



---

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Reproducción del mejillón *Modiolus capax* (Conrad, 1837),  
obtenido de la pesca artesanal en Puerto Ángel, Oaxaca.

## Tesis

que para obtener el título de

## BIÓLOGA

Presenta:

**Marmolejo Zavala Karen Itzel**

**DIRECTORA DE TESIS:**

**Dra. Verónica Mitsui Saïto Quezada**

**ASESOR DE TESIS:**

**Dr. Isaías Hazarmabeth Salgado Ugarte**



CIUDAD DE MÉXICO, ABRIL 2021.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por la oportunidad que me brindó para continuar mis estudios.

Al Dr Isaias Hazarmabeth Salgado Ugarte y a la Dra. Verónica Mitsui Saito Quezada por pulir mis conocimientos, dedicar su tiempo y sobre todo por tenerme paciencia para concluir este proyecto, además de darme su ejemplo como grandes seres humanos “Mil gracias”.

Un agradecimiento especial a mis sinodales, Dr. José Luis Gómez Márquez, Biól. José Luis Guzmán Santiago y al Dr. Manuel Feria Ortiz por el apoyo que me brindaron para concluir este trabajo.

A todos los que integran el Laboratorio de Biometría y Biología Pesquera por compartir momentos gratos en mi estancia.

A mis amigos, Evelyn y Omar por acompañarme en este camino y permitirme ser parte de ellos.

A Salvador por compartir momentos, conocimientos, clases, horas de trabajo, y prácticas a lo largo de la carrera y en el laboratorio.

A Paco y Viri por aportar conocimientos importantes en la carrera y brindarme su apoyo.

A mi amiga Jessica por estar siempre conmigo en todo momento, escucharme y darme los mejores consejos.

## DEDICATORIA

A Dios y a la vida porque me han dado la oportunidad de existir y enseñarme las maravillas del mundo.

A mis pequeños Leon y Sophia por que han llenado mi vida de alegría y sentido, porque cada risa y abrazo me van fortaleciendo hasta en los momentos más difíciles y por qué me han hecho querer ser una mejor persona, gracias por ser mi corazón.

A mi mamá y abuelita que día con día son un ejemplo impecable de perseverancia y lucha, porque siempre me han apoyado en cualquier momento, nunca me han dejado caer y porque me han enseñado a luchar por mis sueños a pesar de las circunstancias.

A mi “manís” porque para mí siempre ha sido un gran ejemplo a seguir y siempre me ha motivado a crecer personalmente; eres una gran hermana y gracias por compartir momentos inolvidables juntas; y a la pequeña Dana que es un gran privilegio verla crecer junto a mis peques.

A mi tía Sara y Giovana por estar con nosotros, por sacarnos muchas risas y por su apoyo en todo momento.

A ti, donde quiera que estés; me enseñaste y mucho, tal vez lleguemos a estar juntos hasta que los dos podamos observar al mismo tiempo una estrella fugaz en la bóveda celeste.

“Remember to look up at the stars and not down at your feet.

Try to make sense of what you see and wonder about what makes the universe exist. Be curious. And however difficult life may seem, there is always something you can do and succeed at.

It matters that you don't just give up.”

-Stephen Hawking (1942-2018)

“-La ilusión no se come -dijo ella.

-No se come, pero alimenta -replicó el coronel”

-Gabriel García Márquez (1927-2014)

## ÍNDICE

|  |        |
|--|--------|
| 1.- INTRODUCCIÓN                                     | - 1 -  |
| 1.1 Importancia de la especie                        | - 1 -  |
| 1.2 Aspectos reproductivos                           | - 3 -  |
| 2.- DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE                        | - 5 -  |
| 2.1 Posición taxonómica                              | - 5 -  |
| 2.2 Morfología interna                               | - 6 -  |
| 2.2.1 Sistema digestivo                              | - 7 -  |
| 2.2.2 Sistema reproductor                            | - 7 -  |
| 2.3 Biología   | - 9 -  |
| 3.- ANTECEDENTES                                     | - 11 - |
| 4.- JUSTIFICACIÓN                                    | - 12 - |
| 5.- HIPÓTESIS  | - 13 - |
| 6.- OBJETIVOS  | - 13 - |
| 6.1 Objetivo general                                 | - 13 - |
| 6.2 Objetivos particulares                           | - 13 - |
| 7.- MATERIAL Y MÉTODO                                | - 14 - |
| 7.1 Zona de estudio                                  | - 14 - |
| 7.2 Trabajo de campo                                 | - 15 - |
| 7.3 Trabajo de laboratorio                           | - 17 - |
| 7.4 Trabajo de gabinete                              | - 19 - |
| 7.4.1 Estimadores de densidad por kernel             | - 19 - |
| 7.4.2 Proporción sexual                              | - 21 - |
| 7.4.3 Índice gonadosomático ( <i>IGS</i> )           | - 22 - |
| 7.4.4 Índice de la glándula digestiva ( <i>IGD</i> ) | - 22 - |

|   |        |
|---|--------|
| 7.4.5 Factor de condición (K)                                   | - 23 - |
| 8.- RESULTADOS  | - 24 - |
| 8.1 Dimorfismo sexual   | - 24 - |
| 8.2 Estimadores de densidad por kernel                          | - 25 - |
| 8.3 Índice gonadosomático                                       | - 29 - |
| 8.4 Índice de la glándula digestiva                             | - 31 - |
| 8.5 Factor de condición   | - 33 - |
| 8.6 Relación IGS- Temperatura                                   | - 35 - |
| 8.7 Relación IGS-Clorofila "a"                                  | - 36 - |
| 9.- DISCUSIÓN   | - 37 - |
| 9.1 Dimorfismo sexual y proporción de sexos                     | - 37 - |
| 9.2 EDK's en longitud   | - 37 - |
| 9.3 Índice gonadosomático                                       | - 38 - |
| 9.4 Índice de la glándula digestiva                             | - 39 - |
| 9.5 Factor de condición   | - 39 - |
| 9.6 Relación del índice gonadosomático con factores ambientales | - 40 - |
| 10.- CONCLUSIONES   | - 41 - |
| 11.- BIBLIOGRAFÍA   | - 42 - |
| 12.- ANEXO 1  | - 49 - |
| 13.- ANEXO 2  | - 50 - |
| 14.- ANEXO 3  | - 51 - |

## 1.- INTRODUCCIÓN

### 1.1 Importancia de la especie

Los miembros del Phylum Mollusca son sin duda los invertebrados más notables gracias a la belleza proporcionada por la variedad de formas y colorido de sus conchas, han sido utilizados por el hombre desde la época prehispánica como fuente de alimento, moneda, como material para la construcción y para la elaboración de instrumentos musicales (Sevilla, 1995).

En la actualidad la importancia de los moluscos ha traspasado el valor escénico que tenía en tiempos pasados, ya que, además de la importancia vital de formar parte de la trama trófica de los ecosistemas, muchas especies están siendo utilizadas como recurso alimenticio, indicadores de contaminación y de estrés funcional en ecosistemas costeros (Lodeiros *et al.*, 1999).

Su importancia en la producción acuícola de aguas marinas es muy notable, ya que de la producción total mundial, el 75.5% lo ocupan los moluscos marinos que en su mayoría son bivalvos (ostras, mejillones y almejas); estas cifras no han variado mucho con los años. (Figura 1) (FAO, 2012).

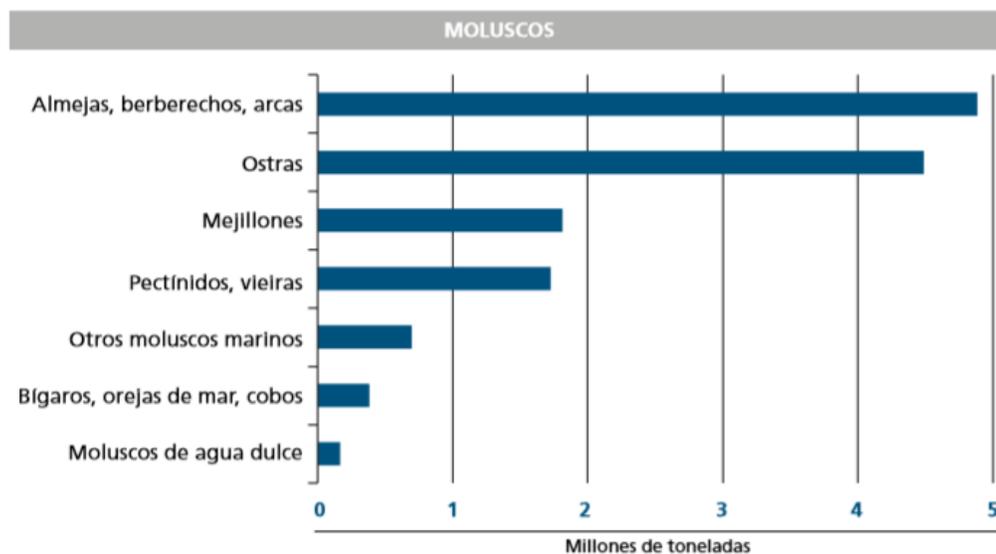


Figura 1.- Producción mundial de los principales moluscos procedente de la acuicultura en el 2010 (Tomada de FAO, 2012).

En la producción de moluscos bivalvos en América Latina, México ocupa el cuarto lugar entre los principales países productores, después de Chile, Brasil y Perú (Cáceres-Martínez *et al.*, 2014).

En México, Centro América y el Caribe la producción por cultivo y captura de moluscos bivalvos está representada por México con una producción principalmente del ostión japonés (*Crassostrea gigas*), ostión americano (*Crassostrea virginica*) y el ostión de Placer (*Crassostrea corteziensis*). Además, encontramos una producción de mejillón mediterráneo (*Mytilus galloprovincialis*) cultivado en Baja California para consumo regional y de exportación a baja escala. También se pueden encontrar cultivos experimentales con diferente grado de éxito de especies como la almeja Catarina (*Argopecten ventricosus*), la almeja mano de león (*N. subnodosus*), la ostra perlera (*Pteria sterna*), la madre perla (*Pinctada mazatlanica*) entre muchas otras especies de gran importancia económica a nivel mundial (Cáceres-Martínez *et al.*, 2014).

En el caso de los mejillones su producción a nivel mundial ha aumentado de importancia. En el periodo de 1996 a 2002, la captura se mantuvo entre 203,000 y 276,000 tm, generando un valor promedio durante este periodo de 101 millones de dólares (FAO, 2002).

En cuanto a la producción de mejillón en México, la Carta Nacional Pesquera menciona que las principales especies que se explotan son: *Mytilus californianus* que se extrae del medio silvestre (pesquería) en la costa occidente de Baja California, y *Mytilus galloprovincialis* el cual es cultivado en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Las estadísticas de producción indican que la extracción del recurso aporta el 61.1% de la producción nacional, mientras que al cultivo le corresponde un 37.9% (Carta Nacional de Pesca, Diario Oficial de la Federación, 2012).

Los mejillones son moluscos bivalvos que tienen gran demanda como recurso en algunas partes del mundo ya que su principal importancia es económica y gastronómica (Ochoa-Báez, 1987). En México, el consumo de mejillón es limitado, ya que se restringe solo a determinados sectores de la población pues su consumo es mayormente característico de zonas costeras. Por esta razón se explota en mínima escala, debido a que han existido otros recursos con alta demanda nacional y para exportación. Como consecuencia, es poco conocido que el mejillón cuenta con un sabor agradable y que su contenido proteico es de 69.5% (Ochoa-Báez, 1987).

La abundancia de mejillón ha promovido su uso como bio-indicador de contaminación por plaguicidas y metales pesados, como en el caso de algunas localidades del Golfo de California (Farfán *et al.*, 1998).

Se han estudiado algunos aspectos que los distinguen de otros moluscos como, por ejemplo, su gran resistencia a cambios drásticos en el ambiente que los rodea, es decir, la tolerancia a variaciones extremas de salinidad por cortos y largos períodos, a la exposición de contaminantes de diversa índole, utilizándose para limpiar zonas de residuos de petróleo o metales, principalmente plomo, zinc y plata (Ochoa-Báez, 1987; Baqueiro-Cárdenas *et al.*, 2007).

Además, las conchas de mejillón se han utilizado en la artesanía y en la joyería, así como en la fabricación de botones. Las conchas pueden transformarse también en polvo de perla y de concha. El polvo de perla se emplea en la fabricación de medicamentos y productos cosméticos y el polvo de concha (rico en calcio) se utiliza como suplemento dietético en la alimentación del ganado y las aves de corral (FAO, 2014).

## **1.2 Aspectos reproductivos**

Los ciclos reproductivos de los invertebrados marinos, se encuentran regulados por factores endógenos, de origen genético y hormonal y por factores exógenos, originado 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. Así, los ciclos reproductivos pueden ser anuales, bianuales, estacionales o continuos, dependiendo de la localidad y la especie (Romo, 2005).

En los bivalvos marinos, los principales factores exógenos que sincronizan o induce la etapa reproductiva son la temperatura (pues el desove solo se realiza cuando ésta alcanza ciertos niveles críticos), la calidad y cantidad de alimento disponible (pues la maduración gonádica es sensible a los niveles de reserva de nutrientes en el organismo) y el fotoperiodo (sincronizador para los eventos biológicos, puesto que casi no varía interanualmente a la misma latitud durante la misma época del año) (Giese y Pearse, 1974).

