



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



ESTRATEGIA DE DESOVE DE *Chione californiensis* (Broderip, 1835) (Bivalvia: Veneridae) EN LA ENSENADA DE LA PAZ, B. C. S., MÉXICO

Tesis

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS
EN
MANEJO DE RECURSOS MARINOS

PRESENTA

CARMEN ROSA TEJEDA CABRERA

LA PAZ, B. C. S., MÉXICO

DICIEMBRE DE 2017



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 29 del mes de Noviembre del 2017 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"ESTRATEGIA DE DESOVE DE *Chione californiensis* (Broderip, 1835)
(Bivalvia: Veneridae) EN LA ENSENADA DE LA PAZ, B.C.S., MÉXICO"

Presentada por el alumno:

TEJEDA Apellido paterno	CABRERA materno	CARMEN ROSA nombre(s)	Con registro:						
			A	1	6	1	0	1	4

Aspirante de:

MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

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

LA COMISION REVISORA

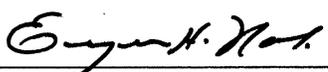
Directores de Tesis



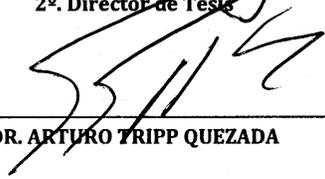
DR. FEDERICO ANDRÉS GARCÍA DOMÍNGUEZ
Director de Tesis



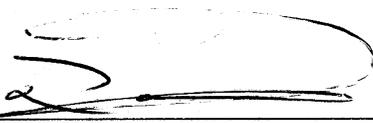
M en C. MARCIAL TRINIDAD VILLALAJO FUERTE
2º. Director de Tesis



DR. ENRIQUE HIPARCO NAVA SÁNCHEZ

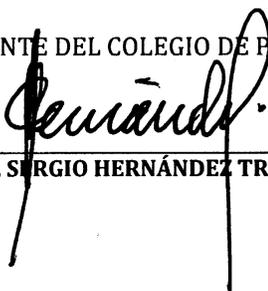


DR. ARTURO TRIPP QUEZADA



DR. RODOLFO RAMÍREZ SEVILLA

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO



I.P.N.
CICIMAR
DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 06 del mes de Diciembre del año 2017

El (la) que suscribe BIÓL. CARMEN ROSA TEJEDA CABRERA Alumno (a) del Programa
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A161014 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. FEDERICO ANDRÉS GARCÍA DOMÍNGUEZ y M. en C. MARCIAL TRINIDAD VILLALEJO FUERTE

y cede los derechos del trabajo titulado:

"ESTRATEGIA DE DESOVE DE *Chione californiensis* (BRODERIP, 1835):

(Bivalvia: Veneridae) EN LA ENSENADA DE LA PAZ, B.C.S., MÉXICO"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: carmenrosatejeda@gmail.com - fdoming@ipn.mx - mvillale@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

BIÓL. CARMEN ROSA TEJEDA CABRERA

Nombre y firma del alumno

DEDICATORIA

A mi maravillosa familia que en todo momento me ha apoyado desde el inicio de esta travesía, mi madre Carmen Rosa Cabrera Cedeño, mi padre Gilberto Tejeda Sánchez y mi hermana Mari Carmen Tejeda Cabrera.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento para mis directores de tesis y profesores Dr. Federico Andrés García Domínguez y M. en C. Marcial Trinidad Villalejo Fuerte, por haberme ayudado en todo momento, desde mis trámites en Cuba hasta mi llegada a México, aun cuando sin conocerme personalmente confiaron en mí y me dieron todo su apoyo permitiendo que yo me convirtiera en su estudiante.

Al Dr. Arturo Tripp Quezada y Dr. Enrique Nava Sánchez, los cuales no solo se convirtieron en mis profesores e integrantes de mi comité de tesis, sino en excelentes amigos, a los cuales estimo mucho.

Al Dr. Rodolfo Ramírez Sevilla, que como integrante de mi comité de tesis me ayudó muchísimo en el procesamiento estadístico de los datos de la tesis y a sus acertadísimos comentarios sobre el tema de estudio.

Al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN) por haberme aceptado como estudiante de Maestría, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo económico y a la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI).

Al proyecto de investigación del cual se derivó esta tesis, "Ciclo reproductivo de la almeja roñosa *Chione californiensis* (Bivalvia: Veneridae) y su relación con el fenómeno de El Niño 2015-2016 en Baja California Sur.

A Alma Rivera Camacho por haberme enseñado el procesamiento de las muestras en el Laboratorio de Invertebrados Marinos.

Y en general a todos mis profesores de la maestría y a compañeros mexicanos, extranjeros y cubanos que me dieron una bonita acogida desde mi llegada, permitiendo que sintiera a México como mi segundo hogar.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	II
LISTA DE TABLAS.....	III
GLOSARIO.....	IV
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	8
1.2. Hipótesis.....	9
1.3. Objetivos.....	9
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
2.1. Descripción del área de estudio.....	10
2.2. Metodología de campo.....	11
2.3. Metodología de laboratorio.....	12
2.4. Análisis estadístico.....	14
3. RESULTADOS.....	16
3.1. Almejas parasitadas.....	16
3.2. Ciclo reproductivo de <i>Chione californiensis</i>	17
3.3. Proporción de sexos.....	18
3.4. Índice de Masa Visceral.....	19
3.5. Índice Multivariado del ENSO (MEI).....	20
3.6. Correlación entre las fases del desarrollo gonádico entre los diferentes años de estudio.....	21
3.7. Correlación entre la proporción de cada fase de desarrollo y la temperatura, tanto para cada año de estudio como en su conjunto.....	23
3.8. Contraste de la variación temporal de las fases del ciclo gonádico entre los distintos periodos de estudio.....	26
3.8.1. Patrón de variación mensual de la fase de indiferenciación.....	26
3.8.2. Patrón de variación mensual de la fase de desarrollo.....	30
3.8.3. Patrón de variación mensual de la fase de madurez.....	30
3.8.4. Patrón de variación mensual de la fase de desove.....	33
3.8.5. Patrón de variación de la fase de postdesove.....	36
3.9. Variación explicada por el gráfico de tendencias mensuales de las medianas en las fases de indiferenciación, madurez y desove.....	37
4. DISCUSIÓN.....	39
5. CONCLUSIONES.....	47
6. RECOMENDACIONES.....	48
7. LITERATURA CITADA.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ejemplar de <i>Chione californiensis</i> obtenido en la Ensenada de La Paz, B.C.S.....	3
2. Anatomía interna de <i>Chione californiensis</i>	5
3. Localidad de la Ensenada de La Paz.....	11
4. Esporocistos del trematodo <i>Bucephalus</i> sp. en el tejido conjuntivo de <i>Chione californiensis</i>	16
5. Ciclo reproductivo de <i>Chione californiensis</i> en la Ensenada de La Paz....	18
6. Proporción de sexos y estadio indiferenciado de <i>Chione californiensis</i> en la Ensenada de La Paz, B. C. S.....	19
7. Promedio del índice de masa visceral de <i>Chione californiensis</i> en la Ensenada de La Paz, B. C. S.....	20
8. Correlación de Spearman entre pares de años considerando todas las fases del desarrollo gonádico.....	22
9. Correlación de Spearman entre la temperatura y la proporción de la población en cada fase del ciclo de reproducción al conjuntar los cuatro estudios realizados en la localidad.....	25
10. Comparación de las medianas de la fase indiferenciada de <i>Chione californiensis</i> en la Ensenada de La Paz, B. C. S.....	27
11. Comparación entre pares de años con relación a la proporción de organismos indiferenciados de <i>Chione californiensis</i> en la Ensenada de La Paz, B. C. S...	29
12. Comparación de las medianas y valores mensuales de la fase de madurez de <i>Chione californiensis</i> en la Ensenada de La Paz, B. C. S.....	31
13. Comparación entre pares de años con relación a la proporción de organismos maduros de <i>Chione californiensis</i> en la Ensenada de La Paz, B. C.S.....	33
14. Comparación de las medianas y los valores mensuales de la fase de desove de <i>Chione californiensis</i> en la Ensenada de La Paz, B. C. S.....	34
15. Comparación entre pares de años con relación a la proporción de organismos en desove de <i>Chione californiensis</i> en la Ensenada de La Paz, B. C. S.....	36

16. Proporción de la varianza explicada por el modelo de medianas de indiferenciados (a), madurez (b), desove (c) en <i>Chione californiensis</i> en la Ensenada de La Paz, B. C. S.....	38
--	----

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Caracterización histológica de los diferentes estadios de desarrollo de la gónada de <i>Chione californiensis</i> , empleados en el presente estudio.....	13
2. Prevalencia de organismos parasitados durante 2016 en la Ensenada de La Paz, B. C. S.....	17
3. Valores promedio del Índice Multivariado del ENSO (MEI).....	21
4. Correlaciones de Spearman entre las fases del desarrollo gonádico y los diferentes años analizados.....	21
5. Correlación de Spearman entre la frecuencia de cada fase de desarrollo y la temperatura.....	24
6. Matriz de los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos para la fase de indiferenciados.....	27
7. Matriz de los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos para la fase de desarrollo.....	30
8. Matriz de los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos para la fase de madurez.....	31
9. Matriz de los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos para la fase de desove.....	34
10. Matriz de los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos para la fase de postdesove.....	37

GLOSARIO

Austral: Del polo o del hemisferio sur o bien que está en ellos, próximo a ellos o relacionado con ellos.

Bivalvos: Clase de moluscos con unas 13 000 especies, la mayoría marinas. Su concha está formada por dos valvas laterales, generalmente simétricas, unidas por una bisagra y ligamentos.

Branquias: También denominados ctenidios. Tiene forma de pluma y está formada por un eje central y dos bandas de filamentos, una a cada lateral del eje principal. Normalmente son dos ctenidios. A parte de su función principal para la respiración, también tienen función alimentaria

Célula de Leydig: Células del tejido conectivo, donde se almacenan sustancias de reservas como lípidos y glucógeno durante la actividad metabólica.

Charnela: Es la zona de articulación o de unión de las dos valvas o piezas de los bivalvos.

Ciclo gonádico: Eventos histofisiológicos repetitivos dentro de las gónadas que conducen a la producción y expulsión de gametos.

Ciclo reproductivo: Frecuencia de aparición de las diferentes fases de desarrollo gonádico a través del año y en general es cíclico.

Diatomeas: Clase de algas unicelulares de caparazón silíceo; pueden vivir en el mar, en agua dulce o en la tierra húmeda.

Diente cardinal: Aquel que se encuentra inmediatamente debajo del umbo, sinónimo de principal.

Dinoflagelados: Grupo de protistas flagelados. La mayoría de las especies son unicelulares y forman parte del plancton marino

Esporocistos: Célula modificada dentro de la cual se forma esporas.

Estrategia reproductiva: Conjunto de tácticas reproductivas determinadas por el genotipo, que llevan al máximo la probabilidad de que los organismos dejen descendientes.

Fitoplancton: Conjunto de organismos exclusivamente vegetales que forman parte del plancton

Gameto: Célula germinal madura, que al unirse una masculina y una femenina forma el huevo.

Gónada: Glándula genital, masculina o femenina, que se encarga de elaborar las células reproductoras.

Gonocórica: Tener sexos separados. Individuos de la especie contienen sólo uno u otro de los sistemas reproductivos masculinos y femeninos.

Índice de Masa Visceral: Permite determinar el estado de desarrollo de la gónada, es la relación del peso húmedo de la masa visceral sobre el peso húmedo del organismo sin concha.

Lecitotrófica: Larva de bivalvos que se alimenta del vitelo del huevo

Limo: Es un sedimento clástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados. Para que se clasifique como tal, el diámetro de las partículas de limo varía de 0,0039 mm a 0,0625 mm.

Manto: Es una de las partes de la anatomía de los moluscos; es la parte dorsal de la pared del cuerpo que cubre la masa visceral.

Moluscos: Son los invertebrados más numerosos después de los artrópodos, e incluyen formas tan conocidas como las almejas, calamares, pulpos, babosas y una gran diversidad de caracoles, tanto marinos como terrestres.

Músculo aductor: Su función es abrir y cerrar las dos valvas del animal. Cuando estos músculos se contraen las valvas se cierran, y cuando se relajan, las valvas se abren.

Músculo del pie: Estructura muscular aplanada lateralmente que, en los bivalvos, tiene función excavadora y de anclaje.

Patrón reproductivo: Es la frecuencia en que se presenta el desove en una población. La duración, intensidad y frecuencia del mismo caracterizan el patrón de un ciclo reproductivo.

Periostraco: Capa superficial orgánica de conquiolina presente en la mayoría de las conchas de los moluscos.

Planctotrófica: Larva de bivalvos que se alimentan del plancton.

Proporción sexual: La relación de hembras y machos en un grupo de organismos.

Seno paleal: Entrada o concavidad de la línea paleal que une los músculos aductores

Sifón: Embudo muscular que comunica el exterior con la cavidad paleal. El agua entra en la cavidad por el sifón inhalante y sale de ella por el sifón exhalante. El sifón puede tener funciones muy diversas; la mayoría de los bivalvos lo utilizan para renovar el agua de la cavidad paleal y así, poder respirar.

Tácticas reproductivas: aspectos fisiológicos, bioquímicos, ecológicos y sociales, que varían dentro de ciertos límites y que tienen como finalidad llevar a cabo la reproducción.

Técnica histológica: Pasos secuenciados con el fin de preparar un corte histológico para que pueda observarse a través del microscopio.

Trematodos: Clase de gusanos platelmintos parásitos de los vertebrados e invertebrados, de cuerpo no segmentado, con ventosas o ganchos para fijarse al cuerpo de su hospedador.

Umbo: Abultamiento dorsal que continúa después del ápice o inicio de la concha

Veda reproductiva: Es la acción y efecto de vedar (prohibir algo por ley o mandato). El término se utiliza para nombrar al espacio de tiempo en que están prohibidas (vedadas) la caza y la pesca.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es conocer la estrategia de desove de *Chione californiensis*, en relación con la temperatura en periodos La Niña, El Niño y años normales en la Ensenada de La Paz, B. C. S. México. Se realizó un muestreo en la Ensenada de La Paz (frente al CICIMAR), de enero a diciembre de 2016, se recolectaron 30 organismos mensuales y se tomó la temperatura del sitio. Adicionalmente se utilizaron los datos obtenidos por otros autores que realizaron estudios similares en *Chione californiensis*, en la misma localidad de estudio, utilizando la misma metodología que se describe en este trabajo. Para estimar la proporción sexual de la población se utilizó la prueba de X^2 . Se empleó el coeficiente de correlación de Pearson entre el índice de masa visceral y la temperatura. El coeficiente de correlación de Spearman se utilizó entre las fases del ciclo gonádico, la temperatura y los cuatro años analizados (1988-89, 1993, 1997 y 2016). Durante el año de estudio de 2016, se observaron todas las fases del ciclo gonádico, el mayor porcentaje de organismos indiferenciados, maduros y en desove, se obtuvo en mayo (93%), septiembre (92%) y octubre (83%), respectivamente. Del total de las 360 almejas analizadas, 26 % fueron hembras, 38 % fueron machos, 36 % estuvieron indiferenciados y 9.16 % estaban parasitadas. La proporción de sexos se mantuvo 1M: 1H ($p < 0.05$). Se encontró correlación significativa entre el índice de masa visceral y la temperatura (**rP: 0.695**). El coeficiente de correlación de Spearman entre el desove y la temperatura fue significativo y positivo (**rS: 0.482, $p < 0.05$**). La estrategia de desove de *Chione californiensis* al conjuntar los cuatro años de estudio en la Ensenada de La Paz consiste en tener una mayor incidencia en los meses de verano. La estrategia de la población estudiada también es evidente en la fase de indiferenciación, obteniendo una correlación negativa con la temperatura (**rS: - 0.586, $p < 0.05$**), manifestándose con una proporción alta de la población en esta fase en los meses fríos. La fase de madurez también presenta correlación significativa con la temperatura (**rS: 0.378, $p < 0.05$**), así como una temporalidad definida, siendo breve y coincidente en el verano, pero la predictibilidad de la oscilación de sus valores es menor a la de las fases ya mencionadas.

ABSTRACT

The objective of this study is to know the spawning strategy of *Chione californiensis*, in relation to the temperature in La Niña, El Niño and normal years in Ensenada de La Paz, B.C. S. México. Sampling was conducted in Ensenada de La Paz (in front of CICIMAR), from January to December 2016, 30 organisms were collected monthly and the temperature of the site was taken. Additionally, we used the data obtained by other authors who carried out similar studies in *Chione californiensis*, in the same locality of study, using the same methodology that is described in this work. To estimate the sexual proportion of the population, the X^2 test was used. The Pearson's correlation coefficient was used between the visceral mass index and the temperature. The Spearman correlation coefficient was used between the phases of the gonad cycle, the temperature and the four years analyzed (1988-89, 1993, 1997 and 2016). During the 2016 study year, all phases of the gonadic cycle were observed, the highest percentage of undifferentiated, mature and spawning organisms was obtained in May (93%), September (92%) and October (83%) respectively. Of the total 360 clams analyzed, 26% were females, 38% were males, 36% were undifferentiated and 9.16% were parasitized. The sex ratio remained 1M: 1H ($p < 0.05$). A significant correlation was found between the visceral mass index and the temperature (**rP: 0.695**). The Spearman correlation coefficient between spawning and temperature was significant and positive (**rS: 0.482, p < 0.05**). The spawning strategy of *Chione californiensis* when combining the four years of study in Ensenada de La Paz consists of having a higher incidence in the summer months. The strategy of the population studied is also evident in the indifferentiation phase, obtaining a negative correlation with temperature (**rS: - 0.586, p < 0.05**), showing a high proportion of the population in this phase in the cold months. The maturity phase also presents a significant correlation with temperature (**rS: 0.378, p < 0.05**), as well as a defined temporality, being brief and coincident in the summer, but the predictability of the oscillation of its values is lower than that of the phases already mentioned.

