



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

Aspectos biológicos y ecológicos de la almeja negra  
*Chione fluctifraga* (Sowerby, 1853)

TESIS

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

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

Presenta

**Jesús Ariaana Castillo Durán**

La Paz, Baja California Sur, Agosto de 2013

## ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12 horas del día 12 del Mes de Agosto del 2013, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Aspectos biológicos y ecológicos de la almeja negra *Chione fluctifraga* (Sowerby, 1853)"

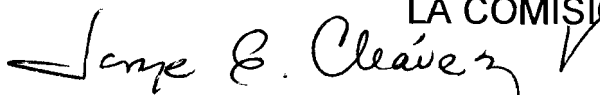
Presentada por el alumno:

**Jesús Ariaana Castillo Durán**

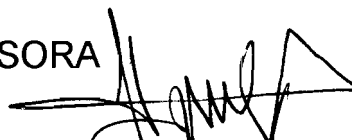
Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN Biología Marina

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

### LA COMISION REVISORA



DR. JORGE EDUARDO CHÁVEZ VILLALBA  
CO-DIRECTOR DE TESIS



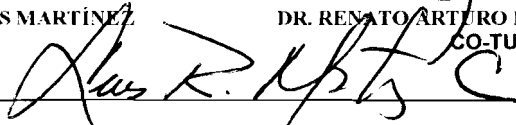
DR. JOSÉ ALFREDO ARREOLA LIZÁRRAGA  
CO-DIRECTOR DE TESIS



DR. CARLOS JUVENTINO CÁCERES MARTÍNEZ  
CO-TUTOR



DR. RENATO ARTURO MENDOZA SALGADO  
CO-TUTOR



DR. LUIS RAFAEL MARTÍNEZ CÓRDOVA  
CO-TUTOR



DRA. ELISA SERRIERE ZARAGOZA,  
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

## CONFORMACIÓN DE COMITÉS

### COMITÉ TUTORIAL

Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba	Co-Director	CIBNOR
Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga	Co-Director	CIBNOR
Dr. Carlos Juventino Cáceres Martínez	Co-Tutor	UABCS
Dr. Renato Arturo Mendoza Salgado	Co-Tutor	CIBNOR
Dr. Luis Rafael Martínez Córdova	Co-Tutor	UNISON

### COMITÉ REVISOR DE TESIS

Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba	Co-Director	CIBNOR
Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga	Co-Director	CIBNOR
Dr. Carlos Juventino Cáceres Martínez	Co-Tutor	UABCS
Dr. Renato Arturo Mendoza Salgado	Co-Tutor	CIBNOR
Dr. Luis Rafael Martínez Córdova	Co-Tutor	UNISON

### JURADO DE EXAMEN DE GRADO

Dr. Jorge Eduardo Chávez Villalba	Co-Director	CIBNOR
Dr. José Alfredo Arreola Lizárraga	Co-Director	CIBNOR
Dr. Carlos Juventino Cáceres Martínez	Co-Tutor	UABCS
Dr. Renato Arturo Mendoza Salgado	Co-Tutor	CIBNOR
Dr. Luis Rafael Martínez Córdova	Co-Tutor	UNISON
Dr. Alberto Eugenio Aragón Noriega	Suplente	CIBNOR
Dr. Jorge Hernández López	Suplente	CIBNOR

## RESUMEN

El conocimiento del ciclo reproductivo y la ecología de poblaciones en almejas son claves para orientar decisiones de manejo pesquero y acuícola. Este estudio, tuvo como objetivo conocer el ciclo gametogénico, el índice de condición y la dinámica poblacional de la almeja negra *Chione fluctifraga*, así como los factores ambientales y condiciones de hábitat en Bahía San Jorge, Sonora, un sistema macromareal de región árida subtropical. El ciclo gametogénico fue estudiado mediante técnicas histológicas convencionales y distribuciones de talla de ovocitos (análisis modal), además se determinó el índice de condición de las almejas durante el periodo marzo 2009 – febrero 2010. La ecología de la almeja negra sujeta a explotación pesquera fue estudiada realizando muestreos de agua, sedimentos y almejas en dos sitios explotados y en uno no explotado en un periodo representativo de cada estación del año. La reproducción estuvo regida esencialmente por la temperatura del agua, la gametogénesis ocurrió cuando la temperatura fue  $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (periodo marzo - octubre) y el descenso de temperatura marcó su final, así como el inicio de un periodo de reposo sexual, donde aparentemente ocurrió almacenamiento de nutrientes. La ausencia de organismos hermafroditas indicó que la especie es gonocórica con predominancia de machos. La escala reproductiva observada para *C. fluctifraga* fue: inicio de gametogénesis  $< 12\text{ }\mu\text{m}$ , crecimiento  $12.1\text{ a }30\text{ }\mu\text{m}$ , madurez  $30.1\text{ a }45\text{ }\mu\text{m}$  y reabsorción  $> 45\text{ }\mu\text{m}$ . El comportamiento anual del índice de condición de la almeja está asociado con la reproducción y fue mayor en primavera, verano y otoño, y menor en invierno, lo cual se atribuye a la variabilidad anual de la temperatura del agua ( $10\text{ - }33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Se aportó evidencia de que Bahía San Jorge proporciona un hábitat propicio para la población de almeja negra por sus extensas planicies intermareales con sedimentos de arena mediana y fina. Las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua ( $> 6\text{ mg L}^{-1}$ ) todo el año aunado al bajo contenido de materia orgánica en sedimentos ( $< 1\%$ ), asegura el suministro de oxígeno requerido por la población. El reclutamiento de individuos jóvenes, persistió durante todo el año, pero con un evento mayor en otoño, asociado a un incremento en el estado trófico del ecosistema. La comparación entre un sitio no explotado y los sitios explotados, permitió observar los efectos de la pesca: disminución de  $\approx 50\%$  de almejas de talla comercial ( $\geq 35\text{ mm}$ ) agotamiento de almejas  $> 50\text{ mm}$  y disminución de la densidad de  $\approx 21\text{ a } \leq 10\text{ ind m}^{-2}$ . Considerando que la tasa de reclutamiento de individuos jóvenes se mantuvo, se deduce que la abundancia de almejas con tallas comerciales podría recuperarse entre 2 y 3 años en los sitios explotados actualmente. Se recomienda realizar investigación acerca de la descripción del desarrollo larvario y producción de semilla en laboratorio. La aplicación del conocimiento generado en esta tesis puede contribuir a la elaboración de un plan de manejo pesquero y acuícola de la almeja negra en México.

Palabras clave: *Chione fluctifraga*, reproducción, densidad, estructura de tallas.

## ABSTRACT

Knowledge about the reproductive cycle and the ecology of clam populations are key factors to orientate decisions on aquatic and fishing administration. The objective of the present study was to know; the gametogenic cycle, condition index, population dynamic of the black clam *Chione fluctifraga*, as well as the environmental factors and habitat conditions in Bahía San Jorge, a macrotidal system of the subtropical arid region. The gametogenic cycle was studied using standard histological techniques, oocyte cohort analysis, and a condition index was determined from March 2009 through February 2010. The ecology of a clam population under fishing management was studied taking samples of water, sediments, and animals in two exploited and one unexploited sites in a representative period of each season of the year. Reproduction was controlled mainly by water temperature and gametogenesis occurred when this was  $> 20$  °C (March – October) and finished when temperature decreased producing accumulation of nutrients. No hermaphrodite clams indicated that the species is gonochorist with male predominance. The reproductive classification for *C. fluctifraga* was; beginning of gametogenesis  $< 12$   $\mu\text{m}$ , growth 12.1 a 30  $\mu\text{m}$ , maturity 30.1 a 45  $\mu\text{m}$ , and reabsorption  $> 45$   $\mu\text{m}$ . Values of condition index were associated to reproduction being higher in spring, summer and autumn, and lower in winter, all this apparently regulated by water variability (10 – 33 °C). There was evidence that Bahía San Jorge provides favorable habitat for the clams given extensive tidal flats composed of medium and fine sand sediments. Dissolved oxygen concentrations during the year ( $> 6$  mg L<sup>-1</sup>) together with low content of organic material in sediments ( $< 1\%$ ), guarantees the oxygen supply required for the population. Recruitment of young clams occurred during the year but with a main event in autumn associated to an increase of the trophic state of the bay. Comparisons between the exploited sites with the unexploited site permitted to observe fishing effects: decrease of  $\approx 50\%$  of commercial sized clams ( $\geq 35$  mm), depletion of clams  $> 50$  mm, and density reduction from  $\approx 21$  to  $\leq 10$  ind m<sup>-2</sup>. Considering that recruitment of young clams was almost constant, it is possible to deduce that in the exploited sites abundance of commercial sized clams could be recovered between 2-3 years. It is recommended to investigate about larval development and spat production in this species. Results of this study may contribute to elaborate fishing and aquatic management programs for the black clam in Mexico.

Keywords: *Chione fluctifraga*, reproduction, density, size structure.

## DEDICATORIA

### ***A Dios***

*Por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

### ***A mis hijos***

*Camila y Jesús Ramón, por ser el regalo más grande que me ha dado Dios, por ser mi fuente de inspiración y por darme la fortaleza para seguir adelante ante cualquier adversidad. Especial dedicatoria a ti hija, por todo el tiempo que tuve que alejarme, quiero que sepas que en mi vida no hubo nada más difícil que el tenerte que dejar para cumplir el objetivo de realizar esta tesis.*

### ***A mi esposo***

*Ramón Ramírez, por ser el amor de mi vida, por estar conmigo en aquellos momentos en que el estudio y el trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo. Gracias por apoyarme una vez más en este extenuante camino. Eres y serás parte fundamental de todo lo logrado. Te amo.*

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste SC, por brindarme la oportunidad de formar parte del programa de estudios de doctorado. En especial a la Dirección de Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado durante mi permanencia como estudiante en la institución.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada (número de registro 188338) para la realización de este posgrado.

Al Instituto de Acuicultura del Estado de Sonora, particularmente al Centro de Reproducción de especies Marinas por el apoyo brindado para realizar parte de este trabajo de tesis.

A la Cooperativa Bahía San Jorge por las facilidades prestadas para los muestreos y los organismos donados durante todo el periodo de estudio.

A los proyectos CIBNOR 3.1 y 931-1 que financiaron todo el trabajo que se llevo a cabo para la elaboración de esta tesis.

Al comité tutorial, co-director Dr. Jorge Chávez Villalba por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis, la cual ha sido un aporte invaluable. Debo destacar por encima de todo, su disponibilidad. Al Dr. Carlos Cáceres Martínez por su valiosa colaboración, por su apoyo en la realización de este trabajo, por haberme atendido durante la estancia que realicé en la UABCS, por su comprensión y por su valiosa amistad. Al Dr. Luis Rafael Martínez Córdova por aceptar ser parte de este proyecto, por su confianza, su tiempo y por aportar información fundamental para la realización de esta tesis. Al Dr. Renato Mendoza Salgado por sus aportaciones siempre tan oportunas, por su apoyo en las gestiones de posgrado, por su paciencia y sus consejos. En especial quiero agradecer a mi co-director Dr. José Alfredo Arreola por confiar en mí, por haber guiado el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo, por su paciencia, su tiempo, su apoyo, comprensión, así como por la sabiduría que me transmitió en el desarrollo de esta tesis. La participación de cada uno de ustedes enriqueció el trabajo realizado.

Al personal del CIBNOR, unidad Guaymas que estuvo involucrado en las actividades de campo, Andrés Hernández Ibarra, David Urias Laborín, Gustavo Padilla Arredondo y Gabriel Rivera Velásquez. En el análisis de laboratorio, María del Refugio López Tapia, Claudia Esmeralda León López y Josué Valenzuela Díaz. En el análisis de datos, Dr. Luis Brito Castillo. En el trabajo de edición, Sara Burrola Sánchez y Edgar Alcántara Razo. En trámites, Leticia Peraza y Alma Moreno. En limpieza, Martina, además de consentirnos con café y galletas en los seminarios. Al personal que de alguna manera u otra estuvo involucrado en las diferentes etapas de esta tesis: Eloísa, Rigo, Jorge, Juan Luis, Manuel, Francisco, Felipe y Don Fausto.

Agradecimiento muy especial a Martha Alicia Acevedo López por el apoyo incondicional en cada ocasión que fue necesario estar en La Paz, B.C.S. Desde mi llegada a esa ciudad, me diste el apoyo, la confianza, me cuidaste a mi hija, estuviste siempre pendiente de mí, me diste ánimo cuando me veías desalentada y sobre todo por el surgimiento de una sólida amistad. Espero verte pronto en Guaymas.

A mi madre, Rafaela Durán Elizalde, por los valores y principios que me inculcaste, por lo que me diste y lo que no me pudiste dar. Gracias a todo lo anterior, me ayudaste a forjar mi carácter, mi empeño, mi perseverancia y el coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos: Karla, Carlos, Johan y Josué, por estar siempre presentes, por la confianza que siempre me han tenido, por el apoyo y la amistad, pero sobre todo por ser mis hermanos, los llevo conmigo cada momento.

A mis sobrinos: Hanssel, Fernanda, Laurita, María, Valentina, Eunice José Carlos, José Regino, Ramoncito, Said, Caleb, Sebastián y Paquito. Por sus ocurrencias que me hicieron reír. Siempre trataré de ser un ejemplo para ustedes.

A mi comadre, Ivonne Castro por apoyarme con mi hija Camila cada que necesite salir de la ciudad a realizar las actividades de esta tesis. Mil gracias comadre.

A mi madre de cariño Pilar García García, a quien quiero como a una madre, por aceptarme dentro de la familia, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesta a escucharme y ayudarme en cualquier momento. A mis hermanos Fernanda y Juan por considerarme siempre su hermana mayor.

A mi suegra, María Elena por ser parte importante en mi vida y sobre todo por ayudarme con mis hijos y mi casa para dedicarme a la culminación de esta tesis.

A mi comadre Zoraya, por la disponibilidad que siempre has tenido cuando te he necesitado. Aparte de ser mi comadre y mi cuñada, eres una hermana para mí.

A mis amigas Fabiola Galavíz, Fabiola Armenta y comadre Ivonne Castro por esas reuniones que me ayudaron a eliminar el estrés.

En definitiva a todas aquellas personas con la que conviví breves momentos pero que me dejaron algo de ustedes, gracias por las risas, discusiones académicas y no académicas, a los que estuvieron cerca y a los que están lejos. Mónica, Sacnite, Maribel, Jazmín, Viridiana, Lluvia, Reyna, Luz María, Fabiola, Alejandro, Esteban, Gustavo, Tello y Jesús.

Finalmente a todas las personas que se cruzaron en este camino y que me dieron palabras de aliento y apoyo.



## CONTENIDO

Resumen.....	i
Abstract.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Contenido.....	vi
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	5
3. JUSTIFICACIÓN.....	9
4. OBJETIVOS.....	10
4.1. General.....	10
4.2. Particulares.....	10
5. HIPÓTESIS.....	11
6. MATERIAL Y MÉTODOS.....	12
6.1. Área de estudio.....	12
6.2. Muestreo.....	15
6.2.1. Reproducción y condición de la almeja.....	15
6.2.2. Técnica histológica.....	16
6.2.3. Medición de ovocitos.....	16
6.2.4. Análisis modal.....	17
6.2.5. Crecimiento de los ovocitos.....	17
6.2.6. Fases reproductivas y proporción de sexos.....	18
6.3. Índice de condición.....	18
6.4. Variables del agua.....	18
6.5. Densidad, biomasa y estructura de tallas.....	19
6.6. Condiciones ambientales.....	22
7. RESULTADOS.....	24
7.1. Reproducción y condición de la almeja.....	24
7.1.1. Análisis modal.....	24
7.1.2. Crecimiento de los ovocitos.....	25
7.1.3. Fases reproductivas.....	26
7.1.4. Proporción de sexos.....	27
7.2. Índice de condición.....	30
7.3. Variables ambientales.....	31
7.4. Densidad y biomasa.....	32

**CONTENIDO (continuación)**

7.5. Estructura de tallas.....	35
7.6. Índice de condición estacional.....	38
7.7. Condiciones ambientales.....	39
8. DISCUSIÓN.....	42
8.1. Reproducción y condición de la almeja.....	42
8.1.1. Relación del ciclo reproductivo con las variables ambientales.....	45
8.2. Densidad y composición de tallas.....	47
9. CONCLUSIONES.....	52
10. LITERATURA CITADA.....	53
11. ANEXOS.....	64
Anexo 1. Protocolo de histología	
Anexo 2. Publicaciones	

## Lista de Figuras

Figura 1	Área de estudio mostrando el sitio sin explotar de la almeja negra (1) y los sitios explotados (2 y 3), transectos de muestreo y elevación de la marea.....	15
Figura 2	Variación anual de la evaporación, precipitación y temperatura del aire en la Bahía de San Jorge, Sonora México. ....	15
Figura 3	Imágenes mostrando vegetación halófila al margen del humedal en Bahía San Jorge.....	13
Figura 4	Extracción de almejas en la zona intermareal de Bahía San Jorge.....	15
Figura 5	Se muestra excavación para extraer almejas y tomar la muestra de sedimento dentro de una de las áreas del cuadrante.....	20
Figura 6	Tamizado del sedimento recolectado para obtener las muestras de almejas. ....	20
Figura 7	Resultados del análisis modal mostrando la evolución teórica de las cohortes ovocitarias de <i>C. fluctifraga</i> .....	24
Figura 8	Estadios de desarrollo gonádico de <i>C. fluctifraga</i> en función de las características citológicas de la gónada. En hembras: gametogénesis temprana (A), crecimiento (B), madurez (C), desove (D), y reabsorción (E). En machos: gametogénesis temprana (F), crecimiento (G), madurez (H), desove (I), y reabsorción (F). e – espermatozoides, ed – espermatozoides en desarrollo, ev – espermatozoides visibles, fv – folículo vacío, nv – núcleo visible, od – ovocito en desarrollo, om – ovocito maduro, or – ovocito de forma regular.....	28
Figura 9	Porcentaje de ocupación de la gónada correspondiente a cada estadio de desarrollo de <i>C. fluctifraga</i> .....	30
Figura 10	Variación mensual del IC ( $\pm$ SD) de <i>C. fluctifraga</i> y registros de temperatura del agua de mar.....	31
Figura 11	Concentraciones de materia orgánica particulada (MOP), materia inorgánica particulada (MIP) y clorofila <i>a</i> en Bahía San Jorge (Sonora, México).....	32

## Lista de Figuras (continuación)

Figura 12	Densidad y biomasa estacional ( $\pm$ SD) de <i>C. fluctifraga</i> en sitios sin explotar (1) y explotados (2 y 3) durante primavera, verano, otoño e invierno en Bahía San Jorge....	34
Figura 13	Densidad y biomasa a través del gradiente intermareal ( $\pm$ SD) de <i>C. fluctifraga</i> en sitios sin explotar (1) y explotados (2 y 3) en Bahía San Jorge.....	35
Figura 14	Distribución estacional de la longitud de <i>C. fluctifraga</i> durante a) primavera, b) verano, c) otoño y d) invierno en sitios no explotados (1) y sitios explotados (2 y 3) en Bahía San Jorge.....	37
Figura 15	Distribución espacial de la longitud de <i>C. fluctifraga</i> en la zona superior (a) media (b) e inferior (c) del gradiente intermareal en sitios no explotados (1) y sitios explotados (2 y 3) en Bahía San Jorge.....	38
Figura 16	Índice de condición de <i>C. fluctifraga</i> durante primavera, verano, otoño e invierno en Bahía San Jorge.....	39
Figura 17	Variación anual de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto ( $\pm$ SD) del agua en Bahía San Jorge.....	40
Figura 18	Estado trófico indicado por el Índice TRIX durante primavera, verano, otoño e invierno en Bahía San Jorge.....	41
Figura 19	Clasificación del sedimento de Bahía San Jorge.....	42

### Lista de Tablas

Tabla I.	Valores de referencia de índice TRIX para los niveles tróficos estatales.....	23
Tabla II.	Resultado del análisis modal de los diámetros de los ovocitos de <i>C. fluctifraga</i> . Se indica el valor promedio $\pm$ (SD) correspondiente a cada estadio de desarrollo gonádico.....	26
Tabla III.	Tasa de crecimiento ovocitaria de <i>C. fluctifraga</i> para cada cohorte.....	27
Tabla IV.	Características histológicas de los diferentes estadios gametogénicos en hembras y machos de <i>C. fluctifraga</i> .....	30
Tabla V.	Coefficiente de dispersión de <i>C. fluctifraga</i> en sitios no explotados (1) y sitios explotados (2 y 3) en Bahía San Jorge.....	37
Tabla VI.	Resultados de la materia orgánica que se encontró en el sitio sin explotar (1) y los sitios explotados (2 y 3) en Bahía San Jorge.....	43

## 1. INTRODUCCIÓN

Los moluscos bivalvos constituyen una parte importante de la producción pesquera mundial. Hasta el año 2009, la captura para el grupo de almejas fue de 739,564 toneladas. En México, la producción de almeja para este mismo año fue de aproximadamente 26,399 toneladas (FAO, 2011) producción superior a la del 2007, que fue de 24,000 toneladas (FAO, 2007).

A lo largo del litoral mexicano, los moluscos bivalvos se han recolectado como alimento desde épocas prehistóricas. En estas regiones, la vida y la nutrición de muchas personas dependen de la pesca artesanal. Sin embargo, uno de los problemas que enfrenta México para el aprovechamiento racional de los moluscos de interés comercial, es la falta de estudios sistemáticos sobre este importante grupo de animales.

