan, A. (1997). Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. *Unión Geofísica Mexicana*, 3: 141-171.
- Lavín, M. y Marinone, S. (2003). An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. En: *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*. Springer, Amsterdam. pp. 173-204.
- Lemer, S., 2016. The family Pinnidae (Bivalvia) in the Philippine archipelago: observations on its distribution and phylogeography. *The Nautilus*, 130:137–145.
- Leyva-Valencia, I., Maeda-Martinez, N., Sicard, M., Roldan, L. y Robles-Mungaray, M. (2001). Halotolerance, upper thermotolerance, and optimum temperature for growth of the penshell *Atrina maura* (Sowerby, 1835) (Bivalvia: Pinnidae). *Journal of Shellfish Research*, 20(1): 49-54.
- Lluch-Cota, S. (2004). Gulf of California. *Marine Ecosystems of the North Pacific*, 1: 1-7.
- López-Martínez, J., Rábago-Quiroz, C., Nevárez-Martínez, M.O., García-Juarez, A.R., Rivera-Parra, G. y Chávez-Villalba, J. (2005). Growth, reproduction, and size at first maturity of blue shrimp, *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874) along the east coast of the Gulf of California, Mexico. *Fisheries Research*, 71(1): 93-102.
- Lucas, A. (1965). *Recherche sur la sexualité des mollusques bivalves*. Tesis de Doctorado. Universidad de Rennes, Rennes.
- Maeda-Martinez, A. N. (2008). Estado actual del cultivo de bivalvos en México. En: *Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina*. Puerto Montt, Llanquihue, pp. 91-100.
- Makarov, V. y Jiménez, I. (2003). Barotropic background currents in the Gulf of California Corrientes básicas barotrópicas en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 29: 141-153.
- Marinone, S. (2003). A three-dimensional model of the mean and seasonal circulation of the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*, 108: 21-27.
- Mathew S. (2003). Small-scale fisheries perspectives on an ecosystem-based approach to fisheries management. En: *Responsible fisheries in the Marine Ecosystem*. CABI, London, pp: 47-63.
- Moreno, C., Torre, J., Bourillón, L., Durazo, M., Weaver, A. H., Barraza R. y Castro R. (2005). Estudio y evaluación de la pesquería de callo de hacha (*Atrina tuberculosa*) en la Región de Bahía de Kino, Sonora y Recomendaciones para su Manejo. Disponible en:

- <https://cobi.org.mx/estudio-y-evaluacion-de-la-pesqueria-de-callos-de-hacha-atrina-tuberculosa-en-la-region-de-bahia-de-kino-sonora-y-recomendaciones-para-su-manejo/>
- Noguera de Gómez, O. y Gómez-Aguirre, S. (1972). Ciclo sexual de *Pinna rugosa* Sowerby 1835 (Lamellibranchia: Pinnidae) en la Paz, Baja California Sur, México. En: *Memoria IV Congreso Nacional de Oceanografía*. La Paz, Baja California.
- Pauly, D. y Munro, L. (1984). Once more on growth comparison in fish and invertebrates. *Fishbyte*, 2(1): 1-21.
- Páez-Osuna, F., Sánchez-Cabeza, J. A., Ruiz-Fernández, A. C., Alonso-Rodríguez, R., Piñón-Gimate, A., Cardoso-Mohedano, J. G., Flores-Verdugo, F. J., Carballo, J. L., Cisneros-Mata, M. A., & Álvarez-Borrego, S. (2016). Environmental status of the Gulf of California: A review of responses to climate change and climate variability. *Earth Sciences Reviews*, 162, 253–268.
- Piccolo, J. (2012). Gasping fish and panting squids: oxygen, temperature and the growth of water breathing animals. *Fish and Fisheries*, 13(3): 359-359.
- Ponder, W. F., Lindberg, D. R., & Ponder, J. M. (2019). *Biology and evolution of the mollusca*. 1^a ed. CRC Press, Boca Ratón, Florida.
- Rangel-González, M. (2011). *Dinámica poblacional del cucharón Atrina seminuda (Bivalvia: Pinnidae) y evaluación de su pesquería en el nororiente de Venezuela*. Tesis de Maestría. Universidad de Oriente, Instituto Oceanográfico, Cumaná.
- Rangel, M. S., Mendoza, J., Freitas, L., Tagliafico, A., Silva, J., y Garcia, N. (2016). Biometric and reproductive aspects of the pen shell *Atrina seminuda* (Bivalvia: Pinnidae) in northeastern Venezuela. *Molluscan Research*, 37(2), 88–97.
- Reyes-Bonilla, H., López-Fuerte, F., Salomón-Aguilar, C.A. (2018). *Caracterización de la pesca ribereña en el Golfo de California*. Disponible en: <https://www.pressreader.com/mexico/el-sudcaliforniano/20180708/281582356388836>.
- Richardson, C., Kennedy, H., Duarte, C., Kennedy, D. y Proud, S. (1999^a). Age and growth of the fan mussel *Pinna nobilis* from south-east Spanish Mediterranean seagrass (*Posidonia* spp.) beds. *Marine Biology*, 133(2): 205-212.
- Richardson, C.A., Kennedy, H., Duarte, C.M., Kennedy, D.P. Y Proud, S.V. (1999^b). Age and growth of the fan mussel *Pinna nobilis* from south-east Spanish Mediterranean seagrass (*Posidonia* spp.) beds. *Marine Biology*, 133: 205-212.
- Richardson, C.A., Peharda, M., Kennedy, H. y Onofri, V. (2004). Age, growth rate and season of recruitment of *Pinna nobilis* (L) in the Croatian Adriatic determined from Mg:Ca and Sr:Ca shell profiles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 299(1): 1-16.
- Ricker, W. E. (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish population. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 191:1-382.
- Rios-Jara, E., Navarro-Caravantes, C.M., Sarmiento, N., Galván-Villa, C.M. y López-Uriarte, E. (2008). Bivalvos y gasterópodos (Mollusca) de importancia comercial y potencial de las costas de Chiapas y Oaxaca, México. *Revista Ciencia y Mar*, 12(35): 3-20.
- Robles-Tamayo, C.M., García-Morales, R., Valdez-Holguín, J.E., Figueroa-Preciado, G., Herrera-Cervantes, H., López-Martínez, J. y Enríquez-Ocaña, L. (2020). Chlorophyll a concentration distribution on the mainland coast of the Gulf of California, Mexico. *Remote Sensing*, 12(8): 1335. doi: 10.3390/rs12081335.
- Robles-Tamayo, C.M., Valdez-Holguín, J.E., García-Morales, R., Figueroa-Preciado, G., Herrera-Cervantes, H., López-Martínez, J. y Enríquez-Ocaña, L.F. (2018). Sea surface temperature (SST)