1. Introducción

Los moluscos bivalvos son uno de los grupos más grandes y diversos del bentos marino, incluye más de 250 familias y cerca de 2500 géneros. Este grupo es una parte importante de la alimentación y economía de los habitantes de las zonas costeras de todo el mundo (FAO, 2001). En 2005 representaron el 7% del valor total de la producción pesquera mundial, la cual ha aumentado considerablemente en los últimos cincuenta años, pasando de casi un millón de toneladas en 1950 a unos 13.6 millones de toneladas en 2005, mientras que, para México, Venezuela y Argentina, se reportó una producción de 25 000 t (Lovatelli *et al.*, 2008). En México, la producción pesquera más elevada de “almejas” (grupo en que se incluyen la mayoría de los bivalvos, excepto los ostiones) se presenta en Baja California Sur con el 72% del total de las capturas (CONAPESCA, 2010).

Una de las familias de bivalvos más abundantes del Golfo de California es la familia Veneridae Rafinesque, 1815 (de distribución mundial), caracterizada por tener un seno paleal pequeño y un diente cardinal denticulado, cuenta con más de 400 especies, que en su mayoría habitan en fondos sedimentarios, donde son importantes componentes de ciertas comunidades bentónicas (Priego-Macías, 2011).

La especie *Chione californiensis* es conocida comúnmente como almeja roñosa y se distribuye desde Punta Mugu, California (EEUU) y el Golfo de California hasta Panamá (Keen, 1971; Diario Oficial Federal, 2010), se localiza desde la zona intermareal hasta los 90 m de profundidad y se halla superficialmente enterrada en sustrato lodoso arenoso, en bahías y pantanos y en alta mar; también forma bancos en la zona entre mareas y áreas someras (Bertsch y Aguilar-Rosas, 2016). El límite austral del área de distribución de esta especie es dudoso, debido a la confusión que existe con otra especie del mismo género, *Chione undatella*, que se distribuye hasta Paita, Perú (Carta Estatal Pesquera de Baja California, 2012).

La clasificación de la especie es la siguiente (Coan y Valentich-Scott, 2012 y WORM <http://www.marinespecies.org>)

Filum Mollusca Cuvier, 1797

Clase Bivalvia Linnaeus, 1758

Subclase Heterodonta Neumayr, 1884

Orden Venerida Gray, 1854

Familia Veneridae Rafinesque, 1815

Género *Chione* Megerle von Mühlfeld, 1811

Especie *C. californiensis* Broderip 1835

Es una especie con potencial pesquero y de cultivo (Baqueiro-Cárdenas, 1987), y constituye un recurso tradicional en las costas del Golfo de California, donde su consumo es principalmente local, sin embargo, se explota intensivamente cuando existe demanda en el mercado nacional (Carta Estatal Pesquera de Baja California, 2012). En Baja California Sur es considerada como un recurso sub-explotado, de amplia distribución, también se capturan *Chione undatella* y *Chione gnidia*. Esta especie frecuentemente se captura en aguas someras durante periodos de marea baja. El periodo sugerido para implementar la veda reproductiva de *C. californiensis* es del 1º de julio al 30 de septiembre y la talla mínima de captura es de 45 mm de longitud. La talla de madurez es de 30 mm, dado que la biomasa reproductora se compone de organismos sobre esta talla (Diario Oficial Federal, 2010).

Por lo general mide de 4 a 6 cm de ancho y de 4 a 7 cm de largo, la concha es subtrigonal y moderadamente comprimida (Prado-Ancona, 1998), llega a alcanzar longitudes de 82 mm, presenta laminillas con marginales fuertes, ampliamente espaciadas sobrepuestas en las costillas radiales, la parte interna de la concha es blanca, con una mancha púrpura cerca de la bisagra y el periostraco es de color amarillo-marrón (Bertsch y Aguilar-Rosas, 2016) (Fig. 1).

En la Ensenada de La Paz esta especie habita en la zona entre mareas, se han registrado densidades promedio de 48 almejas/m² (Castro-Ortiz y García-Domínguez, 1993). La distribución y abundancia de *C. californiensis* en la zona intermareal de la Ensenada de La Paz está relacionada con la materia orgánica y la granulometría de

los sedimentos. La distribución es afectada principalmente por el tipo de sedimento y la más alta abundancia se observa en los sedimentos de limo-arena, disminuyendo gradualmente al cambiar la composición de los sedimentos. Siendo esta especie numéricamente dominante en los fondos arenosos y de arena-limo (García-Domínguez *et al.*, 2011).

En San Carlos, Bahía Magdalena, suele ser encontrada junto con *Chione gnidia*, *Chione fluctifraga* y *Megapitaria squalida*. En la Ensenada de La Paz, *C. californiensis* vive junto a *Donax navicula*, *Laevicardium elenensi* y *Trachycardium panamensis* (Prado-Ancona, 1998).



Figura 1. Ejemplar de *Chione californiensis* obtenido en la Ensenada de La Paz, B. C. S. Vistas interna (izquierda) y externa (derecha).

En ocasiones *C. californiensis* es hospedero de un trematodo del género *Bucephalus*, que solo puede ser identificado por medio de técnicas histológicas, se dispone alrededor del tubo digestivo, ocupando los sitios de desarrollo normal de la gónada, como consecuencia las gónadas no se desarrollan, pero esto solo ocurre en el 0,1 % de las almejas (García-Domínguez *et al.*, 1991).

Esta especie se alimenta por filtración, las partículas de materia orgánica suspendidas y el fitoplancton son usadas como alimento (Prado-Ancona, 1998). De

acuerdo con un estudio realizado por García-Domínguez *et al.* (1991) las diatomeas bentónicas de los géneros *Nitzchia*, *Navicula* y *Amphora* y un dinoflagelado del género *Ceratium* son los principales componentes de su dieta. Es una especie gonocórica, es decir, presenta sexos separados; cuando la gónada está madura (Fig. 2), los folículos y túbulos ocupan casi todo el espacio disponible en la masa visceral, se extienden a través del tejido conjuntivo y rodean el aparato digestivo (Keen, 1979).

Los ciclos reproductivos de los invertebrados marinos se encuentran regulados por factores endógenos de origen genético y hormonal, y por factores exógenos, originados por cambios en el ambiente. De esta manera, la periodicidad con que se reproducen estos organismos, aunque está regulada por el genoma, depende también de las variaciones en los factores ambientales; los ciclos reproductivos pueden ser anuales, bianuales, estacionales o continuos, dependiendo de la localidad y la especie (Giese y Pearse, 1974). Las especies con una amplia distribución geográfica han mostrado que pueden presentar diferentes tácticas reproductivas, de acuerdo con la respuesta específica del organismo a las condiciones ambientales de cada localidad, asociando la madurez, el almacenamiento de reservas nutritivas y la duración e intensidad del ciclo gonádico, principalmente con la temperatura y la disponibilidad de alimento (Baqueiro-Cárdenas y Aldana-Aranda, 2000).

Chione californiensis es una especie distribuida en ambas costas de la Península de Baja California y en las costas de Sonora y Sinaloa, sus poblaciones están adaptadas a diferentes climas. Algunas poblaciones habitan en la zona templado-fría, influenciada por la corriente de California, la zona de transición y zonas tropicales influenciadas por la corriente Norecuatorial, también pueden ser influenciadas por eventos oceánicos y atmosféricos, como El Niño y La Niña, que se caracterizan por el calentamiento y enfriamiento en latitudes medias (García-Domínguez, 2002).



Figura 2. Anatomía interna de *Chione californiensis*, se observa el tejido blando. (1) gónada madura, (2) músculo del pie, (3) manto, (4) músculo aductor, (5) sifón, (6) branquias, (7) umbo, (8) charnela, (9) margen ventral. Ejemplar obtenido de la Ensenada de La Paz, correspondiente al muestreo de septiembre de 2016.

La gran plasticidad morfológica, hábitos de vida y diversidad de hábitats que ocupan los bivalvos, les ha permitido adoptar diversas estrategias reproductivas que implican diferentes manifestaciones de sexualidad, tipos de huevo, desarrollo embrionario, desarrollo larvario, mecanismos de dispersión y colonización de hábitats (Baqueiro-Cárdenas, 1998). De acuerdo con lo planteado anteriormente, Wootton (1984) define una estrategia reproductiva, como un conjunto de características de una especie para la reproducción y las tácticas reproductivas como las variaciones de esas características debidas a cambios ambientales.

Algunas especies de almejas, como por ejemplo *Argopecten gibbus*, *Pecten maximus* y *Placopecten magellanicus* han desarrollado variaciones en la sincronía del desove, por lo que Langton *et al.* (1987) plantean que, si las condiciones ambientales no son ideales para el desove sincrónico, las almejas adoptan una estrategia de goteo, efectuando varios desoves poco intensos durante el año, para asegurar que al menos unas pocas larvas puedan sobrevivir.

En el caso de los bivalvos que presentan fecundación externa como *C. californiensis*, la liberación de los gametos al medio es un evento crítico, ya que los gametos son viables por un corto periodo de tiempo, por lo que el éxito de la fertilización puede depender del grado de sincronía del desove (Romo-Piñera, 2010).

Según lo planteado anteriormente, la temperatura del agua es uno de los factores predominantes en cuanto a la expulsión de gametos de muchos bivalvos marinos, lo que influye en la frecuencia de organismos en desove y la duración de este proceso durante todo el período reproductivo. García-Domínguez *et al.* (2008) plantean que hay una relación directa entre la temperatura y la extensión de la etapa de desove, puesto que *Chione fluctifraga* disminuyó la duración de la etapa de desove de más de tres meses en el año 1998 a dos meses en el año 1999, este último año coincidió con el fenómeno de La Niña, además, la diferencia en la intensidad del desove fue mayor en 1998 con un 73%, en el pico más alto, con respecto a 1999 con tan solo un 47 %, como resultado de la disminución de la temperatura.

Baqueiro-Cárdenas y Aldana-Arana (2000), concluyeron que las variaciones en el desove de una especie entre localidades están relacionadas con la inestabilidad ambiental, o con variaciones entre ciertos parámetros críticos. Asimismo, Jaramillo y Navarro (1995) sugieren que el desove puede ser inducido por una combinación de factores internos y ambientales, y que su interacción puede cambiar temporalmente, produciendo variaciones anuales en el inicio y la intensidad del desove.

El desove puede estar relacionado principalmente con la disponibilidad de alimento, pues algunos bivalvos tienden a desovar cuando el alimento está disponible en el medio, para el adecuado desarrollo de las larvas, y se denominan a estas especies planctotróficas (Jaramillo *et al.* 1993), sin embargo, en la Ensenada de La Paz no parece que el desove se relacione únicamente con este parámetro, en *C. californiensis*, la disponibilidad de alimento es un factor importante en el desarrollo gametogénico y no en el desove, esto explica que la almeja roñosa no requiere de fitoplancton para las larvas recién liberadas, debido a que es una especie lecitotrófica (Prado-Ancona, 1998).

Los factores exógenos, junto con las características genotípicas propias de la especie, determinan el ciclo reproductivo del organismo, lo que da como resultado un patrón particular de reproducción, en el que se regulan la duración, intensidad y frecuencia del mismo, de modo que los individuos presentan un patrón característico de ciclo reproductivo (Prado-Ancona, 1998). Pero es sin duda el factor temperatura el que más influye y determina el ciclo reproductivo de muchos bivalvos, principalmente de *C. californiensis*, especie objeto de estudio, ya que controla desde la maduración de la gónada, hasta la expulsión de gametos, sincronizando todo el desarrollo gonádico.

Las diferencias en el patrón reproductivo en las poblaciones de *C. californiensis* en una misma localidad, pero en diferentes periodos de estudio se deben en mayor medida a parámetros como la temperatura y la disponibilidad de alimento, que al fotoperiodo. La disponibilidad de alimento es un factor determinante en el ciclo gonádico, sobre todo durante la gametogénesis y el crecimiento de la gónada (Prado-Ancona, 1998). El desarrollo gonádico de *C. californiensis* comienza a temperaturas relativamente bajas, pero con disponibilidad alta de alimentos.

De tal forma, resulta interesante conocer cuáles son las variaciones en el ciclo reproductivo de esta almeja en los diferentes años analizados y con diferentes regímenes de temperatura, debido a que las fases del ciclo gonádico no se presentan con la misma frecuencia e intensidad durante todo un año. *Chione californiensis* es una especie con potencial pesquero, por lo tanto, un enfoque de esta naturaleza aporta información importante para comprender las variaciones del evento reproductivo, establecer vedas reproductivas y tallas de reclutamiento a la reproducción. El conocimiento obtenido será útil para un mejor manejo de las poblaciones silvestres.

Por otra parte, analizar la influencia que tiene la temperatura sobre el desarrollo gonádico en bivalvos marinos, también permite diseñar técnicas eficientes para lograr un mejor acondicionamiento en cultivo o inducir el desove.

1.1. Antecedentes

La Bahía de La Paz, ha sido una localidad ampliamente estudiada por muchos investigadores debido a las características ambientales que en ella se presentan. Muchos estudios que abordan temas de reproducción, análisis de edad y crecimiento en bivalvos marinos se han desarrollado ahí debido a las variaciones en las temperaturas en invierno y verano, y a las abundantes surgencias que ocurren en el Golfo de California. Debido a esto, el ciclo reproductivo de *Chione californiensis* ha sido estudiado en diversas ocasiones, no solo en la Ensenada de La Paz, sino también en otras localidades del Golfo de California y de la costa del Pacífico de Baja California.

Entre los estudios que se destacan en la Ensenada de La Paz sobre el ciclo reproductivo de *C. californiensis*, se encuentra el realizado por García-Domínguez *et al.* (2011), quienes plantean que el desove está relacionado con las temperaturas altas del verano, siendo a partir de agosto de 1997, cuando la temperatura alcanzó 31 °C, y terminó en octubre, cuando la temperatura fue de 29.8 °C. A diferencia de lo observado por García-Domínguez y Levy-Pérez (1994) quienes encontraron en la misma localidad que *C. californiensis* desovó durante nueve meses, entre abril y diciembre de 1988, y de abril a septiembre de 1989, a temperaturas de 24 y 22 °C, respectivamente. Estas diferencias podrían deberse a la influencia de los fenómenos de El Niño y La Niña.

García-Domínguez *et al.* (1993) realizaron un estudio de *Chione californiensis* en Bahía Magdalena, B. C. S. en los años 1988-1989; observando que el desove de la población ocurrió continuamente durante cuatro meses en 1988 (junio a septiembre) y durante seis meses en 1989 (abril a septiembre), en ambos casos con un pico de desove en agosto.

De acuerdo con los resultados obtenidos por Prado-Ancona (1998), el desove de *Chione californiensis* en Bahía Magdalena y Bahía Concepción durante 1993, fue continuo por un periodo de once meses, con un pico máximo en mayo. Mientras que para la Ensenada de La Paz esta misma fase se observó principalmente entre agosto

y octubre, interrumpiéndose de enero a mayo. Por lo que está bien establecido que el ciclo reproductivo de los bivalvos marinos puede variar en la misma especie en relación con la localidad en la que se encuentra. En este estudio se observó que el periodo de reproducción es más corto en la Ensenada de La Paz que, en las otras dos localidades, por lo que se sugiere que aunque la latitud es importante para la regulación del ciclo gametogénico de una especie, otros factores influyen quizás de modo determinante en el ciclo gonádico, como la temperatura y el alimento.

Castillo-Durán *et al.* (2013) dieron a conocer que el ciclo de reproducción de *Chione fluctifraga* en Bahía San Jorge, en el Golfo de California, está regulado principalmente por la temperatura, informaron que la madurez y el desove se presentaron durante varios meses, pero la mayor intensidad del desove ocurrió entre julio y agosto de 2009, cuando la temperatura alcanzó valores máximos, observaron que la actividad reproductiva disminuyó considerablemente a partir de noviembre, cuando se registraron las temperaturas más bajas.

1.2. Hipótesis

La estrategia de desove de *Chione californiensis* presenta variabilidad como una respuesta a los cambios de temperatura.

1.3. Objetivo general

Conocer la estrategia de desove de *Chione californiensis*, en relación con la temperatura en la Ensenada de La Paz, B. C. S.

Objetivos particulares

Determinar el ciclo reproductivo de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, B. C. S., durante el periodo de 2016.

Estimar la proporción de sexos durante el periodo de 2016.

Establecer si existe correlación entre el índice de masa visceral y la temperatura durante el periodo de 2016.

Comparar la extensión e intensidad de la fase de desove y determinar la relación que presenta con la variación de la temperatura, entre los años La Niña (1988-89), El Niño (1997) y normales (1993 y 2016).