Dentro del grupo de moluscos, la familia Veneridae es una de las más grandes y posiblemente la más estudiada, existen más de 400 especies dentro de esta familia y la mayoría vive en fondos donde son importantes componentes de ciertas comunidades bentónicas (Anderson, 2001). Las especies de esta familia son comercialmente importantes en muchas áreas del mundo. Por ejemplo, especies como *Tapes philippinarum*, *T. decussatus* y *Mercenaria mercenaria* son explotadas en Europa a través de programas de acuicultura (Helm y Bourne, 2006), mientras que *T. philippinarum* y *T. semidecussata* se cultivan en China (Nie, 1990) y *M. mercenaria* y *M. campechiensis* son cultivadas en Estados Unidos de Norteamérica (Menzel, 1990).

En México, la Carta Nacional Pesquera establece que las almejas sujetas a explotación pesquera son: catarina (*Argopecten circularis*), chocolata (*Megapitaria squalida* y *M. aurantiaca*), generosa o de sifón (*Panopea globosa* y *P. generosa*), mano de león (*Lyropecten subnodosus*), pata de mula (*Anadara tuberculosa* y *A. grandis*) y roñosa (*Chione undatella* y *C. californiensis*) (D.O.F., 2012). Las almejas del género *Chione*, son muy apreciadas para el consumo humano

(Martínez-Córdova, 1988; Cáceres-Martínez *et al.*, 1999) y destacan *C. californiensis*, *C. cortezi*, *C. gnidia*, *C. undatella* y *C. fluctifraga*. Las especies de este género, también tienen importancia por su posible potencial acuícola, el cual pudiera ser aprovechado para la diversificación del cultivo de moluscos bivalvos en el Golfo de California. Las especies de mayor interés por su abundancia y explotación en las costas de Sonora son *C. fluctifraga* y *C. gnidia* (Martínez-Córdova, 1988; Cáceres-Martínez *et al.*, 1999) y para el Golfo de California y Baja California Sur se encuentran *C. gnidia*, *C. undatella* y *C. californiensis* (García-Domínguez *et al.*, 1993).

La almeja negra *C. fluctifraga* (Sowerby, 1853) también llamada almeja arenera, se distribuye en el sur de California (Estados Unidos) en la costa del Pacífico de la Península de Baja California y en el Golfo de California (Martínez-Córdova, 1996). En Sonora, particularmente la Bahía San Jorge sostiene una producción anual de 450 toneladas (CONAPESCA, 2013), producción que se ha mantenido sin variación desde el 2008 hasta la actualidad. Esta pesquería es el sustento de comunidades artesanales del Golfo de California. Las almejas se extraen manualmente de sustratos limosos o de arena fina donde viven enterradas a profundidades de 10 a 20 cm (Martínez-Córdova, 1988). La mayoría de la producción se envía a la región norte de la Península de Baja California, México, donde se limpia y se clasifica por tallas para ser exportada a los Estados Unidos de América. Existe un mercado regional pero el volumen de consumo representa solo el 5% de la producción anual. Por esta razón el esfuerzo pesquero sobre este recurso incrementa el riesgo de sobre-explotación de la especie. No obstante la importancia económica de la almeja, se desconocen muchos aspectos de su biología reproductiva y aspectos ecológicos, conocimiento básico requerido para fundamentar un manejo pesquero sostenible.

Diversas técnicas han sido utilizadas para determinar la condición reproductiva de los bivalvos y en la mayoría de estos trabajos se analizan preparaciones

histológicas para conocer las características citológicas de las gónadas durante el proceso de gametogénesis (Gribben *et al.*, 2004; Dutertre *et al.*, 2009). Sin embargo, la observación de las laminillas histológicas puede resultar en interpretaciones subjetivas sobre la fase de reproducción en que se encuentran los organismos en estudio (Barber y Blake, 1991). Para evitar este problema varios autores señalan la importancia de combinar metodologías para obtener información de tipo cualitativo pero también cuantitativo (Metaxatos, 2004; Moura *et al.*, 2008). Entre los métodos cuantitativos más utilizados se encuentran el conteo y medición de los ovocitos (Muranaka y Lannan, 1984; Lango-Reynoso *et al.*, 2000) así como el cálculo de áreas de la gónada (Heffernan y Walker, 1989; Enríquez-Díaz *et al.*, 2009). Existen estudios donde los métodos anteriores se complementan analizando la distribución de las frecuencias de los diámetros de los ovocitos para conocer la evolución de las cohortes ovocitarias en el tiempo (Morvan y Ansell 1988; Lango Reynoso *et al.*, 2006; Hmida *et al.*, 2010). La información obtenida de esta manera permite determinar con precisión el número de veces que desovan los organismos así como la época de ocurrencia de cada evento.

Otro factor importante a estudiar en bivalvos de importancia comercial es la variación de su índice de condición gravimétrico (IC) (Crosby y Gale, 1990) porque en algunos casos el IC se relaciona directamente con el ciclo reproductivo (Borda y Cruz 2004; Lista *et al.*, 2006; Sokołowski *et al.*, 2010) o indica los periodos en donde la biomasa del individuo encuentra su mayor expresión (Lucas y Beninger, 1985), permitiendo con esto conocer el estado fisiológico general de los organismos (Crosby y Gale, 1990; Rodríguez-Rúa *et al.*, 2003). Con ello se puede determinar periodos óptimos de captura. Por ejemplo, una baja condición se relaciona con emisión de gametos, pero también indica una época donde los organismos no se encuentran en su mejor estado fisiológico y por lo tanto no sería conveniente su extracción para comercialización.



Por otro lado, el comportamiento de las poblaciones de moluscos se ha explicado desde diversos puntos de vista. Por ejemplo, la situación geográfica determina una gran diversidad climática y ambiental generando una gran 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 (Dempster, 1975; Cárdenas y Aldana-Aranda, 2003).

El análisis de la densidad de las almejas nos proporciona información para analizar el efecto de la pesca sobre las poblaciones naturales. Esto se basa en las conclusiones de Krebs (1986) y Begon *et al.* (1999) quienes determinaron que la densidad de animales muestra un patrón de distribución y abundancia característica tanto en el espacio como en el tiempo, lo cual está regulado por factores ambientales, bióticos y/o abióticos. Los cambios estacionales de la densidad pueden variar entre unos pocos individuos en un año hasta miles en el próximo, este fenómeno fue documentado por Coe (1953) que lo denominó población resurgente. Pocas investigaciones se han centrado en describir aspectos sobre la estructura poblacional de *C. fluctifraga* y en la literatura no se han encontrado ninguna llevada a cabo en poblaciones sujetas a explotación comercial como ocurre en Bahía San Jorge.

En base a las anteriores consideraciones, y debido a la escasa información biológica y ecológica que se tiene sobre esta especie y dada su importancia económica como recurso pesquero en la región, el propósito de esta tesis fue de aportar mayor conocimiento sobre su biología y ecología para aplicarlo en su manejo acuícola y pesquero.

## 2. ANTECEDENTES

El potencial reproductivo de moluscos bivalvos es fijado genéticamente pero tiene fuerte influencia del medio, principalmente de la temperatura del agua, así como de la intensidad y duración de la luz (Lucas, 1965). El efecto del ambiente sobre la reproducción ha sido documentado entre otros por: Dunbar (1960); Kennedy y Battle (1964); Loosanoff (1965); Ropes y Stickney (1965); Bricelj y Malouf (1980); Perdue y Erickson (1984); Walker y Humprey (1984), quienes relacionan el desarrollo máximo de la gónada con temperaturas características del verano y periodo de reposo durante otoño e invierno, además de reportar el efecto temporal y espacial de la exposición de la marea en el ciclo gametogénico. Los atributos poblacionales están definidos genéticamente, tal como lo demuestran Freeman y Dickie (1979), quienes explican que los factores de crecimiento y mortalidad varían de una población a otra fenotípicamente, habiendo una influencia genética en estos parámetros.

Entre los trabajos que relacionan las condiciones ambientales con su efecto y regulación sobre los patrones poblacionales destacan los de Sunderlin *et al.* (1975), en un estudio donde compararon el crecimiento de *M. mercenaria* y *M. campechiensis* en ambientes artificiales y naturales, obteniendo mejores resultados en ambientes naturales. Horne y McIntosh (1979), observaron que la distribución de mejillones fue limitada por altos contenidos de  $\text{NH}_4^+$  ( $\geq 5 \text{ mg L}^{-1}$ ) y bajos niveles de oxígeno ( $< 0.5 \text{ mg L}^{-1}$ ) inducidos por aportes de aguas residuales urbanas. Breed-Willeke y Hancock (1980), reportaron el crecimiento y reproducción en la zona intermareal y submareales para la almeja *Tresus capax* obteniendo mejores resultados en almejas que estaban en la zona intermareal. Bourne (1982) describe que la dispersión podría depender de los parámetros ambientales como la temperatura del agua, corrientes y lluvias de invierno. Ciocco (1991) estudió las diferencias en la tasa de crecimiento individual entre las poblaciones de *Chlamys tehuelcha* (d'Orb.) reflejando un gradiente ambiental en la disponibilidad de alimentos.

Para la administración pesquera de moluscos en Sonora se requiere de la evaluación de especies por localidad, con conocimiento de la dinámica de sus poblaciones y ciclos reproductivos, que permitan determinar volúmenes de captura, tallas mínimas y períodos de explotación.

Dentro de la información existente para algunas especies del género *Chione*, se tiene la ecología de *C. cancellata* (Moore y López, 1969); explotación de almejas *C. undatella* y *C. fluctifraga* en la costa sur de California (Drover, 1974); la variabilidad de la densidad de *C. stutchburyi* en Nueva Zelanda (McArdle y Blackwell, 1989); la reevaluación evolutiva entre las especies de bivalvos *C. erosa* y *C. cancellata* (Roopnarine, 1995); aspectos de reproducción y dinámica poblacional de *C. pubera* en Brasil (Borzzone *et al.*, 2001); el estudio de los compuestos fenólicos y terpenoides de *C. venosa* en las Islas Caribeñas de Granada (Lendl *et al.*, 2005); y la evolución morfológica de *C. elevata* (Daley *et al.*, 2007).

En México dentro del género *Chione*, la especie *C. californiensis* ha sido la más estudiada. Los trabajos que destacan son sobre la fauna simbiote (García-Domínguez *et al.*, 1991); el crecimiento (Castro-Ortiz y García Domínguez, 1993); gasterópodos depredadores (García-Domínguez y Félix-Pico, 1993); el ciclo de reproducción (García-Domínguez *et al.*, 1993; García-Domínguez y Levy, 1994); y sobre distribución y abundancia (García-Domínguez *et al.*, 1994). Estudios sobre otras especies del género reportan aspectos ecológicos de los macromoluscos bentónicos como: composición, similitud, abundancia y dominancia, así como las variables ambientales que los regulan, encontrando que el sedimento fue el principal factor limitante en la distribución de los organismos (Domínguez-Orozco, 1996); la sistemática y algunos aspectos ecológicos de *C. cancellata* en la Laguna La Mancha en Veracruz (Flores-Andolais *et al.*, 1998); la distribución geográfica de *C. cortezi*. (Villarreal-Chávez *et al.*, 1999). También hay un trabajo en Oaxaca sobre moluscos bentónicos y su relación con parámetros fisicoquímicos donde se

menciona a *C. subimbricata* (Sowerby, 1835); *C. amathusia* (Philippi, 1844) y *C. subrugosa* (Wood, 1828; Zamorano *et.al.*, 2010).

Con relación a *C. fluctifraga*, entre la información generada sobre su biología reproductiva en condiciones naturales se tiene la de Martínez-Córdova (1988) quien reporta que las principales épocas de reproducción se ubican a finales de primavera y principios de verano, aún cuando puede prolongarse en menor grado durante todo el año. Por otro lado, Gutiérrez-Vázquez (2007) estudió aspectos reproductivos de la especie pero en condiciones de laboratorio para obtención de semilla. El autor describió que *C. fluctifraga* tuvo desoves continuos durante todo el experimento. Estos dos trabajos representan la información existente sobre la biología reproductiva de la especie. Con base en estos antecedentes, un primer aspecto que aborda el presente estudio es la descripción del ciclo reproductivo de la almeja negra a través del análisis de los diámetros de los ovocitos, las cohortes ovocitarias y el índice de condición.

Otros aspectos ya estudiados para la almeja *C. fluctifraga* comprenden estudios sobre abundancia y distribución (Martínez-Córdova, 1986); bioecología, (Martínez-Córdova, 1988); fauna malacológica de cuatro lagunas costeras de Sonora (Martínez-Córdova, 1996); crecimiento a través isotopos de oxígeno (Schöne *et al.*, 2002); infestación de esta almeja por parte de gusanos del género *Polydora* sp. nov. (Cáceres-Martínez *et al.*, 1999); ensayos sobre policultivo en granjas de camarón (Martínez-Córdova y Martínez-Porchas, 2006); diferenciación poblacional mediante análisis de ADN polimórfico (Campillo-Moreno, 2008); su capacidad de biorremediación en efluentes de granjas camaronícolas (Martínez-Córdova *et al.*, 2011) y sistemas de cultivo suspendidos en la columna de agua y colocados en el fondo tanto en el interior de estanques de camarón y en estuarios (Martínez-Córdova *et al.*, 2013).

Los estudios que abordan aspectos ecológicos de la almeja negra en el Golfo de California, en particular las observaciones de la bioecología de *C. fluctrifaga* en la laguna costera La Cruz, aportaron evidencia de que habita preferentemente en sedimentos con textura de arena fina a muy fina, con densidades de 3 a 5 ind m<sup>-2</sup>, con tallas más abundantes entre 5 y 25 mm. Por ejemplo, la talla comercial de ≈40 mm la alcanzan hasta los 3 años de edad y la principal época de reproducción se presenta desde finales de primavera hasta principios del verano (Martínez-Córdova, 1988). Otros trabajos indican que en Bahía de Los Ángeles se observaron densidades máximas de 26 ind m<sup>-2</sup> con tallas entre 35 y 55 mm en profundidades de 1.5 hasta 37 m en sedimentos arenosos con contenido promedio de materia orgánica de 3.3 % (Jhonston y Villalba-Atondo, 1992). En las lagunas costeras El Sargento, Santa Rosa y El Soldado se observaron densidades > 2 ind m<sup>-2</sup> y en la laguna La Cruz > 10 ind m<sup>-2</sup> (Martínez-Córdova, 1996). En la zona intermareal del delta de Río Colorado, caracterizada por ser macromareal (> 6 m) y tener poca pendiente con sedimentos compuestos por arenas y limos, la almeja negra ocupó el cuarto lugar en abundancia (11 %) de la macrofauna bentónica compuesta por 26 especies (Avila-Serrano *et al.*, 2006). En esta zona la almeja negra tiene una longevidad de 16 años, el máximo crecimiento ocurre de abril a junio y de nuevo en octubre, el crecimiento se reduce en la parte más cálida del verano (agosto) y la más fría del invierno (enero-febrero) (Schöne *et al.*, 2002). También en esta región del Alto Golfo, se observó que la almeja negra tuvo menores tasas de crecimiento cuando existieron las descargas de agua dulce del Río Colorado (actualmente con aportes fluviales mínimos), asimismo, tiene mayores tasas de crecimiento en zonas con menor influencia de agua dulce (Schöne *et al.*, 2003).

### 3. JUSTIFICACIÓN

Existe escaso conocimiento de los aspectos biológicos y ecológicos de muchas especies de moluscos en el noroeste de México, en particular de las especies explotadas comercialmente como la almeja *C. fluctifraga*. Actualmente, Bahía San Jorge, ubicada en el Alto Golfo de California y caracterizada por extensas zonas intermareales de sedimentos finos, representa la principal zona de explotación de esta almeja en México.

Para el desarrollo de la presente investigación se consideró que es importante el estudio de la biología reproductiva de una especie sometida a explotación, ya que permite determinar las épocas de maduración y desove; igualmente se determinó que es fundamental estudiar diferentes aspectos ecológicos de la especie como los cambios de su abundancia y su composición de tallas a lo largo del año y en el gradiente intermareal. Asimismo, se consideró importante entender su relación con la variabilidad anual de parámetros ambientales y las características de los sedimentos, tanto en zonas explotadas como no explotadas. Lo anterior permitirá evaluar si la población ha sido afectada por la explotación comercial continua a que está sometida la especie en Bahía San Jorge. El conocimiento generado servirá de base científica para establecer el potencial para acuicultura y proponer periodos de extracción y/o veda, medidas que ayudarían a garantizar la permanencia del recurso en las zonas de producción para el beneficio de la gente que subsiste con el aprovechamiento de la almeja negra.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 General

Generar conocimiento sobre el ciclo reproductivo, índice de condición, densidad y composición de tallas de la almeja negra en la Bahía San Jorge, Sonora, para aplicarse en su manejo acuícola y pesquero.

### 4.2. Particulares

- Describir el ciclo reproductivo de la almeja negra mediante el análisis de diámetros de ovocitos, cohortes ovocitarias e índice de condición.
- Caracterizar las condiciones del hábitat de la almeja negra a partir de parámetros físico-químicos, seston, estado trófico de la laguna mediante el índice TRIX, así como la textura y concentración de materia orgánica en sedimentos.
- Estimar la densidad, biomasa y frecuencia de tallas de la almeja negra en el gradiente intermareal y a través de un ciclo anual en sitios explotados y no explotados.
- Determinar la relación de la variabilidad ambiental con el ciclo reproductivo la densidad y distribución de tallas de la almeja *C. fluctifraga*.

## 5. HIPÓTESIS

La temperatura del agua y la disponibilidad de alimento tienen influencia fisiológica y metabólica en *Chione fluctifraga*, y por lo tanto controlan y definen el patrón anual de su ciclo reproductivo y del índice de condición. La población de la almeja *C. fluctifraga* mostrará menor densidad y tallas menores en sitios explotados con respecto a sitios no explotados en Bahía San Jorge, lo cual será un indicador del estado de explotación del recurso.



## 6. MATERIAL Y MÉTODOS

### 6.1. Área de estudio

Bahía San Jorge se localiza al Noreste del Golfo de California (Figura 1), tiene 130 km<sup>2</sup> de superficie y una profundidad promedio de 3 m (Ramírez y Álvarez, 2008); está influenciada por mareas semi-diurnas (Souza *et al.*, 2004). Las elevaciones máximas de la marea se presentan en el mes de octubre y las mínimas en abril. La bahía es macromareal con amplitud de marea de ~ 7 m (Filloux, 1973) y su relieve del fondo es suave con 6 m de profundidad en la boca (Ramírez y Álvarez, 2008); se caracteriza por extensas planicies intermareales. En el agua, la variación anual de temperatura es de 12 a 33 °C, la de salinidad de 43 a 50 ups y de la de oxígeno disuelto de 6 a 11 mg L<sup>-1</sup> (Morzaria-Luna *et al.*, 2010).

El clima de la región es muy árido. La evaporación es de ~ 1900 mm año<sup>-1</sup> y el promedio anual de lluvias es < 100 mm año<sup>-1</sup> (Stensrud *et al.*, 1997). Específicamente, en 2010, la temperatura promedio mensual máxima se registró en agosto (33 °C) y la mínima en enero (12 °C); la evaporación fue mayor en junio (245 mm) y menor en enero (84 mm); hubo lluvias en enero-abril (85 mm) y julio-agosto (12 mm) (Figura 2). Estos datos fueron obtenidos de la Red Estatal de Estaciones Meteorológicas de Sonora (AGROSON), correspondientes a la estación meteorológica El Pedernal, ubicada a 36 km al noroeste de Bahía San Jorge ([www.agroson.org.mx](http://www.agroson.org.mx)).

Bahía San Jorge presenta canales que están rodeados de vegetación halófila que rara vez crecen más allá de 50–60 cm. Al margen del humedal, se encuentran arbustos bajos como Palmer's Frankenia (*Frankenia palmerii*), Bursage (*Ambrosia dumosa*), Jarilla (*Larrea tridentata*), Saladillo (*Atriplex polycarpa* y *A. canescens*) y, espina del desierto (*Lycium* sp.) (Figura 3)

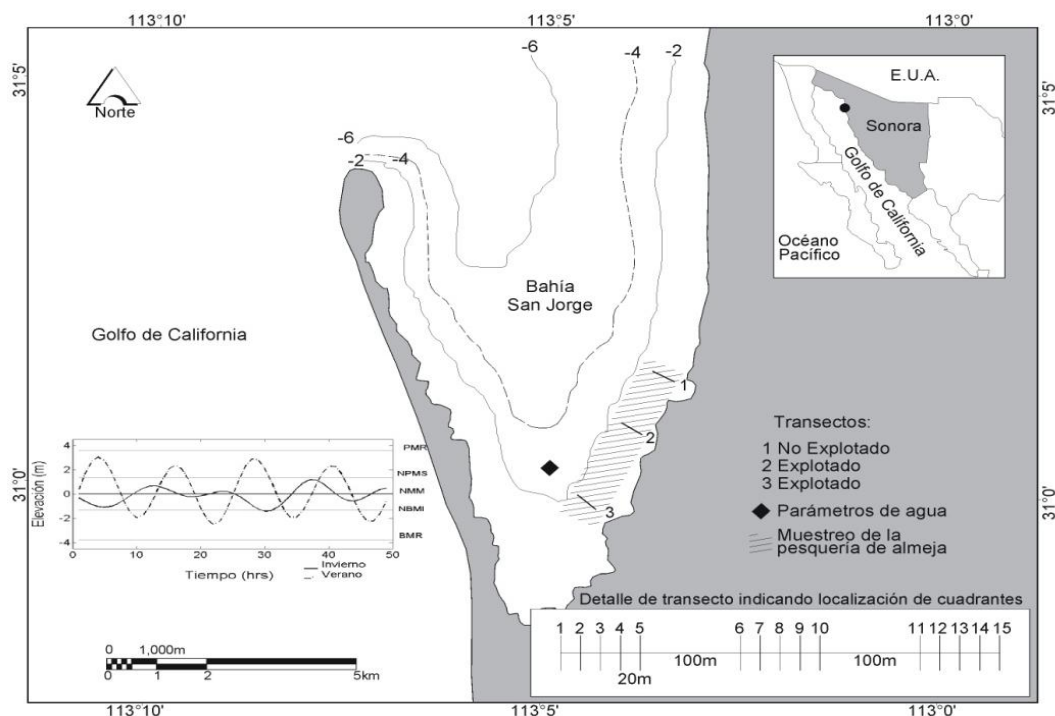


Figura 1. Área de estudio mostrando el sitio sin explotar de la almeja negra (1) y los sitios explotados (2 y 3), transectos de muestreo y elevación de la marea.