La temperatura es considerada como el factor ambiental más importante para la regulación del metabolismo y la fisiología general debido a que afecta directa e indirectamente la supervivencia de larvas, juveniles y adultos e influye de manera importante en la reproducción, maduración de los gametos, inducción al desove, desarrollo embrionario, duración del periodo planctónico y asentamiento larvario. Se sabe también que el aumento de la temperatura del agua conlleva una aceleración en el metabolismo y por consiguiente en las necesidades energéticas, la condición, estado de salud y crecimiento de las especies. Además, la temperatura influye en la oxigenación de las aguas y la producción primaria, que es fuente de alimento para los cultivos en mar abierto (González, 2010).

En la actualidad, se reconoce que el propósito del manejo de pesquerías es asegurar una producción sostenible a lo largo del tiempo de las poblaciones a través de acciones regulatorias y de mejoras sin olvidar la promoción de bienestar económico y social de los pescadores y las industrias asociadas. Para lograr este propósito las autoridades responsables del manejo deben diseñar, justificar y administrar una colección de restricciones sobre la actividad pesquera. Estas decisiones deben estar basadas en el conocimiento biológico de las especies explotadas (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).

El estudio de la reproducción es un tópico fundamental en las ciencias pesqueras. Se han establecido varios métodos para llevar a cabo este objetivo que van desde métodos cualitativos como los procedimientos histológicos detallados hasta los cuantitativos como los índices derivados de medidas corporales. Estos índices morfométricos están basados generalmente en medidas corporales tales como el peso total y eviscerado, de gónadas, del hígado y la longitud corporal. En general estas medidas están correlacionadas positivamente con el tamaño y se utilizan para estimar otros procesos relacionados. De esta forma, el peso de las gónadas está relacionado con la madurez y el desove, los cuales a su vez dependen del sexo, estadio de madurez sexual, tamaño individual, temporada del año, etc. El peso total o eviscerado se usa para estimar la condición (robustez o grado de bienestar de los animales) suponiendo que los individuos más pesados a una longitud dada están en mejor condición. El peso corporal es un reflejo de los procesos fisiológicos involucrados en la reproducción y supervivencia (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).

## 2.- DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

### 2.1 Posición taxonómica

De acuerdo con Keen (1971) esta especie se ubica en el siguiente esquema taxonómico:

Phylum.....MOLLUSCA  
Clase.....BIVALVIA  
Orden..... MYTILOIDEA  
Súper familia.....MYTILACEAE  
Familia..... MYTILIDAE  
Subfamilia.....MODIOLINAE  
Género..... *Modiolus* (Lamarck, 1799)  
Especie..... *Modiolus capax* (Conrad, 1837)

Sinonimia:

- *Modiola spatula*
- *Modiola subfuscata*.

Nombre común:

- mejillón caballo
- choro barbón.

El género *Modiolus* descrito por Lamarck se utilizó ampliamente en la literatura del siglo XIX; sin embargo, con anterioridad ya había sido nominado como *Volsella*, este nombre, en la actualidad no se utiliza porque no es binominal (Ochoa-Báez, 1987).

El color brillante naranja-marrón del periostraco, su forma abultada, y los pelos periostracales aserrados sirven para marcar esta especie (Figura 2). Su longitud promedio es de 8.1 cm, ancho de 4.0 cm y de diámetro, 3.6 cm. (Keen *et al.*, 1958)

Su concha generalmente es oblicua en forma de hacha. Margen dorsal recto, fusionándose suavemente con el margen posterior, los dos forman ángulos de 90 a 120°, el margen posterior ventral es redondeado. Las conchas de los organismos muertos cuyo periostraco ha sido exfoliado, presentan una coloración rosa fuerte sobre la superficie posterior, y son blancos en la superficie ventral (Aguirre-Hinojosa, 1987).

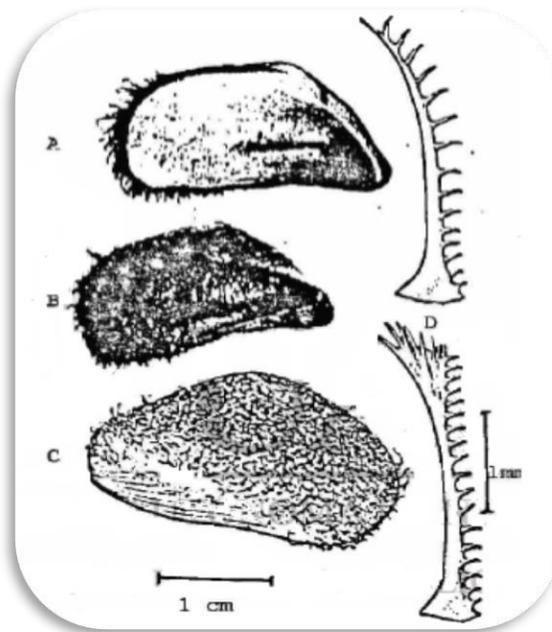


Figura 2.- *Modiolus capax* (Conrad, 1837). A: Cara interna de la valva derecha, B: Cara externa de la valva izquierda, C: Cara externa de la valva derecha, D: Pelos aserrados del periostraco (Tomada de Aguirre-Hinojosa, 1987).

## 2.2 Morfología interna

La anatomía interna de *M. capax* conserva las mismas características descritas para los mytilidos, el cuerpo tiene simetría bilateral, una región dorsal donde se localizan los órganos del sistema circulatorio y los músculos aductores desiguales en la región anterior y posterior. En la región antero ventral se localiza la boca rodeada por los palpos labiales, la gónada y hacia la región posterior se encuentra el ano y el nefridioporo (Figura 3), (Ochoa-Báez, 1987).

### **2.2.1 Sistema digestivo**

El sistema digestivo de los Lamelibranquios (bivalvos o pelecípodos) está constituido por las branquias, los palpos labiales, el tubo digestivo, la glándula anexa (divertículo digestivo). El tubo digestivo se inicia en la boca, rodeada por los palpos labiales, los cuales se forman por tejido elástico fibroso con prolongaciones unidas por puentes de tejido conjuntivo. Los palpos labiales forman una estructura a manera de embudo, que pasa por la boca y forma el esófago corto que presenta un epitelio ciliado rico en mucositos, que secretan mucosustancias/glicoproteínas neutras y ácidas. Tanto la boca como el esófago realizan una función de transporte y no digestiva. Este transporte es realizado a través del movimiento coordinado de los cilios de su epitelio (Figura 3), (Cargnin-Ferreira y Sarasquete, 2008).

La boca y el esófago desembocan en el estómago, este órgano tiene dos cavidades que se comunican y donde desemboca el saco del estilete. La región del estómago se encuentra rodeada en su totalidad por la glándula digestiva y tejido gonadal. (Ochoa-Báez, 1987).

La glándula digestiva sintetiza y secreta enzimas digestivas. Es soportado física y nutricionalmente por un tejido conectivo de Leydig. El estómago está revestido por un epitelio ciliado. Los cilios participan en el movimiento del material a digerir dentro del estómago hacia el intestino, remover el material alimenticio para conseguir un mayor contacto con las sustancias digestivas y producir la rotación del estilete presente en su interior. Este estilete es una estructura gelatinosa translúcida originada en la parte posterior del estómago y compuesta por enzimas digestivas, proteínas y glicoproteínas además de que cuando en el proceso de rotación se produce la ruptura de las partículas ingeridas, el estilete también participa en la abrasión y mezcla de los alimentos. La glándula digestiva también desempeña una importante función en el almacén de lípidos y carbohidratos, reservas que serán utilizadas en periodos de estrés fisiológico y en el proceso de gametogénesis. (Cargnin-Ferreira y Sarasquete, 2008).

### **2.2.2 Sistema reproductor**

Otro sistema sobresaliente en la anatomía interna corresponde al sistema reproductor. Se constituye por una glándula tubulosa ramificada que forma la gónada, posee un conducto al que desembocan las ramificaciones el cual es la vía de salida de la secreción. Tanto en hembras como machos se presenta la estructura mencionada (Ochoa-Báez, 1987).

El sistema reproductivo consiste en numerosos conductos que se ramifican a través de los lóbulos del manto sin seguir una tendencia en particular. Los conductos se hacen cada vez más finos hasta terminar en un folículo, en cuyo epitelio germinal se forman las oogonias y espermatogonias que después del proceso de gametogénesis, darán origen a oocitos y espermatocitos, que formarán a los óvulos y a los espermatozoides respectivamente. Los folículos de los machos son numerosos y uniformes, por el contrario, los de la hembra son anchos, menos numerosos y de tamaño variable. En el periodo que precede a las puestas, los lóbulos del manto están casi exclusivamente llenos de tejido reproductivo. Los demás órganos, con excepción de las branquias, músculos y pie, también están ocupados o cubiertos por los órganos genitales. Los productos sexuales pasan a través de los gonoductos de cada lóbulo y salen al exterior a través del poro genital situado anteriormente al musculo abductor posterior. Después de la puesta los folículos desaparecen. Los mejillones son organismos con sexos separados (dioicos) y externamente no presentan dimorfismo sexual. Sin embargo, en un 75-80% de los casos la distinta tonalidad del manto y de la bolsa de polichinela permite diferenciar los sexos cuando la concha del mejillón se ha abierto; por la coloración de la gónada. Ocasionalmente se pueden dar casos de individuos hermafroditas y la madurez sexual se puede alcanzar al año de vida, pero la talla a la cual esta ocurre depende de las tasas de desarrollo en cada localidad (Figueras, 2007).

El reconocimiento del sexo por la coloración de la gónada sólo es posible en los animales con un alto grado de madurez debido a que los sexos se confunden fácilmente en las etapas tempranas de la gametogénesis y al final de la liberación de los gametos. La talla mínima en que se encuentran signos de maduración sexual fluctúa entre los 33 y 40 mm de longitud de la concha (Ochoa-Báez, 1985).

El color de la gónada es variable. Durante las primeras etapas de la gametogénesis adquiere un color crema, en ocasiones con tonalidades anaranjadas. En los organismos con una madurez gonadal avanzada o que comienzan a liberar sus gametos torna a un color anaranjado en las hembras y crema brillante en los machos. En las etapas avanzadas de liberación de gametos la gónada vuelve a adquirir una coloración crema pero opaca o parduzca (Bückle-Ramirez y Garza-Aguirre, 1989).

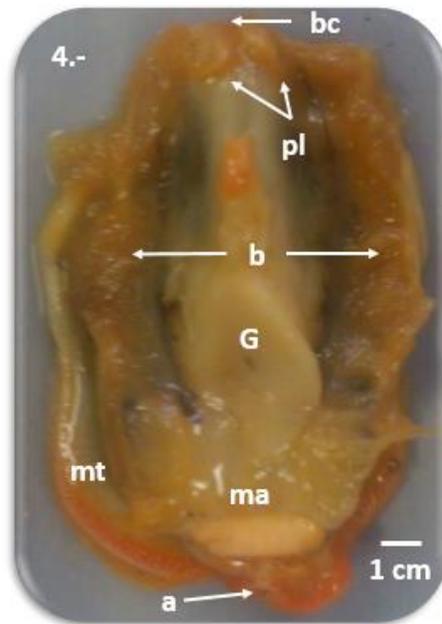


Figura 3.-Fotografía de la anatomía interna de *Modiolus capax*. Región ventral en donde se observa la boca (bc), los palpos labiales (pl), el par de branquias (b); Gónada (G); músculo abductor posterior (ma); manto (mt) y el ano (a).

### 2.3 Biología

El mejillón *Modiolus capax* habita las zonas rocosas intermareales y sublitorales hasta los 46 metros de profundidad y se distribuye desde el sur de California, EUA, hasta Paita, Perú y en las islas Galápagos (Figura 4), (Cabrera-Peña y Solano, 1996).

Habita en ambientes costeros, es gregario, de gran tamaño y es relativamente abundante en algunas áreas, aunque escasa en otras, lo que genera un patrón de largos intervalos espaciales sin la presencia de organismos (De La Rosa-Vélez, *et al.*, 2000).

Tiene una distribución tropical y subtropical con temperaturas que fluctúan entre los 16 y 32° C, en límites extremos en invierno y verano respectivamente. Su distribución local requiere condiciones ambientales asociadas al continuo intercambio de agua con abundante materia orgánica en suspensión, sustrato duro, acompañado con arena y detritus en abundancia; su mayor abundancia ocurre entre dos y seis metros de profundidad. (Ochoa-Báez, 1987).



Figura 4.- Distribución del mejillón *Modiolus capax* en el Continente American.  
(Imagen tomada de [discoverlife.org](http://discoverlife.org).)