2. Materiales y Métodos

2.1. Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en la Ensenada de La Paz, localidad situada al sur de la Bahía de La Paz, en el estado de Baja California Sur, entre las coordenadas 24°11' y 24°06' N, y 110°19' y 110°25' W (Fig.3). La Ensenada de La Paz es una laguna que mide 45 km aproximadamente de superficie y se comunica con la Bahía de La Paz a través de un canal de mareas de 1.5 km de ancho y 4 km de largo. La temperatura superficial es uniforme en toda la laguna con temperaturas mínimas de 20°C y máximas de 30°C, a finales del invierno (febrero) y mediados del verano (agosto), respectivamente. Por lo general hay una diferenciación de zonas con temperaturas mayores hacia el sur donde existen amplias áreas someras, y menores al norte donde hay mayor profundidad (Romo-Piñera, 2010).

La Bahía de La Paz es considerada como uno de los cuerpos de agua más productivos de la costa occidental del Golfo de California. Las máximas concentraciones de clorofila *a* se presentan durante abril (10.9 mg m⁻³) y disminuyen de julio a noviembre (1 mg m⁻³) (Martínez-López *et al.*, 2001). El patrón general que se observa dentro de la bahía es de valores altos de clorofila *a* durante la temporada fría y una disminución durante la estación cálida.

Adicionalmente se utilizaron los datos obtenidos por otros autores que realizaron estudios similares en *Chione californiensis*, en la misma localidad de estudio, utilizando la misma metodología que se describe en este trabajo (García-Domínguez, 1991; Prado-Ancona, 1998; García-Domínguez *et al.*, 2011).

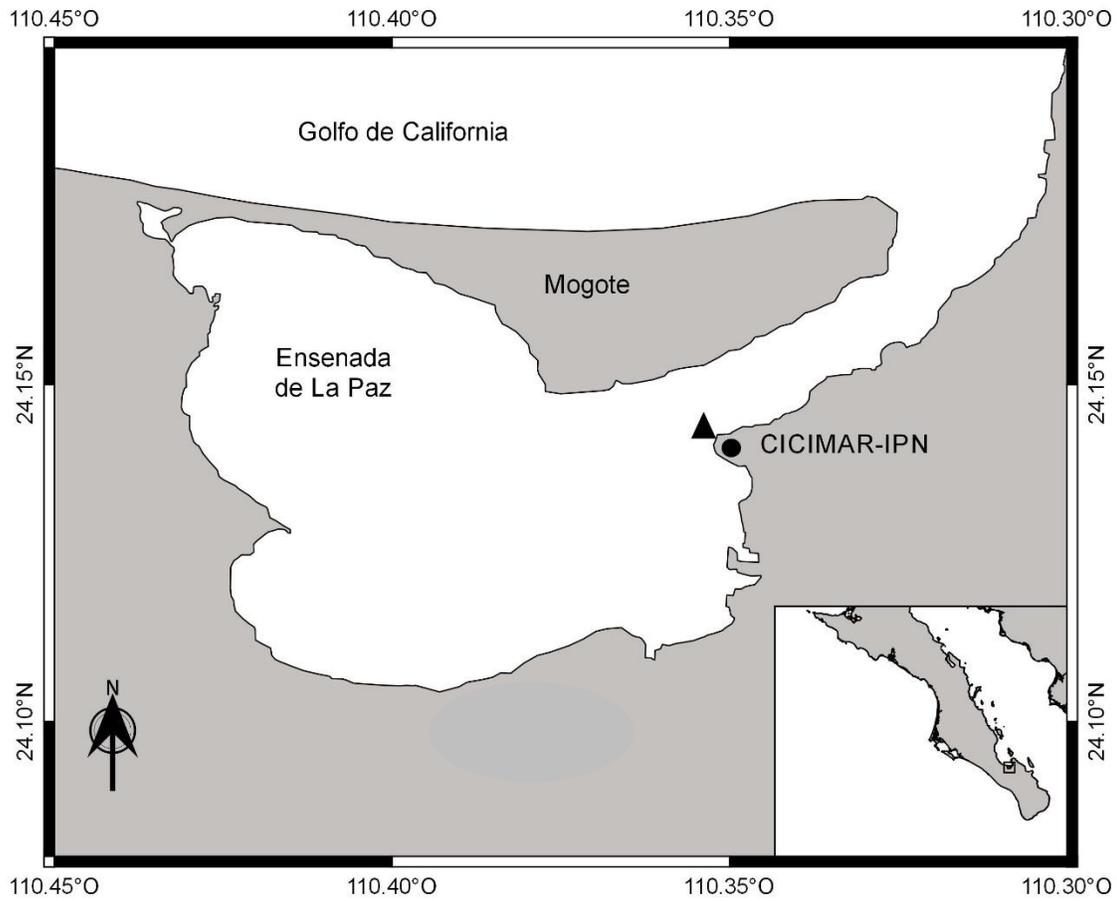


Fig. 3. Localidad de la Ensenada de La Paz, el triángulo negro señala el sitio de muestreo de *Chione californiensis* (frente al CICIMAR).

2.2. Metodología de campo

Se realizaron muestreos al azar en el sitio, desde enero hasta diciembre de 2016. Se recolectaron mensualmente 30 ejemplares adultos mayores de 30 mm de longitud, a una profundidad de agua de 10 a 50 cm. La extracción de las almejas se hizo manualmente, puesto que estas se hallaban enterradas en el sustrato. El muestreo se hizo frente al CICIMAR. Posteriormente las almejas fueron trasladadas al laboratorio, donde se fijaron en una solución de formaldehído al 10% por tres días. Al momento de la recolecta se midió la temperatura superficial del mar (TSM) con un termómetro de mercurio.

2.3. Metodología de laboratorio

Para cada organismo se asignó un código de identificación y se registró la longitud y la altura con un vernier (± 0.1 mm), así como los datos de peso con concha, peso de las partes blandas sin concha y peso de las vísceras mediante una balanza electrónica digital de una precisión de 0.1 g.

Para el estudio histológico de la gónada se removieron las branquias, el manto y el pie. Debido a que la gónada de esta almeja es difusa, es decir, no se separa del resto de los tejidos, fue necesario realizar varios cortes transversales a la masa visceral donde se incluye la gónada. Posteriormente los cortes de la masa visceral fueron almacenados en casets para luego deshidratarlos en alcohol etílico a concentraciones ascendentes del 70 al 100 %. Posteriormente fueron transparentadas con un solvente comercial (Citrisol V) e incluidos en parafina (Humason, 1979). Luego de obtener los bloques de parafina se realizaron cortes de 4 μm de grosor con un micrótopo Leica RM 2025. Una vez obtenidos los cortes y puestos en los portaobjetos con sus respectivas claves de identificación, se tiñeron con la técnica Hematoxilina-Eosina (Humason, 1979).

Una vez concluido este paso, se procedió a la observación de las muestras bajo el microscopio óptico, para determinar las diferentes fases de la gónada. Se cuantificó la proporción de sexos y se obtuvo el porcentaje de individuos de la población en desove. Para reconocer las fases del ciclo gonádico, se utilizó el criterio de García-Domínguez *et al.* (1993), quienes describieron el ciclo reproductivo en la misma especie, utilizando cinco estadios definidos arbitrariamente, tomando en cuenta la estructura de la gónada; indiferenciación, desarrollo, madurez, desove y postdesove (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización histológica de los diferentes estadios de desarrollo de la gónada de *Chione californiensis*, empleados en el presente estudio (García-Domínguez *et al.* 1993)

Estadios	Características histológicas
Indiferenciado	Se caracteriza por la ausencia total de folículos y de gametos, por lo que no es posible determinar el sexo. El tejido conjuntivo ocupa todo el espacio situado entre el hepatopáncreas, tubo digestivo y manto.
Desarrollo	Intercalados con el tejido conjuntivo que forma la masa visceral, se encuentran los folículos en diferentes grados de desarrollo. En su interior hay una cantidad variable de gametos maduros e inmaduros que permanecen almacenados en espera del desove o expulsión de gametos. Al crecer los folículos, disminuye la cantidad de tejido conjuntivo y finalmente éste es sustituido casi por completo por tejido gonádico.
Madurez	En esta fase el tejido conjuntivo ha sido sustituido completamente por los folículos que forman el tejido gonádico y prácticamente todo el tejido situado entre el manto, hepatopáncreas y tubo digestivo está constituido por folículos, cuyo interior está lleno de gametos maduros.
Desove	Esta es la fase de reproducción en la que se expulsan al medio ambiente los gametos. Los folículos se encuentran más o menos vacíos, dependiendo de lo avanzado del desove. Las membranas foliculares están rotas y no es posible diferenciar un folículo de otro. Hay una gran cantidad de espacios vacíos entre los folículos y dentro de ellos.
Post desove	Los folículos se han roto y casi no se aprecia tejido conjuntivo ni gametos. Los folículos son invadidos por amibocitos, que por fagocitosis, reabsorben los gametos que no fueron expulsados, así como los restos de las membranas foliculares.

Proporción de sexos: Debido a que *Chione californiensis* no presenta dimorfismo sexual, el sexo de cada organismo se determinó mediante la observación microscópica del tejido gonadal. Para conocer si la proporción sexual mantenía una relación de 1:1, se utilizó una prueba de χ^2 .

Índice de Masa Visceral: Este cálculo se realizó debido a que este índice actúa como indicador de la madurez gonádica, el índice aumenta con el desarrollo gonádico y decrece en tanto la gónada pierde peso debido al desove (Sastri, 1970; Villalejo-Fuerte y Ceballos-Vázquez, 1996). Para saber si había relación entre el índice de masa visceral y la temperatura se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (rP).

$$IMV = \left(\frac{\text{Peso húmedo de la masa visceral}}{\text{Peso húmedo del organismo sin concha}} \right) \times 100$$

Índice Multivariado del ENSO: Se obtuvieron los valores promedios del MEI (Índice Multivariado del ENSO) para cada uno de los años analizados, esto se realizó con el fin de relacionar ese valor con los resultados obtenidos, la información de cada mes se obtuvo de la página de la NOAA (Administración Nacional Atmosférica y Oceánica) (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html>), revisado el 28 de agosto del 2017.

2.4. Análisis estadístico

Se realizaron pruebas paramétricas y no paramétricas en el procesamiento estadístico de los datos. Para obtener los valores de los datos de los trabajos anteriores (1988-89, 1993 y 1997), se procesaron las imágenes del ciclo reproductivo publicadas en cada uno de ellos, que contenían la información sobre la proporción de cada fase del ciclo gonádico en cada mes; esto se hizo con ayuda de la herramienta de medición del programa Adobe Acrobat.

Para cada periodo de estudio, se correlacionó la frecuencia de cada fase en que se divide el proceso reproductivo con la temperatura determinada en cada mes; asimismo, se conjuntaron los cuatro periodos de estudio y se realizó el mismo ejercicio

para el conjunto de la información. Debido a que los datos de frecuencia no tienen una distribución normal, se empleó el coeficiente de correlación de Spearman, que es una prueba no paramétrica.

Además de utilizar el coeficiente de correlación de Spearman, también se calculó el coeficiente de correlación de Pearson, ya que al elevarlo al cuadrado permite estimar el porcentaje de la varianza explicada por la temperatura para cada una de las fases; esto se realizó únicamente para el conjunto de los datos.

En los casos en que se encontró que las fases tenían una correlación con el mismo signo para todos los periodos de estudio, se estimó el valor de la mediana de cada mes, y se construyó una gráfica con esos valores para esas fases del desarrollo gonádico.

Con el fin de generar un valor que nos diese una aproximación del grado de precisión que tienen las gráficas de las medianas de cada fase, al conjuntar los cuatro periodos de estudio, se procedió, por un lado, a calcular la varianza total para cada conjunto de datos y, por otro, se estimó la varianza no explicada como la sumatoria de la desviación elevada al cuadrado que tuvo cada dato con respecto a su mediana. La fórmula empleada fue la siguiente:

Varianza no explicada = $\Sigma(\text{Desviaciones})^2 / (n-m-1)$; donde n es el número de datos y m el número de medianas calculado (una por cada mes).

Restando el valor de la varianza no explicada al de la varianza total, fue posible obtener la magnitud de la varianza explicada, cuya proporción con respecto al total nos da un indicador de la bondad de los modelos obtenidos a partir de la fluctuación de las medianas de cada fase, mes con mes, a lo largo del año

Adicionalmente, los datos de cada fase de cada periodo de estudio se correlacionaron con los otros periodos de estudio, con el fin de reconocer el grado de concordancia entre cada par de años, y si ésta era significativa; para ello también se utilizó la correlación de Spearman. En todos los casos, el nivel de significancia se estableció con una probabilidad de 0.05.

3. Resultados

Se recolectó un total de 360 organismos durante el año de estudio de 2016. En el presente estudio se obtuvo un promedio de longitud de 33.1 mm, las menores y mayores tallas muestreadas variaron de 20-29 mm y 40-47 mm, respectivamente y una moda de 34 mm.

3.1. Almejas Parasitadas

Se observó que en varias muestras había individuos asexuados por la presencia de esporocistos de un tremátodo del género *Bucephalus* (Fig. 4), estos esporocistos son el primer estadio larval que se forma dentro del hospedero, en este caso de la almeja. Del total de la muestra, 33 organismos correspondiente a un 9.16 % estaban infectados, por lo que no se observó presencia de gametos para definir el sexo de los mismos, debido al reemplazo del tejido gonadal por los esporocistos del trematodo, el cual se hallaba en distintos estadios formando ramas dentro del tejido gonadal. De septiembre a diciembre se observó la mayor cantidad de organismos parasitados (Tabla 2).

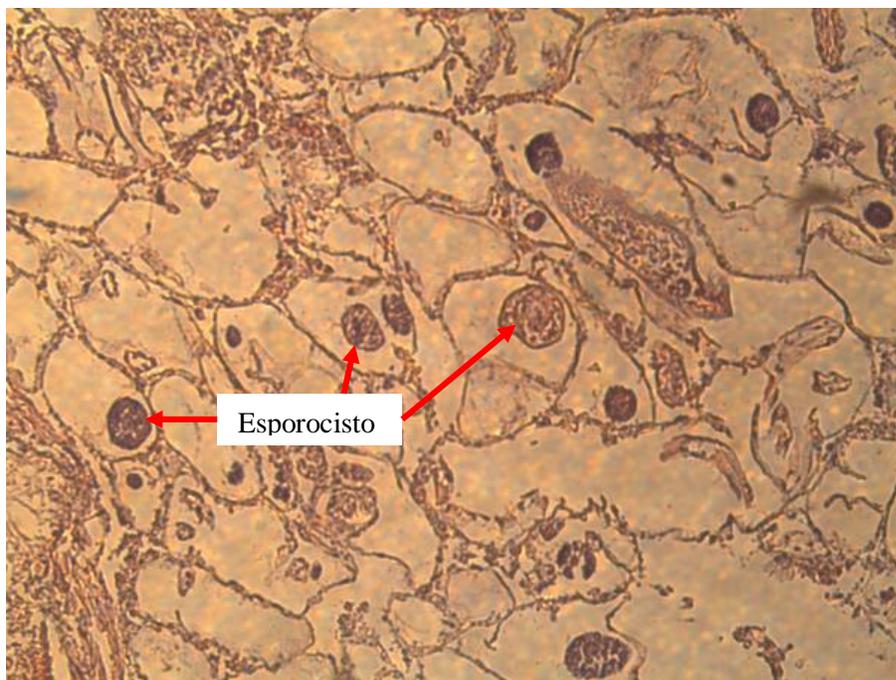


Figura 4. Esporcistos del tremátodo *Bucephalus* sp. en el tejido conjuntivo de *Chione californiensis*. Vista 10X.

Tabla 2. Prevalencia de organismos parasitados durante 2016 en la Ensenada de La Paz, B. C. S.

Mes	N° org. muestreados	N° org. parasitados
Enero	30	3
Febrero	30	1
Marzo	30	3
Abril	30	1
Mayo	30	0
Junio	30	0
Julio	30	0
Agosto	30	0
Septiembre	30	5
Octubre	30	6
Noviembre	30	10
Diciembre	30	4
Total	360	33

3.2. Ciclo reproductivo de *Chione californiensis*

El ciclo reproductivo de esta almeja en la Ensenada de La Paz presentó todas las fases del desarrollo gonádico durante el año de estudio (Fig. 5). Se observaron individuos en fase de indiferenciación gonádica entre enero y junio, y también en diciembre, el mayor porcentaje (93%) se observó en mayo. La fase de desarrollo se encontró en muy pocos meses, de febrero a abril y nuevamente en junio, este mes alcanzó el mayor porcentaje de esta fase (50%).

La fase de madurez se observó de febrero a abril y de junio a noviembre. En los meses de invierno y primavera (febrero-abril) el porcentaje de esta fase fue reducido, al contrario de lo ocurrido en los meses de verano, cuando se observaron los mayores porcentajes como el de septiembre, en que se obtuvo un 92 %. El desove se presentó casi todo el año, excepto en mayo, siendo octubre cuando se presentó el mayor porcentaje (83%). El postdesove no se observó en los meses de junio a septiembre, y tampoco en febrero, el mayor porcentaje se obtuvo en noviembre (30%).