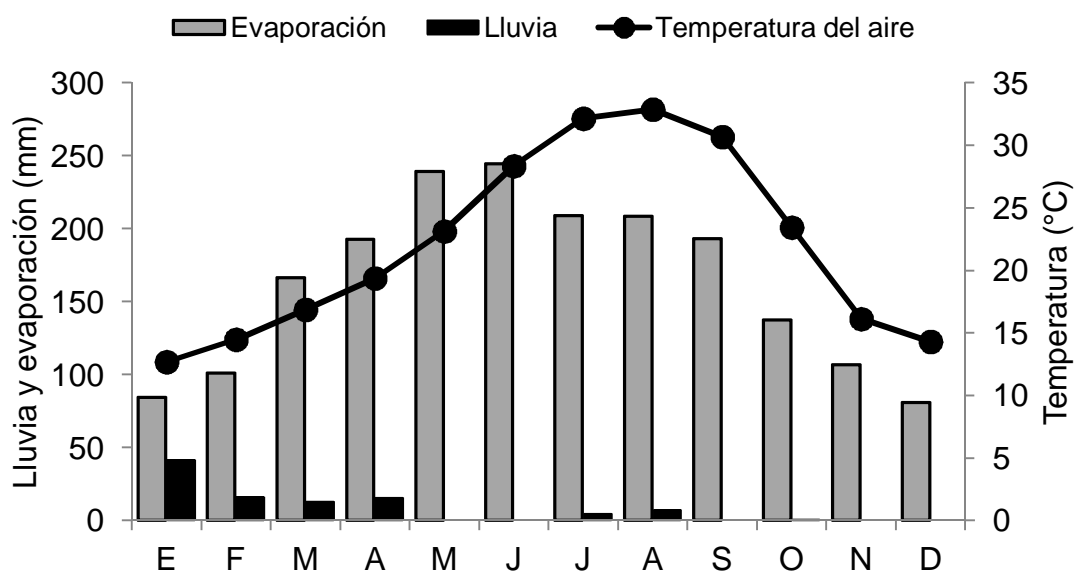


Figura 2. Variación anual de la evaporación, precipitación y temperatura del aire en la Bahía de San Jorge, Sonora México.



Figura 3. Imágenes mostrando la planicie costera y la cobertura de vegetación halófila al margen del humedal en Bahía San Jorge.



## 6.2. Muestreo

### 6.2.1. Reproducción e índice de condición de la almeja

Los muestreos se realizaron en la zona intermareal de la bahía donde se encuentran poblaciones naturales de *C. fluctifraga* sujetas a explotación y considerando la talla mínima de captura de 35 mm (altura de la concha) utilizada por los pescadores (Figura 4).



Figura 4. Extracción manual de almejas en la zona intermareal de bahía San Jorge.

Los muestreos se llevaron a cabo mensualmente de marzo de 2009 a febrero de 2010. En cada ocasión se colectaron cuando menos 60 almejas las cuales fueron transportadas dentro de un contenedor cerrado conteniendo papel húmedo y una bolsa con hielo cerrada. Las almejas se transportaron por tierra (600 km) al laboratorio del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (Guaymas) donde 15 organismos fueron utilizados para los estudios de reproducción y 45 para determinación del índice de condición.

### 6.2.2. Técnica histológica

De cada uno de los 15 individuos destinados para los estudios histológicos, se obtuvo por disección una muestra de aproximadamente 1 cm<sup>3</sup> de la región media de la gónada. Las muestras se fijaron en solución Davidson durante 48 horas y posteriormente fueron sometidas a un procesamiento histológico convencional; las muestras se deshidrataron en un equipo Histoquinet Leica© modelo TP1020 que usa una serie ascendente de concentraciones de etanol, posteriormente fueron aclaradas en xileno, incluidas en parafina, y después se formaron bloques de parafina que incluían las gónadas en un embebedor de tejidos marca Leica© modelo EG 1160. A los bloques se les realizaron cortes de 5 µm de grosor usando un micrótopo marca Leica© modelo 82011, y finalmente los cortes fueron teñidos con hematoxilina-eosina (Howard y Smith, 1983), para su posterior observación microscópica y determinación del desarrollo gonádico.

### 6.2.3. Medición de ovocitos

Con las preparaciones histológicas se identificó el sexo de los organismos por observación a través de un microscopio óptico marca OLYMPUS© modelo BX41. De cada hembra se tomaron entre 5 a 10 imágenes digitales para disponer de al menos 100 ovocitos por cada almeja para su posterior medición. Sólo a los ovocitos que presentaron una vesícula germinal bien definida, se les midió la superficie (píxeles) usando el software Sigma Scan Pro 5.0® y con ella se estimó el diámetro teórico (en µm) usando la relación propuesta por Lango-Reynoso *et al.* (2000):

$$D_{teórico} = \sqrt{4s/\pi} \quad (1)$$

Donde:

$D$  = diámetro y

$S$  = superficie.

#### **6.2.4. Análisis modal**

Para el total de ovocitos medidos de cada almeja, se aplicó un análisis de progresión modal determinado por el método de Bhattacharya (1967) usando el Software FAO-ICLARM Fish Stock Assessment Tools FiSAT II v. 1.2.1. Se obtuvieron los promedios y desviación estándar (DE) de las modas del diámetro de cada estado gametogénico, y las frecuencias correspondientes a cada mes de muestreo. Con estos resultados y las observaciones histológicas se asoció el intervalo de valores del diámetro ovocitario correspondiente a cada estadio de desarrollo gonádico, y se estableció el intervalo de valores del diámetro de los ovocitos correspondiente a cada estadio de desarrollo para esta especie.

Los diámetros de los ovocitos obtenidos mensualmente (previtelogénicos, vitelogénicos y maduros) fueron agrupados según los intervalos de desarrollo gonádico. Se obtuvieron el promedio, valor máximo y mínimo, y fueron usados para obtener el intervalo de dispersión correspondiente. La información anterior fue usada para identificar gráficamente las cohortes ovocitarias y el número de días transcurrido entre cada estadio identificado dentro de cada cohorte.

#### **6.2.5. Crecimiento de los ovocitos**

Se calculó la tasa promedio de crecimiento diaria de los ovocitos para cada una de las cohortes identificadas. Para ello se consideró la talla promedio de los ovocitos al inicio y al final del desarrollo de cada cohorte; al valor mayor se le restó el valor menor y el resultado se dividió por el número de días que tardó la cohorte en desarrollarse. Finalmente, se aplicó una regresión lineal simple y su correspondiente valor de correlación lineal de Pearson (Zar, 1996).

### 6.2.6. Fases reproductivas y proporción de sexos

Para determinar las fases reproductivas de las hembras y machos de *C. fluctifraga*, se usaron como referencia los mismos criterios de clasificación: el diámetro de ovocitos y análisis modal para hembras, y porcentaje de llenado de los folículos en machos, que son las escalas de reproducción propuestas por Lango-Reynoso *et al.* (2000) y Chávez-Villalba *et al.* (2002) para *Crassostrea gigas*. La prueba de Chi cuadrado se usó para determinar la bondad de ajuste de las proporciones sexuales con la relación esperada de 1:1.

### 6.3. Índice de condición

Se utilizaron 45 individuos cada muestreo mensual para calcular el índice de condición (IC) establecido por Walne y Mann (1975).

$$IC = \frac{pt}{pc} \times 1000 \quad (2)$$

Donde:

*IC* = índice de condición,

*pt* = peso seco del tejido en gramos y,

*pc* = peso seco de la concha en gramos.

### 6.4. Variables del agua

En cada muestreo se registraron temperatura, salinidad y oxígeno disuelto con un multisensor (YSI® 556 MPS). Al mismo tiempo se tomaron 2 litros de agua para la determinación de seston y clorofila. El seston se determinó usando la técnica descrita por Strickland y Parson (1972) la cual consiste en filtrar un volumen de agua de mar (1 L) a través de filtros Whatman® GF/C con diámetro de 47 mm de diámetro y 1.2 µm de abertura de poro. Los filtros se secaron en un horno a 80 °C durante 24 horas y posteriormente se pesaron para obtener el seston inorgánico total. Los filtros se colocan después en una mufla por 4 horas a 250 °C para quemar el material orgánico y por diferencia obtener el seston orgánico. La

clorofila a se determinó mediante el método de espectrofotometría propuesto por Parsons *et al.* (1984) que, consiste en la extracción con acetona de pigmentos de material fitoplanctónico retenido en filtros de fibra de vidrio Whatman® GF/C de 47 mm de diámetro y 1.2  $\mu\text{m}$  de abertura de poro.

### **6.5. Densidad, biomasa y estructura de tallas**

Para los muestreos de almejas se siguieron los criterios para muestreo en zonas intermareales propuestos por Gillespie y Kronlund (1999). Estos muestreos se realizaron en un mes representativo para cada estación del año: febrero (invierno); mayo (primavera); agosto (verano) y noviembre (otoño) 2010. Para cada muestreo se ubicaron tres transectos de 500 m en sentido perpendicular a la línea de costa a lo largo del gradiente de la zona intermareal, dos transectos se hicieron en sitios sujetos a explotación de almejas y el otro se llevó a cabo en un sitio sin explotación (Figura 1). La recolección de almejas se realizó en los periodos de bajamar en 3 zonas ubicadas a lo largo del transecto: 1) primeros 100 m, 2) entre 200 y 300 m y 3) entre los 400 y 500 m. Cada zona tuvo cinco puntos de muestreo (cada 20 metros) donde se recolectaron almejas utilizando un cuadrante de 1  $\text{m}^2$ . El cuadrante estaba compuesto de cuatro áreas de 0.25  $\text{m}^2$  a las cuales se les asignó un número; éstos estaban anotados en papeles doblados, cuando el cuadrante se colocaba sobre el sedimento se seleccionaba un papel al azar y se veía el número para tomar la muestra en el cuadrante correspondiente. Para ello se excavaron 15 cm de profundidad para extraer las almejas, adicionalmente se tomó una muestra de sedimento para determinar su textura y contenido de materia orgánica (Figura 5).

Las almejas recuperadas se colocaron sobre tamices donde se limpiaron con agua para remover el sedimento y todo material no deseado (Figura 6) y luego se colocaron en bolsas de plástico previamente etiquetadas y se mantuvieron en hieleras con hielo para su transporte. En el laboratorio se contabilizaron y se realizaron las biometrías que consistieron en medir altura, longitud y grosor de



cada almeja con un vernier ( $\pm 0.1$  mm) y en registrar el peso húmedo total de cada almeja obtenido con una balanza digital marca Ohaus ( $\pm 0.1$  g).



Figura 5. Se muestra excavación para extraer las almejas y tomar la muestra de sedimento dentro de una de las áreas del cuadrante.

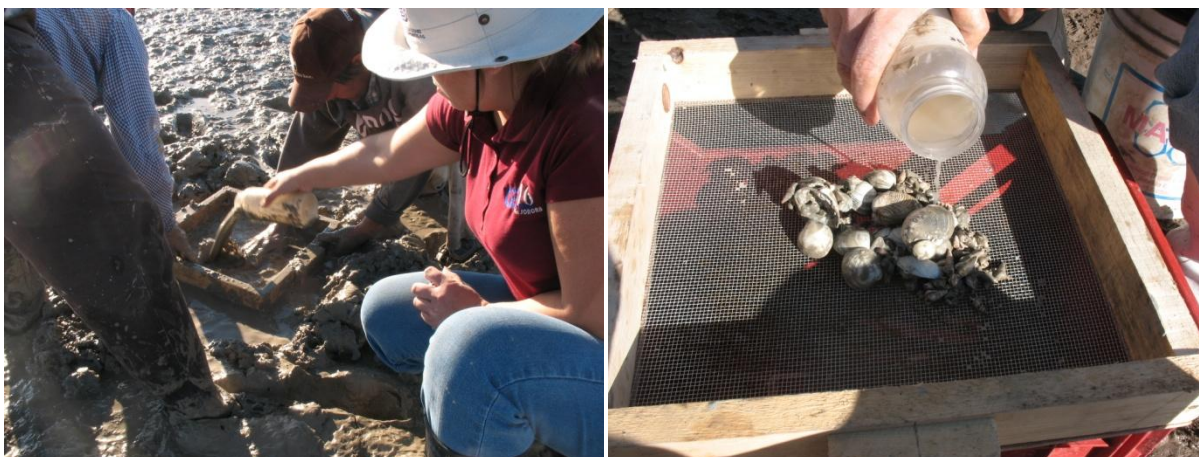


Figura 6. Tamizado del sedimento recolectado para obtener las muestras de almejas.

Se determinó estacionalmente la condición general de las almejas mediante el índice de condición gravimétrico (IC) siguiendo la metodología descrita por Walne y Mann (1975) mencionada anteriormente.

Las densidades de almejas se estimaron tanto entre estaciones del año como en el gradiente intermareal. La significancia estadística de la densidad se estimó mediante un análisis de varianza (Ravinobich, 1982).

La evaluación de la distribución temporal y espacial de la densidad se realizó utilizando el coeficiente de dispersión expresado por:

$$CD = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (3)$$

Donde:

$S^2$  = varianza y,

$\bar{X}$  = la media y en donde una distribución aleatoria tendrá un  $CD=1$ , distribución agregada un  $CD >1$  y distribución uniforme un  $CD \leq 1$ .

Se analizó la existencia de segregación por tallas entre sitios explotados y no explotados, así como entre zonas del gradiente intermareal. Los intervalos de confianza para las tallas de almejas se definieron con base en la Regla de Sturges:

$$k = 1 + 3.33 \log_{10} n \quad (4)$$

Donde:

k= número de intervalos y,

n = tamaño de la muestra.

## 6.6. Condiciones ambientales

Se realizaron muestreos de agua y sedimentos de enero a diciembre del 2010. Los muestreos de agua se realizaron en un sitio de muestreo con una frecuencia mensual; se registraron temperatura, salinidad y oxígeno disuelto con un multisensor (YSI® 556 MPS) y se recolectaron 2 litros de agua en botes de plástico para la determinación de nitritos, nitratos, amonio, ortofosfato y clorofila a. Los nutrientes se determinaron mediante métodos químicos y la clorofila “a” se determinó mediante el método de espectrofotometría (Parson *et al.*, 1984).

Los muestreos de sedimentos consistieron en tomar 1 kg de sedimento en bolsas de plástico en los sitios donde se recolectaron almejas. A las muestras de sedimentos se les determinó su textura y su concentración de materia orgánica siguiendo los criterios de Folk y Ward (1956) y Royse (1970). Los datos de sedimentos se procesaron para hacer un análisis comparativo de la composición textural y de materia orgánica entre sitios con y sin explotación de almejas.

Con los datos de las variables de agua se estimó el estado trófico del cuerpo de agua mediante el índice TRIX propuesto por Vollenweider *et al.* (1998) con base en la ecuación:

$$TRIX = \frac{\log(Chl-a \times aOD \times NT \times PT) + 1.5}{1.2} \quad (5)$$

Donde:

TRIX = Índice del estado trófico

Cl *a* = Concentración de Clorofila *a* (mg m<sup>-3</sup>)

aOD = Valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto: (100 % OD)

NT = Concentración del nitrógeno inorgánico disuelto (μM)

PT = Concentración del fósforo inorgánico disuelto (μM).

Las constantes 1.5 y 1.2 se refieren, respectivamente, a los valores mínimos de las variables que componen el índice y a los 10 niveles de jerarquía en que está diseñado.

Tabla I. Valores de referencia de índice TRIX para los niveles tróficos estatales.

Valor del índice TRIX	Nivel de estado trófico
0–2.5	Oligotrófico
2.6–5.0	Mesotrófico
5.1–7.5	Eutrófico
7.6–10	Hipertrófico

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Reproducción y condición de la almeja

#### 7.1.1 Análisis modal

El análisis modal permitió identificar 11 cohortes ovocitarias a lo largo del estudio que mostraron su correspondiente desove, desde marzo hasta enero; posteriormente, se identificaron dos cohortes una en enero y otra en febrero 2010 que no se asocian con una evolución o crecimiento ovocitario del mes posterior (Figura 7). Los estadios de desarrollo gonádico y los resultados del análisis modal sobre los diámetros de los ovocitos durante todo el estudio, permitieron asociar el intervalo de valores del diámetro correspondiente a cada estadio de desarrollo gonádico: inicio de gametogénesis < 12  $\mu\text{m}$ , crecimiento 12.1 a 30  $\mu\text{m}$ , madurez 30.1 a 45  $\mu\text{m}$ , y reabsorción > 45  $\mu\text{m}$  (Tabla II).

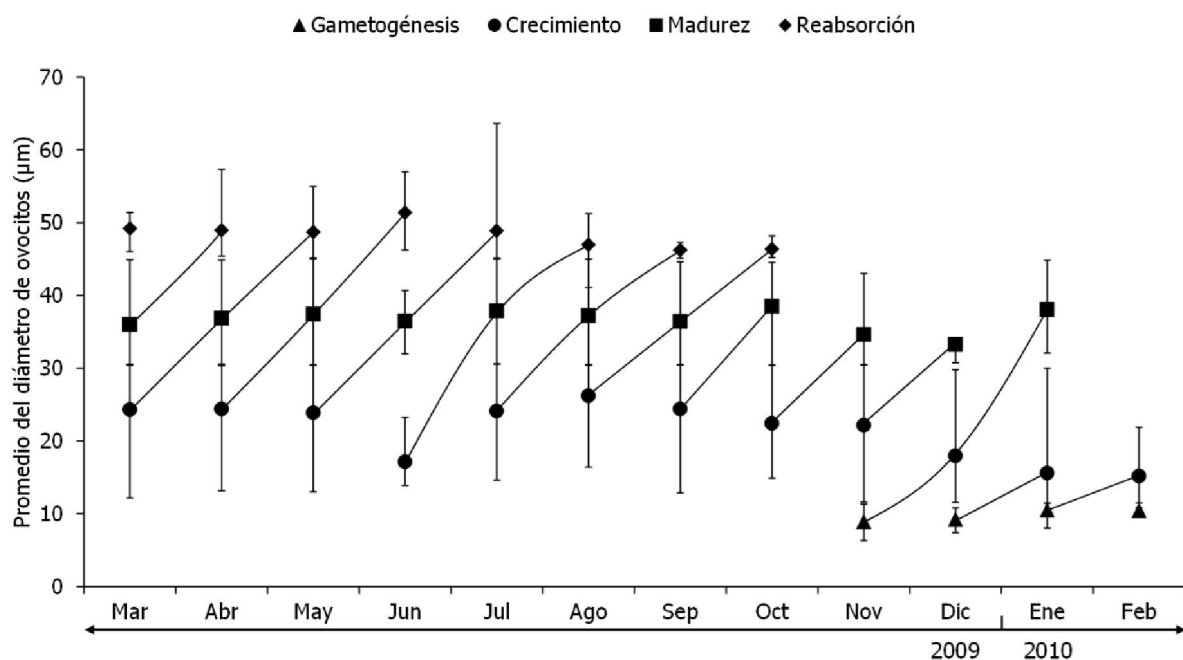


Figura 7. Resultados del análisis modal mostrando la evolución teórica de las cohortes ovocitarias de *C. fluctifraga*.

Tabla II. Resultado del análisis modal de los diámetros de los ovocitos de *C. fluctifraga*. Se indica el valor promedio correspondiente a cada estadio de desarrollo gonádico.

Muestreo	Modas	Promedio correspondiente $\pm$ $\sigma$	n	Estadio de desarrollo gonádico correspondiente
Mar-09	1	15.9 $\pm$ 3.9	76	Crecimiento
	2	30.2 $\pm$ 4.3	125	Crecimiento
Abr-09	1	24.1 $\pm$ 7.0	180	Crecimiento
	2	35.3 $\pm$ 6.8	54	Madurez
May-09	1	19.9 $\pm$ 5.6	65	Crecimiento
	2	35.0 $\pm$ 7.0	87	Madurez
Jun-09	1	12.0 $\pm$ 2.9	36	Crecimiento
	2	30.0 $\pm$ 6.0	7	Crecimiento
	3	47.9 $\pm$ 6.2	13	Reabsorción
Jul-09	1	22.1 $\pm$ 3.8	90	Crecimiento
	2	38.0 $\pm$ 9.3	445	Madurez
Ago-09	1	33.0 $\pm$ 6.3	702	Madurez
Sep-09	1	25.8 $\pm$ 4.9	169	Crecimiento
	2	36.8 $\pm$ 4.6	134	Madurez
Oct-09	1	21.9 $\pm$ 3.7	45	Crecimiento
	2	41.3 $\pm$ 4.6	83	Reabsorción
Nov-09	1	24.2 $\pm$ 9.1	158	Crecimiento
Dic-09	1	14.5 $\pm$ 9.4	18	Crecimiento
Ene-10	1	15.6 $\pm$ 3.2	228	Crecimiento
	2	38.1 $\pm$ 3.8	42	Madurez
Feb-10	1	14.1 $\pm$ 2.4	54	Crecimiento
		> 12		Inicio de gametogénesis*

\*Los ovocitos con diámetros inferiores a 12  $\mu\text{m}$  no presentaron un citoplasma desarrollado por lo que se les considero como tempranos.