### 3.- ANTECEDENTES

| Referencia Bibliográfica               | Reseña   | Localidad de muestreo                          |
|--|--|--|
| Ochoa-Báez, 1985.                      | Estimó la actividad reproductiva mediante el análisis histológico de las gónadas, y la longitud promedio para los primeros signos de madurez sexual.                 | Bahía de La Paz B. C. S.                       |
| Ochoa-Báez, 1987.                      | Realizó descripciones de parámetros poblacionales como la longitud promedio de madurez sexual, composición de tallas en la población y curva de crecimiento.         | Bahía de La Paz, B. C. S.                      |
| Aguirre-Hinojosa, 1987.                | Realizó un estudio acerca de la fijación sobre diversos sustratos naturales y artificiales.  | Bahía de los Ángeles, Ensenada, B.C.           |
| Bückle-Ramírez y Garza-Aguirre, 1989.  | Determinaron las etapas de madurez y el ciclo reproductivo mediante análisis histológico de las gónadas.   | Bahía de Los Ángeles, B. C.                    |
| Cabrera-Peña <i>et al.</i> , 1994.     | Estudió la biometría de la especie, entre ello, el índice o factor de condición.   | Norte de Ocotlán, Guanacaste, Costa Rica       |
| Cabrera-Peña y Solano, 1996.           | Midió el crecimiento con una ecuación de von Bertalanffy, el incremento en longitud anteroposterior y el crecimiento relativo.                                       | Isla Caballo, Golfo de Nicoya.                 |
| Farfán <i>et al.</i> , 1998.           | Analizaron la capacidad de <i>Modiolus capax</i> para retrasar el desove y reservar los gametos maduros evaluando la condición general y los índices gonadosomático. | Bahía de los Ángeles, Baja California, México. |
| De la Rosa-Vélez <i>et al.</i> , 2000. | Estudiaron la variación genética de dos poblaciones  | Costa oeste del Golfo de California            |
| García-Domínguez, 2002.                | Estudió mediante análisis histológico 37 ciclos gonádicos anuales correspondientes a 19 especies, entre ellos <i>Modiolus capax</i> .                                | Península de Baja California                   |

|                           |  |                       |
|---------------------------|--|-----------------------|
| García-Corona, 2014.      | Analizó mediante técnicas histológicas e histoquímicas, cualitativas y cuantitativas, la estrategia, dinámica y esfuerzo reproductivo anual de la especie. | Bahía de La Paz       |
| Meléndez-Contreras, 2015. | Analizó la época de reproducción de <i>Pinctada mazatlanica</i> y la relación de esta con algunos factores ambientales.                                    | Puerto Ángel, Oaxaca. |

#### 4.- JUSTIFICACIÓN

En México, la legislación pesquera establece que todo recurso proveniente del mar debe ser evaluado, es decir, se debe conocer cuál es la disponibilidad o tamaño del stock antes de permitir cualquier tipo de captura (Baquero-Cárdenas *et al*, 1992).

El conocer el ciclo reproductivo de una especie, su periodicidad y la relación de éste con los factores ambientales, es parte fundamental para poder comprender su biología.

Si se toman en cuenta los estudios realizados de *Modiolus capax*, la información que se proporciona describe los aspectos reproductivos de organismos en cultivo, sin embargo, no hay ningún estudio que describa las poblaciones silvestres ni los aspectos reproductivos de la pesca ribereña que se encuentran en el estado de Oaxaca- México; tampoco existe información acerca de la relación que hay entre lo antes mencionado con los factores ambientales. Por ello, realizar investigaciones que proporcionen esta información es indispensable, ya que esta especie representa un recurso pesquero de gran importancia en el litoral del estado, además de generar información para su adecuada gestión.

## 5.- HIPÓTESIS

Se ha demostrado que los Índices morfofisiológicos (Índice Gonadosomático, Índice de la Glándula Digestiva y Factor de Condición) de *Mytilidos* varían con respecto a las condiciones ambientales, principalmente la temperatura y la disponibilidad de alimento. La temporada de reproducción de *Modiolus capax* en Puerto Ángel, Oaxaca ocurrirá en primavera cuando las condiciones ambientales tienden a ser favorables. Además, la relación de los índices será negativa, teniendo el índice gonadosomático un aumento en la temporada cálida del año.

## 6.- OBJETIVOS

### 6.1 Objetivo general

Describir la dinámica de la población de *Modiolus capax*, de Puerto Ángel, Oaxaca, México con especial énfasis en la actividad reproductiva por medio del análisis de los índices morfofisiológicos (índice gonadosomático, índice de la glándula digestiva y factor de condición).

### 6.2 Objetivos particulares

- Analizar la estructura de sexos por medio de la proporción sexual.
- Analizar la estructura de tallas por medio de estimadores de densidad por kernel.
- Analizar el ciclo reproductivo por medio de los índices morfofisiológicos de *Modiolus capax* en un ciclo anual.
- Analizar las variaciones de la condición de los individuos en relación con la reproducción.
- Analizar la relación entre los índices morfofisiológicos y los factores ambientales.

## 7.- MATERIAL Y MÉTODO

### 7.1 Zona de estudio

Puerto Ángel se encuentra en la costa del Océano Pacífico y pertenece al estado de Oaxaca, su ubicación geográfica es Latitud ( $15^{\circ} 40' 18''$  N), Longitud ( $96^{\circ} 29' 45''$  O).

El clima que presenta es de tipo Awo(w)ig”, es decir cálido subhúmedo con lluvias en verano con canícula, marcha anual de temperatura tipo Ganges e isothermal. (García, 2004). La temperatura media anual es mayor a  $27^{\circ}\text{C}$  con una precipitación media anual de 817.7mm. La precipitación muestra una marcada estacionalidad, con meses extremadamente secos (enero a abril) y meses muy lluviosos (mayo a octubre).

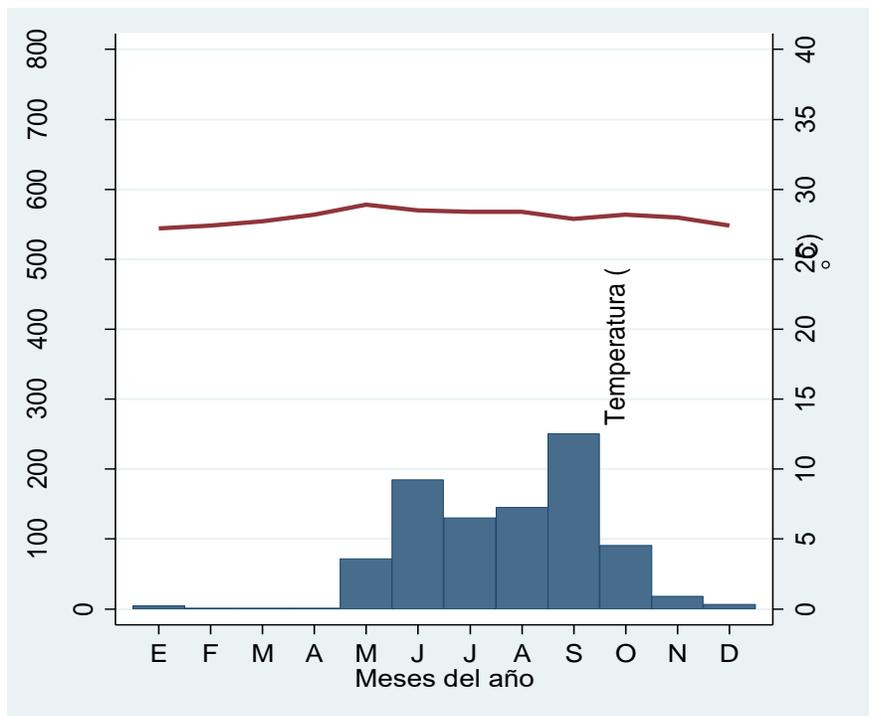


Figura 5.-Climograma de Puerto Ángel, Oaxaca. (Datos tomados de García, 2004).

Posee mareas de tipo mixto semidiurno con una pleamar media de 0.98m y una bajamar media de 0.038m, sus playas se caracterizan por ser arenosas y rocosas. Las rocas son predominantemente metamórficas gnéissicas del jurásico inferior-jurásico superior y algunos lugares afloran intrusivas graníticas acidas con incrustaciones cristalinas (Huante, 1997)

Está dominada por caletas arenosas entre salientes rocosas y en algunas zonas se establecen playas largas. La actividad ganadera está presente pero la preponderante es la actividad turística en la región.

La zona de estudio se encuentra dentro de la Región marina prioritaria No. 35 Puerto Ángel-Mazunte ya que es una de las playas tortugueras con mayor cantidad de arribos por temporada de *Lepidochelys olivaceae*, lo que le da una importancia significativa al lugar (CONABIO, 2008).

Por otro lado, los vientos provenientes de Norteamérica conocidos como vientos Tehuanos, corren sobre el Golfo de México, durante los meses de octubre a abril, atravesando el Istmo de Tehuantepec en donde adquieren una gran fuerza debido a las características orográficas de la Sierra Madre del Sur y la Sierra de Chiapas. Estos desembocan sobre el Golfo de Tehuantepec introduciendo a la vez una surgencia y una circulación horizontal, la cual emerge a una temperatura superficial entre 17 y 22°C, provocando una diferencia de temperatura de 10°C, lo que genera una capa de mezcla y una termoclina muy somera, al igual que una oxiclina, permitiendo buen intercambio entre el agua profunda y superficial, concentrando gran cantidad de nutrientes. Este fenómeno sustenta una alta productividad marina (Ramírez, 2010). Estos vientos ocurren durante la temporada de secas (Medina *et al*, 2003).

## **7.2 Trabajo de campo**

El material biológico utilizado se colectó en Puerto Ángel, Oaxaca; el plan de muestreo contempló cuatro colectas por semestre que van desde enero del 2014 hasta junio del 2015 capturando de 10 a 109 ejemplares dependiendo de las condiciones climáticas en varias localidades de la zona de estudio: Punta Cometa, La Playita, Bahía de Puerto Ángel, Estacahuite, La Mina y La Boquilla (Figura 6), (Anexo 2).

Los organismos fueron obtenidos de la captura comercial por medio de buceo libre de entre 1 y 6 metros de profundidad con la ayuda de los buzos locales, los cuales determinaron las zonas de muestreo (Figura 7). El traslado se llevó a cabo en una mezcla frigorífica de hielo con sal, al laboratorio de Biometría y Biología Pesquera de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la UNAM (Figura 8).



## PUERTO ÁNGEL, OAXACA

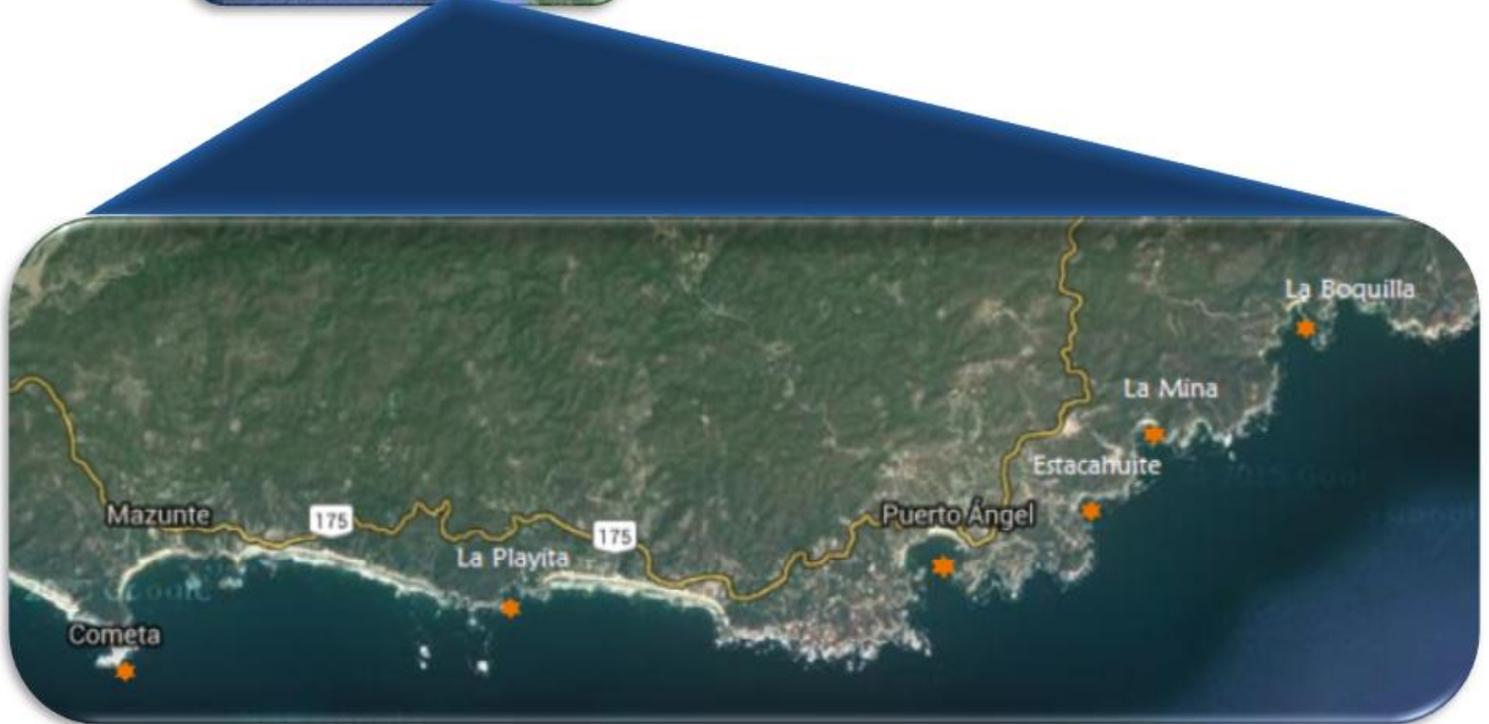


Figura 6.- Zonas de muestreo en Puerto Ángel, Oaxaca, México (Foto satelital de Google Earth, 2016, 500m por cuadrante). Anexo 1.

Para medir los factores ambientales, se tomaron medidas de la temperatura superficial y la de fondo con ayuda de una botella van Dorn y un termómetro; sin embargo, algunas medidas no pudieron obtenerse y por tal motivo se tuvieron que utilizar datos satelitales de temperatura superficial del mar y concentración de clorofila "a" registrados por la NASA (GES DISC - NASA, 2016); estos valores permiten el reconocimiento de las Surgencias (originadas por los vientos Tehuanos).



Figura 7.-Extracción de organismos por buceo libre.



Figura 8.-Traslado en mezcla frigorífica.

### 7.3 Trabajo de laboratorio

La determinación taxonómica de la especie se llevó a cabo con las claves de Keen (1971); Mille y Perez-Chi (1993) y Lodeiros *et al.*, (1999) por sus características morfométricas.