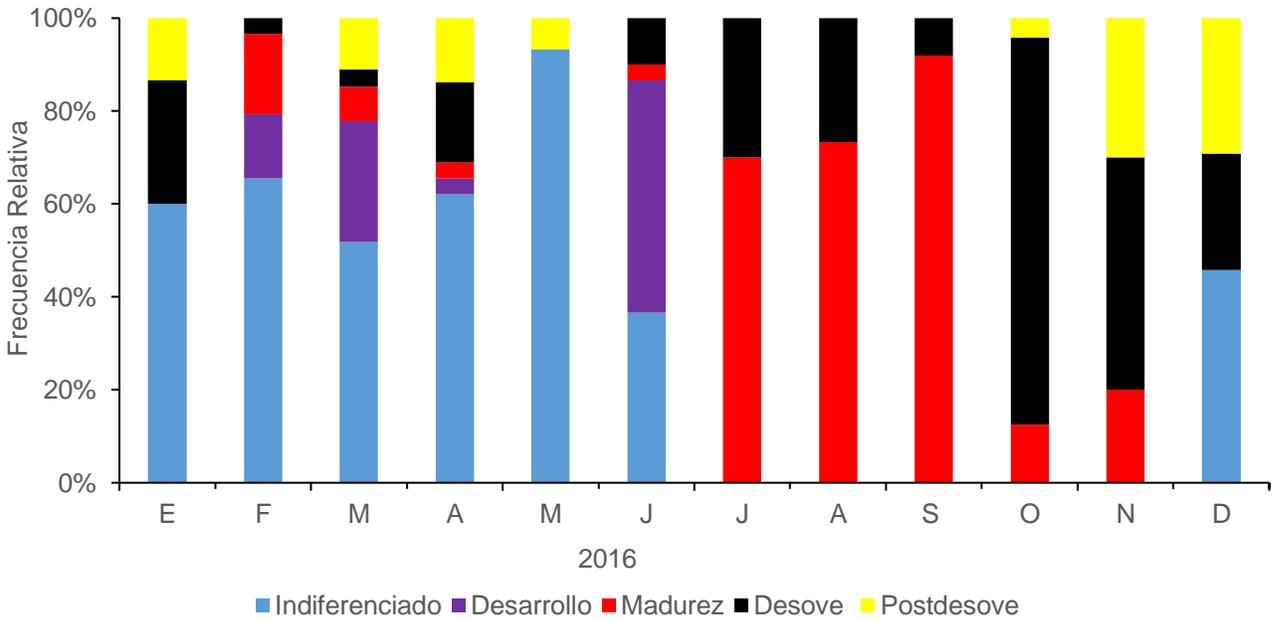


Figura 5. Ciclo reproductivo de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz.

3.3. Proporción de sexos

Se analizaron 360 almejas, de las cuales el 26 % fueron hembras, el 38 % fueron machos y el 36 % estuvieron indiferenciados (Fig. 6).

La mayor proporción de organismos hembras y machos coincidió principalmente con las temperaturas más altas del verano, por lo que se cree que las temperaturas cálidas influyen en la diferenciación de los sexos. Los individuos hembras no se observaron de enero a mayo, excepto un par en febrero y abril, mientras que los individuos machos sí estuvieron presente en estos meses. Se obtuvo un mayor porcentaje de organismos indiferenciados en los primeros meses fríos del año, apareciendo nuevamente este estadio en diciembre.

Para determinar si la proporción de sexos era de 1M:1H se hizo uso de la prueba de Chi cuadrada. Los datos utilizados fueron los de julio a noviembre, en los que a la totalidad de los organismos se les determinó el sexo. Fue posible establecer que la proporción observada no se desvía de la suposición de que cada sexo contribuye aproximadamente con el 50% de la población ($p < 0.05$).

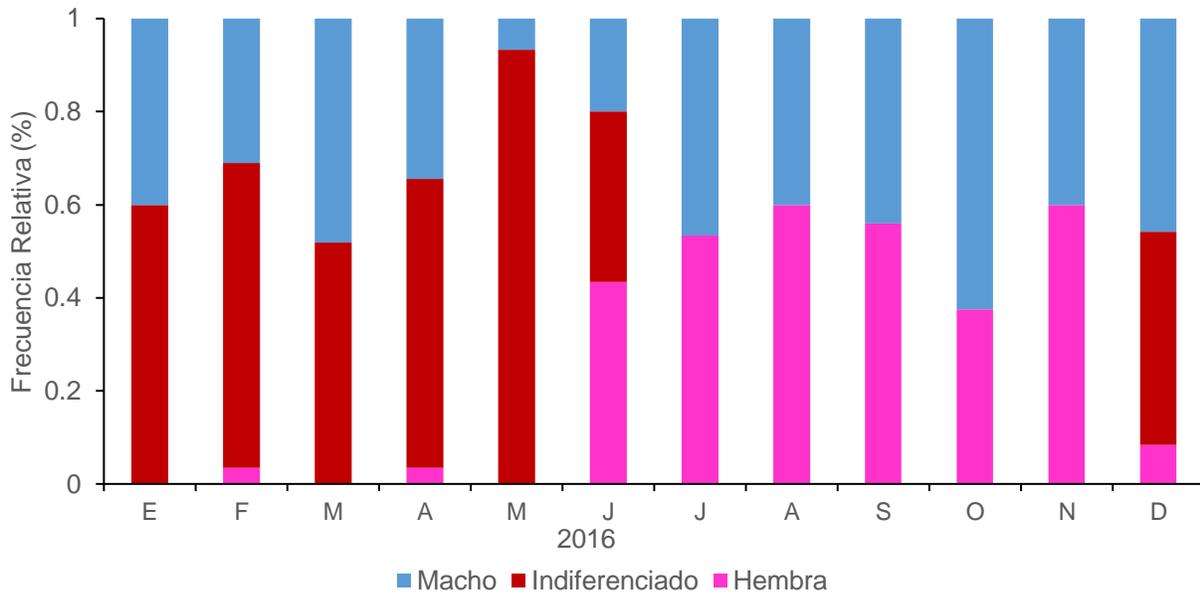


Figura 6. Proporción de sexos y estadio indiferenciado de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, B. C. S.

3.4. Índice de Masa Visceral

El índice de masa visceral (IMV) actúa como un indicador de la madurez gonádica, mostrando fluctuaciones marcadas durante el periodo de muestreo. Los valores del índice oscilaron entre 1.0 y 4.1. (Fig. 7) Los valores máximos del índice coinciden con el mayor porcentaje de almejas en desarrollo y maduras (junio-septiembre). De enero a mayo se mantuvo ligeramente bajo, debido al poco desarrollo gonádico en los organismos. A partir de octubre el índice decreció debido al alto porcentaje de almejas en desove, lo cual conlleva a que la gónada pierda peso.

Debido a que estos datos tuvieron una distribución normal, se calculó el índice de correlación de Pearson entre la masa visceral y la temperatura, que resultó significativo ($rP: 0.695$; $p < 0.05$)

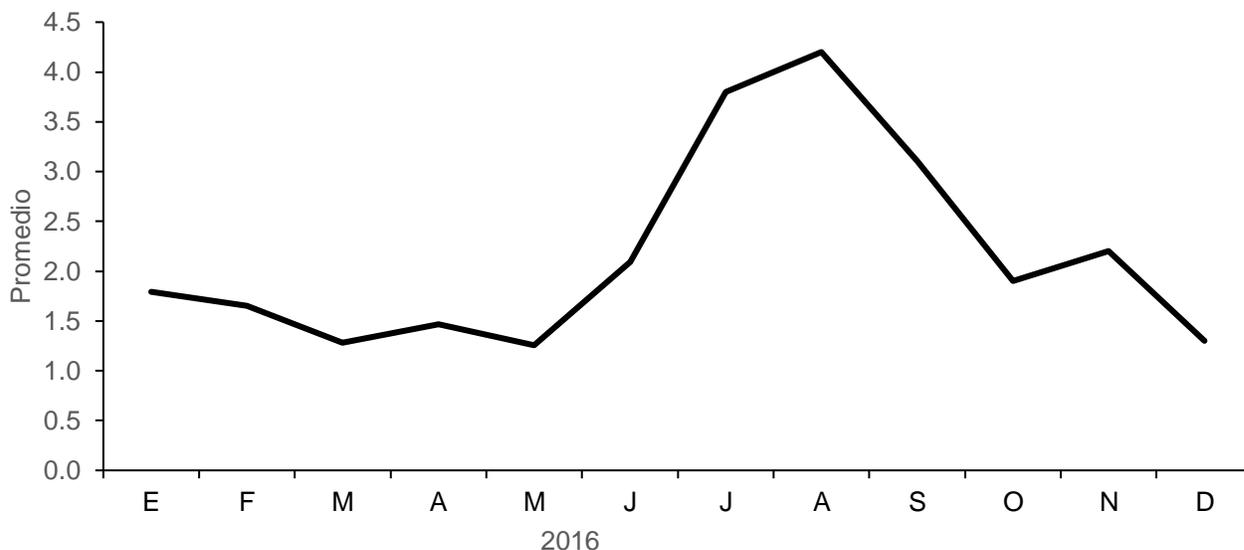


Figura 7. Promedio del índice de masa visceral de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, B. C. S.

3.5. Índice Multivariado del ENSO (MEI)

Después de obtener en la página de la NOAA los valores de cada mes para cada uno de los años analizados en este estudio, se procedió a calcular el valor promedio anual del índice Multivariado del ENSO para cada uno de los años estudiados (Tabla 3). Como se observa en la tabla 3, en 1988-89, el signo del valor es negativo, lo que corrobora que relativamente este periodo se trató de un año La Niña. El valor de 1993 fue positivo, y debido al valor bajo se comprueba que fue un año normal. En cuanto a 1997, el valor del promedio fue positivo y cercano a 2, por lo que es considerado como un año El Niño.

Para 2016 la percepción que se tenía sobre la magnitud del fenómeno atmosférico cambió radicalmente, esto se debe a que los primeros tres meses de 2016 se comportó como año El Niño, como una secuela del año previo, que fue considerado como uno de los Niños más fuertes de la historia. De esta forma, de enero a marzo de 2016 persistieron los valores altos del MEI, característicos del periodo de El Niño; pero a partir de abril los valores mensuales comenzaron a descender hasta acabar el año, por lo que al promediar los doce valores del año se encuentra que se trató de un año

normal, como se observa en la tabla 3; de hecho, este valor fue más bajo que el de 1993.

Tabla 3. Valores promedio del Índice Multivariado del ENSO (MEI)

Años	MEI Promedio
1988-89 La Niña	-1.037
1993 Normal 1	1.08
1997 El Niño	1.822
2016 Normal 2	0.7314

3.6. Correlación entre las fases del desarrollo gonádico entre los diferentes años de estudio.

Al realizar la correlación de Spearman considerando la información de todas las fases del desarrollo gonádico, se observó que existe una correlación significativa entre los diferentes periodos analizados (Tabla 4). Como se observa en la tabla, todos los valores dieron significativos y con signo positivo, es decir, existe similitud entre cada par de años en la generalidad de las fases del ciclo reproductivo, obteniéndose el valor más alto entre los años 1997 y 1988-89. La representación de las distintas correlaciones entre pares de años se encuentra en la figura 8.

Tabla 4. Correlaciones de Spearman entre las fases del desarrollo gonádico y los diferentes años analizados.

Años	1988-89 La Niña	1993 Normal 1	1997 El Niño	2016 Normal 2
1988-89 La Niña		0.2972	0.5965	0.3983
1993 Normal 1			0.3287	0.4042
1997 El Niño				0.4077
2016 Normal 2				

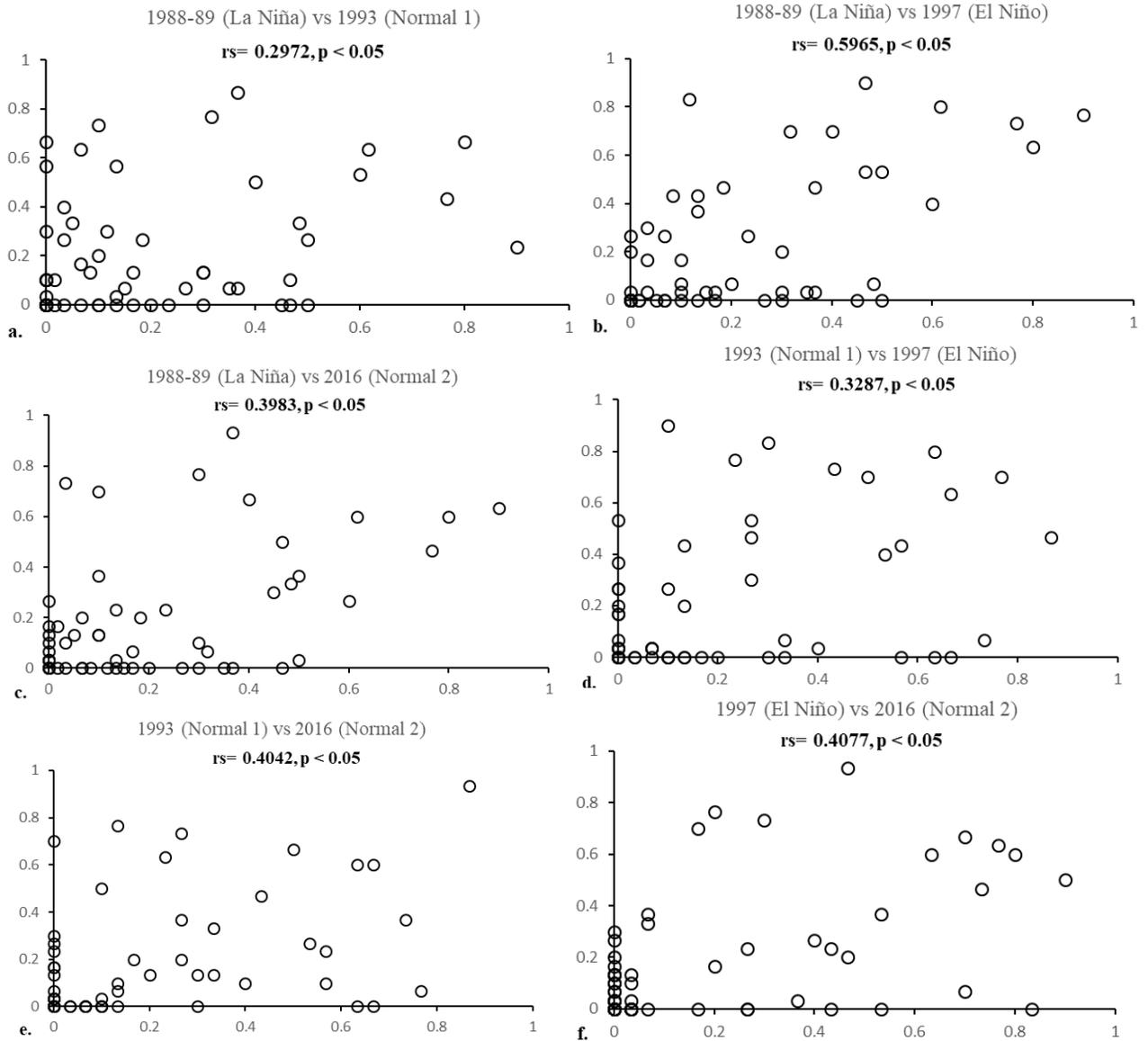


Figura 8. Correlación de Spermán entre pares de años considerando todas las fases del desarrollo gonádico de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, B. C. S. (a) La Niña 1988-89 vs año normal 1993; (b) La Niña 1988-89 vs El Niño 1997; (c) La Niña 1988-89 vs año normal 2016; (d) año normal 1993 vs El Niño 1997; (e) año normal 1 1993 vs año normal 2 2016; (f) El Niño 1997 vs normal 2016. Los valores de 1988-89 se obtuvieron de García-Domínguez (1991); los valores de 1993 se obtuvieron de Prado-Ancona (1998) y los valores de 1997 se obtuvieron de García-Domínguez *et al.* (2011).

3.7. Correlación entre la proporción de cada fase de desarrollo y la temperatura, tanto para cada año de estudio como en su conjunto.

Al realizar la correlación de Spearman entre cada fase del ciclo gonádico y la temperatura para cada uno de los años estudiados (Tabla 5), se obtuvo una alta significancia en la fase indiferenciada entre 1988-89 y 1997. Para esta fase, en todos los casos el signo del coeficiente fue negativo. En la fase de desarrollo no se encontró significancia para ninguno de los años, presentándose además coeficientes tanto positivos como negativos, lo que indica que no hay consistencia en las tendencias observadas. En la fase de madurez los valores son sincrónicos, teniendo signo positivo, pero no se observaron datos significativos. El desove tuvo valores significativos en 1988-89 y 1997, además de que todas las correlaciones tuvieron signo positivo. Y finalmente, en la fase de postdesove se observaron valores positivos y negativos significativos entre 1988-89 y 2016.

Al conjuntar la información de los cuatro estudios, se encontró que existe una correlación significativa entre la temperatura y la proporción de la población en las fases de indiferenciado, desarrollo, madurez y desove. Las dos primeras tuvieron signo negativo, y las otras dos positivo (Tabla 5)

Con el fin de hacer una estimación de la varianza explicada por la temperatura, se procedió a calcular la correlación de Pearson para el conjunto de datos de cada fase de desarrollo; esa información se encuentra en la tabla 5, e indica que la temperatura explica aproximadamente el 31% de la variación observada para la fase de indiferenciados, y de poco más del 20% para las fases de madurez y desove. Su relevancia es insignificante para las fases de gametogénesis (desarrollo) y de postdesove.