### 7.1.2. Crecimiento de los ovocitos

Las tasas de crecimiento ovocitario mostraron un valor promedio de  $0.41 \pm 0.10 \mu\text{m día}^{-1}$ , con un valor máximo de  $0.67 \mu\text{m día}^{-1}$  entre septiembre y octubre y un valor mínimo de  $0.29 \mu\text{m día}^{-1}$  entre octubre y noviembre 2009 (Tabla III).

Tabla III. Tasa de crecimiento ovocitaria de *C. fluctifraga* para cada cohorte.

Cohorte	Duración (días)	Ecuación	r <sup>2</sup>	Tasa de crecimiento (µm día <sup>-1</sup> )
1	37	y= 0.3333x + 37	R <sup>2</sup> = 1	0.33
2	66	y= 0.3683x+ 23.956	R <sup>2</sup> = 0.9969	0.37
3	61	y= 0.4425x+ 24.457	R <sup>2</sup> = 1	0.44
4	62	y= 0.4031x+ 23.802	R <sup>2</sup> = 0.9998	0.40
5	66	y= 0.4464x+ 19.714	R <sup>2</sup> = 0.9265	0.45
6	65	y= 0.3409x+ 24.355	R <sup>2</sup> = 0.998	0.34
7	50	y= 0.4008x+ 25.779	R <sup>2</sup> = 0.9926	0.40
8	21	y= 0.6714x + 24.4	R <sup>2</sup> = 1	0.67
9	42	y= 0.2905x + 22.4	R <sup>2</sup> = 1	0.29
10	27	y= 0.4111x + 22.2	R <sup>2</sup> = 1	0.41
11	59	y= 0.4972x+ 7.3789	R <sup>2</sup> = 0.9733	0.50

### 7.1.3. Fases reproductivas

Las observaciones citológicas hicieron posible identificar cinco estadios de desarrollo gametogénico que correspondieron a: gametogénesis temprana, crecimiento, madurez, desove y reabsorción (Figura 8; hembras A, B, C, D, y E - machos F, G, H, I, y J). Se identificaron las características histológicas en los diferentes estadios de reproducción de las hembras y de los machos (Tabla IV).

El porcentaje de ocupación gonadal correspondiente a cada estadio de desarrollo, mostró que de marzo a septiembre, el proceso de reproducción se mantuvo con poca variación. La adición de los ovocitos en crecimiento y maduros, ocuparon el mayor porcentaje de la gónada con 92%; el resto estuvo ocupado por ovocitos que presentaron una talla correspondiente a aquella observada en ovocitos en absorción. De octubre 2009 a febrero 2010, la gónada estuvo ocupada predominantemente por ovocitos en inicio de gametogénesis y en crecimiento (75%), así como por ovocitos en fase de madurez (25%). En este periodo los organismos se prepararon para el inicio de un nuevo ciclo gametogénico (Figura 9).

#### **7.1.4. Proporción de sexos**

De un total de 180 individuos muestreados 76 (42.2%) fueron indiferenciados (ausencia de tejido gonádico); 58 (32.2%) fueron machos, y 46 (25.6%) fueron hembras. La proporción sexual (1.3 M: 1H, n = 104) no difirió significativamente de la proporción esperada de 1:1 ( $p > 0.05$ ). No se encontraron organismos hermafroditas.



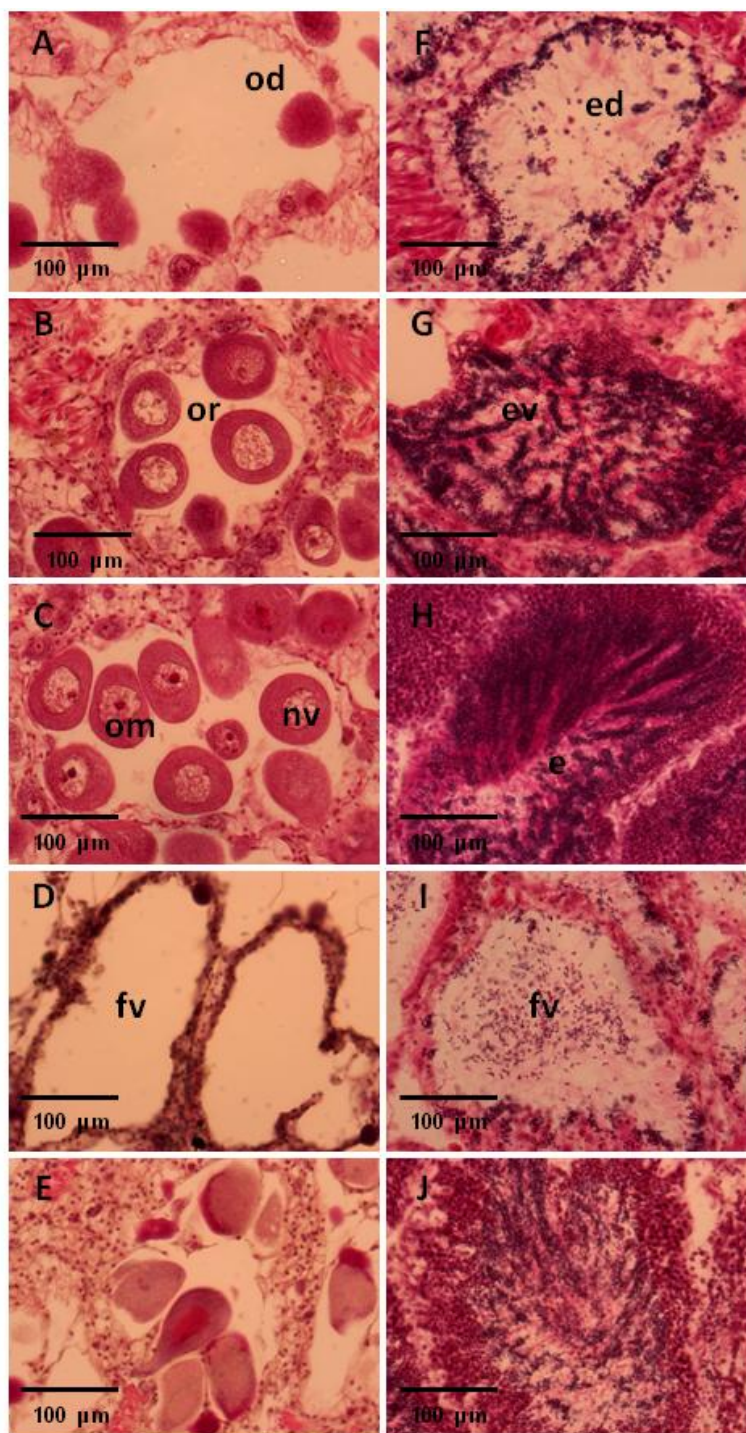


Figura 8. Estadios de desarrollo gonádico de *C. fluctifraga* en función de las características citológicas de la gónada. En hembras: gametogénesis temprana (A), crecimiento (B), madurez (C), desove (D), y reabsorción (E). En machos: gametogénesis temprana (F), crecimiento (G), madurez (H), desove (I), y reabsorción (J). e–espermatozoides, ed–espermatozoides en desarrollo, ev–espermatozoides visibles, fv–folículo vacío, nv–núcleo visible, od–ovocito en desarrollo, om – ovocito maduro, or–ovocito de forma regular.

Tabla IV. Características histológicas de los diferentes estadios gametogénicos en hembras y machos de *C. fluctifraga*.

Estadio gametogénico	Hembras	Machos
Gametogénesis temprana	La pared de los acinos se observa engrosada, con gran cantidad de ovogonias y con algunos ovocitos en desarrollo, ausencia de tejido folicular y presencia amplia de tejido conectivo interfolicular.	Folículos pequeños y dispersos conteniendo células de afinidad basófila presumiblemente espermatocitos en desarrollo, tejido conectivo interfolicular.
Crecimiento	El espacio folicular se ve ocupado por múltiples ovocitos de formas regulares y diferentes tamaños (en desarrollo) siendo los más comunes los previtelogénicos, pared folicular engruesada y ausencia de tejido conectivo interfolicular.	Aumento de tamaño en los folículos y reducción del tejido conectivo interfolicular, espermatocitos visibles.
Madurez	Ovocitos grandes de formas oval o circular dentro del folículo (diámetro ~35 $\mu\text{m}$ ), todos con núcleo visible, en algunos se apreció el nucléolo, pared folicular reducida y se detectó poco tejido conectivo interfolicular.	Folículos ampliamente desarrollados con arreglo centrífugo más denso en la periferia y menos denso en el centro, los espermatozoides fueron visibles por sus colas alineadas al centro del folículo, tejido conectivo interfolicular reducido.
Desove	Folículos vacíos con algunos ovocitos pedunculados.	Folículos vacíos, con presencia de escasos espermatozoides en su interior alineados hacia el centro, espacios vacíos entre presencia de tejido conectivo interfolicular.
Reabsorción	Presencia de ovocitos de gran tamaño con bordes difusos (lisis) dentro del folículo, paredes del folículo engrosadas, aparición de tejido conectivo interfolicular, y en algunos casos se detectan amebocitos.	Folículos con su interior difuso, no se identificaron espermatozoides ni espermatocitos, aumento del tejido conectivo interfolicular

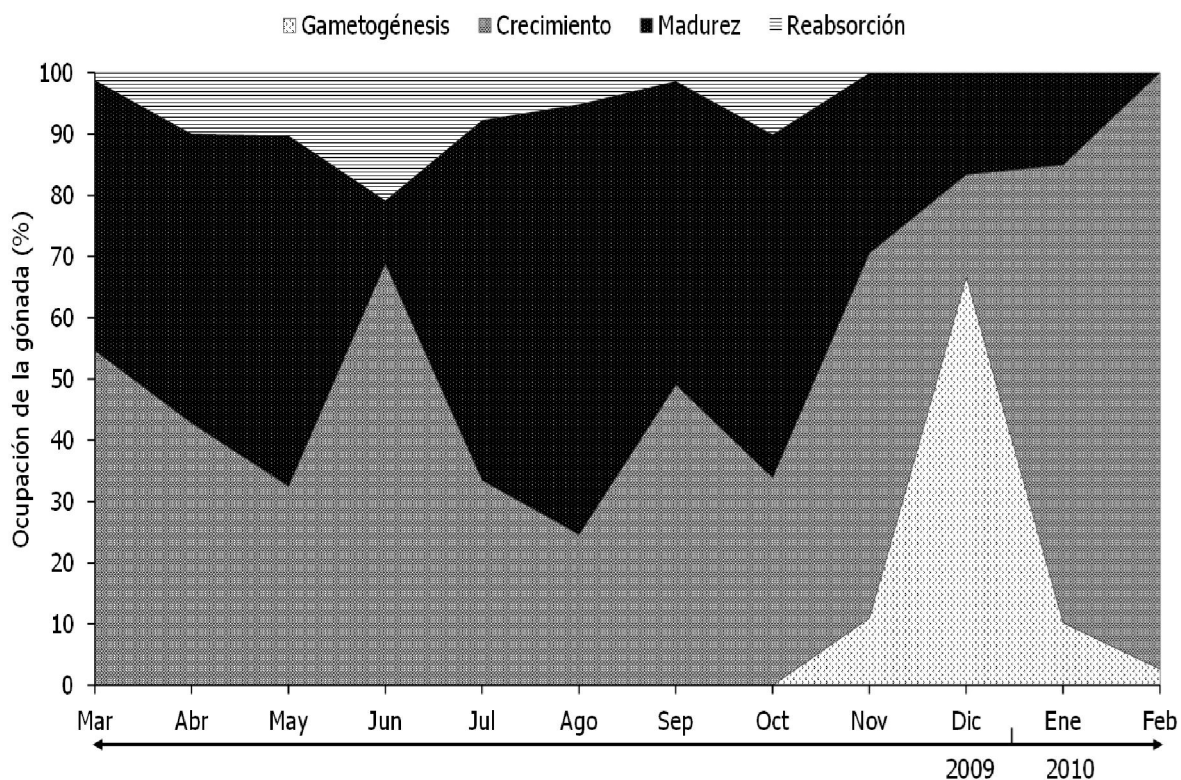


Figura 9. Porcentaje de ocupación de la gónada correspondiente a cada estadio de desarrollo de *C. fluctifraga*.

## 7.2. Índice de condición

El promedio del índice de condición mostró dos máximos en el ciclo anual: en agosto con un valor máximo de 29 y en diciembre con un valor de 26; el valor más bajo (20) se obtuvo en abril (Figura 10). El análisis de varianza arrojó diferencias significativas ( $p = 0.0002$ ) en los meses de julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre respecto a los demás meses para un nivel de confianza del 95%.

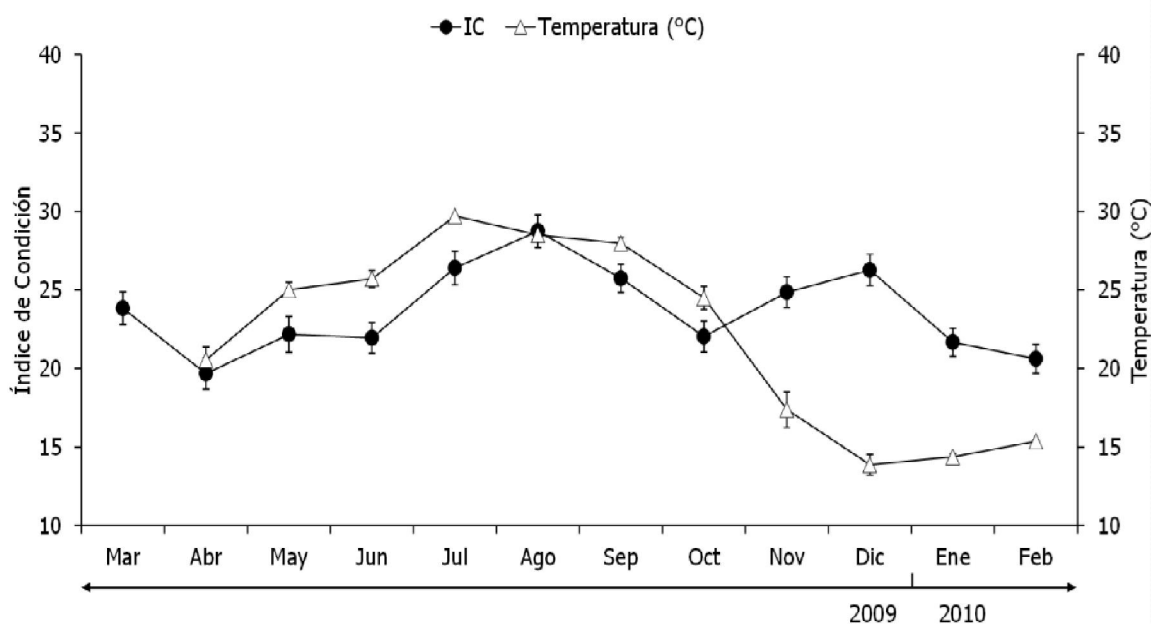


Figura 10. Variación mensual del IC ( $\pm$  SD) de *C. fluctifraga* y registros de temperatura del agua de mar.

### 7.3. Variables del agua

La temperatura del agua tuvo un valor máximo de 30 °C en julio y el menor de 14 °C en diciembre (Figura 10). La clorofila *a* tuvo escasa variación ( $0.3 \pm 0.1 \mu\text{g L}^{-1}$ ), observándose un pico de  $2.9 \mu\text{g L}^{-1}$  en diciembre. El material orgánico particulado (MOP) permaneció relativamente constante con intervalo de 11 a 28  $\text{mg L}^{-1}$  en el ciclo anual, excepto en septiembre donde se observó un valor de 44  $\text{mg L}^{-1}$ . El material inorgánico particulado (MIP) presentó tres picos: en abril 105  $\text{mg L}^{-1}$ , en septiembre 129  $\text{mg L}^{-1}$  y en enero 128  $\text{mg L}^{-1}$  (Figura 11). Como referencia, los valores más bajos de la relación MIP/MOP (mayor disponibilidad de material orgánico) se observó en mayo con 4.5, en septiembre con 2.9 y en diciembre con 5.0. La salinidad tuvo un intervalo de 36 a 42 ups registrándose el valor más alto en abril y el más bajo en septiembre.

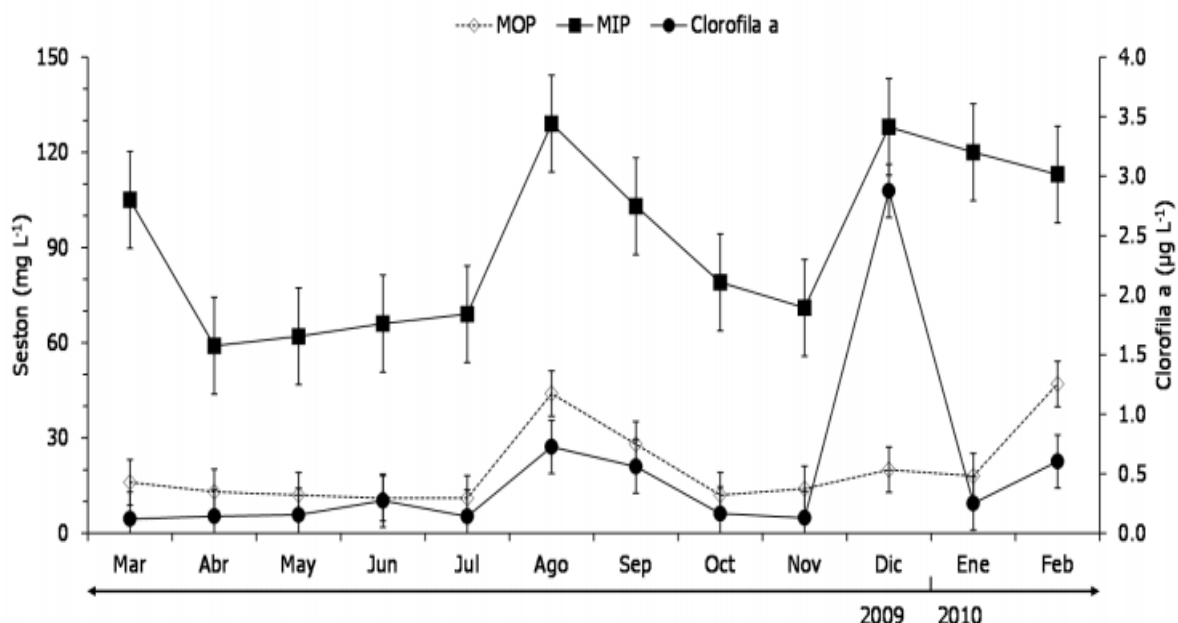


Figura 11. Concentraciones de materia orgánica particulada (MOP), materia inorgánica particulada (MIP) y clorofila a en Bahía San Jorge (Sonora, México).

#### 7.4. Densidad y biomasa

Como era de esperarse, la densidad promedio de la almeja negra a través del año fue más alta en el sitio no explotado ( $21 \pm 4$  ind  $m^{-2}$ ) y más baja en los sitios explotados ( $8 \pm 3$  ind  $m^{-2}$ ) (Figura 12). Estas densidades fueron significativamente diferentes entre el sitio no explotado y los sitios explotados (ANOVA de Fisher) en primavera ( $p = < 0.0001$ ), verano ( $p = 0.0085$ ) y otoño ( $p = 0.0002$ ), en invierno no hubo diferencias significativas entre los sitios ( $p = 0.2274$ ). La biomasa total de la almeja en toda el área muestreada a través del año fue más alta en el sitio no explotado (22.1 Kg) que los sitios explotados (9.0 y 8.1 Kg respectivamente) (Figura 12).

En relación al gradiente intermareal, la densidad fue más alta en el sitio no explotado, tanto en las zona superior ( $23 \pm 10$  ind  $m^{-2}$ ); como media ( $24 \pm 11$  ind  $m^{-2}$ ); e inferior ( $15 \pm 9$  ind  $m^{-2}$ ). En los sitios explotados en la zona superior no se observaron almejas, y en las zonas media e inferior las densidades fueron de  $11 \pm 10$  y  $14 \pm 8$  ind  $m^{-2}$ , respectivamente (Figura 13). La biomasa total de almejas en el

sitio no explotado en las zona superior fue de 7.3 Kg en la media fue de 9.8 Kg y en la inferior, 4.9 Kg. En los sitios explotados la zona superior sin almejas, y en las zonas media e inferior las biomasa fue de 3.9 y 4.7 Kg respectivamente (Figura 13).