Para su correcto manejo, los organismos se limpiaron con ayuda de un cepillo de cerdas duras hasta quedar libres de fango, fauna y flora acompañante; para cada ejemplar se tomó la biometría (longitud, altura y diámetro de la concha) con la ayuda de un vernier de 0.01 mm de precisión (Figura 9) y el peso (peso total, peso blando, peso callo, peso gónada, peso glándula y peso gónada- glándula) con una balanza semianalítica de 0.001 g de precisión (Figura 10).

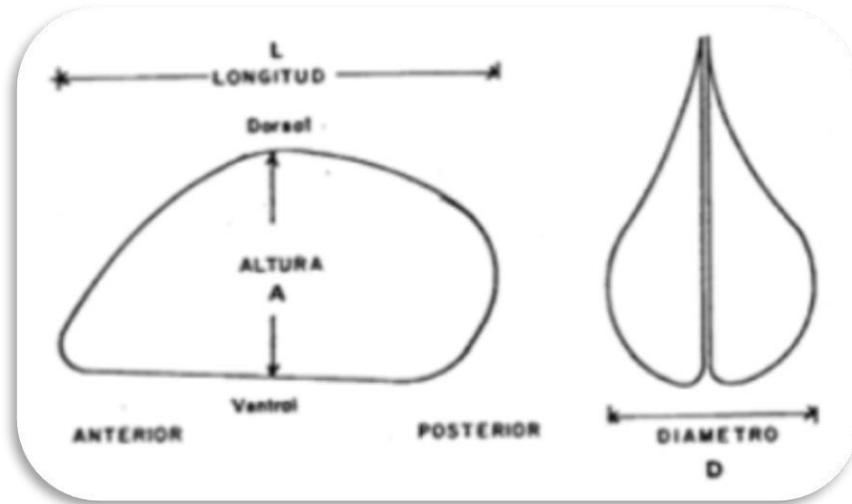


Figura 9.-Esquema para el registro de la biometría; longitud (L), altura (A) y diámetro de la concha (D). (Tomada de Ochoa-Báez, 1987).



Figura 10.-Peso total del organismo.

Se determinó el sexo por medio de una apreciación morfo-cromática, que identifica a los machos como aquellos ejemplares que poseen una gónada de color crema brillante, de aspecto liso y a las hembras por su gónada naranja - rojiza con aspecto granuloso en el interior, en aquellos organismos que se encuentran a partir de los 4 cm de longitud de concha debido a que estos ya cuentan con la talla de maduración gonádica y ya son aptos para desovar. (Ochoa-Báez, 1985).

## **7.4 Trabajo de gabinete**

### **7.4.1 Estimadores de densidad por kernel**

Para analizar datos de frecuencia de tallas en estudios biológicos-pesqueros lo más utilizado han sido los histogramas y polígonos de frecuencia. A pesar de su amplio uso, estos estimadores de densidad pueden ser muy burdos para propósitos detallados del análisis de la distribución ya que presentan cuatro problemas (Salgado- Ugarte, 2002, 2013; Salgado-Ugarte *et al.*, 2005):

- 1.-Dependen del origen.
- 2.-Dependen del número o la amplitud de los intervalos
- 3.-Son discontinuos (cuadrados)
- 4.-Utilizan intervalos de amplitud fija

Para atacar estos problemas se han empleado nuevos procedimientos como los EDKs, los cuales sugieren centrar la estimación de la frecuencia en la posición de cada dato, en lugar de hacerlo en el centro de clase del intervalo, esto para evitar la dependencia del origen; además en lugar de utilizar cuadrados para representar a cada número, utilizan curvas que maximizan el valor en el centro (donde está el dato) y disminuyen gradualmente hacia los extremos (estilo gaussiano). La densidad es otra escala de la frecuencia y el "kernel" se refiere a la curva (función ponderal) que se utiliza para representar a cada dato. La expresión que define estos estimadores es la siguiente:

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right)$$

En donde:

$f(x)$ : es la estimación de la densidad (frecuencia),

$n$ : el número de datos,

$h$ : la amplitud de banda (intervalo) y

$k$ : el “kernel” o la función que define el peso de cada dato en la estimación de frecuencia (forma de la curva para cada observación) (Salgado- Ugarte, 2002, 2013; Salgado- Ugarte *et al.*, 2005).

Sin embargo, el problema de la amplitud de banda (intervalo) persiste; Silverman (1986) llegó a una expresión para amplitud óptima de banda, utilizando una distribución normal (gaussiana) como referencia.

$$\hat{h} = 1.06 A n^{-1/5}$$

En donde:

$\hat{h}$ : banda optima

$A$ : estimación adaptativa de la dispersión (el valor menor de la desviación estándar o la Pseudosigma)

$n$ : número de datos.

Para datos multimodales es recomendable utilizar la mitad del valor de amplitud óptima para representar la distribución (Salgado- Ugarte, 2013).

#### 7.4.2 Proporción sexual

Para conocer si la proporción sexual tanto mensual y total mantenía una relación de 1:1, se utilizó una prueba de  $\chi^2$  con la fórmula corregida de Yates ( $\alpha=0.05$ ) (Saito-Quezada, 2004).

Se establecieron como hipótesis:

Ho: Las hembras y machos de la pesca artesanal de *Modiolus capax* se encuentran en la misma proporción.

Ha: Hembras y machos no se encuentran en la misma proporción.

Los valores críticos obtenidos se basaron en un nivel de confianza del 95% y de los grados de libertad.

El estadístico de prueba utilizado para la toma de decisión fue:

$$\chi^2_Y = \sum \frac{(|O_i - E_i| - 0.5)^2}{E_i}$$

Dónde:

$\chi^2$ : Valor de chi-cuadrada.

$\Sigma$ : sumatoria de las diferencias ajustadas de las frecuencias  $O_i$  y  $E_i$  al cuadrado divididas entre las frecuencias esperadas.

$O_i$ : Frecuencia absoluta observada o empírica.

$E_i$ : Frecuencia absoluta esperada.

### **7.4.3 Índice gonadosomático (IGS)**

Una forma para determinar la época o estación de reproducción es por medio del índice gonadosomático (IGS) el cual es frecuentemente utilizado para seguir el ciclo reproductivo de una especie en un año a intervalos mensuales o de menor tiempo. Este índice asume que la gónada incrementa en tamaño conforme aumenta el desarrollo y compara la masa de la gónada (MG) con la masa de las partes blandas (sin la concha) del animal (MB). (King, 1995 y de Vlaming *et al.*, 1982 citado en Salgado *et al.*, 2005).

$$IGS= 100 * (MG/MB)$$

El índice gonadosomático se calculó para todos los ejemplares a los que se registraron peso de gónada, se calcularon los valores medios para cada muestra, con sus variaciones, valores máximos, mínimos para cada mes, este índice se calculó para las hembras y los machos por separado.

Posteriormente este valor fue comparado con la temperatura superficial y la concentración de clorofila "a" (mg/m<sup>3</sup>), estos datos fueron obtenidos de manera satelital en las coordenadas Longitud (96° 28' 45.012'' N), y Latitud (15° 38' 44.9988'' O), y con pixeles (x=2004.5, y=1784.5), (Datos publicados por la NASA, 2016).

### **7.4.4 Índice de la glándula digestiva (IGD)**

Otro índice para describir la condición es el de la glándula digestiva.

$$IGD= 100 GD W^{-1}$$

Donde GD es el peso de la glándula digestiva y W es el peso del cuerpo blando.

Este índice de igual manera se calculó para hembras y machos por separado.

#### **7.4.5 Factor de condición (K)**

La condición de los organismos se obtuvo por medio de la estimación del factor de condición relativo. (Salgado *et al.*, 2005:149)

$$K = 100 W a^{-1} L^{-b}$$

Donde  $L$  es la longitud de la concha y  $a$  (intersección) y  $b$  (pendiente) son los parámetros de la relación longitud de la concha -peso del cuerpo blando:

$$W = a L^b$$

Se observó la relación peso-longitud para machos, hembras e indeterminados, durante todo el muestreo, con lo cual se obtuvo: la curva, los valores de  $a$  y  $b$ , el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación.

Para determinar todos los análisis estadísticos se utilizaron los programas desarrollados por Salgado-Ugarte (1995, 2002, 2005) para el paquete estadístico Stata versión 13 (StataCorp, 2013).

## **8.- RESULTADOS**

### **8.1 Dimorfismo sexual**

Para el sexado de los organismos, se realizaron observaciones directas en la coloración de la gónada; los machos se identificaron como los de color crema y las hembras naranja-rojizas como se muestra en la Figura 11 y 12. Se analizaron un total de 627 organismos de los cuales 379 fueron machos, 185 hembras y 63 indiferenciados ya que estos no contaron con la talla mínima de reproducción de 4 cm de longitud.



Figura 11.- Fotografía de un organismo macho



Figura 12.- Fotografía de un organismo hembra

En general, los machos fueron más abundantes que las hembras. La proporción de macho: hembra total fue de dos machos por hembra (Tabla 1.)

Se realizó una prueba de  $\chi^2$  que indica que en el mes de octubre hubo mayor similitud en la proporción de sexos, sin embargo, en los meses en donde hubo menor similitud fue en los meses de mayo de los dos años.

| Tabla 1. No. De organismos por salida: M = Machos, H = Hembras, I = Indiferenciados |     |     |    |       |          |     |
|---|-----|-----|----|-------|----------|-----|
| Fecha   | M   | H   | I  | M:H   | $\chi^2$ | P   |
| 24-ene-14   | 23  | 9   | 5  | 2.5:1 | 5.28     | .02 |
| 21-mar-14   | 25  | 9   | 3  | 2.7:1 | 6.62     | .01 |
| 25-abr-14   | 13  | 0   | 4  | 1:0   | 11.08    | .00 |
| 23-may-14   | 55  | 6   | 12 | 9.1:1 | 37.77    | .00 |
| 25-jul-14   | 12  | 3   | 3  | 4:1   | 4.27     | .04 |
| 15-ago-14   | 33  | 19  | 6  | 1.7:1 | 3.25     | .07 |
| 24-oct-14   | 30  | 31  | 4  | 0.9:1 | 0        | 1   |
| 28-nov-14   | 54  | 38  | 17 | 1.4:1 | 2.45     | .12 |
| 30-ene-15   | 14  | 20  | 6  | 0.7:1 | 0.74     | .39 |
| 27-mar-15   | 11  | 8   | 2  | 1.3:1 | 0.21     | .65 |
| 01-may-15   | 75  | 13  | 2  | 5.7:1 | 42.28    | .00 |
| 12-jun-15   | 34  | 28  | 0  | 1.2:1 | 0.40     | .53 |
| <b>Total</b>  | 379 | 185 | 63 | 2:1   | 66.04    | .00 |

## 8.2 Estimadores de densidad por kernel

Se utilizaron los estimadores de densidad por kernel aplicando el ancho de banda sobreesuavizada, la regla óptima de Silverman y, en su caso, la mitad de la óptimo (regla empírica) para un análisis más preciso, con el paquete estadístico Stata, representando la que más se ajustó, con 10 histogramas desplazados (valor de  $M$ ) y kernel Gaussiano (valor de  $k=6$ ).

En la Figura 13 se muestran EDKs de la longitud de machos con amplitud de regla empírica (óptima/2= 0.17) en donde se puede observar que la distribución es multimodal debido a que tiene muchos hombros, indicando la expresión de varios grupos de organismos con similar longitud (cohortes) además de un ligero sesgo negativo con una moda principal a los 6.8 cm y una segunda moda en la cola derecha.

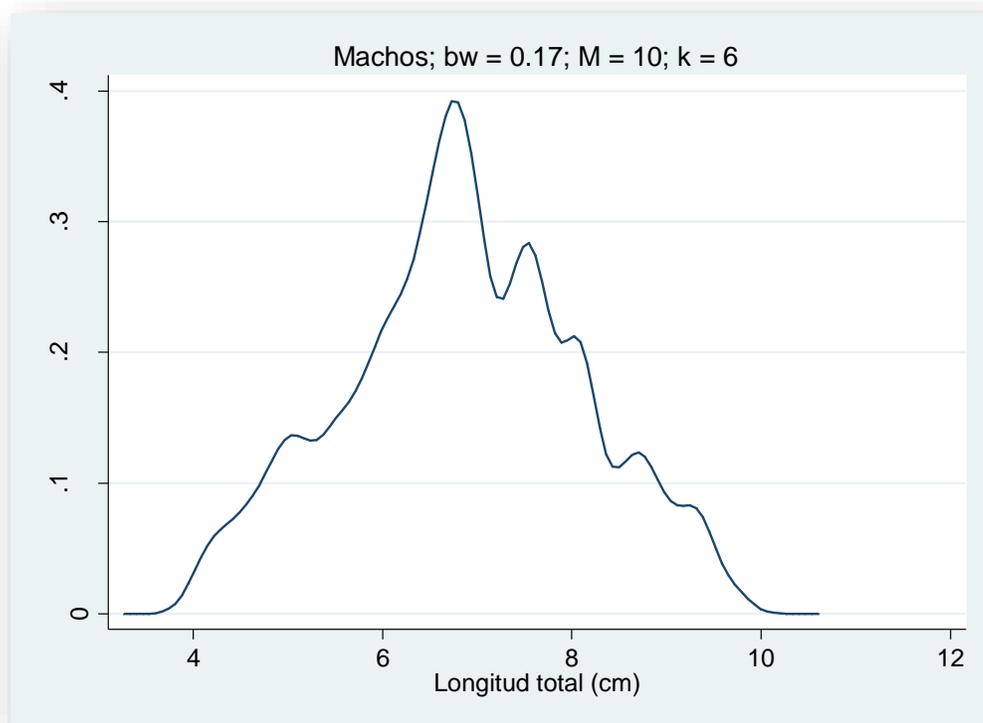


Figura 13.- EDK con amplitud de regla empírica (optima/2=0.17), para la longitud de machos (M=10, k=6).