Tabla 5. Correlación de Spearman entre la frecuencia de cada fase de desarrollo y la temperatura. Se destacan en negrita las correlaciones significativas (en todos los casos se consideró $p < 0.05$).

	rS 1988-89	rS 1993	rS 1997	rS 2016	rS General	rP General	Varianza Explicada (%)
Indiferenciado	-0.777	-0.2801	-0.96	-0.479	-0.586	-0.5579	31.125
Desarrollo	-0.442	0.1984	0.047	-0.177	-0.308	-0.1418	2.011
Madurez	0.456	0.133	0.343	0.4205	0.378	0.4524	20.467
Desove	0.648	0.283	0.717	0.104	0.482	0.4684	21.940
Postdesove	0.793	-0.326	0.478	-0.666	0.054	0.0704	0.496

La representación de las distintas correlaciones de los datos en su conjunto se encuentra en la figura 9. A pesar de que los datos se observan dispersos, hay correlación significativa en la fase de indiferenciados, es decir, a medida que aumenta la temperatura disminuyen los organismos indiferenciados (Fig. 9a). En la fase de desarrollo se observó una correlación negativa significativa, sin embargo, la contraposición de signos de las correlaciones de cada año, propicia una amplia dispersión de los datos, e indica que la tendencia no es consistente (Fig. 9b). En la madurez se observó una correlación positiva significativa, los datos se hayan desplazados hacia la porción superior derecha, ya que, al aumentar la temperatura, aumentan los organismos maduros (Fig. 9c). En el desove también se obtuvo una correlación positiva significativa, y se observa en la gráfica una acumulación de puntos hacia la sección superior derecha, pues al aumentar la temperatura, aumenta el número de organismos en esta fase (Fig. 9d). En el postdesove la correlación no fue significativa, en la gráfica se observan los datos ampliamente dispersos, por lo que esta fase no tiene un patrón relacionado con la temperatura (Fig. 9e)

Por lo que se observa un patrón indicativo de consistencia en las fases de indiferenciados, madurez y desove con respecto a la temperatura.

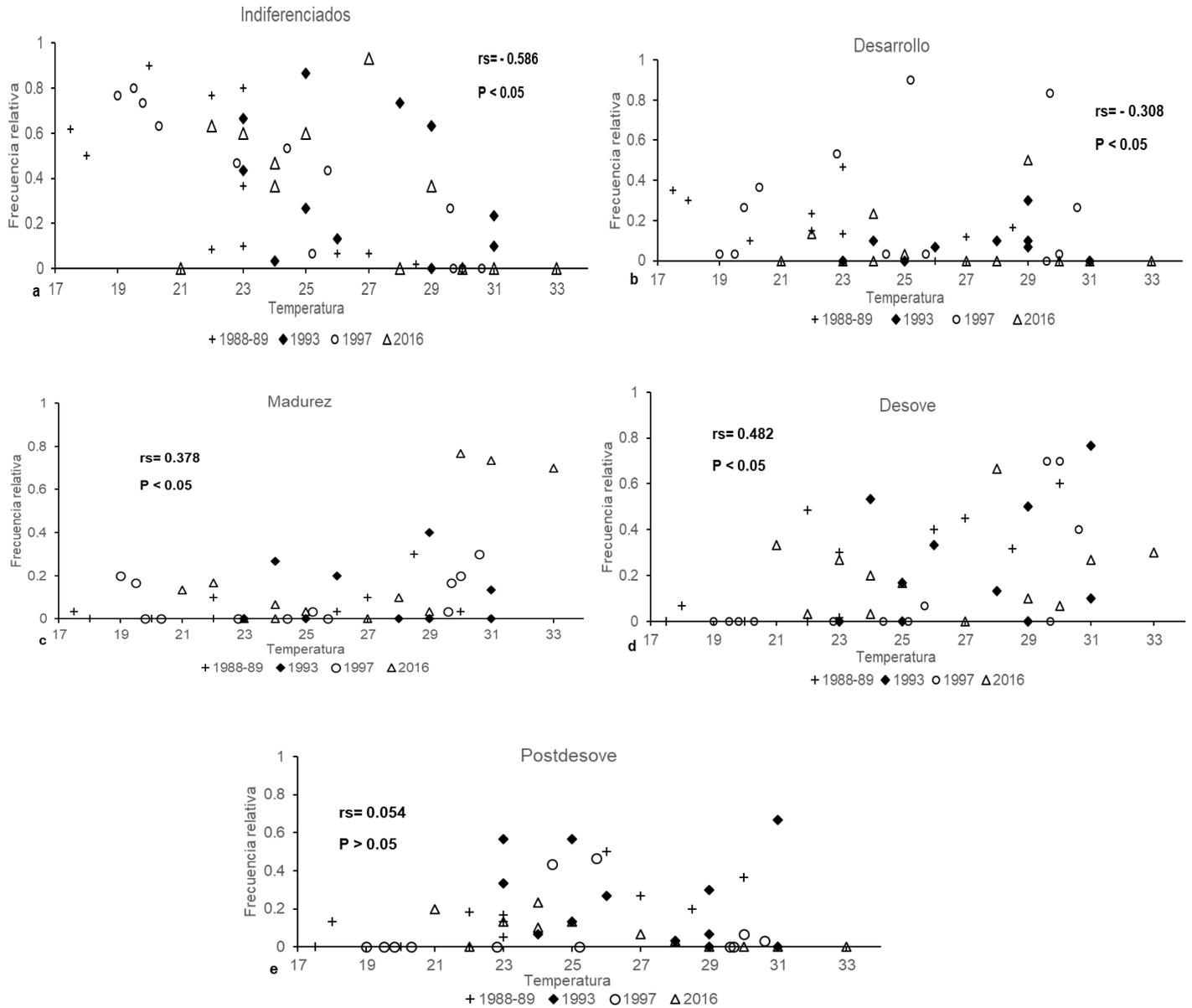


Figura 9. Correlación de Spearman entre la temperatura y la proporción de la población en cada fase del ciclo de reproducción al conjuntar los cuatro estudios realizados en la localidad. Únicamente la fase de postdesove no presentó correlación significativa. (a) Indiferenciados, (b) desarrollo, (c) madurez, (d) desove, (e) postdesove. Los valores de 1988-89 se obtuvieron de García-Domínguez (1991); los valores de 1993 se obtuvieron de Prado-Ancona (1998) y los valores de 1997 se obtuvieron de García-Domínguez *et al.* (2011).

3.8. Contraste de la variación temporal de las fases del ciclo gonádico entre los distintos periodos de estudio.

Con la intención de establecer si se presenta una similitud significativa en el patrón de oscilación de cada fase de la reproducción entre los distintos años en que se tienen registros, se procedió a comparar la base de datos de cada fase, contrastándola con cada uno de los otros años; dado que los datos no presentan una distribución normal, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman con una significancia de 0.05.

3.8.1. Patrón de variación mensual de la fase de indiferenciación.

Para la fase de indiferenciados, se obtuvo una correlación significativa de signo positivo de los datos obtenidos en 2016 con el resto de los años, además de otra correlación significativa entre 1997 con los datos del periodo 1988-89 (Tabla 6). Además de lo anterior, otro aspecto llamativo es que todos los coeficientes de Spearman calculados tienen signo positivo, es decir, tiende a apreciarse concordancia en todos los ciclos reportados para la Ensenada de La Paz.

Lo anterior motivó a elaborar la figura 10, donde se observa las medianas de la fase indiferenciada para cada mes del año. Se observa de enero a mayo, cuando se presentan temperaturas bajas, que el porcentaje de organismos indiferenciados es mayor, siendo una proporción relativamente estable. Al aumentar la temperatura en los meses de verano hasta octubre decrece notablemente el porcentaje de almejas en esta fase, a partir de noviembre vuelve a aumentar los organismos indiferenciados, lo que se asocia al descenso de la temperatura, coincidente con la llegada del invierno y a la conclusión del periodo de reproducción.

Tabla 6. Matriz de los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos para la fase de indiferenciados, al contrastar cada par de años de los que se dispone de información. Se anotan en negrita los valores significativos.

Años	1988-89 La Niña	1993 Normal 1	1997 El Niño	2016 Normal 2
1988-89 La Niña		0.482	0.914	0.839
1993 Normal 1			0.296	0.654
1997 El Niño				0.781
2016 Normal 2				

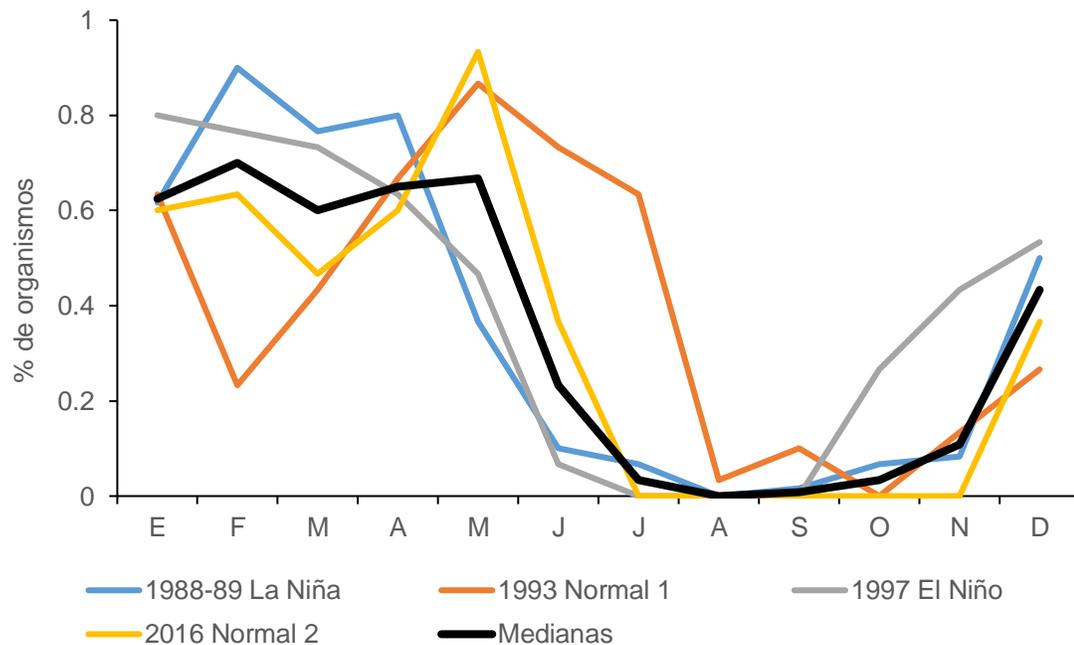


Figura 10. Comparación de las medianas de la fase indiferenciada de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, B. C. S. y los valores para cada mes del año de cada uno de los cuatro años analizados. Los valores de 1988-89 se obtuvieron de García-Domínguez (1991); los valores de 1993 se obtuvieron de Prado-Ancona (1998) y los valores de 1997 se obtuvieron de García-Domínguez *et al.* (2011).

En la figura 11 se observa una comparación más detallada de las medianas de la fase indiferenciada entre pares de años. Estas gráficas se elaboraron para apreciar con que intensidad se presenta la fase de indiferenciados de un año de estudio con respecto a otro. Los datos de los pares de años que menos relación tuvieron el uno con el otro con respecto a la intensidad de la fase indiferenciada, fueron 1988-89 y 1993, es decir La Niña y año normal 1 (Fig. 11a), 1993 y 1997, año normal 1 y El Niño (Fig. 11d), 1997 y 2016, El Niño y año normal 2 (Fig. 11f).

Entre 1988-89 y 2016, La Niña y año normal 2, respectivamente (Fig. 11c) y 1993-2016, años normal 1 y normal 2 respectivamente (Fig. 11e) se observó poca relación en la magnitud de esta fase.

Los años que más relación tuvieron en la proporción de indiferenciados, fueron 1988-89 y 1997, La Niña y El Niño, respectivamente (11b), donde se observó que el patrón en ambos años, aunque no fue igual, si tuvo mayor concordancia. A pesar de que estos dos años fueron totalmente opuestos por ser El Niño y La Niña la proporción de almejas indiferenciadas tuvo un mayor vínculo que para el resto de las comparaciones.

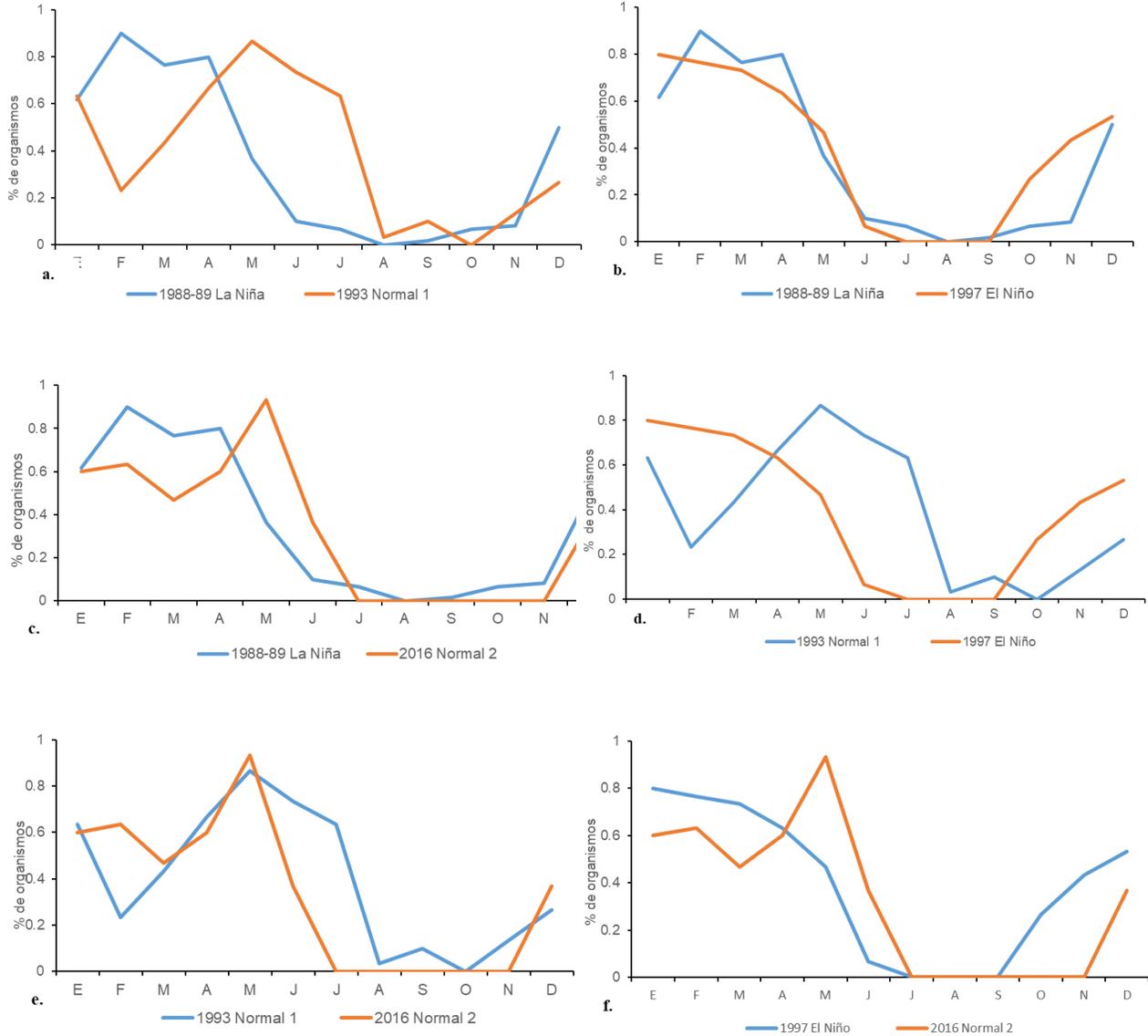


Figura 11. Comparación entre pares de años con relación a la proporción de organismos indiferenciados de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, B. C. S. (a) La Niña 1988-89 vs año normal 1993; (b) La Niña 1988-89 vs El Niño 1997; (c) La Niña 1988-89 vs año normal 2016; (d) año normal 1993 vs El Niño 1997; (e) año normal 1 1993 vs año normal 2 2016; (f) El Niño 1997 vs normal 2016. Los valores de 1988-89 se obtuvieron de García-Domínguez (1991); los valores de 1993 se obtuvieron de Prado-Ancona (1998) y los valores de 1997 se obtuvieron de García-Domínguez et al. (2011).

3.8.2. Patrón de variación mensual de la fase de desarrollo.

En la fase de desarrollo para los cuatro años analizados no se obtuvo ninguna correlación significativa. De hecho, llama la atención que en algunos casos se obtuvieron valores positivos y en otros negativos (Tabla 7). Debido a esto no se procedió a realizar las gráficas de las medianas.

Tabla 7. Matriz de los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos para la fase de desarrollo, al contrastar cada par de años de los que se dispone de información. Ninguna de las comparaciones fue significativa; destaca además la presencia de signos positivos y negativos.