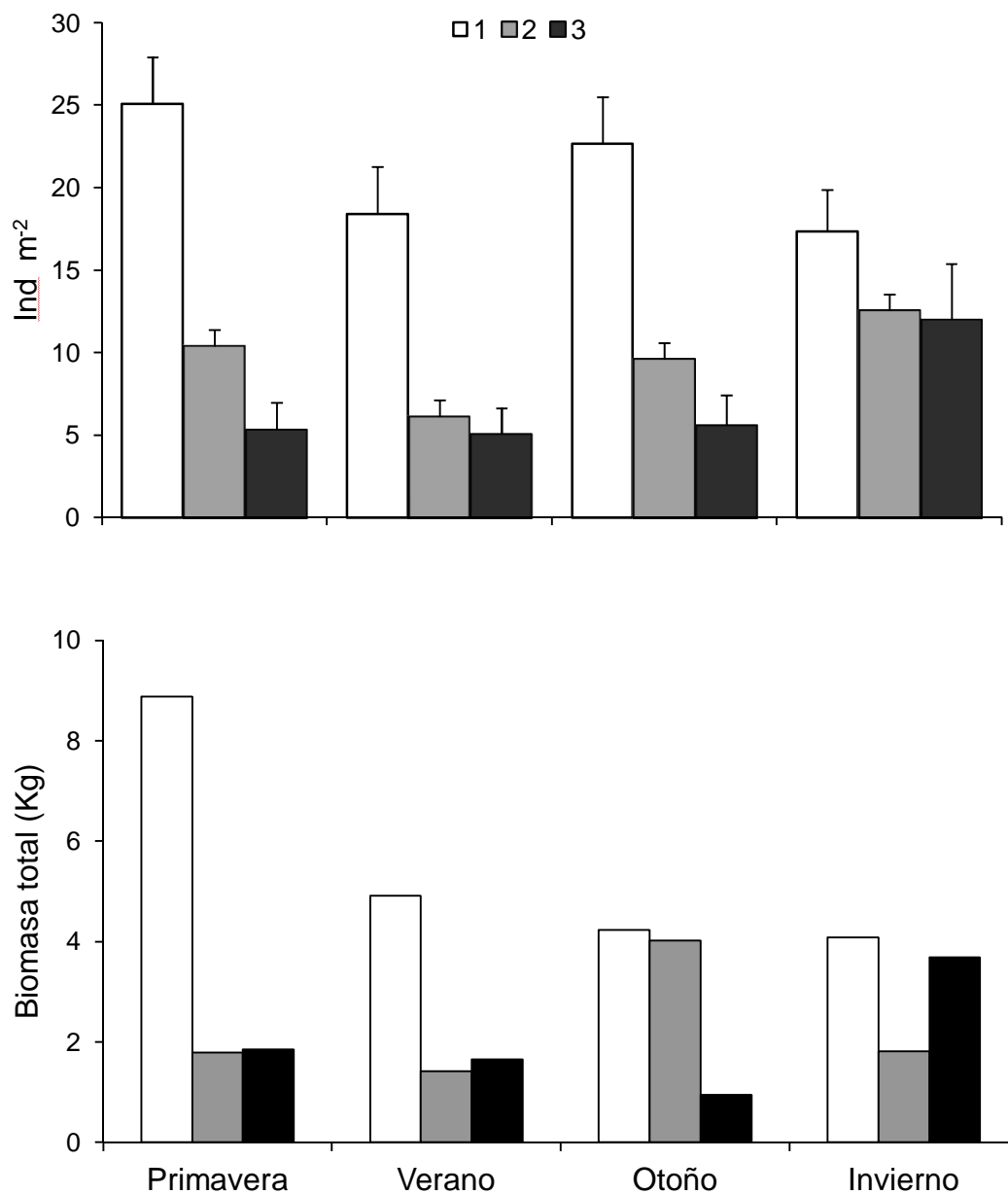


Figura 12. Densidad y biomasa estacional ( $\pm$  SD) de *C. fluctifraga* en sitios sin explotar (1) y explotados (2 y 3) durante primavera, verano, otoño e invierno en Bahía San Jorge.

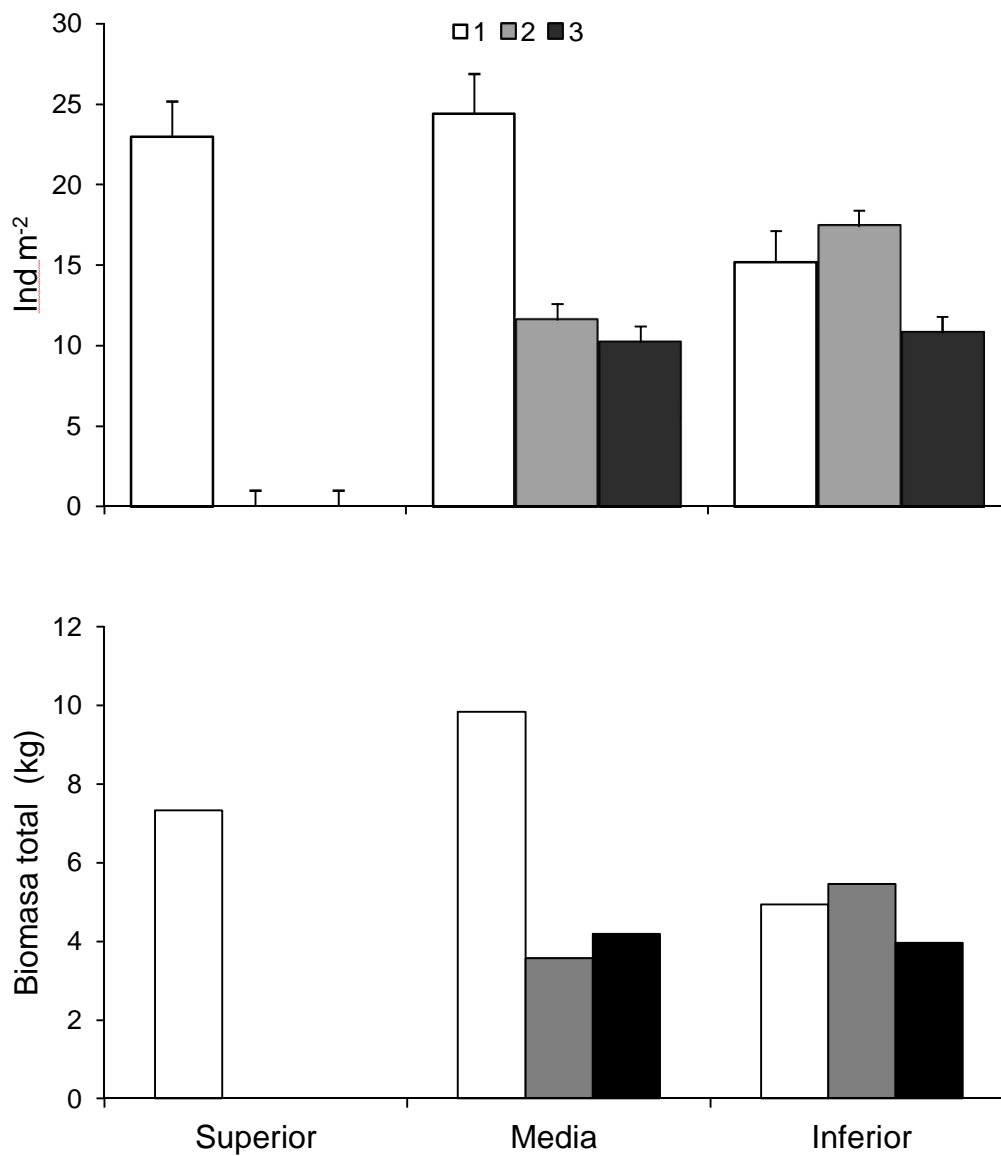


Figura 13. Densidad y biomasa a través del gradiente intermareal ( $\pm$  SD) de *C. fluctifraga* en sitios sin explotar (1) y explotados (2 y 3) en Bahía San Jorge.

### 7.5. Estructura de tallas

Las almejas tuvieron un intervalo de tallas de 2 a 53 mm. En el sitio no explotado las tallas que predominaron fueron de 30 a 40 mm y de 40 a 50 mm en primavera, de 1 a 10 mm y de 40 a 50 mm en verano, de 1 a 10 mm, 30 a 40 mm y 40 a 50 mm en otoño, de 1 a 10 mm y de 40 a 50 mm en invierno. En los sitios explotados se observaron menos almejas de tallas comerciales ( $\geq 35$  mm) y ausencia de almejas de  $> 50$  mm (Figura 14).

En el gradiente intermareal, en el sitio no explotado, la zona superior y media tuvieron almejas de casi todas las tallas sin mostrar una moda, en la zona inferior predominaron almejas con tallas de 1 a 10 mm y de 40 a 50 mm. En los sitios explotados, la zona superior se encontró sin almejas, en la zona media predominaron almejas con tallas de 1 a 10 mm, 30 a 40 mm y 40 a 50 mm, y en la zona inferior predominaron almejas con tallas de 1 a 10 mm y 40 a 50 mm. Las almejas de talla  $> 50$  mm se observaron exclusivamente en las zonas media e inferior del sitio no explotado (Figura 15).

La razón de varianza-media indicó una distribución agregada en cada sitio. El sitio no explotado tuvo menor coeficiente de dispersión ( $CD = 5$ ) que los sitios explotados ( $CD = 14$ ), en todos los sitios el  $CD$  fue significativamente  $> 1$  ( $p = 0.0402$ ) (Tabla V).

Tabla V. Coeficiente de dispersión de *C. fluctifraga* en sitios no explotados (1) y sitios explotados (2 y 3) en Bahía San Jorge.

Sitio	n	$s^2$	X	CD	$t_s$	P
1	60	120	21	6	15.4	$< 0.0001$
2	60	107	10	11	7.2	$< 0.0001$
3	60	80	7	11	6.1	$< 0.0001$



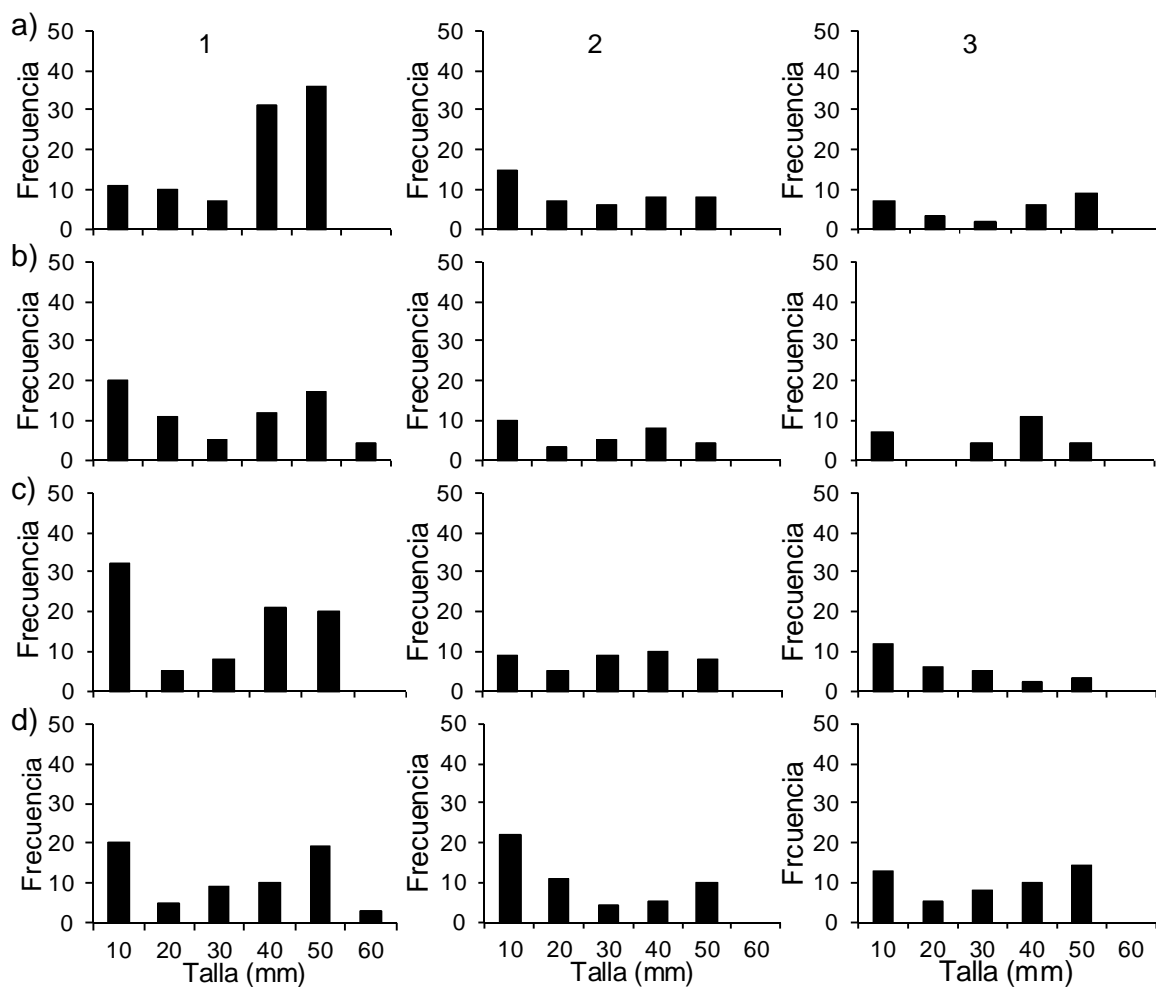


Figura 14. Distribución estacional de la longitud de *C. fluctifraga* durante a) primavera, b) verano, c) otoño y d) invierno en sitios no explotados (1) y sitios explotados (2 y 3) en Bahía San Jorge.

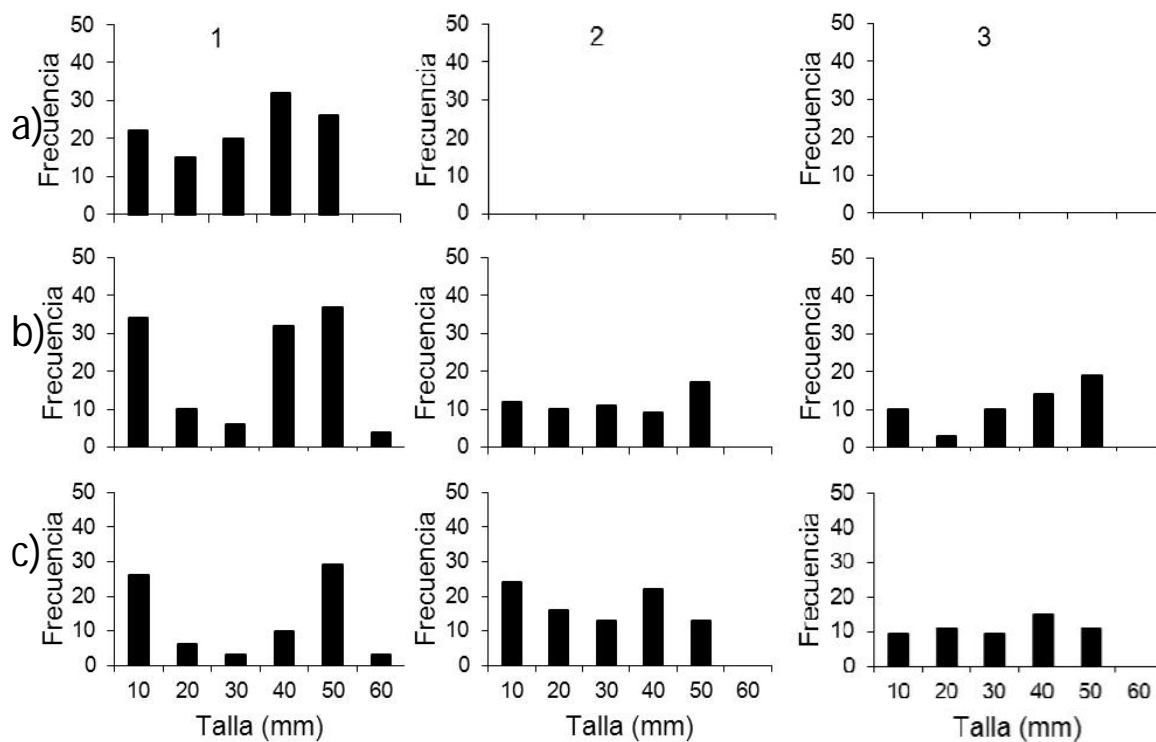


Figura 15. Distribución espacial de la longitud de *C. fluctifraga* en la zona superior (a), media (b) e inferior (c) del gradiente intermareal en sitios no explotados (1) y sitios explotados (2 y 3) en Bahía San Jorge.

### 7.6. Índice de condición estacional

El IC de las almejas varió de 20 a 28 a través del año, los valores más altos se observaron en verano y otoño, y los más bajos en invierno y primavera, aunque las diferencias entre estaciones del año no fueron significativas ( $p = 0.3011$ ) (Figura 16).

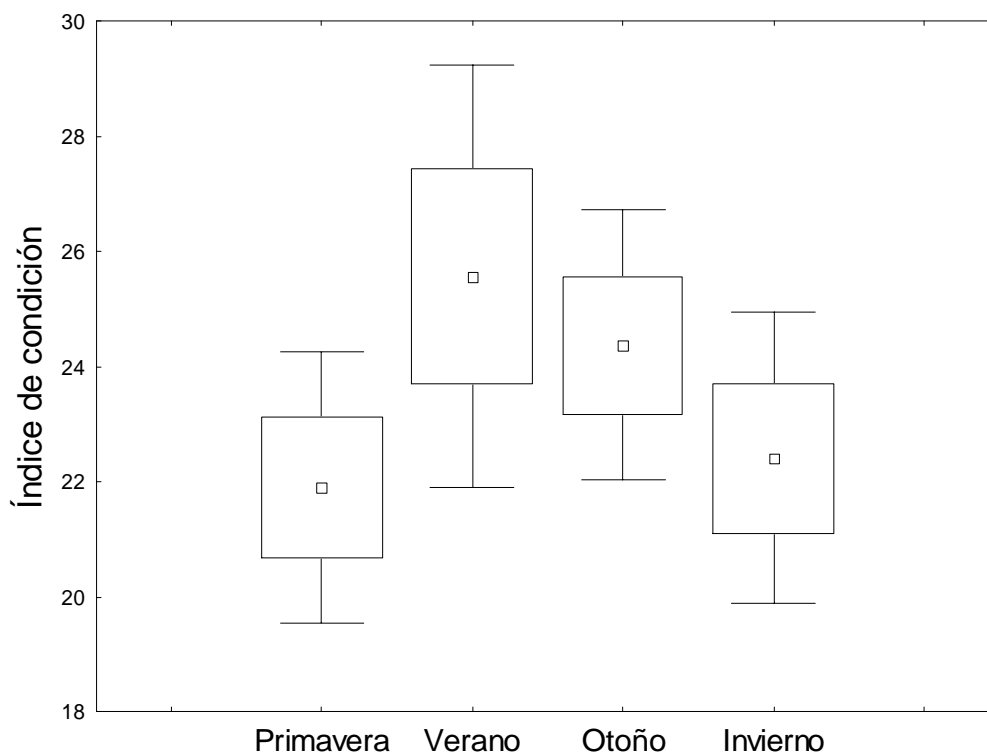


Figura 16. Índice de condición de *C. fluctifraga* durante primavera, verano, otoño e invierno en Bahía San Jorge.

### 7.7. Condiciones ambientales

La variación anual de temperatura del agua fue de 14 a 30 °C, los valores más bajos se observaron en diciembre, enero y febrero y los más altos en julio, agosto y septiembre (Figura 17). La salinidad tuvo un intervalo anual de 36 a 43 ups, los valores más bajos se observaron en enero y febrero, y los más altos en abril, mayo y junio (Figura 17). Las concentraciones de oxígeno disuelto mostraron un intervalo anual de 6 a 9 mg L<sup>-1</sup>, los valores más bajos se observaron en julio, agosto, septiembre y octubre, y los más altos en noviembre, diciembre, enero y febrero (Figura 17).

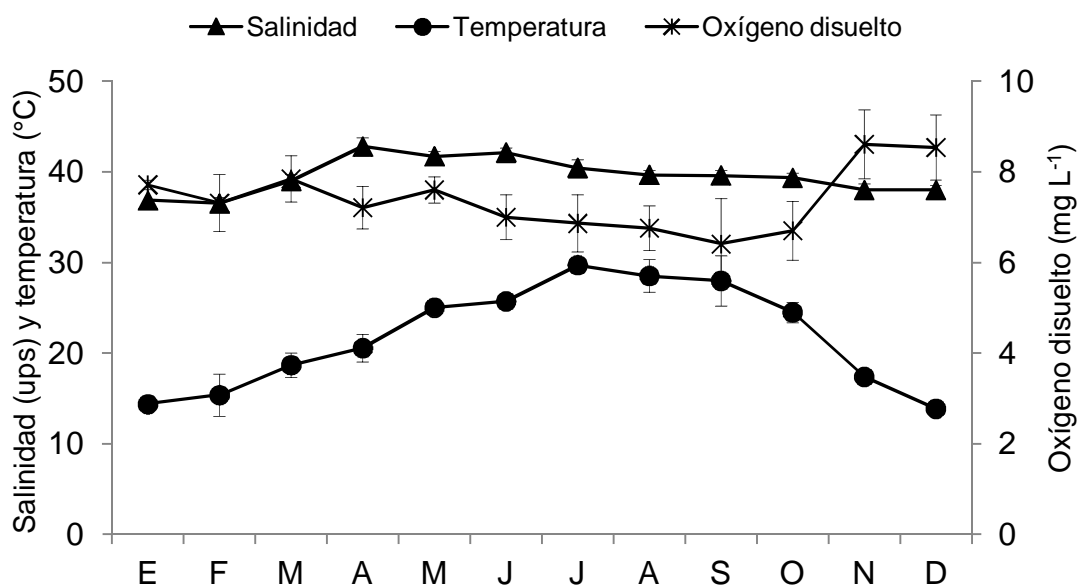


Figura 17. Variación anual de la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto ( $\pm$  SD) del agua en Bahía San Jorge.

El índice TRIX tuvo un intervalo anual de 1 a 2.5 indicando una condición oligotrófica del cuerpo de agua, los valores más bajos se observaron en primavera y verano, y los más altos en otoño e invierno (Figura 18).