En los EDK's de la longitud de las hembras con amplitud de regla empírica ( $\text{optima}/2=0.15$ ) de igual manera son multimodales con un ligero sesgo positivo; la principal moda es de 6.6 cm, además de contar con tres hombros en la cola izquierda y dos en la derecha, las cuales representan los diferentes cohortes (Figura 14). Comparando las dos gráficas, los machos tienden a una mayor longitud lo cual se demuestra en el valor de la moda y la cantidad de hombros en la cola derecha de ambas gráficas.

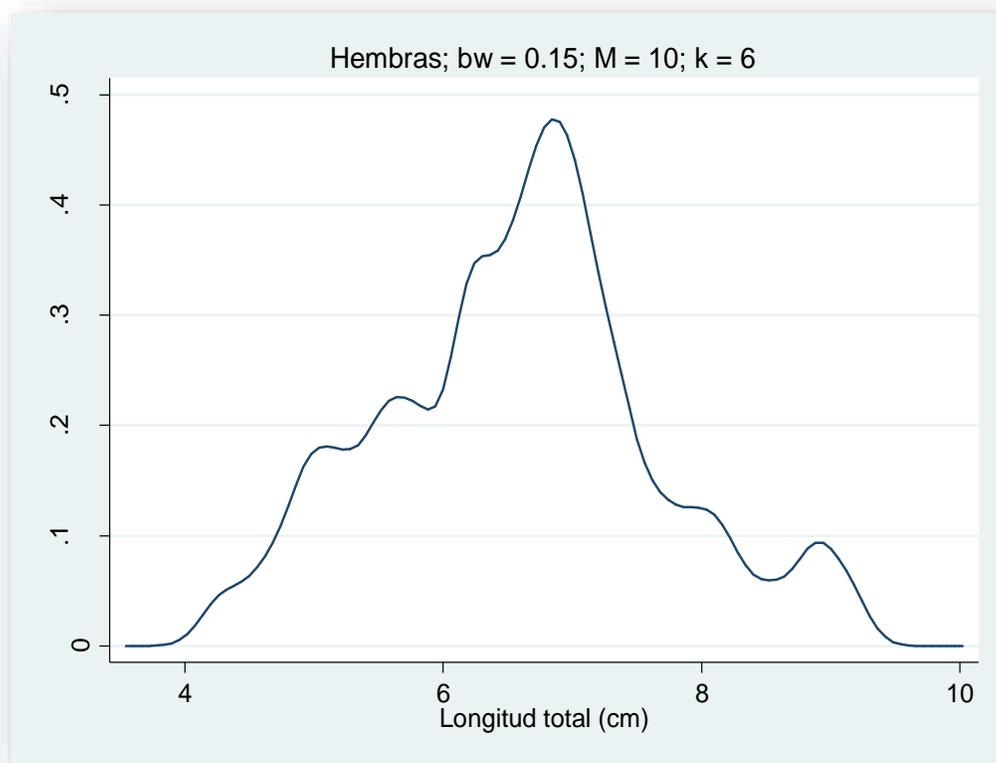


Figura 14.- EDK con amplitud de regla empírica ( $\text{optima}/2=0.15$ ), para la longitud de hembras ( $M=10$ ,  $k=6$ ).

Los EDKs de la longitud de indiferenciados con amplitud de banda óptima de Silverman (0.46) presentan bimodalidad en donde la moda principal se encuentra en 2.6 cm con sesgo positivo y la segunda moda en 0.4, indicando que hay dos cohortes bien definidas (Figura 15).

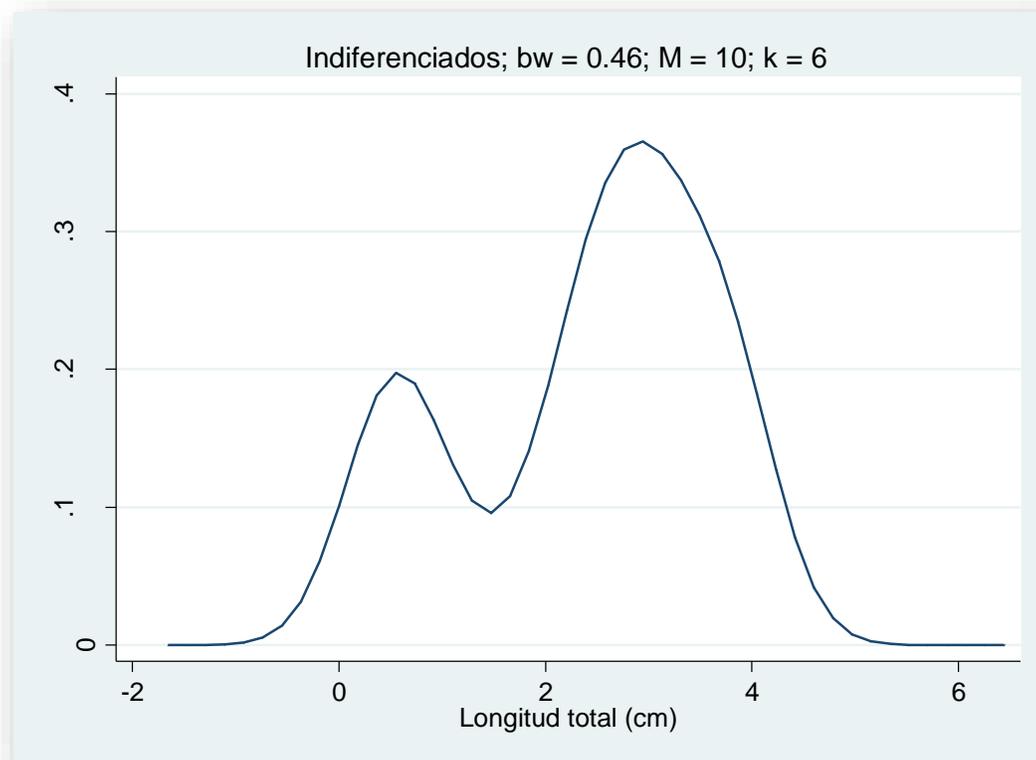


Figura 15. EDK con amplitud de banda óptima de Silverman (0.46), para la longitud de indiferenciados (M=10, k=6).

### 8.3 Índice gonadosomático

Para la determinación de la época reproductiva de *Modiolus capax* se analizó el comportamiento del Índice gonadosomático de machos y hembras a lo largo del periodo de estudio por medio de diagramas de caja y bigotes; en el caso de los machos, se registraron valores marzo y abril por encima de la media general (línea roja), teniendo una disminución en el índice siendo agosto cuando se tuvo un valor mediano bajo y nuevamente una alza en noviembre del 2014, en el año 2015 en enero nuevamente hubo una baja y volvió a estar por encima de la media en marzo, mayo y junio. (Figura 16). Por tanto nos indica que los meses correspondientes a la primavera es cuando el índice gonadosomático esta por encima de la media, incluyendo al mes de noviembre y la liberación de gametos se lleva a cabo en los meses posteriores a estos (julio y diciembre).

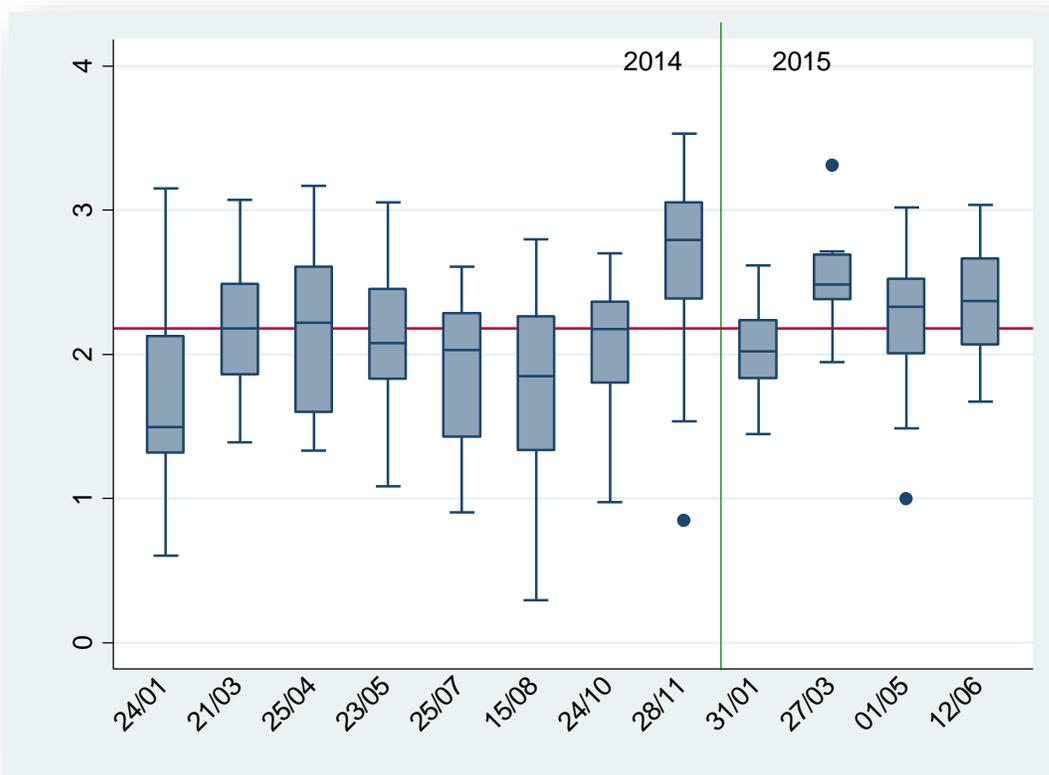


Figura 16.- Índice gonadosomático para machos.

En el caso de las Hembras, el *IGS* tuvo un comportamiento muy similar al de los machos; el valor más alto del índice gonadosomático ocurrió en noviembre del 2014 y valores por encima de la media durante marzo, mayo y julio; en el 2015 valores medianos por encima de la media se registraron en mayo y junio. (Figura17). Lo que nos indica un comportamiento similar en el índice gonadosomático y en la liberación de gametos.

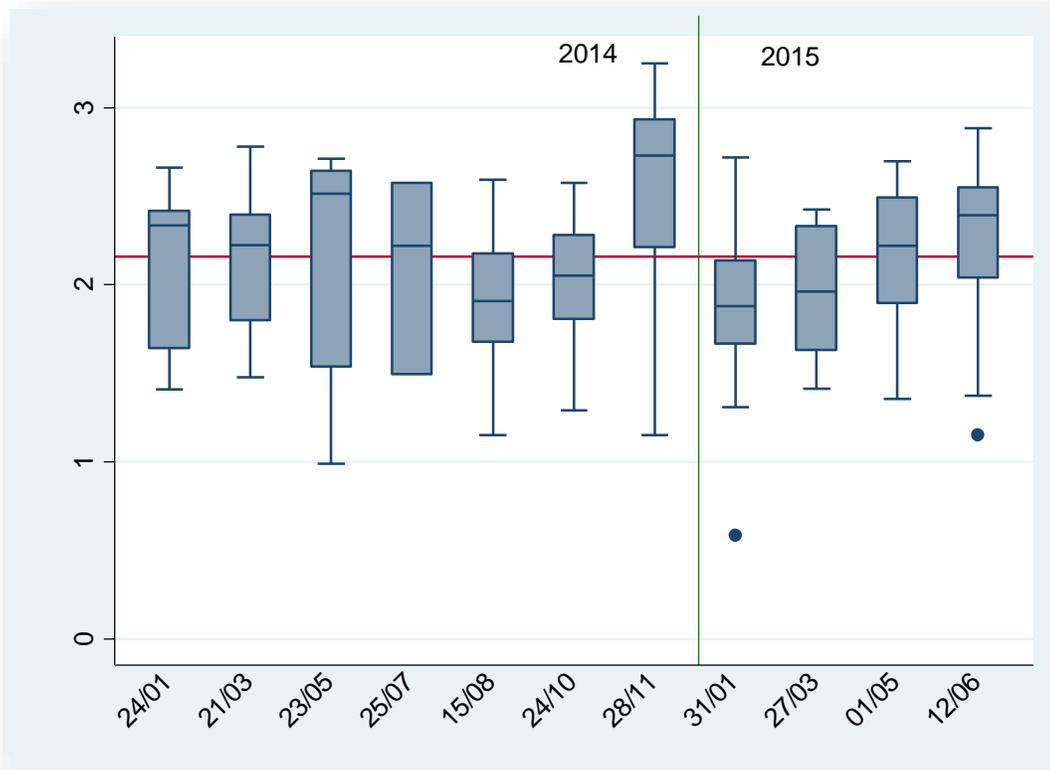


Figura 17.- Índice gonadosomático para hembras.

### 8.4 Índice de la glándula digestiva

En el caso del índice de la glándula digestiva para los machos, hubo un aumento (valores medianos de las cajas) en el IGD en enero, marzo y abril del 2014 y en los siguientes meses hasta agosto se mantuvo por debajo de la media; posteriormente de nuevo subió el índice en octubre y noviembre. En enero y marzo nuevamente hubo una alza y una disminución en los posteriores meses (Figura 18).