- variability of the eastern coastal zone of the Gulf of California. *Remote Sensing*, 10(9): 1434. doi: 10.3390/rs10091434.
- Roden, G.I. (1958). Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. *Pacific Science*, 7: 21-45.
- Rodríguez Jaramillo, M. (2004). *Efecto de la temperatura sobre la gametogénesis en el callo de hacha Atrina maura (Sowerby, 1835) (Bivalvia: pinnidae)*. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Baja California Sur.
- Rodríguez-Jaramillo, C., Maeda-Martínez, A., Valdez, M., Reynoso-Granados, T., Monsalvo-Spencer, P., Prado-Ancona, D., Cardoza-Velasco, F., Robles-Mungaray, M. y Sicard, M. (2001). The effect of hellatura on the reproductive maturity of the penshell *Atrina maura* (Sowerby, 1835) (Bivalvia: Pinnidae). *Journal of Shellfish Research*, 20: 39-47.
- Rouanet, E., Trigos, S. y Vicente, N. (2015). From youth to death of old age: the 50-year story of a *Pinna nobilis* fan mussel population at Port-Cros Island (Port-Cros National Park, Provence, Mediterranean Sea). *Sci Reports Port-Cros Natl Park*, 29: 209-222.
- Salgado Giraldo, M. (2020.). *Revisión bibliográfica sobre los componentes químicos y actividades biológicas de especies marinas pertenecientes a la familia pinnidae (mollusca)*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Córdoba, Departamento de Química, Montevideo.
- Salomé-Rangel, M., Mendoza, J., Freites, L., Tagliafico, A., Silva, J. y Garcia, N. (2017). Biometric and reproductive aspects of the pen hell *Atrina seminuda* (Bivalvia: Pinnidae) in northeastern Venezuela. *Molluscan Research*, 37(2): 88-97.
- Seuront L., P T Ng, T., y Lathlean, J. (2018). A review of the thermal biology and ecology of molluscs, and of the use of infrared thermography in molluscan research. *Journal of Molluscan Studies*, 84(3): 203–232. doi: 10.1093/mollus/eyy023.
- Santamaría del Ángel, E., Álvarez-Borrego, S. y Muller-Karger, F. (1994). Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 99: 7411-7421.
- Santiago, C. (1981). *Estudio gonadal de Pinna rugosa en la Bahía de la Paz, B.C.S.* Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento Académico de Ciencias Marinas y Costeras, Baja California Sur.
- Schnute, J. (1981). A versatile growth model with statistically stable parameters. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(9): 1128-1140.
- Schnute, J. y Richards, L. (1990). A unified approach to the analysis of fish growth, maturity, and survivorship data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47(1): 24-40.
- SIAP, SAGARPA. (2017). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Producción de pesca y acuicultura. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pesquera> [consulta: 17 de abril 2021].
- Skoglund, C. 1(991). *Additions to the Panamie Province Bivalvia (Mollusca) Literature 1971 to 1990*. 2^{da}ed. San Diego Shell Club, California.
- Soria, E. (1989). *Aspectos poblacionales y datos preliminares para la evaluación del callo de hacha Atrina maura (Sowerby, 1835) en la desembocadura del río Balsas de Lázaro Cárdenas, Michoacán, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán.

- Sparks, J. (1999). *Chile y la comunidad del Pacífico*. 2^{da} ed. Editorial Universitaria, Santiago de Chile.
- Soto Mardones, L., Marioni, S. y Pares Sierra, A., (1999). Variabilidad de la temperatura superficial del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 25(1): 1-30.
- Sturman, N., 2015. Observations on pearls reportedly from the pinnidae family (pen pearls). *Gems and Gemology*, 50(3): 202-215. doi: 10.5741/GEMS.50.3.202.
- Thébault, J., Thouzeau, G., Chauvaud, L., Cantillanez, M., Avendano, M. (2008) Growth of *Argopecten purpuratus* (Mollusca: Bivalvia) on a natural bank in Northern Chile: sclerochronological record and environmental controls. *Aquatic Living Resource*, 21: 45–55.
- Yongqiang, F. y Xiang, Q. (1988). Studies on ultrastructure of oocyte in process of maturing in pen shell *Atrina pectinata*. *Acta Oceanologica Sinica*, 3: 459-472.
- Zamudio, L., Hogan, P. y Metzger, E. (2008). Summer generation of the Southern Gulf of California eddy train. *Journal of Geophysical Research*, 113. doi: 10.1029/2007JC004467.
- Zavodnik, D., Hrs-Brenko, M. y Legac, M. (1991). Synopsis on the fan shell *Pinna nobilis* in the eastern Adriatic Sea. En: *Les espèces marines à protéger en Méditerranée*. Marsella, Francia.