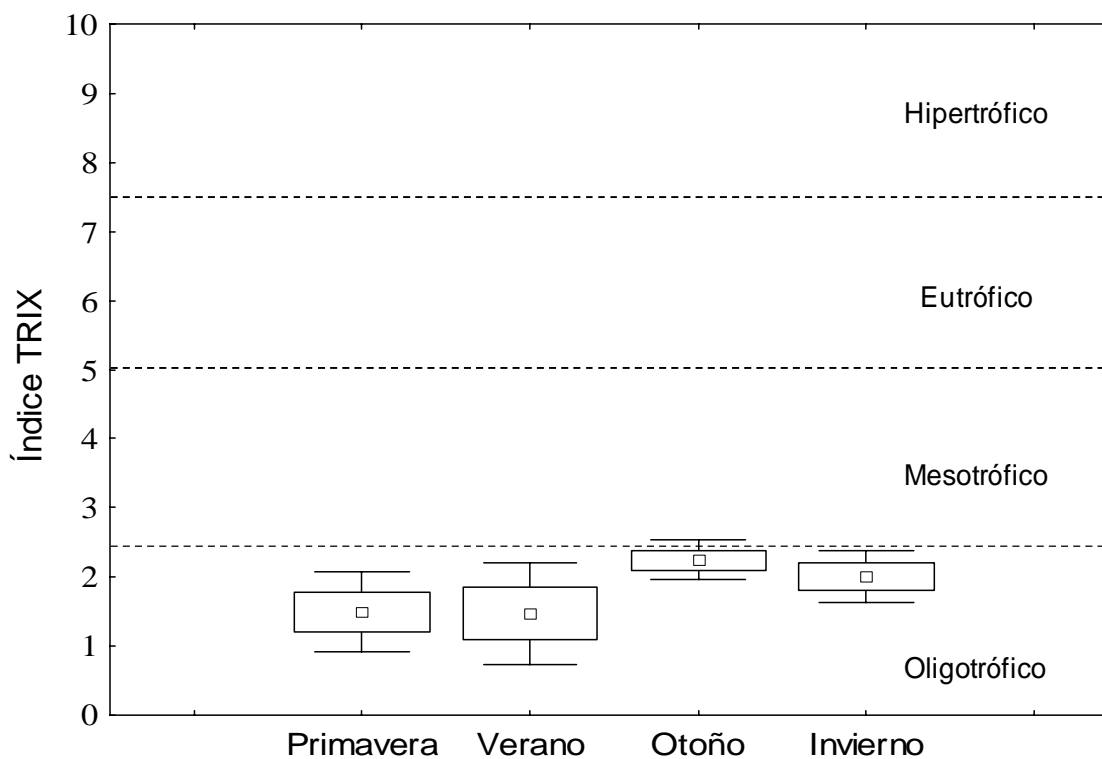


Figura 18. Estado trófico indicado por el Índice TRIX durante primavera, verano, otoño e invierno en Bahía San Jorge.

Tanto en el sitio no explotado como en los sitios explotados, el sedimento estuvo constituido de arena media a fina (Figura 19). El contenido de materia orgánica en sedimentos fue significativamente más alto en el sitio no explotado ( $0.68 \pm 0.24$ ) que en los sitios explotados ( $0.29 \pm 0.06$  y  $0.36 \pm 0.11$ ) (Tabla VI).

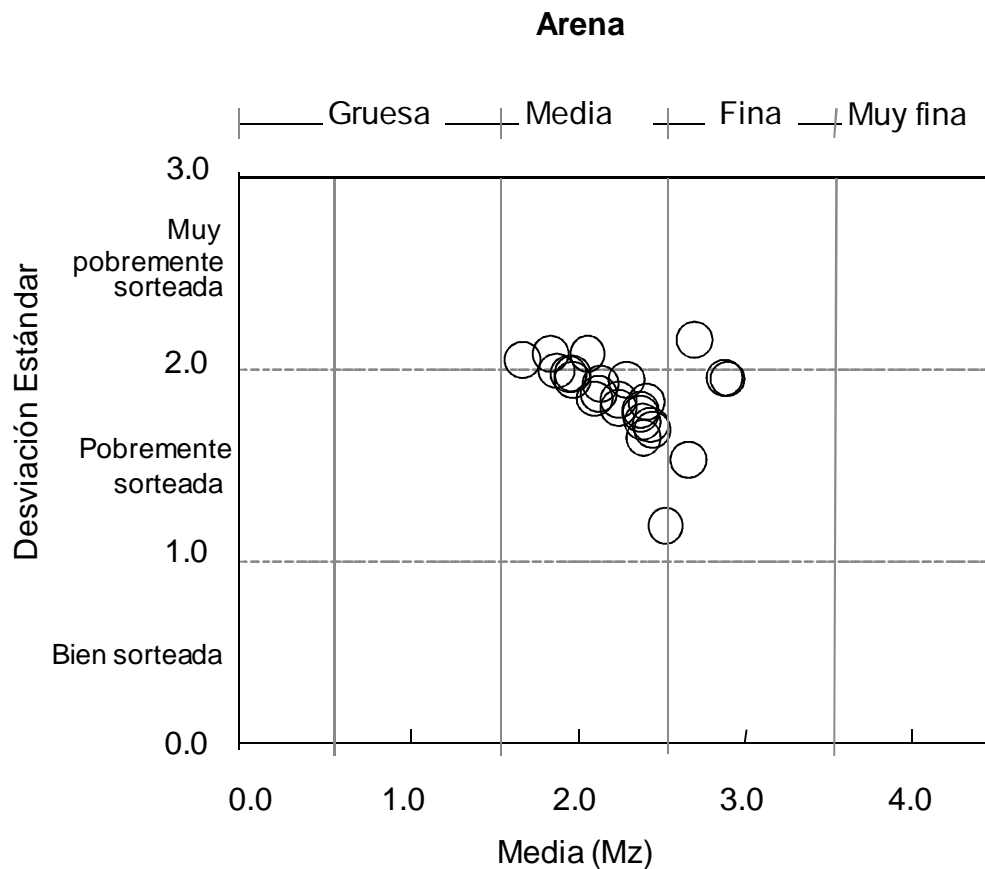


Figura 19. Clasificación del sedimento de Bahía San Jorge.

Tabla VI. Contenido de materia orgánica (%) en sedimentos en el sitio sin explotar (1) y los sitios explotados (2 y 3) en Bahía San Jorge.

Sitio	Mínimo	Máximo	Promedio $\pm$ SD
1	0.23	0.92	0.68 $\pm$ 0.24
2	0.20	0.40	0.29 $\pm$ 0.06
3	0.11	0.55	0.36 $\pm$ 0.11

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1. Reproducción y condición de la almeja

Los resultados indican que *C. fluctifraga* tiene un ciclo reproductivo semianual, caracterizado por el desarrollo de varias cohortes ovocitarias así como desoves continuos. La gametogénesis en la especie es un proceso continuo de abril a diciembre. Las observaciones histológicas y el rango asociado al diámetro de los ovocitos, aportaron evidencia de que el ciclo gametogénico se inició en marzo con la primera cohorte, de acuerdo con esto, la distribución de frecuencias del diámetro de ovocitos mostró su mayor actividad reproductiva con ovocitos en etapa de crecimiento (22.2 a 24.3  $\mu\text{m}$ ), maduración (36 a 38  $\mu\text{m}$ ), y reabsorción (46 a 49  $\mu\text{m}$ ) de marzo a octubre cuando la temperatura fue mayor a 25 °C y se detectaron los valores máximos de MOP. Estos resultados son similares a los reportados por Hmida *et al.* (2010) para *Solen marginatus* (navaja) donde el intervalo en los diámetros de los ovocitos en la etapa de crecimiento era de 15 a 25  $\mu\text{m}$  y en maduración de 25 a 40  $\mu\text{m}$ .

Los resultados del análisis modal indicaron que durante la gametogénesis de *C. fluctifraga* se presentaron de manera continua dos modas que correspondieron a estadios de crecimiento y madurez, el mes de junio fue la excepción presentando tres modas, dos en crecimiento y una en reabsorción, lo que hace suponer que en este período se presentó el desove más intenso. Lo anterior muestra que en esta especie existe una continua generación de cohortes ovocitarias a través del proceso de gametogénesis durante el ciclo reproductivo, como también ha sido observado en *Ruditapes decussatus*, *R. philippinarum* (Laruelle *et al.*, 1994), y *Pecten maximus* (Paulet y Boucher, 1991; Saout, 2000). La diferencia con estos estudios es que en *C. fluctifraga* los ovocitos maduros son liberados continuamente a lo largo de nueve meses del año, mientras que en estas especies los ovocitos son liberados en uno o dos desoves que ocurren durante un período relativamente fijo del año.

Durante el periodo reproductivo de *C. fluctifraga* la tasa de crecimiento ovocitaria se mantuvo relativamente constante (promedio  $0,44 \mu\text{m}^{-1}$ ) debido probablemente a condiciones favorables de temperatura ( $>20^{\circ}\text{C}$ ) y de disponibilidad de alimento. Lo anterior implica ventajas para la especie ya que se maximiza el rendimiento reproductivo (fecundidad) con más gametos maduros listos para ser liberados al medio.

El análisis cualitativo de las gónadas (características citológicas) nos permitió identificar cinco fases reproductivas en hembras y machos correspondientes a: (1) gametogénesis temprana, (2) crecimiento, (3) maduración, (4) desove y (5) reabsorción de gametos. En las hembras, estas fases se asociaron a través de un examen cuantitativo (conteo y medición de ovocitos) a la talla de sus ovocitos. Este tipo de análisis ha permitido establecer escalas reproductivas basadas en el diámetro de los ovocitos y observaciones histológicas de la gónada para otras especies de bivalvos como *Crassostrea gigas* (Lango-Reynoso *et al.*, 2000), *Atrina maura* (Enríquez-Díaz *et al.*, 2002), *Solen marginatus* (Hmida *et al.*, 2010). En este trabajo se propone una escala de reproducción para *C. fluctifraga* bajo los criterios mencionados, la cual podría servir de referencia para estudios posteriores para la especie y posiblemente para almejas del mismo género.

La ausencia de organismos hermafroditas en las cohortes estudiadas, sugiere que la especie es gonocórica con predominancia de machos. Durante el periodo de reproducción, se pudieron observar machos en todos los estadios gametogénicos. Lo anterior, ha sido observado en otros bivalvos (Baqueiro y Stuardo, 1977; Baqueiro *et al.*, 1982; Baqueiro y Masso, 1988; Avellanal *et al.*, 2002). Algunos autores señalan que en las poblaciones donde la proporción sexual favorece a los machos, los organismos se encuentran gran parte de tiempo en condiciones poco favorables para la reproducción, pero cuando las condiciones son propicias, la proporción de hembras aumenta rápidamente (Thielley, 1993; Lango-Reynoso, 1999). Las almejas de nuestro estudio habitan principalmente en las zonas de entre-mareas, las cuales quedan sin agua por prolongados períodos



de tiempo lo que podría generar situaciones de estrés. Por ejemplo, las hembras de la ostra perlera *Pinctada margaritifera* son muy sensibles al estrés y su número disminuye considerablemente cuando se presentan valores extremos de temperatura, ausencia de alimento, contaminación, exposición a manejo (cultivos), etc. (Chávez-Villalba *et al.*, 2011). Al parecer las hembras de *C. fluctifraga* son menos sensibles al estrés dado que estuvieron presentes todo el año, aumentando su proporción en la época reproductiva pero disminuyendo en invierno cuando no se estaban reproduciendo. Esto coincide con lo mencionado anteriormente y con lo encontrado para *C. gigas* en la misma región (Chávez-Villalba *et al.*, 2007). Nuestros resultados mostraron altas proporciones de organismos indiferenciados. De acuerdo con algunos autores, algunas especies de venéridos pasan por situaciones que los obligan a reabsorber el material reproductivo residual (García-Domínguez *et al.*, 1993; Villalejo-Fuerte y Ceballos-Vázquez, 1996). Otros indican que los individuos indiferenciados pueden ser una fase de transición entre macho y hembra o viceversa (Pouvreau *et al.*, 2000). Estos autores resaltan la dificultad que conlleva hallar hermafroditas entre las ostras perleras (*P. margaritifera*), dado que de 3360 analizadas sólo encontraron 7 individuos bisexuales. Se requieren más estudios donde se determine si entre la gran cantidad de individuos indiferenciados no se oculta la presencia de hermafroditas en esta especie.

El índice de condición (IC) es reconocido por su importancia para evaluar el estado nutricional de los bivalvos, su calidad comercial, así como conocer de manera general su ciclo de reproducción (Bodoy *et al.*, 1986; Crosby y Gale, 1990; Mason y Nell, 1995; Baghurst y Michell, 2002). Por ejemplo, el IC para *R. decussatus* y *R. philippinarum* en Brest, Francia, mostró que los valores se incrementan desde marzo hasta finales de mayo, después se produce una disminución del índice y vuelve a incrementarse hasta mediados de agosto, y posteriormente a principios de septiembre se produce otra disminución importante coincidiendo con el desove de finales de verano (Laruelle *et al.*, 1994). Este

comportamiento es muy similar al observado para *C. fluctifraga*, donde los valores del IC se incrementaron desde marzo hasta agosto con descensos en abril, junio y, el más importante, en septiembre. Esto además de coincidir en gran medida con la variación del MOP, sugiere una fuerte relación del IC con el ciclo de reproducción; el valor más alto se detectó durante la mayor actividad reproductiva en verano y el desove principal se puede asociar con el posterior decremento significativo del IC en septiembre. No obstante, el otro pico del IC en diciembre puede asociarse a un almacenamiento de nutrientes a partir de un incremento de la masa fitoplanctónica durante ese mes. Esto indica que la especie podría tener una estrategia de reproducción conservadora, donde las reservas de energía se acumulan y después son movilizadas para soportar la producción de gametos (Ren *et al.*, 2003). Esto se ha observado también en otros bivalvos de la zona como *Argopecten circularis* (Villalejo-Fuerte y Ceballos-Vázquez, 1996) y de otras latitudes como *C. gigas* (Li *et al.*, 2009).

### **8.1.1. Relación del ciclo reproductivo con las variables ambientales**

La influencia de las variables ambientales en el proceso reproductivo ha sido tratada en numerosos estudios desde hace décadas (López *et al.*, 2005). En los bivalvos las variables con mayor influencia son la temperatura y la cantidad de alimento disponible (Loosanoff y Davis, 1963; Giese y Kanatani, 1987; Barber y Blake, 1991; Darriba, 2001). En nuestro estudio el inicio de la actividad reproductiva ocurrió cuando la temperatura del agua fue  $>20^{\circ}\text{C}$  (marzo) y cuando había alta disponibilidad de alimento indicada por la relación MIP/MOP en 6.6. El periodo de mayor actividad reproductiva (primavera-verano) coincidió también con valores altos de temperatura ( $> 26^{\circ}\text{C}$ ) y con los incrementos ( $36/116 \text{ mg L}^{-1}$ ) de MOP y MIP respectivamente. Lo anterior coincide con lo encontrado por Chávez-Villalba *et al.* (2005) para *C. gigas* quienes observaron una relación entre alimentación y actividad reproductiva durante primavera-verano. De acuerdo con Delgado y Pérez-Camacho (2005), en *Ruditapes decussatus* la energía procedente de la ingestión se destina primordialmente al proceso de reproducción,

de esta forma, el alimento disponible guarda relación directa con el desarrollo gonadal y por lo tanto con la velocidad de desarrollo de los gametos.

En algunas especies, el desove se inicia cuando la temperatura excede de un nivel crítico característico (Maeda-Martínez, 2001). El inicio de los desoves en *C. fluctifraga* se detectó en abril cuando la temperatura del agua llegó a 21°C, pero al parecer el desove principal ocurrió durante julio-agosto (2009) cuando la temperatura alcanzó sus máximos valores (29 a 30°C). Por ejemplo, en *C. californiensis* el desove se presentó cuando la temperatura fue mayor a 24°C (García-Domínguez *et al.*, 1993), mientras que el desove de *Saccostrea palmula* en Bahía Magdalena (México) inició a partir de los 21,5°C (Romo-Piñera, 2005). Al parecer este fenómeno podría ser común, pues también ha sido observado en otras especies y venéridos como *M. mercenaria* (Brey y Hain, 1992; MacDonald y Thompson, 1985; Manzi *et al.*, 1985; Pearse *et al.*, 1991). En invierno, se observó una fase de reposo reproductivo probablemente debido a que las temperaturas registradas en este periodo fueron menores a 20°C. La evidencia indica que los ovocitos observados en diciembre y enero en fase de madurez, no se encontraron en febrero probablemente porque fueron reabsorbidos en la gónada. En enero y febrero, aún con bajas temperaturas, sólo se detectaron ovocitos en inicio de gametogénesis y en crecimiento, y permanecieron así hasta que re-inició el ciclo de reproducción con el incremento de la temperatura del agua en marzo. Estas observaciones sugieren que la gametogénesis en *C. fluctifraga* está directamente relacionada con la variación de la temperatura del agua, a diferencia de especies del mismo género como *C. undatella* en B.C.S. y *C. cancellata* en Florida, las cuales presentaron periodos reproductivos continuos a lo largo de todo el año sin efecto aparente de la variación estacional de la temperatura (Moore y López, 1969; Baqueiro y Masso, 1988).

Los resultados de este estudio muestran que el ciclo de reproducción de *C. fluctifraga* está regulado principalmente por la temperatura, siendo de manera continua de marzo a noviembre cuando los valores son mayores a 20°C. Durante este periodo se observa el desarrollo de cohortes de ovocitos que maduran y son

liberados al medio en desoves continuos pero con un evento principal en verano asociado con la máxima temperatura del agua. La disponibilidad de alimento durante los periodos de reproducción y de reposo sexual contribuye con el desarrollo de los gametos y con el almacenamiento de nutrientes respectivamente, sugiriendo una estrategia de reproducción conservadora. La escala reproductiva propuesta podría asistir en futuros estudios de la especie u otras similares.

## 8.2. Densidad y composición de tallas

Las densidades observadas en el sitio no explotado ( $21 \text{ ind m}^{-2}$ ) son las más altas reportadas para el Golfo de California. En las lagunas costeras Sargento, Santa Rosa, El Soldado y La Cruz, ubicadas en la región central del Golfo de California se reportaron densidades desde  $2 \text{ ind m}^{-2}$  hasta  $10 \text{ ind m}^{-2}$  (Martínez-Córdova, 1996). Dos diferencias claves entre Bahía San Jorge y esas lagunas costeras pueden explicar las distintas densidades: (1) la amplitud de marea es mayor en Bahía San Jorge ( $\sim 7 \text{ m}$ ) que en las lagunas costeras ( $\sim 1 \text{ m}$ ) (Filloux, 1973) esto, implica mayor extensión de zona intermareal con mayor dinámica de periodos de inundación y de exposición por mareas en Bahía San Jorge, y (2) sedimento con granulometría homogénea constituido por arenas medianas y finas en Bahía San Jorge y sedimentos con granulometría heterogénea compuesto por arena gruesa, mediana, fina y limos en las lagunas costeras (Villalba *et al.*, 1989), estas observaciones sugieren que Bahía San Jorge brinda mejores condiciones de hábitat para la almeja negra.

La dinámica poblacional de la almeja negra puede entenderse porque tiene un periodo de reproducción más intenso en verano, asociado a temperatura del agua  $> 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (Castillo-Durán *et al.*, 2013); esto, explica que la mayor cantidad de juveniles  $< 10 \text{ mm}$  se encontraron en otoño. Drover (1974) observó que el crecimiento de la concha ocurre esencialmente desde primavera hasta otoño, esto sugiere una estrategia reproductiva de la almeja negra, consistente en que la mayor cantidad de reclutas en verano, tengan buena tasa de crecimiento hasta otoño, cuando ocurre la mayor tasa de productividad en la columna de agua. Sin

embargo, la reproducción no está concentrada exclusivamente en verano, la liberación de gametos ocurre en primavera, verano y otoño (Castillo-Durán *et al.*, 2013) y esto favorece el éxito del reclutamiento. La incorporación de almejas pequeñas ( $< 10$  mm) ocurrió principalmente en las zonas media e inferior de la zona intermareal y se atribuye a una estrategia de la especie debido a que en las zonas más bajas del gradiente intermareal, los individuos juveniles tienden a estar menos tiempo expuestos a las condiciones extremas de temperatura ambiental.

El coeficiente de dispersión mostró que la almeja negra tiene una distribución agregada, y esto es un patrón observado en muchas almejas, lo cual es atribuido a su capacidad para seleccionar sustratos adecuados y favorecer la reproducción (Gosling, 2003). Fue notable un coeficiente de dispersión mayor en los sitios explotados, atribuido a la presión por pesca.

Los efectos de la pesca se concentran en la disminución de alrededor del 50% de los individuos de tallas comerciales de 35 mm o más, y el agotamiento de almejas  $> 50$  mm. Sin embargo, el reclutamiento de juveniles a la población en el área explotada tuvo un descenso ( $\sim 10\%$ ) con respecto al sitio no explotado, lo cual se atribuye principalmente a la remoción de sedimentos durante el proceso de recolección de almejas, esta escasa reducción en el ingreso de nuevos individuos a la población, sugiere un potencial de recuperación de individuos de tallas comerciales en dos o tres años en los sitios explotados.

El análisis comparativo entre el sitio explotado y los sitios no explotados aportó evidencia de los efectos de la pesca en la población de la almeja negra. Drover (1974) mostró que individuos de un año tienen tallas  $\leq 25$  mm, a los tres años y medio alcanzan la talla comercial  $\geq 35$  mm y a los cinco años las tallas ya son  $\geq 50$  mm, de tal forma que la estructura de la población en el sitio no explotado se compuso principalmente de almejas jóvenes  $< 1$  año y de tallas comerciales, incluyendo individuos  $\geq 5$  años; mientras que en los sitios explotados la estructura poblacional se caracterizó principalmente por almejas jóvenes  $< 1$  año, las tallas

comerciales  $\geq 35$  mm se redujeron en  $\sim 65$  % y no se observaron individuos  $> 5$  años.