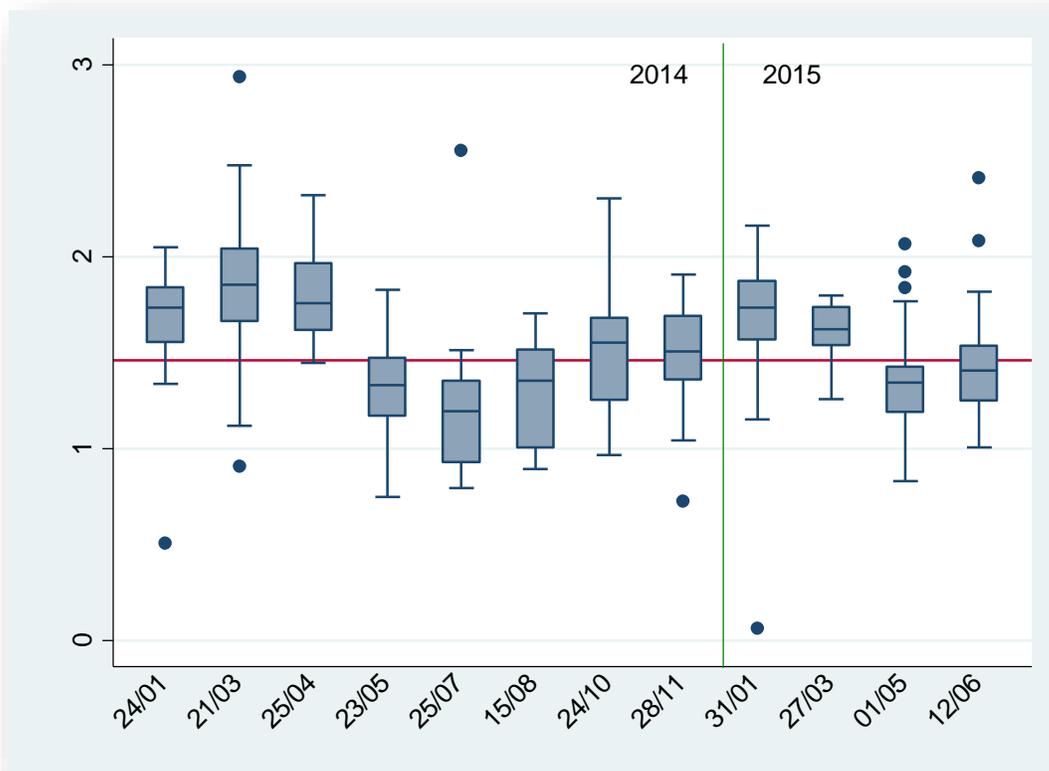


Figura 18.- Índice de la glándula digestiva para machos.

El *IGD* de las hembras tiene un comportamiento similar con el de los machos en los meses de muestreo siendo los meses de enero y marzo los más altos en el 2014 y el más bajo en julio y en el 2015 los más altos fueron enero y marzo (Figura 19).

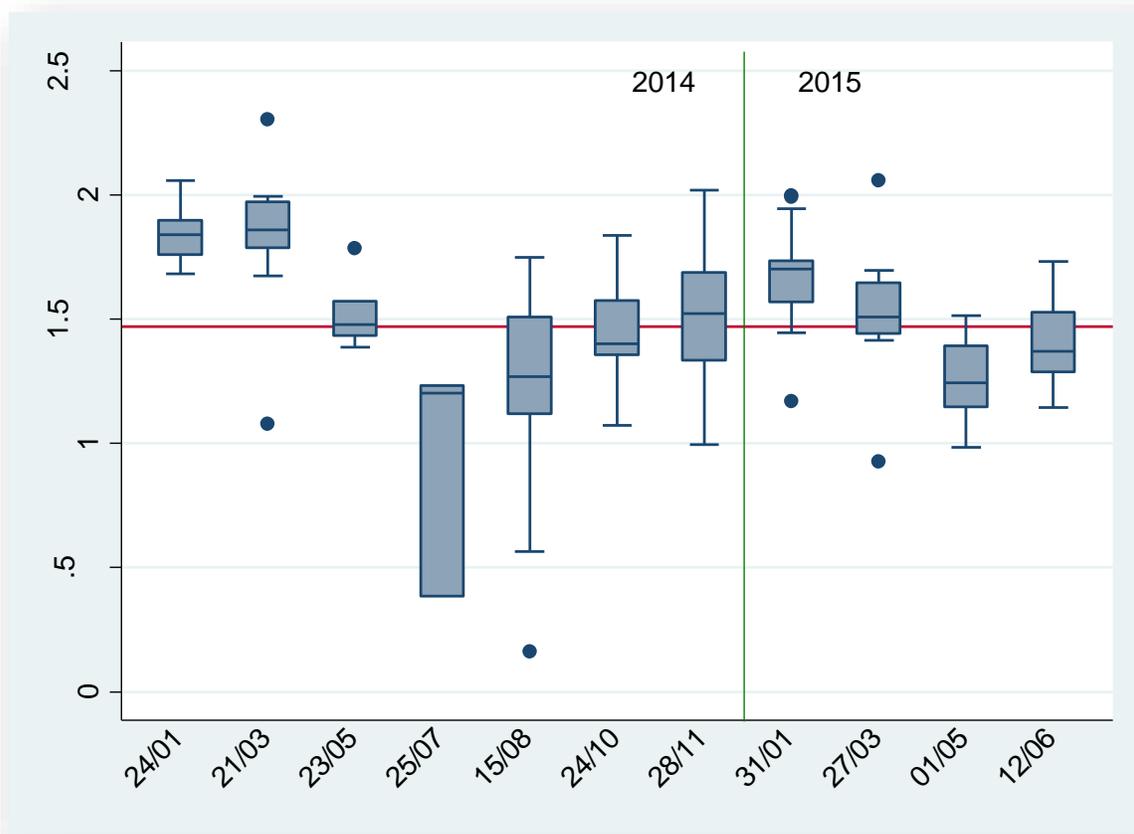


Figura 19.-Índice de la glándula digestiva para hembras.

### 8.5 Factor de condición

En el 2014 los valores medianos del factor de condición para machos empiezan con un valor por debajo de la media, hasta abril llega a su aumento máximo y es hasta julio donde nuevamente se coloca por debajo de la media manteniéndose de esa forma hasta enero del 2015 y permaneciendo por encima de la media en los siguientes meses (Figura 20).

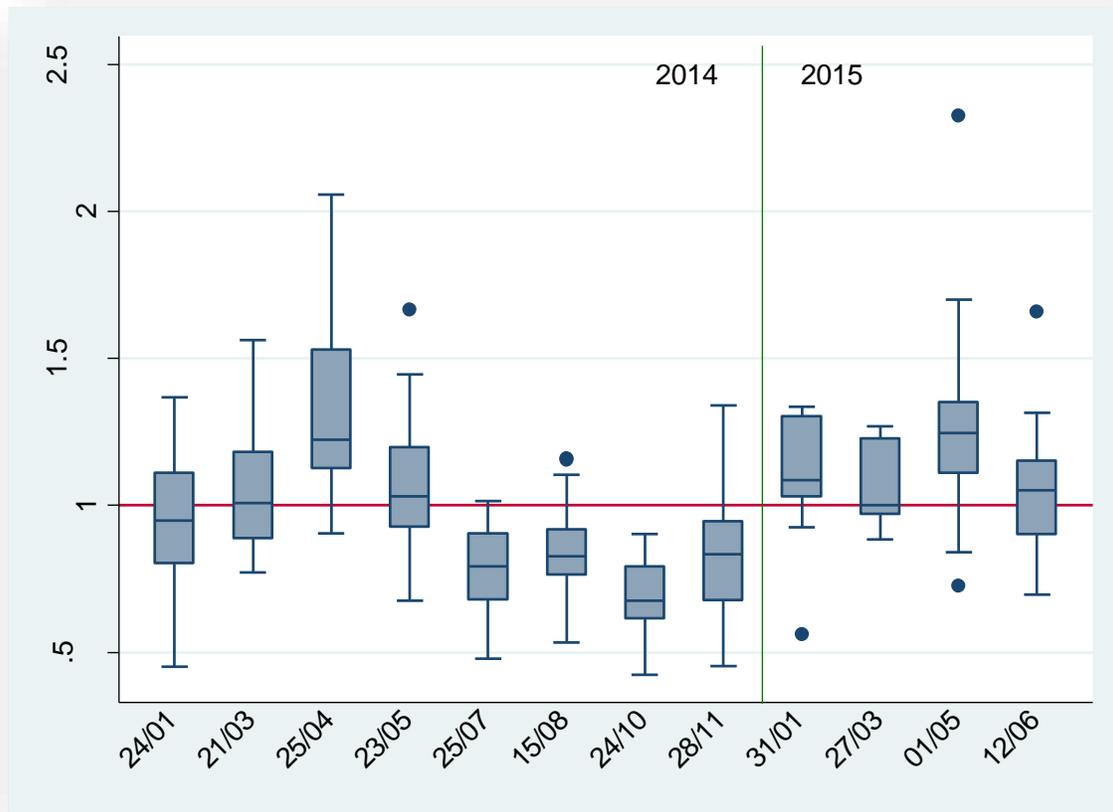


Figura 20.-Factor de condición relativa para machos.

Para el factor de condición de las hembras, el mes con mayor valor fue enero del 2014 y para el 2015 mayo; los meses en los que el factor de condición fue muy bajo fue agosto, octubre del 2014 y marzo del 2015 (Figura 21). Teniendo un comportamiento muy similar con respecto al Factor de condición de los machos.

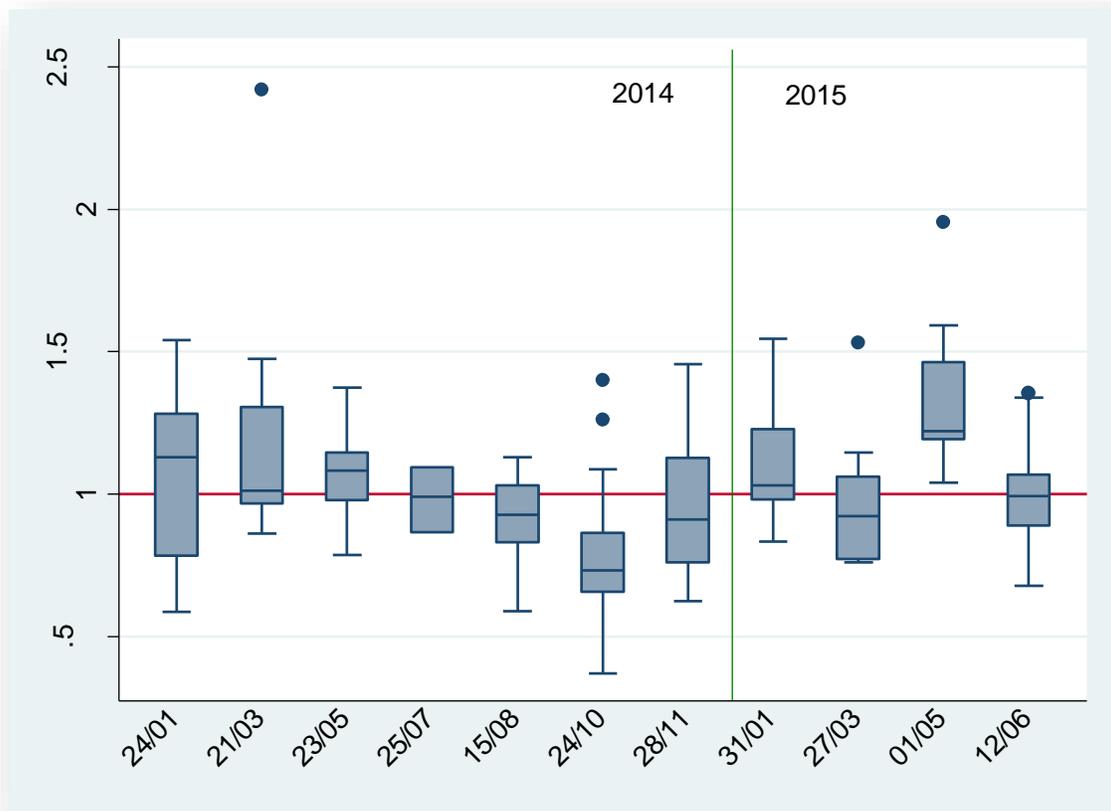


Figura 21.- Factor de condición relativa para hembras.

### 8.6 Relación IGS- Temperatura

La relación que presenta el índice gonadosomático con respecto a la temperatura, tanto para machos como para hembras, tiene un comportamiento diferente en temporadas de secas (enero- abril) que en temporadas de lluvias (mayo – noviembre); esto quiere decir que, en los meses de secas, la relación IGS- Temperatura tiende a ser positiva la cual coincide con los vientos Tehuanos, ocurriendo lo contrario en de los meses de lluvias en donde esta relación es negativa (Figura 22).

