

**Informe final\* del Proyecto HK050**  
**Estado de salud y estatus de conservación de la(s) población(es) de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el Golfo de California: una especie en peligro de extinción**

**Responsable:** Dr. Juan Antonio de Anda Montañez  
**Institución:** Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S. C.  
**Dirección:** Mar Bermejo # 195, Playa Palo de Santa Rita, La Paz, BCS, 23090 , México  
**Correo electrónico:** [ideanda@cibnor.mx](mailto:ideanda@cibnor.mx)  
**Teléfono/Fax:** (612) 1238484, Fax: (612) 1253625  
**Fecha de inicio:** Agosto 31, 2010.  
**Fecha de término:** Julio 18, 2013.  
**Principales resultados:** Hojas de cálculo, bases de datos, fotografías, informe final.  
**Forma de citar\*\* el informe final y otros resultados:** De Anda-Montañez, J. A., García de León, F. J., Zenteno-Savín, T., Balart-Paez, E., Méndez-Rodríguez, L. C., Bocanegra-Castillo, N., Martínez-Aguilar, S., Campos-Dávila, L., Román Rodríguez, M. J., Valenzuela-Quíñonez, F., Rodríguez-Jaramillo, M. E., Meza-Chávez, M. E., Ramírez-Rosas, J. J., Saldaña-Hernández, I. J., Olguín-Monroy, N. O. y M. E. Martínez-Delgado. 2013. Estado de salud y estatus de conservación de la(s) población(es) de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el Golfo de California: una especie en peligro de extinción. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, Baja California Sur. **Informe Final, SNIB-CONABIO. Proyecto No. HK050**, México, D.F.

**Resumen:**

La totoaba (*Totoaba macdonaldi*) es una de las primeras especies de peces marinos listadas en la lista roja como "en peligro" en el CITES y en la NOM-059-ECOL-SEMARNAT-2001. Aunque existen estudios biológicos que permiten conocer el estado de las poblaciones de esta especie, la mayoría de ellos se realizaron a principios de los años 1990's cuando las poblaciones ya habían sido afectadas gravemente. La falta de monitoreos recientes ha generado controversias y conflictos de intereses sobre el potencial manejo de las poblaciones actuales, así como diversas problemáticas como las relacionadas con los permisos de fomento para fines de investigación. La pesca ilegal y/o incidental también afecta a las poblaciones pero la falta de métodos adecuados para identificar a la especie en productos procesados que salen del país vía la pesca deportiva imposibilita estimar el impacto de estas actividades sobre las poblaciones naturales. Existen esfuerzos de repoblación en el Alto Golfo por parte de investigadores de la Universidad Autónoma de Baja California, empleando técnicas de reproducción asistida. Sin embargo, es conocido que estas prácticas pueden afectar seriamente la talla efectiva y causar reducciones drásticas de la diversidad genética. Lamentablemente no ha habido evaluaciones genéticas, biológicas y fisiológicas que permita determinar el éxito de la reproducción asistida.

El propósito de esta investigación es determinar el estado de salud y revisar el estatus de conservación de la *Totoaba macdonaldi* en el Golfo de California. Se pretende contribuir al conocimiento de la biología poblacional de la especie, mediante un estudio integral de la ecología, biología, fisiología, genética, oceanografía y socio-economía recurso totoaba. El grupo de investigadores que participa en el presente planteamiento favorecerá las aproximaciones integrales. Se propone realizar estudios de estrés fisiológico debido a factores biológicos (como la reproducción y sobrepoblación) y ambientales (como la temperatura y contaminantes). Mediante estudios tanto a nivel de individuos como poblacional, se podrá desarrollar una base de datos con información biológica, genética y ecológica útil para el diseño de un modelo que permita estrategias de manejo y conservación y facilite el discurso político para el planteamiento de medidas de ordenamiento. Además se desarrollará una patente que tenga uso en forense animal al desarrollar un protocolo económico y de fácil implementación para la identificación genética de la totoaba.