Otro efecto de la presión por pesca fue la disminución de las densidades desde  $\sim 21$  ind  $m^{-2}$  hasta  $\leq 10$  ind  $m^{-2}$ , incluyendo la ausencia de individuos en la zona superior del gradiente intermareal en los sitios explotados, en la zona superior se agotaron las almejas y ahora la extracción se ubica en las zonas media e inferior las cuales mostraron una densidad de 15 y 14 ind  $m^{-2}$  respectivamente. La similitud en la densidad en el gradiente nos hace suponer que no hay una relación de aumento en la densidad de los organismos con la profundidad del sustrato como ocurre en otros bivalvos (Keen y Coan, 1974 y Ávila-Serrano *et al.*, 2006).

En Bahía San Jorge se combinan varios factores ambientales que generan condiciones propicias para el desarrollo de la población de la almeja negra, como lo indican las altas densidades  $\sim 21$  ind  $m^{-2}$  observadas en zonas no explotadas. Estos factores ambientales corresponden a: (1) extensas zonas intermareales con sedimentos constituidos por arenas medianas y finas que parecen ser óptimas para su enterramiento, lo cual coincide con lo observado por Martínez-Córdova (1986) en otro cuerpo de agua en el Golfo de California, donde la mayor abundancia de la almeja negra se registró en ese tipo de sedimentos, hubo pocas almejas en sedimentos limosos y ninguna almeja en arena gruesa; (2) la amplitud de marea  $> 7$  m (Filloux, 1973) propicia que en un ciclo de marea las almejas estén sumergidas y expuestas en periodos de horas, esto sugiere cortos periodos de alimentación, pero también cortos periodos de depredación por epifauna, peces y otros organismos; (3) temperatura del agua con diferencias de  $\sim 16$  °C entre verano e invierno que controla su ciclo reproductivo (Castillo-Durán *et al.*, 2013) y que es consistente con el índice de condición observado, mayor en verano y menor en invierno, (4) concentraciones de oxígeno disuelto en el agua  $> 6$  mg  $L^{-1}$  asociados a la mezcla de agua por efecto del flujo y reflujos de marea, y concentraciones de materia orgánica en sedimentos  $< 1$  % que limitan condiciones hipóxicas o anóxicas adversas a las almejas, (5) condiciones ligeramente

hipersalinas > 36 ups todo el año, explicadas por las masas de agua del mar adyacente (Bray, 1988) así, como por altas tasas de evaporación  $\sim 2000 \text{ mm año}^{-1}$  y escasos aportes de agua dulce provenientes de lluvias  $< 100 \text{ mm año}^{-1}$ . Esta hipersalinidad asociada a otros factores como los periodos de desecación a los cuales parece estar adaptada la almeja negra, puede estar limitando la riqueza de otras especies y por lo tanto la competencia por espacio, como sugieren Mclusky y Elliot (1981); (6) temperatura del aire de 12 a 33 °C con base en los promedios mensuales observados durante el periodo de estudio, es decir, condiciones extremas de temperatura ambiental a las cuales quedan expuestas las comunidades de la zona intermareal durante las bajamares, y que las especies mejor adaptadas para soportar estas condiciones, son especies de la infauna (Gosling, 2003) como la almeja negra; y (7) durante otoño se observó la mayor tasa de abastecimiento de materia orgánica indicada por el índice TRIX, y está asociada al periodo de mayor reclutamiento de juveniles  $< 10 \text{ mm}$ .

Por otro lado, debido a su gran aceptación en el mercado y su alta demanda en Estados Unidos la almeja negra es un recurso que empieza a formar parte de una de las pesquerías ribereñas más importantes en el noroeste de México. Lo anterior resulta muy atractivo para los productores locales ya que representa una fuente de empleo adicional de gran importancia para la región. Los grupos productores, principalmente la Cooperativa Bahía San Jorge en Caborca, Sonora (principal productor), han realizado la explotación de esta especie a la fecha de forma más o menos empírica. A pesar de que el recuso se ha mantenido y se obtienen buenos rendimientos de producción, es necesario que la toma de decisiones relacionadas con el aprovechamiento racional de la almeja *C. fluctifraga* tenga bases científicas. Los resultados de esta tesis arrojan elementos claves para contribuir a la elaboración de un plan de manejo de la pesquería. Los principales puntos que podrían considerarse para lo anterior son los siguientes: (1) máximo periodo de reproducción en verano, (2) máximo reclutamiento de juveniles en otoño, (3) índice de condición más bajo en invierno, (4) sitios explotados con efectos de la pesca

indicados por disminución del 50 % de los individuos de tallas comerciales de  $\geq 35$  mm, agotamiento de almejas  $> 50$  mm y disminución de las densidades en un 50 %. Con base en lo anterior es posible evaluar estrategias de manejo como cuotas de captura tomando en cuenta las estimaciones de abundancia efectuadas en este trabajo. En pesquerías de invertebrados bentónicos se recomienda un patrón definido de rotación de bancos o zonas de pesca por un determinado periodo de tiempo (Caddy, 1993). El objetivo de lo anterior es favorecer el crecimiento de los organismos y el aumento en su abundancia como resultado de la eliminación de la mortalidad por pesca en dicha área (Botsford *et al.*, 1993). Por ejemplo, López-Rocha *et al.* (2010) recomiendan para la almeja chocolate *Megapitaria squalida* un sistema de rotación de bancos de al menos 2.5 años entre periodos de explotación para asegurar la reproducción de la especie y el crecimiento de los nuevos reclutas. En el caso de la almeja negra se podría aplicar un tiempo similar considerando el reclutamiento de juveniles observado. Otro aspecto importante sería la determinación de vedas para la especie. En el caso de la almeja se puede pensar en dos situaciones; (1) si se toma en cuenta el aspecto reproductivo, lo recomendable sería evitar su extracción en verano, y (2) si se piensa en el índice de condición y el reclutamiento de juveniles, se podría pensar en invierno como temporada para disminuir el esfuerzo pesquero al menos en un 75%.



## 9. CONCLUSIONES

Bahía San Jorge proporciona un hábitat propicio para la población de almeja negra, debido a su condición macromareal, tiene extensas planicies intermareales con sedimentos de arena mediana y fina que es el sustrato preferido por la almeja negra; concentraciones de oxígeno disuelto en el agua  $> 6 \text{ mg L}^{-1}$  todo el año aunado al bajo contenido materia orgánica en sedimentos  $< 1\%$  asegura el suministro de oxígeno requerido por la población; la variabilidad anual de la temperatura del agua 10 a 33 °C controla el índice de condición de la almeja que es mayor en primavera, verano y otoño y menor en invierno y está asociado a la reproducción.

La reproducción está regida esencialmente por la temperatura del agua, esto se demostró porque la gametogénesis ocurrió cuando la temperatura fue  $> 20 \text{ °C}$  (periodo marzo a octubre). El descenso de temperatura marcó el final de la gametogénesis y el inicio de un periodo de reposo sexual donde aparentemente ocurrió almacenamiento de nutrientes; además, la ausencia de organismos hermafroditas indicó que la especie es gonocórica con predominancia de machos.

La estrategia adaptativa de la especie mostró un reclutamiento de individuos jóvenes todo el año, pero con un evento mayor en otoño acoplado a un incremento de la productividad primaria acuática.

La dinámica poblacional observada entre el sitio no explotado y los sitios explotados, mostró efectos de la pesca indicados por la disminución de alrededor del 50 % de los individuos de tallas comerciales de 35 mm, y agotamiento de almejas  $> 50 \text{ mm}$ ; así como disminución de las densidades desde  $\sim 21 \text{ ind m}^{-2}$  hasta  $\leq 10 \text{ ind m}^{-2}$  y, debido a que la tasa de reclutamiento de individuos jóvenes se mantiene, entonces la abundancia de tallas comerciales tiene potencial de recuperación, entre 2 y 3 años en los sitios explotados actualmente. Este conocimiento es útil para la toma de decisiones del manejo de la pesquería, específicamente puede considerarse rotación de las zonas de pesca.

## 10. LITERATURA CITADA

- Anderson, D. T. 2001. Invertebrate zoology. 2nd edition. Oxford University Press, Oxford. 476 p.
- Avellanal, M.H., E. Jaramillo, E. Clasing, P. Quijón, H. Contreras. 2002. Reproductive cycle of the bivalves *Ensis macha* (Molina, 1782) (Solenidae), *Tagelus dombeii* (Lamarck, 1818) (Solecurtidae), and *Mulinia edulis* (King, 1831) (Mactridae) in southern Chile. The Veliger. 45:33-44.
- Ávila-Serrano, G.E., K.W. Flessa, M.A. Téllez-Duarte, Cintra-Buenrostro C.E. 2006. Distribución de la macrofauna intermareal del Delta del Río Colorado, norte del Golfo de California, México. Cienc. Mar. 32(4):649-661.
- Baghurst, B.C. y G.G. Mitchell. 2002. Sex-specific growth and condition of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg). Aquac. Res. 33:1253-1263.
- Baqueiro, E. y J. Stuardo. 1977. Observaciones sobre la biología, ecología y explotación de *Megapitaria aurantiaca* (Sowerby 1831), *M. squalida* (Sowerby 1835) y *Dosinia ponderosa* (Gray 1838) (Bivalvia: Veneridae) de la Bahía de Zihuatanejo e Isla Ixtapa, Gro., México. An. Centro. Cien. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 4:161-208.
- Baqueiro, C.E., M. Muciño, R. Merino. 1982. Análisis de una población de pata de mula *Anadara tuberculosa* sujeta a explotación intensiva en la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Ciencia Pesquera 3:75-82.
- Baqueiro, E. y J.A. Masso. 1988. Variaciones poblacionales y reproducción de dos poblaciones de *Chione undatella* (Sowerby, 1835) bajo diferentes regímenes de pesca en la Bahía de La Paz, B.C.S. México. Ciencia Pesquera. 6:51-67.
- Barber, B.J. y N.J. Blake. 1991. Reproductive physiology. In: Shumway SE (ed) Scallops: biology, ecology and aquaculture. Developments in Aquaculture and Fish. Sci. 21:377-428.
- Begon, M., J.L. Harper, C.R. Townsend. 1999. Ecología. Individuos, poblaciones y comunidades. Editorial Omega. Tercera edición. Barcelona: 1147 p.
- Bhattacharya, C.G. 1967. A simple method of resolution of a distribution into gaussian components. Biometrics. 23:115-135.
- Bodoy, A., J. Prou, J.P. Berthome. 1986. Etude comparative de differents indices de condition chez l'huître creuse (*Crassostrea gigas*). Haliotis. 15:173-182.
- Borda, C.A y R. Cruz. 2004. Reproducción y reclutamiento del molusco *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) en el Pacífico Colombiano. Rev. de Investig. Mar. 25:185-195.

- Borzone, C., K. Vargas, P. Pezzuto, Y. Tavares. 2001. Aspectos da reprodução e dinâmica populacional de *Chione pubera* (Bory Saint-Vicent) (Bivalvia, Veneridae) no sul do Brasil. *Revta. bras. Zool.* 18 (2):333 - 349.
- Botsford, L. W., J. F. Quinn, S. R. Wing, J. G. Brittnacher. 1993. Rotating spatial harvest of a benthic invertebrate, the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. Management strategies for exploited fish populations. Alaska Sea Grant College Program: 409-427 p.
- Bourne, N. 1982. Distribution, reproduction and growth of Manila clam, *Tapes philippinarum* (Adams and Reeves), in British Columbia. *J. Shellfish Res.* 2:47-54.
- Breed-Willeke, G.M. y D.R. Hancock. 1980. Growth and reproduction of subtidal and intertidal populations of the gaper clam *Tresus capax* (Gould) from Yaquina Bay, Oregon. *Proc. Nat. Shellfish Ass.* 70:25-31.
- Bray, N. A. 1988. Thermohaline circulation in the Gulf of California, *J. Geophys. Res.* 93(5):4993–5020
- Brey, T. y S. Hain. 1992. Growth, reproduction and production of *Lissarca notorcadensis* (Bivalvia: Philobryidae) in the Weddell Sea, Antarctica. *Marine Ecology Progress Series* 82:219-226.
- Bricelj M.V. y R.E. Malouf. 1980. Aspects of reproduction of hard clams (*Mercenaria mercenaria*) in Great South Bay, New York. *Proc. Nat. Shellf. Ass.* 70:216-229.
- Cáceres-Martínez, J.A., I.M. Gómez-Humarán, G.D. Tinoco, M.L. Unzueta-Bustamante. 1999. Relationship between the burrowing worm *Polydora sp.* and the black clam *Chione fluctifraga* Showerby. *J. Shellfish Res.* 18(1):85-89.
- Caddy, J. F. 1993. Background concepts for a rotating harvesting strategy with particular reference to the Mediterranean red coral, *Corallium rubrum*. *Mar. Fish. Rev.* 55:10-18.
- Campillo-Moreno, G.A. 2008. Diferenciación poblacional de organismos cultivados y silvestres de la almeja negra *Chione fluctifraga* (Sowerby, 1853) en el estado de Sonora, mediante el análisis de ADN polimórfico amplificado aleatoriamente (RAPD). Tesis Maestría, Universidad de Sonora. 150 p.
- Cárdenas, E.B y D. Aldana-Aranda. 2003. Patrones en la biología poblacional de moluscos de importancia comercial en México. *Rev. Biol. Trop.* 51(4):97-107.
- Castillo-Durán A., A. Castro-Acedo, J.A. Arreola-Lizárraga, F. Hoyos-Chairez, C. Cáceres-Martínez, R. Mendoza-Salgado, L.R. Martínez-Córdova, J. Chávez-Villalba. 2013. Ciclo gametogénico e índice de condición de la almeja *Chione*

- fluctifraga* en Bahía San Jorge, Golfo de California, México. Rev. Biol. Mar. Oceanogr. 48(1):59-72.
- Castro-Ortiz, J.L. y F. García-Domínguez. 1993. Crecimiento de *Chione californiensis* (Broderip, 1835) (Veneridae) en la Ensenada de La Paz, B.C.S., México. Inv. Mar. CICIMAR 8(2):45-52.
- Chávez-Villalba, J., J. Pommier, J. Adriamisez, S. Pouvreau, J. Barret, J.C. Cochard, M. Le Penec. 2002. Broodstock conditioning of the oyster *Crassostrea gigas*: origin and temperature effect. Aquaculture. 214:115-130.
- Chávez-Villalba, J., M.R. López-Tapia, J.M. Mazón-Suástegui, M. Robles-Mungaray. 2005. Growth of the oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) in Sonora, México. Aquac. Res. 36:1337-1344.
- Chávez-Villalba, J., F. Villelas-Ávila, C. Cáceres-Martínez. 2007. Reproduction, condition and mortality of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) along coastal Sonora, México. Aquac. Res. 38:268–278.
- Chávez-Villalba, J., C. Soyez, A. Huvet, Y. Gueguen, C. Lo, G. Le Moullac. 2011. Determination of gender in the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. J. Shellfish Res. 30:231-240.
- Ciocco, N.F. 1991. Differences in individual growth rate among scallop (*Chlamys tehuelcha* (d'Orb.)) populations from San José Gulf (Argentina). J. Shellfish Res. 12(1):31-42.
- Coe, W.R. 1953. Resurgent Populations of Littoral Marine Invertebrates and Their Dependence on Ocean Currents and Tidal Currents. Ecol. 34:225-229.
- CONAPESCA, 2013. Base de datos del Registro Nacional de Pesca y Acuicultura (RNPA).
- Crosby M.P. y L.D. Gale. 1990. A review and evaluation of bivalve condition index methodologies with a suggested standard method. J. Shellfish Res. 9:233-237.
- Daley, G.M., Ostrowski S., Geary D.H. 2007. Paleoenvironmentally Correlated Differences in a Classic Predator-Prey System: The Bivalve *Chione elevata* and Its Gastropod Predators. Palaios. 22(2):166-173.
- Darriba, S. 2001. Biología de la navaja *Ensis arcuatus* (Jeffreys, 1865) de la Ría de Vigo (NO de España): Crecimiento y reproducción. Tesis doctoral, Universidad de Vigo, Vigo Pontevedra. 283 p.
- Delgado, M. y A. Pérez-Camacho. 2005. Histological study of the gonadal development of *Ruditapes decussatus* (L.) (Mollusca: Bivalvia) and its relationship with available food. Sci. Mar. 69:87-97.

- Dempster, J.P. 1975. Animal population ecology. Academic, San Francisco. 155 p.
- D.O.F. 2012. Actualización de la Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación, 24 agosto 2012, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Domínguez-Orozco, A.L. 1996. Aspectos ecológicos de los macromoluscos bentónicos en la Caleta de Balandra, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. La Paz, Baja California Sur, México, CICIMAR. 56 p.
- Drover, C.E. 1974. Seasonal Exploitation of *Chione* Clams on the Southern California Coast. J. of California Anthropol. 1(2):224-232.
- Dunbar, M.J. 1960. The evolution of stability in marine environments, natural selection at the level of the ecosystem, p. 469-476. In J.W. Nybakken (ed.), Readings in Marine Ecology. Harper and Row, New York.
- Dutertre, M., P.G. Beninger, L. Barillé, M. Papin, P. Rosa, A.L. Barillé, J. Haure. 2009. Temperature and seston quantity and quality effects on field reproduction of farmed oysters, *Crassostrea gigas*, in Bourgneuf Bay, France. Aquat. Living Resour. 22:319-329.
- Enríquez-Díaz, M., C. Cáceres-Martínez, J. Chávez-Villalba, G. Le Pennec, M. Le Lenec. 2002. Gametogenesis of *Atrina maura* (Bivalve: Pinnidae) under artificial conditions. Invertebr. Reprod. Dev. 43:151-161.
- Enríquez-Díaz, M., S. Pouvreau, J. Chávez-Villalba, M. Le Pennec. 2009. Gametogenesis, reproductive investment, and spawning behavior of the Pacific giant oyster *Crassostrea gigas*: evidence of an environment-dependent strategy. Aquac. Int. 17:491-506.
- FAO, 2007. Estadísticas de pesca y acuicultura. 101 p.
- FAO, 2011. Estadísticas de pesca y acuicultura. 557 p.
- Filloux, J.J. 1973. Tidal patterns and energy balance in the Gulf of California. Nature. 243:217-221.
- Flores-Andolais, F., A. García-Cubas, A. Toledano-Granados. 1988. Sistemática y algunos aspectos ecológicos de los moluscos de la Laguna de la Mancha, Veracruz. An. Centro. Cien. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 15(2): 235-258.
- Folk, R.L. y Ward W.C. 1956. Brazos River Bar: A study on the significance of grain size parameters. J. Petrol. 4:65-67.

- Freeman, K.R. y L.M. Dickie. 1979. Growth and mortality of the blue mussel (*Mytilus edulis*) in relation to environmental indexing. J. Fish. Res. Board Can. 36:238-249.
- García-Domínguez F., B. González-Acosta, S. Rodríguez-Astudillo. 1991. Fauna simbiote de la almeja, roñosa, *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, B.C.S., México. Inv. Mar. CICIMAR. 6(2):283-286.
- García-Domínguez, F., G. García-Melgar, P. González-Ramírez. 1993. Ciclo reproductivo de la almeja roñosa, *Chione californiensis* (Broderip, 1835), en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Cienc. Mar. 19:15-28.
- García-Domínguez, F. y E. Félix-Pico. 1993. Gasterópodos depredadores de *Chione californiensis* (Broderip, 1835) en la zona entre mareas de la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. Rev. Univ. Michoacana. 7:28-31.
- García-Domínguez, F. y A. Levy. 1994. Ciclo reproductor de la almeja roñosa, *Chione californiensis* (Broderip, 1835) (Veneridae) en la Ensenada de La Paz, B.C.S., México. Rev. Invest. Cient. Univ. Autón. de Baja California Sur 5(2):37-42.
- García-Domínguez, F., J. Arvizu-Martínez, S. Rodríguez-Astudillo y R. Ramírez-Sevilla. 1994. Distribución y abundancia de *Chione californiensis* en la zona entre mareas de la Ensenada de La Paz, B.C.S., México. Rev. Biol. Trop. 42(3):533-538.
- Giese, A., y H. Kanatani. 1987. Maturation and spawning. In: Giese A.C., J. Pearse, V. Pearse (eds). Reproduction of marine invertebrates, Vol. IX, 251-329 p. Blackwell Scientific and Boxwood, San Diego.
- Gillespie, G.E., y A.R. Kronlund 1999. A Manual for Intertidal Clam Surveys, Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2270, Fisheries and Oceans Canada, Science Branch, Pacific Region.
- Gosling, E. 2003. Bivalve molluscs: Biology, Ecology and Culture. Fishing News Books, Blackwell Publishing, Oxford, 443 p.
- Gribben P.E., J. Helson, A.G. Jeffs. 2004. Reproduction cycle of the New Zealand geoduck, *Panopea zelandica*, in two North Island populations. The Veliger 47:53-65.
- Gutiérrez-Vásquez, I. 2007. Maduración y obtención de semilla de la almeja negra, *Chione fluctifraga* (Sowerby, 1853), bivalvia: veneridae, de las costas de Sonora, México. Tesis Maestría, Universidad de Sonora, Hermosillo, 150 p.
- Heffernan, P.B. y R.L. Walker. 1989. Quantitative image analysis methods for use in histological studies of bivalve reproduction. J. Molluscan Stud. 55:135-137.