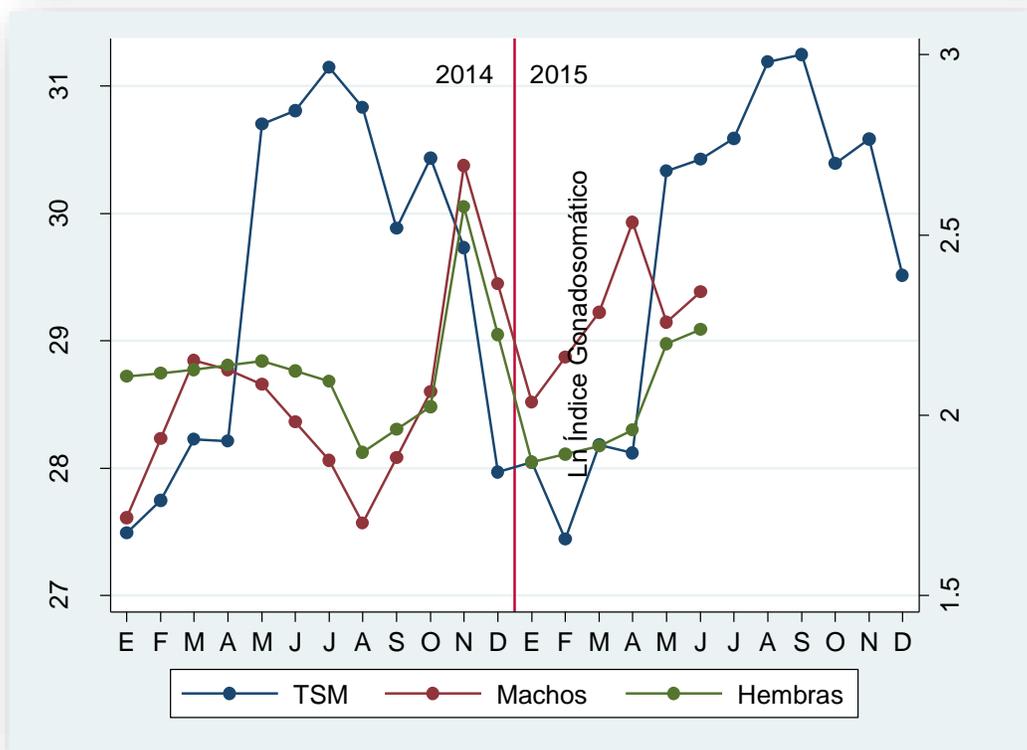


Figura 22.- Relación IGS-Temperatura.

### 8.7 Relación IGS-Clorofila "a"

En el caso de la relación entre el índice gonadosomático y la clorofila "a", para machos y hembras es similar, ya que estas tienen una relación positiva en todos los meses, lo que significa que entre mayor sea la cantidad de Clorofila "a" en el agua, mayor será el IGS en los organismos (Figura 23)

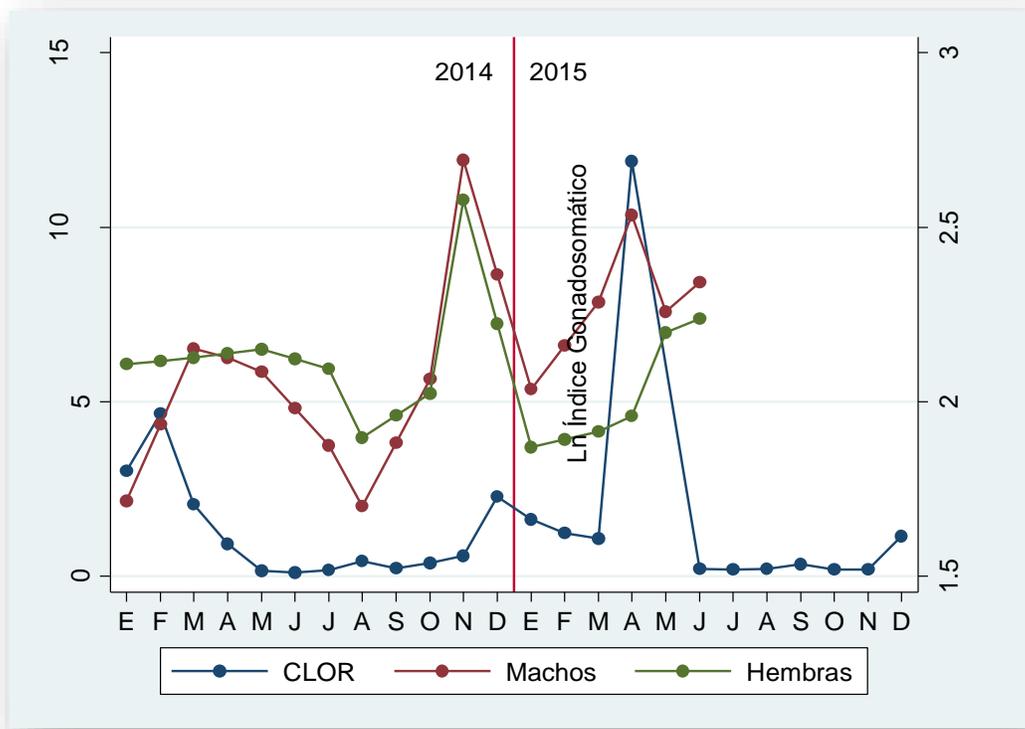


Figura 23.- Relación IGS- Clorofila "a".

## 9.- DISCUSIÓN

### 9.1 Dimorfismo sexual y proporción de sexos

En *Modiolus capax* hay un dimorfismo sexual notable en la coloración de las gónadas, de acuerdo con esto se logró contabilizar a machos y hembras, en donde la proporción sexual de acuerdo con la prueba de  $\chi^2$  fue de 2:1 M:H, en donde los machos fueron más abundantes exceptuando el mes de octubre del 2014 y enero del 2015; García Corona en el 2014 también realizó pruebas de proporción sexual en donde la relación fue 1: 0.88 M:H. Lo que nos indica que en las poblaciones de *Modiolus capax* la predominancia es de machos.

Ochoa-Báez (1985) estableció que los primeros signos de madurez sexual se presentan entre los 33 y 40 mm de longitud, con base en esto se determinó a los indiferenciados como aquellos que no contaban con esta medida, en los cuales, haciendo observaciones visuales no contaban con la tonalidad determinada para diferenciarlos sexualmente.

### 9.2 EDK's en longitud

En la distribución de los tamaños de longitud (EDKs), los machos tuvieron un ligero sesgo negativo mayor que el de las hembras ya que los valores tuvieron esa tendencia con respecto a la moda que en el caso de los machos fue de 6.8 cm y en las hembras fue de 6.6 cm, lo cual nos indica que los machos tienden a tener una mayor longitud. Ochoa-Báez en 1987 concluyó que las poblaciones tienden a presentar una composición de talla bimodal y que las tallas con mayor potencial reproductor están entre 6 y 10 cm de longitud, con dos años de vida. Además, Cabrera-Peña *et al.*, (1994) determinaron que las tallas promedio encontradas fueron de  $5.0 \pm 1.12$  cm. De acuerdo a los datos obtenidos en este estudio, Ochoa- Báez (1987) y Cabrera - Peña *et al.*,(1994) hay una concordancia con una de las tallas de mayor actividad reproductiva que es la de 6 cm, sin embargo también indica que la segunda talla es de 10 cm, algo que en este trabajo no se pudo observar ya que nuestro muestreo se realiza con pesca artesanal, lo cual nos indica que en este tipo de pesca la muestra de esta talla no es muy abundante puesto que el tamaño de los organismos es determinado por los buzos de la zona.

Por otra parte, también se pudo observar que en el caso de los indiferenciados, la moda principal se encuentra en 2.6 cm con sesgo positivo y la segunda moda en 0.4, indicando la posible existencia de dos cohortes. Las muestras de la segunda moda se obtuvieron gracias a que estos organismos se encontraban entre los pelos aserrados de organismos de mayor tamaño, lo cual nos indica que estos no fueron obtenidos de forma directa de la pesca artesanal, lo que concuerda con los estudios que realizó Aguirre-Hinojosa en 1987 quien observó que los organismos pequeños tienden a fijarse en los pelos aserrados del periostraco de los mejillones adultos para asegurar una mayor sobrevivencia.

### **9.3 Índice gonadosomático**

Ochoa-Baez inició las investigaciones sobre el ciclo reproductivo de *Modiolus capax* en 1979 como una necesidad para tratar aspectos poblacionales; en 1985 publica su primer trabajo en donde concluye que esta especie inicia su actividad reproductiva a finales de invierno en donde hay gametogénesis inicial e intermedia; observa que al entrar a la primavera se tiene una proporción de organismos maduros que excede al 70% de la población total y detectó un desove en abril. En mayo y junio se lleva a cabo la recuperación gonadal y en julio, agosto y septiembre de 1980, los organismos se encontraron en madurez avanzada y en desove del 80 al 90 %; este trabajo se realizó en La Bahía de La Paz B. C. S.

Por otro lado, García Corona (2012) quien realizó investigaciones en el mismo lugar que Ochoa-Baez (1985 y 1987), menciona que *Modiolus capax* es un molusco bivalvo desovador parcial que se reproduce prácticamente durante todo el año, con un periodo de actividad reproductiva máxima que va de abril a agosto principalmente, con un segundo pico reproductivo de menor intensidad en noviembre. *M. capax* presenta una máxima madurez gonádica entre los meses de abril y agosto, además con desoves máximos ocurridos durante octubre y noviembre y las más altas áreas de cobertura gonádica (ACG), lo anterior respaldado por el descenso del índice de condición en ese lapso de tiempo.

Bückle-Ramírez y Garza-Aguirre (1989) al estudiar el ciclo reproductivo de *M. capax* en la Bahía de los Ángeles, B.C. entre febrero de 1985 y enero de 1986, encontraron evidencias de liberación de gametos durante todo el periodo de estudio, donde el ciclo reproductivo tuvo fases bien definidas. Mencionan que de febrero a julio la mayoría de los organismos se encontraron en etapas de crecimiento gonadal, en agosto fue evidente un periodo de intensa liberación de gametos para ambos sexos, reiniciándose rápidamente la gametogénesis entre agosto y septiembre, además de que la liberación de gametos en un gran número de organismos continuó hasta el final del ciclo (enero).

En el caso de las poblaciones de *Modiolus capax* en Puerto Ángel, Oaxaca se analizó el comportamiento del índice gonadosomático de machos y hembras por separado, este estudio se realizó desde enero del 2014 hasta junio del 2015 con algunos meses faltantes de muestreo. En el caso de los machos se registraron valores por encima de la media en los meses de abril y noviembre del 2014 y en los meses de marzo, mayo y junio del 2015. Para el caso de las hembras, los valores medianos por encima de la media fueron enero, marzo, mayo y noviembre del 2014 además de mayo y junio del 2015. Por tanto, en este estudio, el periodo de mayor índice gonadosomático es en los meses correspondientes a la primavera, incluyendo también el mes de noviembre con los meses de liberación de gametos en los meses posteriores a estos (julio y diciembre).

#### **9.4 Índice de la glándula digestiva**

El índice de la glándula digestiva tiene un comportamiento muy parecido en machos y hembras, los meses en donde este tiene un valor alto es en enero, marzo y abril del 2014, posteriormente hay una baja en este índice y nuevamente aumenta en los meses de noviembre del 2014, enero y marzo del 2015. Esto indica que en temporadas de secas el índice tiende a aumentar y en temporadas de lluvia, disminuye.

#### **9.5 Factor de condición**

Se sabe que la pobre condición somática durante la estación de desove es una observación común en muchas especies e indica que el crecimiento somático es limitado debido al desarrollo de las gónadas. Además, la disminución en la condición ha sido atribuida a una disminución de las reservas del cuerpo durante la maduración de las gónadas. (Salgado-Ugarte *et al.*, 2005).

En este trabajo se confirma lo que cita Salgado Ugarte en el 2005, ya que en el caso de las hembras, en los meses de enero a octubre del 2014 el IGS se mantuvo por debajo de la media, en donde el factor de condición en los meses de abril y mayo estuvo por encima de la media, de ahí hubo un segundo aumento en el IGS en noviembre del 2014, con un factor de condición alto en los meses de enero, marzo y mayo del 2015 ; con una segunda recuperación en el IGS en marzo, mayo y junio del 2015; lo que indica que hay un primer desove, seguido de una recuperación de la condición de los organismos y junto con esta un segundo desove que se desfasa de la recuperación por solo un mes.

## **9.6 Relación del índice gonadosomático con factores ambientales**

Muchos autores señalan que la temperatura y la disponibilidad de alimento son los principales factores ambientales que regulan el ciclo reproductivo de los bivalvos marinos (García Domínguez *et al.*, 2002).

Tal es el caso de Bückle-Ramírez y Garza-Aguirre, 1989 quienes relacionaron el IG con la temperatura; indicando que el periodo de crecimiento gonádico más rápido y la liberación de gametos más intensa, se relacionaron con las temperaturas más alta de la bahía de los Ángeles B. C; sin embargo, Meléndez-Contreras, (2015) que trabajo con la especie *Pinctada mazatlanica* en Puerto Ángel, Oaxaca, concluye en su trabajo que no se nota una clara relación entre la temperatura y el desarrollo gonádico.

Sin embargo, analizando los datos obtenidos en este estudio se puede decir que la reproducción de la especie si tiene una relación directa con la temperatura, ya que de acuerdo con las gráficas obtenidas se analiza que la especie se reproduce más cuando las temperaturas son bajas y hay una menor reproducción cuando la temperatura aumenta. Esto quiere decir que en temporadas de secas las cuales coinciden con los vientos Tehuanos, *Modiolus Capax* tiende a reproducirse más que en temporadas de lluvias.

En el mismo trabajo Meléndez Contreras, (2015) concluye que la disponibilidad de alimento es un importante factor para la reproducción, lo que concuerda con el trabajo presente, ya que la relación entre el índice gonadosomático de *Modiolus capax* y la clorofila "a" , tienen una relación positiva en todos los meses, lo que significa que entre mayor sea la cantidad de clorofila "a" en el agua, mayor será el IGS en los organismos.

Sin embargo, García-Domínguez, (2002) trabajó con 13 especies diferentes, entre ellas *Modiolus capax* en la Bahía de los Ángeles B. C. concluyendo que no hay una estrategia reproductiva común a las especies de una localidad, que las especies tienden a conservar el patrón de gametogénesis e indiferenciación, independientemente de la localidad y de la variación ambiental interanual.