Años	1988-89 La Niña	1993 Normal 1	1997 El Niño	2016 Normal 2
1988-89 La Niña		-0.316	0.349	0.177
1993 Normal 1			0.194	-0.209
1997 El Niño				0.391
2016 Normal 2				

3.8.3. Patrón de variación mensual de la fase de madurez.

En esta fase los coeficientes fueron significativos entre los años 2016-1988; 2016-1997 y 1988-1993 (Tabla 8). En todos los casos los coeficientes tuvieron el mismo signo, lo que condujo a generar la gráfica de las medianas, como se hizo para la fase de indiferenciados (figura 12); ahí se observa que tiende a haber una mayor proporción de organismos en la fase de madurez en los meses cálidos, a partir de junio y hasta octubre; se evidencian dos picos más reducidos, en febrero y noviembre. Cabe señalar que incluso cuando existen temperaturas frías, hay presencia de gónadas maduras, aunque en menor proporción.

Tabla 8. Matriz de los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos para la fase de madurez, al contrastar cada par de años de los que se dispone de información. Se anotan en negrita los valores significativos.

Años	1988-89 La Niña	1993 Normal 1	1997 El Niño	2016 Normal 2
1988-89 La Niña		0.608	0.45	0.639
1993 Normal 1			0.299	0.554
1997 El Niño				0.66
2016 Normal 2				

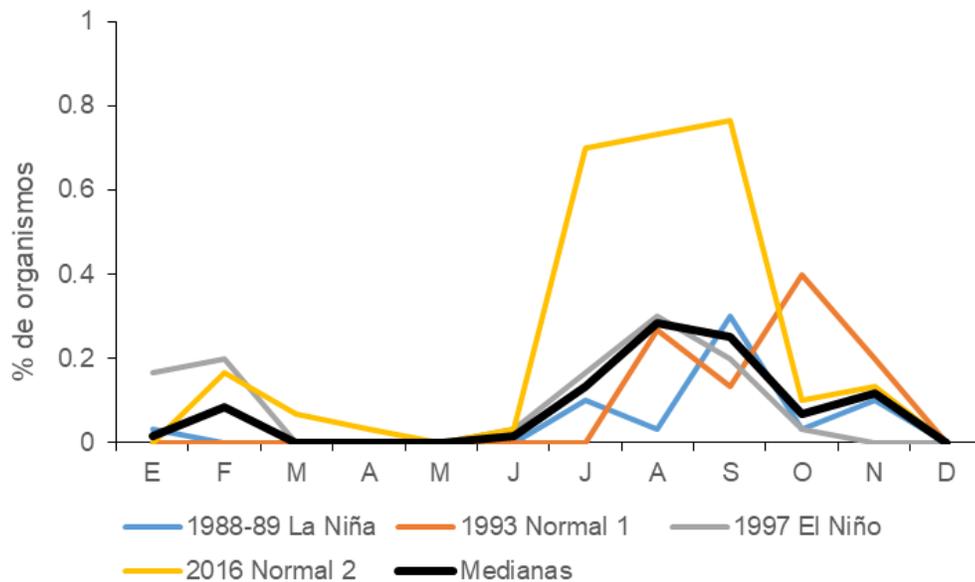
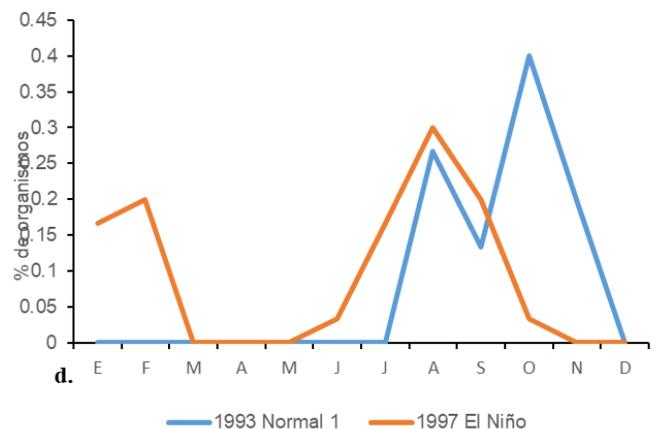
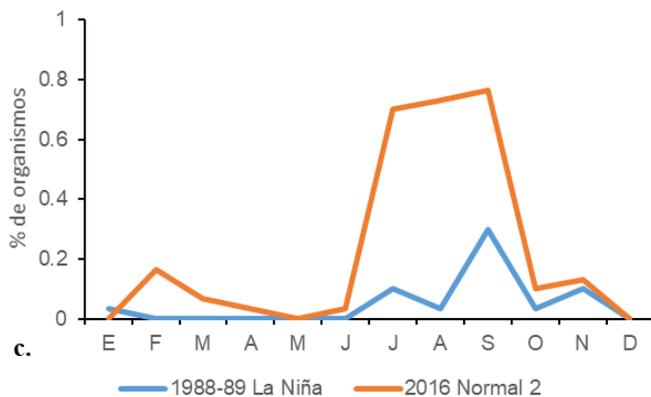
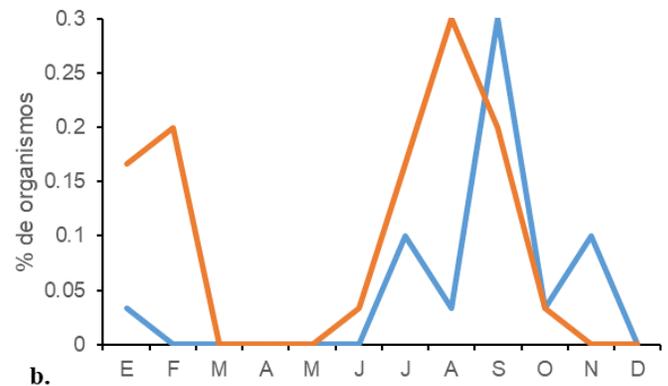
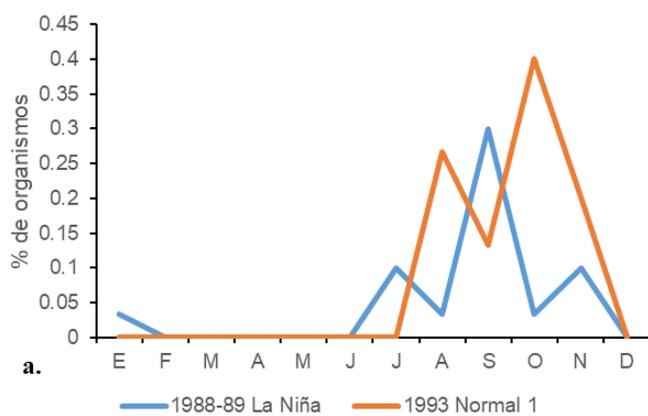


Figura 12. Comparación de las medianas y valores mensuales de la fase de madurez de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, B. C. S., con respecto a los cuatro años analizados. Los valores de 1988-89 se obtuvieron de García-Domínguez (1991); los valores de 1993 se obtuvieron de Prado-Ancona (1998) y los valores de 1997 se obtuvieron de García-Domínguez *et al.* (2011).

En la figura 13 se muestran las gráficas elaboradas para la fase de madurez entre cada par de años. El par de años que más se relacionan son La Niña y año normal 2 (1988-89 y 2016, respectivamente) (Fig. 13c). Se observó que los patrones de

porcentaje de organismo en la fase de madurez son muy similares; esto quiere decir que, la población de almejas mantiene una tendencia similar en los meses de verano con respecto a esta fase. Otro par de años que mantuvo una gran similitud fue El Niño y año normal 2 (1997 y 2016 respectivamente) (Fig. 13f), donde se observa que el porcentaje de almejas maduras coincidió en los meses de junio a octubre y en febrero.

Para el resto de las comparaciones, 1988-1993, La Niña y año normal 1, (Fig. 13a); 1988-1997, La Niña y El Niño (Fig. 13b); 1993-1997, año normal 1 y El Niño (13d); 1993-2016, años normal 1 y normal 2 (13e), la similitud en el patrón de los porcentajes de almejas maduras fue menor.



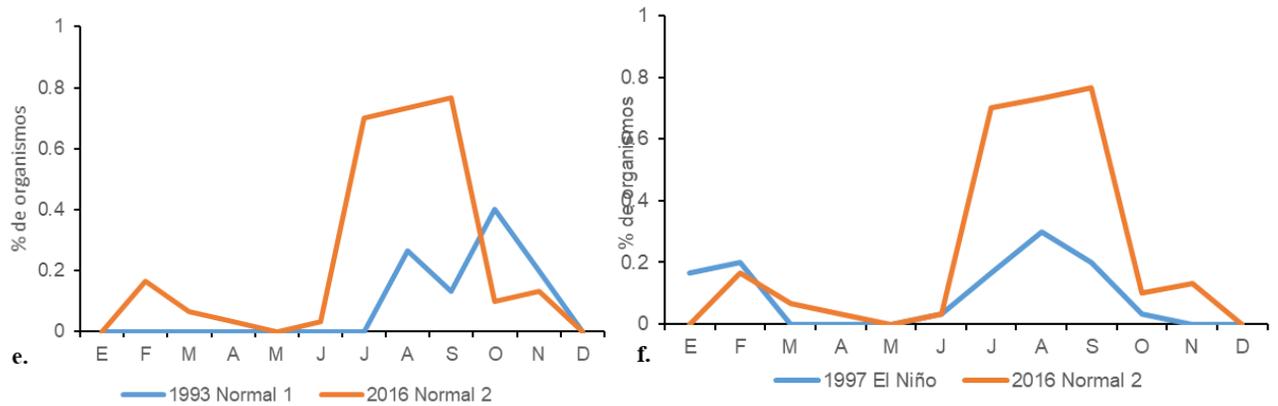


Figura 13. Comparación entre pares de años con relación a la proporción de organismos maduros de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, B. C. S. (a) La Niña 1988-89 vs año normal 1993; (b) La Niña 1988-89 vs El Niño 1997; (c) La Niña 1988-89 vs año normal 2016; (d) año normal 1993 vs El Niño 1997; (e) año normal 1 1993 vs año normal 2 2016; (f) El Niño 1997 vs normal 2016. Los valores de 1988-89 se obtuvieron de García-Domínguez (1991); los valores de 1993 se obtuvieron de Prado-Ancona (1998) y los valores de 1997 se obtuvieron de García-Domínguez *et al.* (2011).

3.8.4. Patrón de variación mensual de la fase de desove.

En la fase de desove se obtuvieron coeficientes de correlación significativos entre los años 1988-89, 1993, 1997 y 2016; también entre los años 1993-1997 (Tabla 9). Nuevamente es notorio que el símbolo de todos los coeficientes fue positivo, lo que denota tendencia a la similitud en las oscilaciones a lo largo del ciclo anual. Por lo anterior, nuevamente se procedió a generar la gráfica de los valores de la mediana para cada mes, lo que se presenta en la figura 14. Ahí se aprecia una tendencia a que la proporción de los organismos en desove aumente cuando las temperaturas son cálidas en el verano, y se observa como la línea de las medianas decrece en diciembre, lo que se asocia al descenso de la temperatura.

Tabla 9. Matriz de los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos para la fase de desove, al contrastar cada par de años de los que se dispone de información. Se anotan en negrita los valores significativos.

Años	1988-89 La Niña	1993 Normal 1	1997 El Niño	2016 Normal 2
1988-89 La Niña		0.66	0.667	0.71
1993 Normal 1			0.856	0.317
1997 El Niño				0.437
2016 Normal 2				

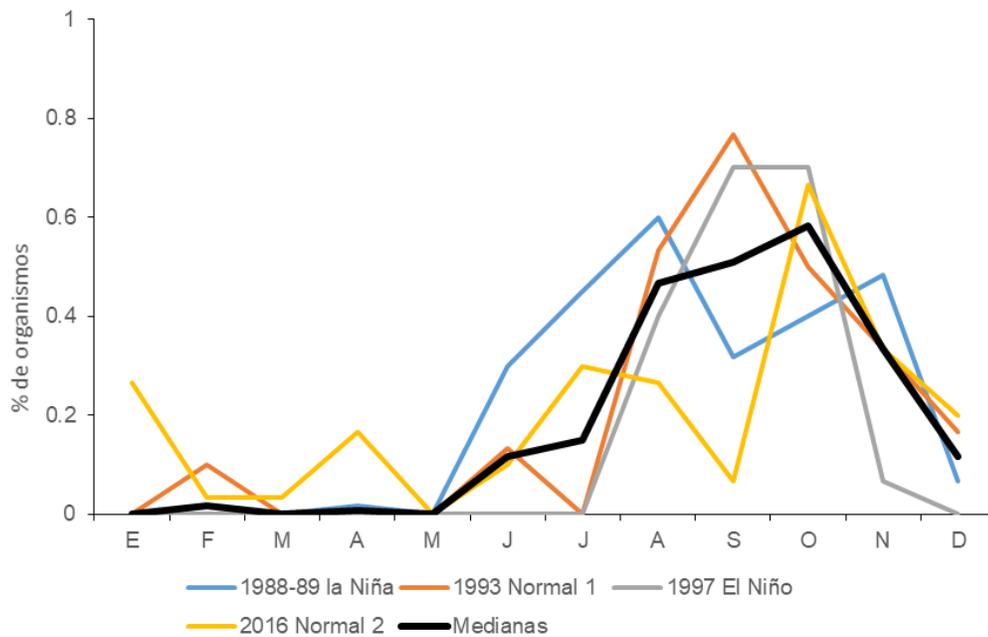
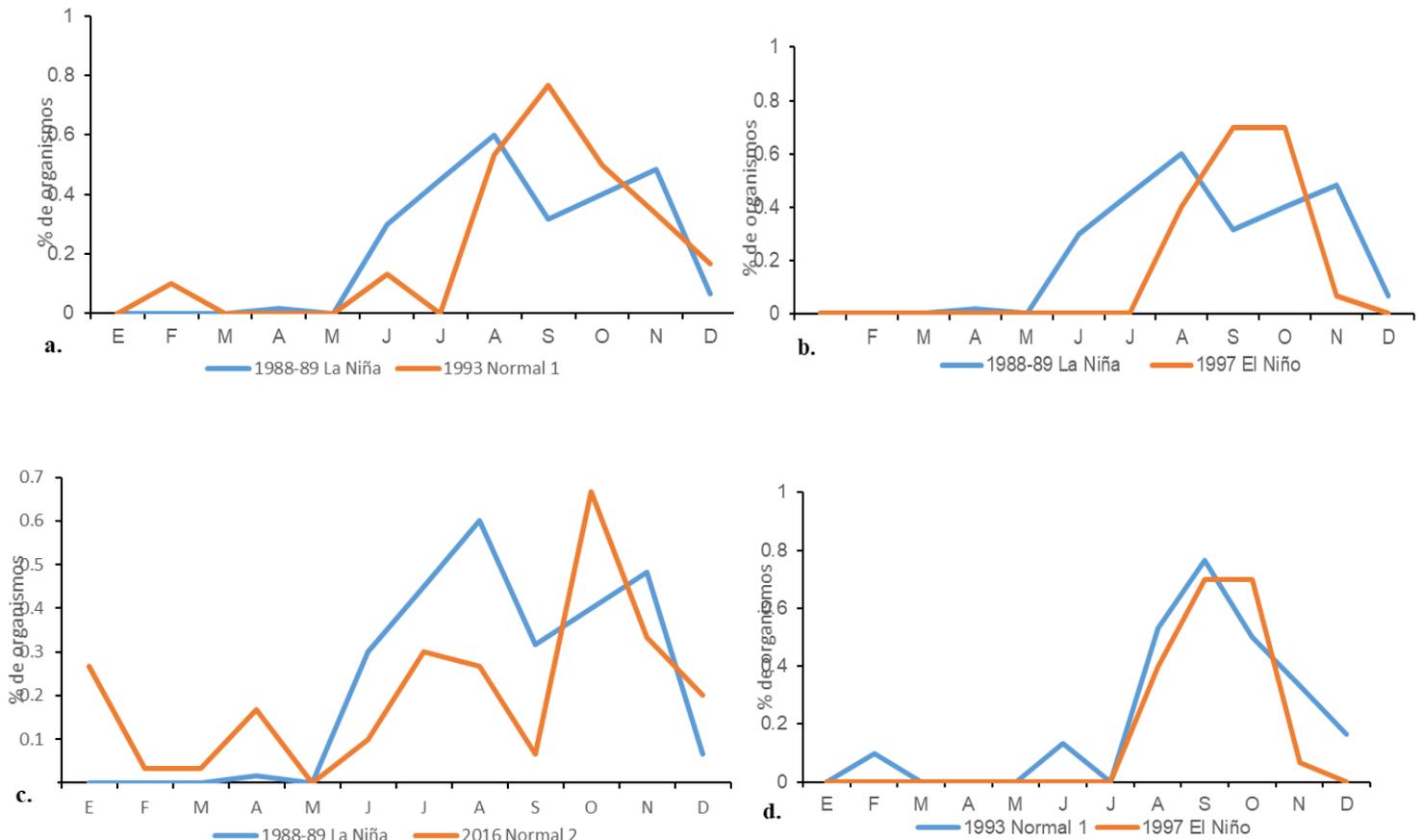


Figura 14. Comparación de las medianas y los valores mensuales de la fase de desove de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, B. C. S., con respecto a los cuatro años analizados. Los valores de 1988-89 se obtuvieron de García-Domínguez (1991); los valores de 1993 se obtuvieron de Prado-Ancona (1998) y los valores de 1997 se obtuvieron de García-Domínguez *et al.* (2011).