- Helm, M.M., N. Bourne, A. Lovatelli. 2006. Cultivo de bivalvos en criadero. Un manual práctico. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 471. Roma, FAO. 184 p.
- Hmida, L., N. Ayache, Z. Haouas, M.S. Romdhane. 2010. Oocyte cohort analysis: criteria for an evaluation of the reproductive cycle in *Solen marginatus* (Pennant, 1777), (Bivalvia: Solenacea) in southern Tunisia. J. Shellfish Res. 29:129-134.
- Horne, F.R. y S. McIntosh. 1979. Factors influencing distribution of mussels in the Blanco River of Central Texas, Nautilus 94(4):119-126.
- Howard, D.W. y C.S. Smith 1983. Histological techniques for marine bivalve molluscs. USA: NOAA Technical Memorandum NMFS-F/NEC-25. 97 p.
- Johnston, R. A. y A. Villalba-Atondo. 1992. Sedimentos costeros y su relación con la macrofauna bentónica bivalva en una porción del litoral oriental de Baja California, México. Bol. Depto. Geol. UNISON, 9(1):35-50.
- Keen, M.A. y E. Coan. 1974. Marine molluscan genera of western North America. 2nd. Ed. Stanford Univ. Press. Stanford, California. 208 p.
- Kennedy, A.V. y H.I. Battle. 1964. Cyclic changes in the gonad of the American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin). Can. J. Zool. 42:305-321.
- Krebs, C.J. 1986. Are lagomorphs similar to other small mammals in their population ecology?. Mammal Rev. 16:187-194.
- Lango-Reynoso, F. 1999. Détermination de la sexualité chez l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793). Tesis Doctorado, Université de Bretagne Occidentale, Brest, Francia. 176 p.
- Lango-Reynoso, F., J. Chávez-Villalba, J.C. Cochard, M. Le Penneç. 2000. Oocyte size, a means to evaluate the gametogenic development of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). Aquaculture. 190:183-199.
- Lango-Reynoso, F., J. Chávez-Villalba y M. Le Penneç. 2006. Reproductive patterns of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in France. Invertebr. Reprod. Dev. 49:41-50.
- Laruelle, F., J. Guillou, Y.M. Paulet. 1994. Reproductive pattern of the clams, *Ruditapes decussatus* and *R. philippinarum* on intertidal flats in Brittany. J. Mar. Biol. Assoc. U.K 74: 351-366.
- Lendl, A., I. Werner, S. Glasl, C. Kletter, P. Mucaji, A. Presser, G. Reznicek, J. Jurenitsch, D.W Taylor. 2005. Phytochemistry. 66(19):2381-2387.

- Li, Y., J.G. Qin, X. Li y K. Benkendorff. 2009. Monthly variation of condition index, energy reserves and antibacterial activity in Pacific oysters, *Crassostrea gigas*, in Stansbury (South Australia). *Aquaculture*. 286:64-71.
- Lista M., C. Lodeiros., A. Prieto, J. Himmelman, J. Castañeda, N. García, C. Velásquez. 2006. Relation of seasonal changes in the mass of the gonad and somatic tissues. *J. Shellfish Res.* 25:969-973.
- Loosanoff, V. y H. Davis. 1963. Rearing of bivalve molluscs. *Advances in Marine Biology*. 1:1-136.
- Loosanoff, V.L. 1965. Gonad Development and Discharge of Spawn in Oysters of Long Island Sound. *Biol. Bull.* 129(3):546-561.
- López, J., C. Rodríguez, J.F. Carrasco. 2005. Comparación del ciclo reproductor de *Solen marginatus* (Pultney 1799) (Mollusca: Bivalvia) en las rías del Eo y Villaviciosa (Asturias, noroeste de España): relación con las variables ambientales. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 21:317-327.
- López-Rocha J.A., B.P. Ceballos-Vázquez, F.A. García-Domínguez, M. Arellano-Martínez, M. Villalejo-Fuerte, A.K. Romo-Piñera. 2010. La pesquería de la almeja chocolate *Megapitaria squalida* (Bivalvia: Veneridae) en Baja California Sur, México. *Hidrobiológica* 20:230-237.
- Lucas, A. 1965. Recherches sur la sexualité des Mollusques Bivalves. *Bull. Biol. France Belg.* 99:115-249.
- Lucas, A. y P.G. Beninger 1985. The use of physiological condition indices in marine bivalve aquaculture. *Aquaculture*. 44:187-200.
- MacDonald, B.A. y R.J. Thompson. 1985. Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus*. II. Reproductive output and total production. *Marine Ecology Progress Series*. 25:295-303.
- Maeda-Martínez, A.N. 2001. Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: ciencia y acuicultura, 501 p. Editorial Limusa, México.
- Manzi, J.J., M.Y. Bobo, V.G. Burrell. 1985. Gametogenesis in a population of the hard clam, *Mercenaria mercenaria* (Linnaeus), in North Santee Bay, South Carolina. *The Veliger*. 28:186-194.
- Martínez Córdova, L.R. 1986. Abundancia y distribución por talla de la almeja negra *Chione fluctifraga* en el estero La Cruz, Sonora. *Cienc. Mar.* 13(2):25-33.
- Martínez-Córdova, L.R. 1988. Bioecología de la almeja negra *Chione fluctifraga* (Sowerby, 1853). *Rev. Biol. Trop.* 36:213-219.



- Martínez-Córdova, L.R. 1996. Contribution to the knowledge of the malacological fauna of four costal lagoons in the state of Sonora, México. *Cienc. Mar.* 22:191-203.
- Martínez-Córdova, L.R. y M. Martínez-Porchas 2006. Polyculture of Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, giant oyster, *Crassostrea gigas* and black clam, *Chione fluctifraga* in ponds in Sonora, México. *Aquaculture* 258:321–326.
- Martínez-Córdova, L.R., J.A. López-Elías, M. Martínez-Porchas, T. Bernal-Jaspeado, A. Miranda-Baeza. 2011. Studies on the bioremediation capacity of the adult black clam, *Chione fluctifraga*, of shrimp culture effluents. *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 46(1):105-113.
- Martínez-Córdova, L.R., L.F. Enríquez-Ocaña, F. López-Rascón, J.A. López-Elías, M. Martínez-Porchas. 2013. Overwintering the black clam *Chione fluctifraga* in a tidal shrimp pond and in an estuary, using suspended and bottom systems. *Aquaculture*. 396:102-105.
- Mason, C.J. y J.A. Nell. 1995. Condition index and chemical composition of meats of Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*) and Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) at four sites in Port Stephens, NSW. *Mar. Freshw. Res.* 46:873-881.
- McArdle, B.H., y R.G. Blackwell. 1989. Measurement of the density variability in the bivalve *Chione stutchburyi* using spatial autocorrelation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 52:245–252.
- McLusky, D.S. y M. Elliot. 1981. The feeding and survival strategies of estuarine molluscs, in: Jones, N.V. et al. (Ed.) (1981). Feeding and survival strategies of estuarine organisms. *Mar. Sci.* 15:109-122.
- Menzel, W. 1990. Quahog Clams in the U.S. En Menzel W. 1999. Estuarine and Marine Bivalve Mollusk Culture. CRC Press, Inc. Boston. 362 p.
- Metaxatos, A. 2004. Population dynamics of the venerid bivalve *Callista chione* (L) in a coastal area of the eastern Mediterranean. *J. Sea Res.* 52(4):293-305.
- Moore, H.V. y N.N. López. 1969. The ecology of *Chione cancellata*. *Bull. Mar. Sci.* 19:131-148.
- Morvan, C. y A.D. Ansell. 1988. Stereological methods applied to reproductive cycle of *Tapes rhomboides*. *Marine Biology.* 97:355-364.
- Morzaria-Luna, H.D., A. Iris-Maldonado, P. Valdivia-Jiménez. 2010. Physico-chemical characteristics of negative estuaries in the northern Gulf of California, México. In: JR Crane, Solomon AE (eds.), *Estuaries: Types, Movements Patterns*. Nova Science Publishers. 201-223 p.

- Moura, P., M.B. Gaspar, C.C. Monteiro. 2008. Age determination and growth rate of *Callista chione* population from the southwestern coast of Portugal. *Aquat Biol.* 5:97–106.
- Muranaka, M.S. y J.E. Lannan. 1984. Broodstock management of *Crassostrea gigas*: environmental influences on broodstock conditioning. *Aquaculture.* 39:217-228.
- Nie, Z.Q. 1990. The Culture of Marine Bivalve Mollusks in China. In Menzel W. (Ed.). 1999. *Estuarine and Marine Bivalve Mollusk Culture.* CRC Press, Inc. Boston. 362 p.
- Parsons, R.M., M. Takahashi, B. Margrave. 1984. *Biological oceanographic processes.* Pergamon. Press, London. 330 p.
- Paulet, Y.M. y J. Boucher. 1991. Is reproduction mainly regulated by temperature or photoperiod in *Pecten maximus*? *International Journal of Invertebrate Reproduction and Development.* 19:61-70.
- Pearse, J.S., J.B. McClintock, I. Bosch. 1991. Reproduction of Antarctic benthic marine invertebrates: tempos, modes and timing. *American Zoologist.* 31:65-80.
- Perdue, J.A., y G. Erickson. 1984. A comparison of the gametogenic cycle between the Pacific oyster *Crassostrea gigas* and the Suminoe oyster *Crassostrea rivularis* in Washington State. *Aquaculture.* 37(3):231-237.
- Pouvreau, S., A. Gangnery, J. Tiapari, F. Lagarde, M. Garnier, A. Bodoy. 2000. Gametogenic cycle and reproductive effort of the tropical blacklip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* (Bivalvia: Pteriidae), cultivated in Takapoto atoll (French Polynesia). *Aquat. Living. Resour.* 13:37-48.
- Rabinovich, J. 1982. *Introducción a la Ecología de poblaciones Animales.* Editorial Continental, México. 256 p.
- Ramírez, M.R. y Álvarez, L. G. 2008. Batimetría de Bahía San Jorge, Sonora. Informe Técnico 76083. Departamento de Oceanografía Física, CICESE. 8 p.
- Ren, J.S., I.D. Marsden, A.H. Ross, D.R. Schiel. 2003. Seasonal variation in the reproductive activity and biochemical composition of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) from the Marlborough Sounds, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine y Freshwater Research.* 37:171-182.
- Rodríguez-Rúa A., M.A. Prado, Z. Romero, M. Bruzo. 2003. The gametogenic cycle of *Scrobicularia plana* (Da Costa, 1778) (Mollusca: Bivalvia) in Guadalquivir estuary (Cádiz, SW Spain). *Aquaculture.* 217:157-166.

- Romo-Piñera, A.K. 2005. Ciclo reproductivo del ostión de mangle *Saccostrea palmula* (Carpenter, 1857), en Bahía Magdalena, Baja California Sur. Tesis de Maestría, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, México. 74 p.
- Roopnarine, P.D. 1995. A Re-Evaluation of Evolutionary Stasis between the Bivalve Species *Chione erosa* and *Chione cancellata* (Bivalvia: Veneridae). *J. Paleontol.* 69(2):280-287
- Ropes, J.W. y A.P. Stickney 1965. Reproductive cycle of *Mya arenaria* in New England. *Biol. Bull.* 128(2):315-327.
- Royse, C. 1970. Introduction to sediment analysis. Arizona State University Publications. 180 p.
- Saout, C. 2000. Contrôle de la reproduction chez *Pecten maximus* (L.): Études in situ et expérimentales. Doctoral Thesis, Université de Bretagne Occidentale, France. 172 p.
- Schöne, B.R., D.H. Goodwin, K.W. Flessa, D.L. Dettman, P.D. Roopnarine. 2002. Sclerochronology and growth of the bivalve mollusks *Chione fluctifraga* and *C. cortezi* in the northern Gulf of California, México. *The Veliger.* 45:45–54.
- Schöne, B.R., K.W. Flessa, D.L. Dettman, Goodwin, D.H. 2003. Upstream dams and downstream clams: growth rates of bivalve mollusks unveil impact of river management on estuarine ecosystems (Colorado River Delta, México). *Estuar Coast. Shelf Sci.* 58:715–726.
- Sokołowski, A, A.S. Bawazir, E. Sokołowska, M. Wołowicz. 2010. Seasonal variation in the reproductive activity, physiological condition and biochemical components of the brown mussel *Perna perna* from the coastal waters of Yemen (Gulf of Aden). *Aquat. Living Resour.* 23:177-186.
- Souza, A.J., L.G. Alvarez, y T.D. Dickey. 2004. Tidally induced turbulence and suspended sediment, *Geophys. Res. Lett.* 31(20):L20309.
- Stensrud, D.J, R.L. Gall, M.K. Nordquist. 1997. Surges over the Gulf of California during the Mexican Monsoon. *Mon. Weather Rev.* 125:417-437.
- Strickland, J. D.H y T.R. Parson. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fisheries Res. Board Canada.* 167:1-311.
- Sunderlin, J.B., M. Brenner, M. Castagna, J. Hiroita, R.W. Menzel, A.O. Roels. 1975. Comparative growth of hard shell clams (*Mercenaria mercenaria* Linné and *M. campechiensis* Gmelin) and their F1 cross in temperate, subtropical and natural waters and in a tropical artificial upwelling mariculture system. *Proc. World. Mar. Soc.* 171–183 p.

- Thielley, M. 1993. Etude cytologique de la gamétogenèse, de la sex-ratio et du cycle de reproduction chez l'huître perlière *Pinctada margaritifera* (L) var. *cummingi* (Jameson), (mollusques, bivalves): comparaison avec le cycle de *Pinctada maculata* (Gould). Tesis Doctorado, Université Française du Pacifique, French Polynesia. 233 p.
- Villalba, A.A., R.P. Ortega, V.M. De la O. 1989. Evaluación geo-química en la fase sedimentaria de ecosistemas costeros del estado de Sonora, México. Acta Oceanográfica del Pacífico. 5(1):97-105.
- Villalejo-Fuerte, M. y B. Ceballos-Vázquez. 1996. Variación de los índices de condición general, gonádico y de rendimiento muscular en *Argopecten circularis* (Bivalvia: Pectinidae). Rev. Biol. Trop. 44:591-594.
- Villarreal-Chávez, G., F. García-Domínguez, F. Correa y N. Castro-Castro. 1999. Nota sobre la distribución geográfica de *Chione cortezi* (Carpenter, 1864) (Mollusca: Pelecypoda: Veneridae). Cienc. Mar. 25(1):153-159.
- Vollenweider, R.A., F. Giovanardi, G. Montanari, A. Rinaldi. 1998. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a Trophic Scale, Turbidity and generalized Water Quality Index. Envirometrics. 9:329-357.
- Walker, R.L. y C.M. Humprey. 1984. Growth and survival of the northern hard clam *Mercenaria mercenaria* (Linne) from Georgia, Virginia and Massachusetts in coastal waters of Georgia. J. Shellf. Res. 4:25-129.
- Walne, P.R. y R. Mann. 1975. Growth and biochemical composition in *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas*. In: Barnes H (ed) Ninth European Marine Biology Symposium, p. 587-607. Aberdeen University Press, Scotland.
- Zamorano, P., N.A. Barrientos-Luján, M.A. Ahumada-Sempoal. 2010. Moluscos bentónicos de dos sistemas lagunares de la costa chica de Oaxaca, México y su relación con parámetros fisicoquímicos. Ciencia y Mar XIV. (42):13-28.
- Zar, J.H., 1996. Biostatistical Analysis, 3rd Edition. Prentice-Hall. Englewood Cliffs NJ. 662 p.

## 11. ANEXOS

### Anexo 1. Protocolo de histología

#### 1.1 Fijación del tejido con solución Davidson

La fijación es una operación destinada a la conservación de los tejidos y su propósito es mantener los tejidos de la forma más parecida a su estado normal.

Tabla I. Formulación para preparar 1 galón stock de la solución Davidson.

Reactivo	Cantidad (ml)
Glicerina	400 ml
Formaldehido al 37-40%	800 ml
Alcohol etílico 96%	1200 ml
Agua de mar filtrada	1200 ml
Ácido acético	1 parte por 9 de stock

- El ácido acético se adiciona antes de usarse
- Utilizar formaldehido al 37-40 %.
- Tiempo óptimo de fijación varía entre 24 y 48 horas a temperatura ambiente, dependiendo del tamaño del tejido, secciones mayores de 1 cm<sup>3</sup> deberán dejarse mínimo 48 horas.
- Una vez cumplido el tiempo óptimo de fijación, pasar los tejidos al alcohol etílico al 70%.
- Para conservar por varias semanas, dejarlos en alcohol al 70%.

#### 1.2. Deshidratación

La deshidratación (Figura 1) tiene como función la eliminación del agua para lograr la infiltración de la parafina; el proceso consiste en llevar los tejidos de una concentración de alcohol etílico de 70% hasta el 100% en forma gradual, con un tiempo de inmersión de un hora en cada una de las soluciones alcohólicas, para después incluir en una solución de xileno, posteriormente el xileno es desalojado

por la parafina, infiltrándose en los tejidos, proporcionando así un medio sólido a temperatura ambiente listo para poder cortarse al micróscopo.

Tabla II. Rutina de deshidratación, desalcoholización e infiltración de parafina.

Solución		Tiempo (hrs)
Etanol 70%	(1)	1
Etanol 70%	(2)	1
Etanol 80%	(1)	1
Etanol 80%	(2)	1
Etanol 95%	(1)	1
Etanol 95%	(2)	1
Etanol 100%	(1)	1
Etanol 100%	(2)	1
Xileno	(1)	1
Xileno	(2)	1
Parafina	(1)	1
Parafina	(2)	1



Figura 1. Histoquinet Leica© modelo TP1020 para realizar deshidratación e infiltración de parafina en muestras de tejido.

### 1.3. Inclusión en parafina (bloqueo)

Para la inclusión de los tejidos en bloques con parafina (Figura II), se recomienda que el tejido se coloque de una forma estratégica, de tal manera que la porción de interés esté orientada por el lado que será cortado por la cuchilla del micrótomos, una vez listos estos se almacenan en un refrigerador a una temperatura de 5° C para facilitar su corte (Figura 2).

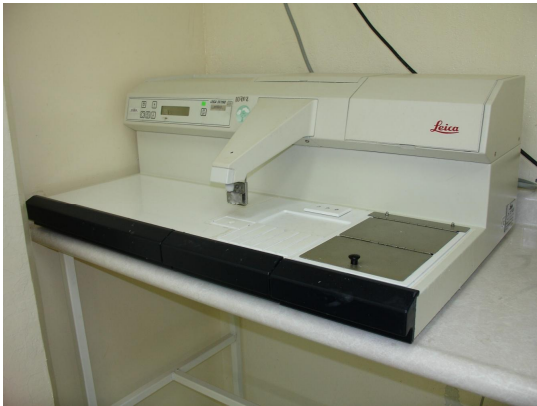


Figura 2. Embededor de tejidos marca Leica© modelo EG 1160 para la formación de bloques de parafina para su posterior corte en el micrótomos.



Figura 3. Micrótomos marca Leica© modelo 82011 de rotación para cortes de tejidos.

### 1.4. Corte en micrótomos

Una vez elaborados los bloques se procede a cortar al micrótomos a un grosor no mayor de 5  $\mu\text{m}$  (Figura III). Los cortes se extienden en una batea con agua a 45 °C y 0.12% de gelatina pura por litro. Se selecciona del listón de cortes aquel que reúna las mejores características, en cuanto a la presencia de mayor número de tejidos u órganos (revisar al microscopio). Se monta sobre un portaobjetos el cual deberá estar previamente señalado con la clave correspondiente al tejido y se deja secar el tejido durante 24 hrs a temperatura ambiente libre del polvo o llevarlo a la estufa a una temperatura de 60 °C por un tiempo de 30 min (Figura 3).

## 5. Tinción hematoxilina-eosina (de Harris)

<b>Solución</b>	<b>Tiempo</b>
Xilol I	5-10 min
Xilol II	5-10 min
Xilol III	5-10 min
Alcohol etílico 96%	2 min
Alcohol etílico 70% I	2 min
Alcohol etílico 70% II	Alcohol etílico 70% I
Agua destilada	5 min
Hematoxilina de Harris	4 min
Agua corriente	5 min
Agua destilada	5 min
Alcohol ácido (1 L alcohol 96% con 5 gotas de ácido clorhídrico)	10-15 segundos
Agua destilada	5 min
Agua amoniacal (hidróxido de amonio, 5 gotas por caja de tinción)	10-15 segundos
Agua destilada	5 min
Alcohol etílico 50%	2 min
Alcohol etílico al 70%	2 min
Eosina alcohólica	3 min
Alcohol 96% I	1-2 min
Alcohol 96% II	1-2 min
Alcohol 100% I	1 min
Alcohol 100% II	1 min
Citrisolv I (sustituto de xileno)	5 min
Citrisolv II	5 min
Citrisolv III	5 min
Montar en resina sintética	



## Anexo 2. Publicaciones

Castillo-Durán A., A. Castro-Acedo, J.A. Arreola-Lizárraga, F. Hoyos-Chairez, C. Cáceres-Martínez, R. Mendoza-Salgado, L.R. Martínez-Córdova, J. Chávez-Villalba. 2013. Ciclo gametogénico e índice de condición de la almeja *Chione fluctifraga* en Bahía San Jorge, Golfo de California, México. Rev. Biol. Mar. Oceanogr. 48:(1):59-72.

Castillo-Durán A., J.A. Arreola-Lizárraga, J. Chávez-Villalba. C. Cáceres-Martínez, L.R. Martínez-Córdova, R. Mendoza-Salgado. ECOLOGY OF AN EXPLOITED POPULATION OF THE BLACK CLAM *CHIONE FLUCTIFRAGA* ON THE BAHIA SAN JORGE, NORTHWESTERN, MÉXICO. Bull. Mar. Sci. (Sometido 2013).