## **10.- CONCLUSIONES**

- Los machos predominaron en número sobre las hembras con una proporción sexual total de 2:1
- Los machos tienen una mayor talla que las hembras.
- En los machos la talla predominante es de 6.8 con varias cohortes, lo que provoca una distribución en los datos multimodal.
- En las hembras la talla predominante es de 6.6, y una distribución multimodal.
- *Modiolus capax* presenta los *IGS* más elevados en los meses de marzo, abril y mayo, lo que indica que su reproducción se lleva a cabo en primavera y hay un segundo pico reproductivo en el mes de Noviembre de menor intensidad.
- Los meses en donde hay liberación de gametos son en los meses de julio y diciembre.
- El *IGD* tiene un comportamiento similar con respecto al *IGS*.
- El factor de condición con respecto al *IGS* y el *IGD*, tiene una relación negativa.
- El *IGS* con respecto a la temperatura tiene una relación positiva en temporadas de secas, fenómeno que coinciden con los vientos Tehuanos.
- El *IGS* con respecto a la clorofila "a" tiene una relación positiva, lo que indica que entre más clorofila "a" haya, será mayor el *IGS*.

## 11.- BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre-Hinojosa, E. (1987). La fijación del Mejillón *Modiolus capax* (Conrad) (Bivalvia-Mytilidae) sobre sustratos naturales y artificiales en la Bahía de los Ángeles, Ensenada, Baja California. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma de Nuevo León. 75 pág.
- Baqueiro-Cárdenas, E. R.; Borade, L.; Goldaracena-Islas, C. G., Rodríguez-Navarro J. (2007). Los moluscos y la contaminación. Una revisión. Revista Mexicana de Biodiversidad 78: 1S- 7S, 2007.
- Baqueiro-Cárdenas, E., A. Aviles-Quevedo, J. Masso-Rojas, M. Muciño-Díaz, P. Rogers-Nieto y A. Vélez-Barajas. (1992). Manual de métodos de muestreo y evaluación de poblaciones de moluscos y otros recursos bentónicos. Instituto Nacional de la Pesca. México. 73pág.
- Bückle-Ramírez, L.F. y M. de C. Garza-Aguirre. (1989). Ciclo reproductivo del mejillón *Modiolus capax* (Conrad, 1837) (Bivalvia, Mytilidae, Anisomyaria) en la Bahía de Los Ángeles, Baja California, México. An. Inst. Cienc. Mar Limnol. UNAM 16(1) 157-170.
- Cabrera-Peña J., Cruz R. A., Solano Y. y Protti M. (1994). Biometría de *Modiolus capax* (Bivalvia: Mytilidae) en Playa Ocotal, Guanacaste, Costa Rica Rev. Biol. Trop., 43(1-3): 173-176, 1995.
- Cabrera-Peña J. y Y. Solano. (1996).Crecimiento de *Modiolus capax* (Bivalvia: Mytilidae) en sistema de cultivo suspendido. Rev. Biol. Trop., 44(2): 939.

- Cáceres-Martínez J. y R. Vásquez. (2014). Manual de buenas prácticas de manejo para el cultivo de moluscos bivalvos. OIRSA y OSPESCA. Pp. 117.
- Carta Nacional Pesquera, Diario Oficial de la Federación. (2012). Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Segunda sección. 21 - 128 pág.
- Cargnin-Ferreira E. y C. Sarasquete. (2008). Histofisiología de moluscos bivalvos marinos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España, Madrid. 95pág.
- CONABIO, (2008),  
<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/marinas.html>.
- De la Rosa-Vélez, J; Farfán, C. y Cervantes-Franco M.A. (2000). Geographic pattern of genetic variation in *Modiolus capax* (Conrad, 1837) from the Gulf of California. Universidad Autónoma de Baja California. Ciencias Marinas, (2000), 26(4): 585–606.
- FAO. (2002) Anuario, Estadísticas de Pesca. Vol. 90/1 704 pág.
- FAO. (2008). Estadística de pesca y acuicultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. ISSN 2070-6057. 74pág.
- FAO. (2012). Examen mundial de la pesca y la acuicultura. Roma. 114pág.
- FAO, (2014). El estado mundial de la pesca y al acuicultura 2014. Roma. 253 pág.

- Farfán C., A. M. Espinoza Peralta y O. Tapia Vázquez. (1998). Dilación del desove de *Modiolus capax* (Bivalvia: Mytilidae). Rev. Biol. Trop., 46(3):633-641.
- Figueras, A. (2007). Biología y cultivo del mejillón (*Mytilus galloprovincialis*) en Galicia. Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC. Madrid. 280 pág.
- García-Corona J.L. (2014). Dinámica anual de la estrategia, esfuerzo reproductivo y calidad ovocitaria del mejillón *Modiolus capax* (Bivalvia: Mytilidae; Conrad, 1837) en la Bahía de La Paz, B.C.S. México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 128 pág.
- García-Domínguez F.A. (2002). Estrategias reproductivas de bivalvos marinos en el Noroeste Mexicano. Colima, Col., México. Tesis de Doctorado en Ciencias Pecuarias, Universidad de Colima. 119 pág.
- García, E. (2004). Modificaciones del sistema de clasificación climática de Köppen. 5ta. Edición, Instituto de Geografía, UNAM, México. 90 pág.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía UNAM. México. 90 pág.
- Giese, A.C y J. S, Pearse. (1974). Introduction: general principles, En: Giese, A.C. y J. S. Pearse (eds.). Reproduction of marine invertebrates. Vol. I. Cap. 1 (1-49p). Academic Press. New York.
- Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, National Aeronautics and Space Administration (GES DISC - NASA), 2016. Monthly average of the sea surface temperature at daylight, expressed in

- Celsius degrees. Raster digital data available at <<http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>>. Published at <<http://www.icmyl.unam.mx/uninmar/>>. Consulted on 2016/06/01.
- Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, National
  - Aeronautics and Space Administration (GES DISC - NASA), 2016. Monthly average of the sea surface concentration of chlorophyll-a, expressed in milligrams per cubic meter. Raster digital data available at <<http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>>. Published at <<http://www.icmyl.unam.mx/uninmar/>>. Consulted on 2016/06/02.
  - González J., A. (2010). Efecto combinado de temperatura y dieta en el crecimiento, composición bioquímica y respiración de juveniles de almeja Mano de León *Nodipecten subnodosus* (SOWERBY 1835). Puerto Ángel, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad del Mar UMAR. 81 pág.
  - <https://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Modiolus+capax>.
  - Huante-González, Y. (1997). Contaminación Biológica en la Bahía de Puerto Ángel Oaxaca, Ciencia y Mar 1(2): 39- 43.
  - Keen, A. M. (1958). Sea Shells of Tropical West America. Marine Mollusks from Baja California to Peru, Stanford University Press. 2 ed. Stanford, California, Stanford University Press. 1064 pág.
  - Lodeiros C., B. Marín y A. Prieto. (1999). Catálogo de moluscos marinos de las costas nororientales de Venezuela: Clase bivalvia. Edición APUDONS. 109 pág.

- Medina R. C. E., J. Faber-Lorda y J. M. Robles-Pacheco. (2003). Evidencia de la vagancia en las postlarvas pelágicas de camarón en el Golfo de Tehuantepec. *Revista Ciencia y Mar* 7(19): 3-5.
- Meléndez-Contreras M.E. (2015). Ciclo reproductivo de la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) en zonas del litoral rocoso adyacentes a Puerto Ángel, Oaxaca, México. México, D.F. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. 74 pág.
- Mille, Silva R. y A. Pérez-Chi. (1993). Géneros más comunes de Moluscos Gasterópoda y Pelecypoda de México. IPN. México. 24 pág.
- Ochoa-Báez R. I. (1985). Antecedentes sobre el ciclo de Reproducción de *Modiolus capax* (Conrad, 1837) (Bivalvia Mytilidae); en la Bahía de la Paz, Baja California México. México, Inv. Mar. CICIMAR, Vol. 2 No 2, 83-103 pag.
- Ochoa-Báez, R. I. (1987). Aspectos de la biología del mejillón *Modiolus capax* (Conrad, 1837), en la Bahía de La Paz, B. C. Sur, México. Tesis de Maestría. CICIMAR, IPN. 173pág.
- Ramírez G., J. M. (2010). Relación del Hábitat con la comunidad de peces en la bahía San Agustín, Huatulco, Oaxaca. México, D. F. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 101 pág.
- Romo, Piñera A. K. (2005). Ciclo reproductivo del ostión de mangle *Saccostrea palmula* (Carpenter 1857), en Bahía Magdalena, Baja California Sur. La Paz, B. C. S., Tesis de Maestría CICIMAR, IPN. 74 pág.

- Saito-Quezada, V. M. (2004). Edad y Crecimiento por lectura de otolitos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la presa Emiliano Zapata, Morelos. México D.F. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. 95 pág.
- Salgado-Ugarte, I.H. (2013). Métodos Estadísticos Exploratorios y Confirmatorios Para Análisis de Datos. Un Enfoque Biométrico. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y DGAPA, UNAM. 307 pág.
- Salgado-Ugarte I. H., J. L. Gómez-Márquez, B. Peña-Mendoza. (2005). Métodos Actualizados para Análisis de datos Biológico-pesqueros. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y DGAPA, UNAM. 252 pág.
- Salgado-Ugarte, I.H. (2002). Suavización No Paramétrica Para Análisis De Datos. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza y DGAPA, UNAM. 134 pág.
- Salgado-Ugarte, I.H., 1995. *Non parametric methos for fisheries data analysis and their study biologcal data of the Hapanese sea bass Lateolatrax japonicas in Tokyo Bay*. Tesis de Doctorado. Facultad de Agricultura. Departamento de Biociencia Acuática. Universidad de Tokio, Japón. 389 pág.
- Sevilla, H.M. 1995. Moluscos de la franja costera de Chiapas, México. Instituto Politécnico Nacional. Dirección General de Publicaciones. México. 152 pág.
- Sokal, R. y F. Rohlf. (1979). Biometría. Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. Blume Ediciones. Madrid. 832 pág.

- StataCorp, 2013. Stata: Release 13. Statistical Software. StataCorp, College Station, EUA.

## 12.- ANEXO 1

| COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO |               |                |
|---------------------------------------|---------------|----------------|
| PUNTOS DE MUESTREO                    | COORDENADAS   |                |
|                                       | N             | W              |
| Punta Cometa                          | 15° 39'35.4'' | 96° 33'16.5''  |
| La Playita                            |               |                |
| Bahía de Puerto Ángel                 | 15° 39'56.1'' | 96° 29'27.1''  |
| Estacahuite                           | 15° 40' 4.7'' | 96° 28'54.6''  |
| La Mina                               | 15° 40'26.7'' | 96° 28'34.7''  |
| La Boquilla                           | 15° 40'48.3'' | 96° 27' 58.4'' |

### 13.- ANEXO 2

| <b>VALORES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR</b> |            |   |
|---|------------|---|
| <b>Año</b>  | <b>Mes</b> | <b>Temperatura superficial del mar (Cº)</b> |
| 2014  | 1          | 27.488495                                   |
| 2014  | 2          | 27.74453                                    |
| 2014  | 3          | 28.224327                                   |
| 2014  | 4          | 28.209982                                   |
| 2014  | 5          | 30.700048                                   |
| 2014  | 6          | 30.80691                                    |
| 2014  | 7          | 31.14542                                    |
| 2014  | 8          | 30.830576                                   |
| 2014  | 9          | 29.882458                                   |
| 2014  | 10         | 30.435408                                   |
| 2014  | 11         | 29.729698                                   |
| 2014  | 12         | 27.967573                                   |
| 2015  | 1          | 28.046465                                   |
| 2015  | 2          | 27.441877                                   |
| 2015  | 3          | 28.18273                                    |
| 2015  | 4          | 28.117466                                   |
| 2015  | 5          | 30.330698                                   |
| 2015  | 6          | 30.425367                                   |
| 2015  | 7          | 30.586733                                   |
| 2015  | 8          | 31.190603                                   |
| 2015  | 9          | 31.245827                                   |
| 2015  | 10         | 30.390942                                   |
| 2015  | 11         | 30.583147                                   |
| 2015  | 12         | 29.513107                                   |

### 14.- ANEXO 3

| VALORES DE CONCENTRACION DE CLOROFILA "a" |     |   |
|---|-----|---|
| Año                                       | Mes | Clorofila "a"<br>( mg/ m <sup>3</sup> ) |
| 2014                                      | 1   | 3.009585                                |
| 2014                                      | 2   | 4.661245                                |
| 2014                                      | 3   | 2.053713                                |
| 2014                                      | 4   | 0.929053                                |
| 2014                                      | 5   | 0.155474                                |
| 2014                                      | 6   | 0.105742                                |
| 2014                                      | 7   | 0.173023                                |
| 2014                                      | 8   | 0.43525                                 |
| 2014                                      | 9   | 0.232104                                |
| 2014                                      | 10  | 0.379023                                |
| 2014                                      | 11  | 0.585791                                |
| 2014                                      | 12  | 2.27071                                 |
| 2015                                      | 1   | 1.622856                                |
| 2015                                      | 2   | 1.233936                                |
| 2015                                      | 3   | 1.087346                                |
| 2015                                      | 4   | 11.891513                               |
| 2015                                      | 5   |   |
| 2015                                      | 6   | 0.202881                                |
| 2015                                      | 7   | 0.189432                                |
| 2015                                      | 8   | 0.208632                                |
| 2015                                      | 9   | 0.347533                                |
| 2015                                      | 10  | 0.187199                                |
| 2015                                      | 11  | 0.191546                                |
| 2015                                      | 12  | 1.142766                                |