A pesar de que los coeficientes de correlación fueron significativos entre La Niña, año normal y El Niño de 1988, 1993, 1997, 2016 (Fig. 15a-15c), en las gráficas se observa gran variabilidad entre un año y el otro.

Como se observa en las figuras 15e y 15f hay una diferencia notable en algunos meses entre los años normales de 1993-2016 y El Niño y año normal 2 de 1997-2016. Los coeficientes de correlación para estos años no dieron significativos, lo cual pudiera explicar la diferencia que existen entre ellos.

El par de años cuyo coeficiente de correlación fue más alto y significativo, fueron 1993-1997, año normal 1 y El Niño (Fig. 15d). En la gráfica se observa cómo hay similitud entre ambos, y que el mayor porcentaje de almejas en desove se concentra de junio a noviembre.



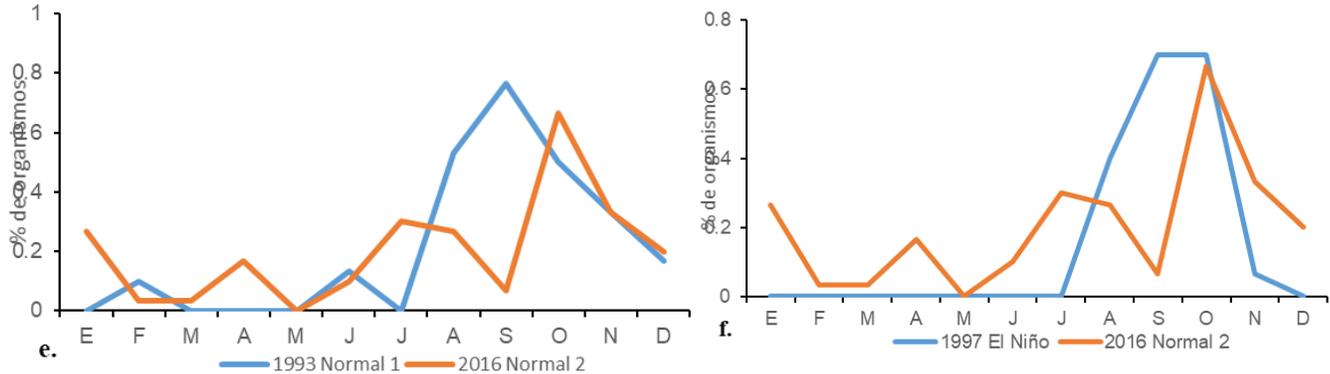


Figura 15. Comparación entre pares de años con relación a la proporción de organismos en desove de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, B. C. S. (a) La Niña 1988-89 vs año normal 1993; (b) La Niña 1988-89 vs El Niño 1997; (c) La Niña 1988-89 vs año normal 2016; (d) año normal 1993 vs El Niño 1997; (e) año normal 1 1993 vs año normal 2 2016; (f) El Niño 1997 vs normal 2016. Los valores de 1988-89 se obtuvieron de García-Domínguez (1991); los valores de 1993 se obtuvieron de Prado-Ancona (1998) y los valores de 1997 se obtuvieron de García-Domínguez *et al.* (2011).

3.8.5. Patrón de variación mensual de la fase de postdesove

En la fase de postdesove se observó un solo valor significativo entre los años 1988-1993 (Tabla 10). La presencia de valores positivos y negativos indica que el patrón de variación no es consistente, lo que pone de manifiesto que no existe sincronía en las tendencias a lo largo del año. Al igual que para la fase de desarrollo, debido a la nula sincronía en las tendencias no se procedió a elaborar las gráficas.

Tabla 10. Matriz de los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos para la fase de postdesove, al contrastar cada par de años de los que se dispone de información. Destaca además la presencia de signos negativos.

Años	1988-89 La Niña	1993 Normal 1	1997 El Niño	2016 Normal 2
1988-89 La Niña		-0.793	0.325	-0.341
1993 Normal 1			-0.056	0.504
1997 El Niño				0.298
2016 Normal 2				

3.9. Variación explicada por el gráfico de tendencias mensuales de las medianas en las fases de indiferenciación, madurez y desove.

Al calcular la diferencia entre la varianza total y la varianza no explicada genera un valor que corresponde a la varianza explicada, y si ese valor se representa como proporción o porcentaje de la varianza total, se tiene una idea del grado de dispersión de cada modelo, más allá de que el patrón de variación mensual-estacional sea satisfactorio; es decir, además de una aproximación cualitativa, se obtiene un valor cuantitativo que es una aproximación de la validez del modelo en sus valores numéricos.

Puede apreciarse que los modelos obtenidos para los organismos indiferenciados y los que se encontraban en fase de desove tienen un nivel bastante similar, y aunque son más de tres veces superiores al obtenido para los organismos en madurez, no parecen ser buenos predictores cuantitativos, por lo que la aproximación parece ser más relevante en el aspecto cualitativo, es decir, como una aproximación a la temporalidad de los eventos.

Las gráficas resultantes, y la proporción de la varianza explicada son los siguientes:

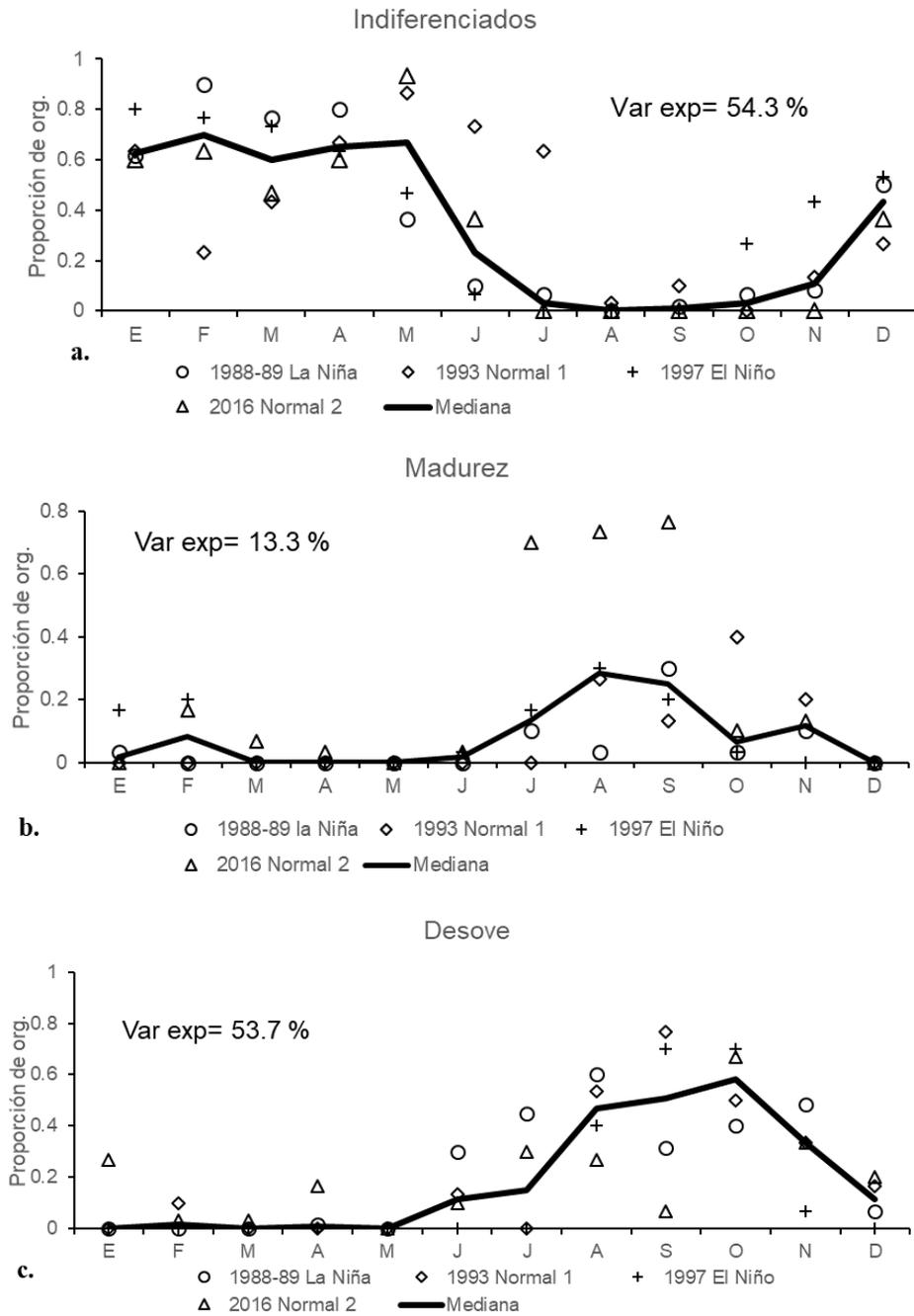


Figura 16. Proporción de la varianza explicada por el modelo de medianas de indiferenciados (a), madurez (b), desove (c) en *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, B. C. S. Los valores de 1988-89 se obtuvieron de García-Domínguez (1991); los valores de 1993 se obtuvieron de Prado-Ancona (1998) y los valores de 1997 se obtuvieron de García-Domínguez *et al.* (2011).

4. Discusión

Se demuestra la importancia del estudio de la estrategia de desove en relación con la temperatura de una población de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, utilizando una metodología consistente, basada en estudios de campo, de laboratorio y análisis estadísticos; lo que proporciona un base de datos diversa, y relativamente grande, que permite consolidar o fortalecer algunas percepciones, así como definir nuevos rumbos para estudios futuros.

El aspecto que define de forma más clara la estrategia de desove de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, es la temperatura, de manera que cuando esta es alta, el desove se incrementa, y cuando es baja, disminuye. En los cuatro años analizados, se presentó una marcada temporalidad en los meses de verano. Se observa como a partir de junio y hasta diciembre se presenta el inicio y el fin del desove, pero el mayor porcentaje de organismos en la etapa de liberación de gametos se percibe entre agosto y octubre, coincidiendo con los máximos valores de temperatura del verano.

Con base en los resultados observados en los cuatro periodos, puede decirse que la estrategia reproductiva de la especie está determinada parcialmente por la temperatura, y su relación con el ciclo anual, y tiene como componentes más permanentes la fase de indiferenciación y desove, y en menor grado por la fase de madurez.

Las tácticas reproductivas fueron definidas por Wootton (1984) como la variación de las características de una especie para la reproducción debidas a cambios ambientales, de esa forma se plantea que la variación observada en la extensión, temporalidad e intensidad del desove y las otras fases gonádicas son consideradas como las tácticas reproductivas que emplea *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz.

El ciclo reproductivo de *Chione californiensis* presentó todas las fases del desarrollo gonádico en la Ensenada de La Paz, durante el periodo de estudio de 2016. Los organismos indiferenciados se presentaron en los primeros seis meses del año y en diciembre, con un pico máximo en mayo (93%); esto coincide con lo reportado por García-Domínguez *et al.* (2011) para esta misma especie en la Ensenada de La Paz, donde los organismos indiferenciados se presentaron de enero a junio y de octubre a diciembre de 1997.

La fase de reposo gonádico (indiferenciada) coincide con los meses fríos de invierno y primavera; en esta fase gonádica no hay presencia de gametos para definir el sexo del organismo, y se asume que durante estos primeros meses del año la población se alimenta del fitoplancton y materia orgánica. La gónada indiferenciada, con un alto contenido de tejido conjuntivo, el cual en los bivalvos es un tejido especializado en el almacenamiento de sustancias de reservas como glucógeno y lípidos neutros (Mathieu y Lubet, 1993) y la alimentación de las almejas en este periodo del año, se traducirá en un aporte de energía al organismo durante los procesos de desarrollo y madurez de la gónada. A medida que se acercan los meses de verano y la temperatura superficial del agua aumenta, desaparece por completo esta fase.

La fase de desarrollo solo se presentó en cuatro meses, de febrero a abril y en junio nuevamente, fue en este último mes donde se observó el mayor porcentaje con un 50%. Esta fase de transición hasta la gónada madura permite el crecimiento de los gametos, y una fuerte disminución del tejido conjuntivo en coincidencia de un aumento del tejido gonádico, donde las paredes de los folículos se engrosan para brindarle nutrición a las células sexuales en crecimiento, cuya nutrición se deriva de las sustancias de reservas acumuladas durante la fase de reposo; por lo que la fase de desarrollo depende más de las sustancias de reservas que de la temperatura (García-Domínguez, 2002). La relación entre disponibilidad de alimento y el desarrollo gonádico estacional varía de población en población de una misma especie (Sastri, 1970).

Los individuos maduros se presentaron de febrero a abril y de junio a noviembre, pero en mayor proporción en julio, agosto y septiembre, con un pico máximo del 92%

en septiembre. Esta es una de las fases que más depende de la temperatura, y en menor medida de la disponibilidad de alimentos, puesto que en este periodo los gametos o células sexuales se encuentran totalmente desarrollados listos para ser liberados cuando se presente el valor óptimo de temperatura, debido a esto, se observó esta fase en mayor porcentaje en los meses de verano.

La fase de desove se observó todo el año, excepto en mayo; en octubre se presentó el mayor porcentaje de organismos en esta fase con un 83 % (28°C) y noviembre con un 50 % (21°C). Aunque para este estudio el desove se prolongó por once meses, fue en los meses de verano cuando se observó un mayor porcentaje de la población desovando, incluso con altas frecuencias en noviembre y diciembre. García-Domínguez (1991) obtuvo un resultado parecido a este estudio, él observó dos picos de desove en 1988, uno mayor en agosto (60 %) y otro en noviembre (47.4 %), manteniéndose de abril a diciembre.

La proporción de organismos en desove obtenida por García-Domínguez *et al.* (2011) en la Ensenada de La Paz, también está relacionada con las temperaturas altas del verano, cuando se observó la fase por tres meses, entre agosto y octubre, el porcentaje más alto fue en septiembre con 70.1%. Prado-Ancona (1998), observó que el periodo de desove de esta especie en la Ensenada de La Paz, está comprendido principalmente entre agosto y octubre y un poco en diciembre.

El postdesove no se observó de junio a septiembre, siendo en noviembre y diciembre cuando se obtuvieron los mayores porcentajes de esta fase con un 30%. De acuerdo a Prado-Ancona (1998), el ciclo gametogénico de esta almeja se presenta de dos formas, uno corto que se repite una y otra vez durante los meses de verano (desarrollo, madurez y desove), y no incluye la fase de postdesove debido a la producción continua de gametos y a la nula reabsorción de los gametos residuales; y otro largo que se presenta en los meses de invierno y primavera, de cinco fases gonádicas, en la que la fase de desove es seguida por el postdesove y reposo gonádico. Esta observación es muy similar a lo obtenido en el presente trabajo, donde el postdesove se presentó principalmente de enero a mayo, es decir, en los meses de poca actividad gonádica, y nuevamente de octubre a diciembre; en los meses de

verano de máxima actividad gonádica no se observó reabsorción de gametos. Este mismo autor plantea que la falta de sincronía en las fases reproductoras de la población de la Ensenada de La Paz, se considera resultado de un decremento de sensibilidad a los estímulos externos.

A pesar de las diferencias en la temporalidad de la actividad reproductiva de *Chione californiensis* en los cuatro años analizados, se plantea que presenta un ciclo reproductivo anual. Sin embargo, Giese y Pearse (1974) plantean que en una población es difícil que el patrón reproductivo continuo sea el resultado de que los individuos tengan una producción continua de gametos a través de un ciclo anual, más bien es el resultado de que en cualquier momento del ciclo anual se pueden encontrar organismos en distintas fases de desarrollo gametogénico. En el presente estudio de 2016, el desove fue casi continuo durante el ciclo anual.

La frecuencia de sexos mantuvo una proporción general de 1M:1H, los organismos hembras se observaron con mayor abundancia en los meses de junio a noviembre, y apenas un par en febrero, abril y diciembre, por lo que la presencia de hembras en los meses fríos es escasa o nula. Al contrario de lo obtenido para los organismos machos, que si se observaron en todos los meses. Los organismos indiferenciados, se observaron en los primeros meses del año, cuando ocurren temperaturas bajas, con un pequeño porcentaje en junio y nuevamente en diciembre. Este patrón en la frecuencia de hembras, machos e indiferenciados se debe principalmente a la temperatura.

Prado-Ancona (1998) obtuvo un resultado similar en la Ensenada de La Paz, el cual observó más machos que hembras en las muestras de enero a marzo y un gran porcentaje de indiferenciados. Una observación parecida la obtuvo García-Domínguez (1991) en la Ensenada de La Paz, quien notó que de todas las muestras, había un 26% de hembras, un 34.5% de macho y un 38.5% indiferenciados, percibiendo que en los meses fríos aumentó la proporción de almejas indiferenciadas, incluso hasta un 100% (en la muestra obtenida en abril de 1988) y que la diferenciación sexual se incrementó gradualmente hasta los meses más cálidos, cuando prácticamente a todos los individuos se les pudo determinar el sexo.

Esta tendencia de observar más machos que hembras en los primeros meses del año se debe a que la estrategia reproductiva de *Chione californiensis* es conservadora, es decir, que para la activación del desarrollo gonádico, utiliza sustancias de reservas previamente almacenadas. Como los organismos hembras requieren de mayor energía para el desarrollo de los ovocitos, el ciclo de almacenamiento de sustratos energéticos se da principalmente en estos primeros meses del año (García-Domínguez, 2002). Se ha mencionado que la etapa de indiferenciación se caracteriza por la intensa actividad metabólica efectuada para almacenar sustancias de reservas como lípidos y glucógeno en las células de Leydig en el tejido conectivo (Thompson *et al.*, 1996); por lo que se asume que una parte del alto porcentaje de organismos indiferenciados en los meses fríos son organismo hembras sin desarrollo gonádico.

Por lo que durante la fase indiferenciada *C. californiensis* almacena toda la cantidad posible de sustancias de reservas y dependiendo de la cantidad de alimento disponible, tengan o no, reservas suficientes para posteriormente lograr una reproducción exitosa (García-Domínguez, 2002).

Mediante observaciones personales durante el muestreo del 2016, la densidad de almejas no corresponde con los 24 individuos/m² observados por García-Domínguez (1991); la abundancia de las almejas en el presente estudio fue baja (menos de 10 almejas/m²). Esta observación pudiera deberse a que el sitio de muestreo está situado en un área de influencia urbana, por lo que se supone que las almejas están sujetas a explotación, explicando así la menor densidad y los escasos organismos con tallas mayores a 40 mm.

También se considera el tiempo transcurrido entre un trabajo y otro, el primer estudio realizado en la Ensenada de La Paz fue en 1988-89, el segundo en 1993 y el tercer estudio en 1997, hasta la actualidad, cuando se realizó el estudio de 2016. Por lo que, desde el primer trabajo hasta el presente, han transcurrido 29 años, aumentando considerablemente la explotación de la población. Y se considera que las diferencias en las densidades de las poblaciones de *C. californiensis* en la Ensenada de La Paz en los diferentes periodos analizados son producto de la captura de los pobladores locales.

El índice de masa visceral mostró fluctuaciones marcadas durante todo el período de muestreo. Los valores máximos del índice coinciden con el mayor porcentaje de almejas en desarrollo y maduras (junio-septiembre). De enero a mayo se mantuvo ligeramente bajo el índice, debido al poco desarrollo gonádico que presentaron los organismos. A partir de octubre el índice decreció debido al alto porcentaje de almejas en desove, lo cual conlleva a que la gónada pierda peso. Derivado del análisis estadístico, se obtuvo una correlación significativa entre este índice y la temperatura. Lo que quiere decir, que a medida que aumenta la temperatura en los meses de verano, la gónada también incrementa su peso.

Prado-Ancona (1998) en la Ensenada de La Paz, obtuvo un patrón similar al descrito anteriormente, cuyo índice de masa visceral mostró variaciones consistentes en tendencia al aumento de julio a octubre y disminución de enero a junio de su año de muestreo, y plantea que los valores más altos del índice corresponden a los porcentajes mayores de individuos en etapa de madurez. Este mismo autor plantea que para esta misma localidad, la temperatura es uno de los factores extrínsecos más importantes en la regulación del ciclo reproductivo, al relacionarse positivamente con la proporción de individuos en fase de madurez y el índice de masa visceral, es decir, a mayor temperatura, el índice de masa visceral y la proporción de la población madura es mayor.

García-Domínguez (1991) también observó que los valores del índice de masa visceral se incrementaron gradualmente de marzo a agosto, simultáneamente con el aumento de la temperatura, y que los cambios de la madurez gonádica se reflejan en las variaciones del índice de masa visceral.

El porcentaje de organismos infestados en el presente estudio en la Ensenada de La Paz fue de 9.16 %; la frecuencia de infestación en el estudio realizado por García-Domínguez (1991) en la misma localidad fue de 1 % de la población total y la incidencia de parasitismo obtenida por Prado-Ancona (1998) en la misma localidad fue de 4.6 %, la mayor prevalencia de parásitos trematodos fue en enero, febrero y septiembre, con un máximo en octubre. Por lo que el aumento en el índice de parasitismo es una característica que merece atención particular en estudios futuros.

Los daños observados en las muestras del presente estudio coinciden con las observaciones realizadas por los autores antes mencionados. Los folículos no estaban bien desarrollados y había ausencia de gametos, pues la totalidad del tejido gonádico estaba ocupada por las cercarías del parásito. Las larvas de estos trematodos invaden el espacio entre las fibras reticulares, y ocasionan la “castración parasitaria” del individuo e impiden el desarrollo de la gónada.

Derivado del análisis de las medianas al integrar los cuatro años en su conjunto, con respecto a la fase de desove, se observa como desde enero hasta mayo la línea de la mediana tiende a ser cercana a cero, esto se debe al efecto de las bajas temperaturas de invierno y primavera.

A partir del análisis estadístico se observa que, en las fases de indiferenciación y desarrollo, la correlación fue negativa, queriendo decir esto que, en esa población en los meses fríos, aumenta el porcentaje de organismos en ambas fases antes mencionadas.

La correlación obtenida para las fases de madurez y desove fue positiva, por lo que, al aumentar la temperatura en los meses de verano, aumenta también la proporción e intensidad de organismos en estas fases, particularmente en el caso del desove que, además, es más extenso. La presencia de picos en febrero y noviembre de organismos maduros no es relevante, ya que se presenta en un bajo porcentaje de la población, lo cual indica que a pesar de las bajas temperaturas hay actividad gonádica, sobre todo para los organismos machos. De lo anterior podemos concluir que este periodo de maduración no aporta a la renovación de la población.

Resultó interesante que los grandes eventos oceanológicos, como son El Niño y La Niña, muestren lo que parecen ser efectos distintos, ya que en forma global la mayor similitud se dio entre los eventos contrapuestos (El Niño vs La Niña).

Un factor que le puede dar respuesta a este resultado es la distribución que presenta la especie a todo lo largo de la costa de la Ensenada de La Paz, debido a que es una especie de aguas someras está influenciada por los movimientos de la marea, por lo que queda expuesta por prolongados periodos de tiempo durante la

marea baja. Al habitar esta especie en aguas someras la temperatura tiene una mayor influencia que en las almejas de profundidad. En este sitio de muestreo, los valores de temperatura superficial del agua durante el invierno y verano se mantienen relativamente constantes (Romo-Piñera, 2010). Por lo que debido al hábitat somero de las almejas y a la poca variación de la temperatura en este sitio, se entiende que existe una adaptación a este tipo de hábitat por parte de los organismos. Concluyendo que las anomalías positivas o negativas de la temperatura de los eventos climáticos de El Niño y La Niña sobre el ciclo reproductivo de esta almeja influyen poco.

También cabe decir que las bases de datos existentes no contienen, en su generalidad, información complementaria que permita caracterizar de forma adecuada el efecto en la localidad de eventos como El Niño o La Niña, lo que nos impide tratar de explicar la inconsistencia ya señalada.

A partir de todos estos resultados obtenidos, se sugiere que, para un mejor manejo de las poblaciones silvestres de esta almeja en la Ensenada de La Paz, la temporada de veda debe de correrse un mes después al periodo de veda reproductiva sugerido por el Diario Oficial Federal (2010), el cual establece del 1° de julio al 30 de septiembre. En este estudio se sugiere establecer el periodo a partir del 1 de agosto hasta el 30 de octubre. Debido a que en estos meses se observó la mayor intensidad de desove.

5. Conclusiones

Los aspectos que definen la estrategia reproductiva de la población de *Chione californiensis* estudiada, son las fases de indiferenciación y desove. La primera, con una incidencia alta consistente en los primeros cinco meses del año, y empezando a elevarse hacia el final del mismo; la otra fase relevante es el desove, con niveles altos en la segunda parte del año, esto último asociado en alguna medida a las mayores temperaturas.

Se observaron todas las fases del ciclo reproductivo de *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz durante el periodo de 2016, se obtuvo el mayor porcentaje en las fases de indiferenciación, madurez y desove.

La frecuencia de sexos mantuvo una proporción de 1H: 1M, y se observó escasa presencia de organismos hembras en los meses fríos.

La alta presencia de organismos indiferenciados en los meses fríos del año, de debe a que la estrategia reproductiva de la especie es conservadora, es decir, para la activación del desarrollo gonádico, utiliza sustancias de reservas previamente almacenadas, lo cual se da en los primeros meses del año.

El índice de masa visceral es influenciado por las etapas de madurez y desarrollo; demostrado por los valores máximos del índice de masa visceral coincidentes con el mayor porcentaje de almejas maduras y en desarrollo durante el verano.

Las fases del ciclo reproductivo de *Chione californiensis* que más dependen de la temperatura, son las fases de indiferenciación, madurez y desove, mientras que las fases de desarrollo y postdesove no presentaron correlación alguna con la temperatura al conjuntar la información de los cuatro años analizados.

6. Recomendaciones

Se sugiere implementar un nuevo periodo de veda para *C. californiensis* que abarque los meses de mayor intensidad de desove durante el verano, con el fin de obtener un mejor manejo de sus poblaciones silvestres.

Se sugiere realizar estudios futuros sobre las infestaciones por trematodos en esta almeja, debido al incremento en el porcentaje de organismos parasitados por *Bucephalus*, desde los primeros estudios realizados hasta el presente, lo cual requiere particular atención.

6. Literatura citada

- Administración Nacional Atmosférica y Oceánica. Disponible en: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html>
- Baqueiro-Cárdenas, E. R. & D. Aldana-Arana. 2000. A review of reproductive patterns of bivalve mollusks from México. *Bulletin of Marine Science*, 66 (3):13-27.
- Baqueiro-Cárdenas, E. R. 1987. Historia, Presente y Futuro del cultivo de bivalvos en México. In: Memorias III Reunión Nacional de Malacología y Conquiología. México: 458-467.
- Baqueiro-Cárdenas, E. R. 1998. Patrones en la dinámica poblacional y ciclo reproductor de moluscos bivalvos y gasterópodos de importancia comercial en México. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida, 273 p.
- Bertsch, H. & L. E. Aguilar-Rosas. 2016. *Invertebrados Marinos del Noroeste de México*. Instituto de Investigaciones Oceanográficas. UABC. México. 432 p.
- Carta Estatal Pesquera de Baja California. 2012. Secretaría de Pesca y Acuicultura de Baja California. México, 231 p.
- Castillo-Durán, A., A. Castro-Acedo, J. A. Arreola-Lizárraga, F. Hoyos-Chairez, C. Cáceres-Martínez, R. Mendoza-Salgado, L. 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. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48 (1): 60-69.
- Castro-Ortiz, J. L. & F. García-Domínguez. 1993. Crecimiento de *Chione californiensis* (Broderip, 1835) (Veneridae) en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur. México. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, 8 (2): 46-51.
- Coan, E. V. & P. Valentich-Scott. 2012. *Bivalve Seashells of Tropical West America: Marine Bivalve Mollusks from Baja California to Northern Perú*, Tomo II. Santa Barbara Museum of Natural History. California. 757 p.

- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca). 2010. *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca.*, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. 212 p.
- Diario Oficial Federal. 2010. Segunda Sección. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Actualización de la Carta Nacional Pesquera. México. 93 p.
- FAO. 2001. *Estadísticas Mundiales de Pesca.* Roma, 626 p.
- García-Domínguez, F. A. 1991. Distribución, abundancia, reproducción y fauna asociada de la almeja roñosa *Chione californiensis*, en la Ensenada de La Paz, B. C. S. México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B. C. S. 70 p.
- García-Domínguez, F. A. 2002. Estrategias reproductivas de bivalvos marinos en el Noroeste de México. Tesis de Doctorado. Universidad de Colima. Colima. 119 p.
- García-Domínguez, F. A., & A. Levy-Pérez. 1994. Ciclo reproductor de la almeja roñosa *Chione californiensis* Broderip, 1835 (Veneridae) en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. *Revista de Investigación Científica, UABCS*, 5(2): 37-42.
- García-Domínguez, F. A., B. González-Acosta & S. Rodríguez-Astudillo. 1991. Fauna simbiote de la almeja roñosa, *Chione californiensis* en la Ensenada de La Paz, Baja California Sur, México. *Investigaciones Marinas CICIMAR*, 6 (2): 283-286.
- García-Domínguez, F. A., G. García-Melgar & P. González-Ramírez. 1993. Ciclo Reproductivo de la almeja roñosa, *Chione californiensis* (Broderip, 1835), en Bahía Magdalena, Baja California Sur. México. *Ciencias Marinas*, 19 (1): 15-28.
- García-Domínguez, F. A., M. Villalejo-Fuerte & S. Rodríguez-Astudillo. 2008. Reproductive Cycle of *Chione fluctifraga* (Sowerby, 1853) (Bivalvia:

Veneridae) during La Niña 1998-1999 at Ojo de Liebre Lagoon, Baja California Sur, Mexico. *Physiomar* 08. Physiological aspects of reproduction, nutrition and growth. "Marine molluscs in a changing environment". 111 p.

- García-Domínguez, F. A., M. Villalejo-Fuerte, O. Holguin-Quiñones, S. Rodríguez-Astudillo & E. F. Félix-Pico. 2011. Ciclo reproductivo de *Chione californiensis* (Broderip, 1835) (Mollusca: Veneridae) en la Ensenada de La Paz, B.C.S., México durante el año "El Niño" de 1997. *Boletín de la Sociedad Internacional de Malacología Médica y Aplicada*. 17: 4-6.
- Giese, A. C. & J. S. Pearse. 1974. Introduction: General Principles, 1-43. In: Giese, A. y J. Pearse (Eds.) *Reproduction of marine invertebrates. Vol. 1: Acoelomate and Pseudocoelomate metazoans*. Academic Press, New York. 545 p.
- Humason, G. L. 1979. *Animal Tissue Techniques*. W.H. Freeman and Co., San Francisco, 661 p.
- Jaramillo, R. & J. Navarro. 1995. Reproductive cycle of the Chilean ribbed mussel *Aulacomya ater* (Molina, 1982). *Journal of Shellfish Research*, 14:165-171.
- Jaramillo, R., J. Winter, J. Valencia & A. Rivera. 1993. Gametogenic cycle of the chiloé Scallop (*Chlamys amandi*). *Journal of Shellfish Research*, 12:59-64.
- Jones, C. C. 1979. Anatomy of *Chione cancellata* and some other Chionines (Bivalvia: Veneridae). *Malacologia*, 19: 157-199.
- Keen, A. M. 1971. *Sea shells of tropical West America. Marine molluscs from Baja California to Peru*. California, Stanford Univ. Press. Stanford. 1025 p.
- Langton, R. W., W. E. Robinson & D. Schick. 1987. Fecundity and reproductive effort of sea scallops *Planctopecten magellanicus* from the Gulf of Maine. *Marine Ecology Progress Series*, 37:19-25.
- Lovatelli, A., S. Vannuccini & D. McLeod. 2008. Current status of world bivalve aquaculture and trade, 45-59. En: Lovatelli, A., A. Farías y I. Uriarte (Eds.) *Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección*

futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. FAO, Actas de Pesca y Acuicultura No 12. Roma. 359 p.

Martínez-López, A., R. Cervantes-Duarte, A. Reyes-Salinas & J. E. Valdez-Holguín. 2001. Cambio estacional de clorofila a en la Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Hidrobiológica*, 11: 45-52.

Mathieu, M. & P. Lubet. 1993. Storage tissue metabolism and reproduction in marine bivalves. A brief review. *Invertebrate Reproduction and Development*, 23: 123-129.

Prado-Ancona, J. D. 1998. Ciclo reproductivo de tres poblaciones de *Chione californiensis* Broderip, 1835 (Bivalva: Veneridae) en Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B. C. S. 136 p.

Priego-Macías, J. J. 2011. Crecimiento de *Chione californiensis* (Broderip, 1835) (Bivalvia: Veneridae) en la Ensenada de La Paz B.C.S., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 65 p.

Romo-Piñera, A. K. 2010. Estrategia reproductiva de *Megapitaria squalida* (Sowerby, 1835) en dos zonas de Baja California Sur, México. Tesis de Doctorado. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Instituto Politécnico Nacional. La Paz, B. C. S. 107 p.

Sastry, A. N. 1970. Reproductive physiological variation in latitudinally separated populations of the bay scallop *Aequipecten irradians* Lamarck. *Biological Bulletin*, 38: 56-65.

Thompson, J. T., R. I. E. Newell, V. S. Kennedy & R. Mann. 1996. Reproductive processes and early development. En: Kennedy, V.S., R.I.E. Newell & A.F. Eble (Eds). (Cap. 9). *The Eastern Oyster Crassostrea virginica*. Maryland: Maryland Sea Grant Book. 370 p.

Villalejo-Fuerte, M. & B. P. Ceballos-Vázquez. 1996. Variación de los índices de condición general, gonádico y de rendimiento muscular en *Argopecten circularis* (Bivalvia: Pectinidae). *Revista de Biología Tropical*, 44: 591-594.

Wootton, R. J. 1984. Introduction: tactics and strategies in fish reproduction. En: *Fish Reproduction: Strategies and Tactics*, G. W. Potts and R. J. Wootton (Eds). Academic Press, Londres, 1-12.

World Register of Marine Species. 2017. Disponible en: <http://www.marinespecies.org/>