Se solicitarán permisos para la captura de esta especie en peligro de extinción a las autoridades correspondientes, cuidando en todo momento no capturar animales en los casos que la especie muestre niveles de abundancia alarmantes.

Finalmente es también de fundamental importancia para un país mega-diverso como México, propiciar y fortalecer grupos de investigación que desarrollen una metodología ad hoc para evaluar los riesgos de extinción y proponer medidas científicas de protección, recuperación y/o utilización sustentable de una biodiversidad.

---

- \* El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en [www.conabio.gob.mx](http://www.conabio.gob.mx)
- \*\* El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

## Informe Anual Primera Etapa

CONABIO  
Convenio Núm. FB1508/HK050/10

**“Estado de salud y estatus de conservación de la(s) población(es) de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el Golfo de California: una especie en peligro de extinción”**



### Participantes:

Dr. Juan Antonio de Anda Montañez  
Dr. Francisco Javier García de León  
Dra. Tania Zenteno Savín  
Dr. Eduardo Balart Páez  
Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez  
Dra. Noemí Bocanegra Castillo  
Dra. Susana Martínez Aguilar  
M. en C. Lucía Campos Dávila  
M. en C. Martha Judith Román Rodríguez  
M. en C. Fausto Valenzuela Quiñonez  
M. en C. María del Carmen Rodríguez Jaramillo  
Tec. María Eulalia Meza Chávez  
Téc. Juan José Ramírez Rosas  
Téc. Isboset José Saldaña Hernández  
Tec. Norma Olimpia Olguín Monroy  
Téc. María Elena Martínez Delgado

La Paz, Baja California Sur, Abril/2013

## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN .....	4
ANTECEDENTES .....	5
Biología .....	6
Dinámica poblacional.....	6
Reproducción .....	8
Ecología trófica .....	8
OBJETIVOS.....	9
MATERIAL Y MÉTODOS .....	10
Área de estudio.....	10
Colección de muestras.....	10
Dinámica poblacional.....	11
Biología reproductiva.....	12
Histología .....	12
Ecología trófica .....	16
Análisis cualitativo.....	17
Análisis cuantitativo.....	17
Índice de importancia relativa (IIR).....	18
Amplitud trófica .....	19
Tamaño de muestra .....	19
RESULTADOS.....	21
Dinámica poblacional.....	21
Estructura por longitud y peso .....	21
Relación longitud-peso.....	29
Talla de primera captura.....	34
Edad y crecimiento.....	36
Mortalidad .....	40
Distribución.....	41
Abundancia.....	50
Relación recurso-ambiente .....	51
Biología reproductiva .....	53
Clases reproductivas en hembras .....	53
Clases reproductivas en machos.....	59
Ciclo reproductivo.....	66

Indicadores de reproducción .....	67
Ecología trófica .....	78
Espectro trófico por campaña.....	78
Espectro trófico global .....	88
DISCUSIÓN.....	93
CONCLUSIONES PRELIMINARES (Primer año de estudio).....	102
REFERENCIAS .....	105

## INTRODUCCIÓN

En el Golfo de California se ubica la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, establecida en 1993, que alberga especies de alto valor económico (camarón, curvina, chano, manta, etc.), y especies en peligro de extinción como la totoaba y la vaquita marina. Las comunidades de San Felipe en Baja California, y de Puerto Peñasco y Golfo de Santa Clara en Sonora quedaron incluidas en el área bajo protección. En esas localidades realizan su actividad económica un gran número de pescadores, siendo la actividad pesquera fundamental en la estructura productiva pues los ingresos generados por los pescadores ribereños son determinantes en la economía local. Actualmente, y aun cuando la opinión de los pescadores no es generalizada, creen que esta área natural protegida es una solución a sus problemas, porque dicen que en años recientes han observado una mayor abundancia y variedad de especies marinas, tanto de escama como de moluscos (Rodríguez-Quiroz y Bracamonte-Sierra, 2008). Dentro de la fauna marina que habita en el Alto Golfo, la *Totoaba macdonaldi* es una especie endémica, la cual, debido a la sobre-pesca ejercida durante los años 30's y 60's y, el cambio de su hábitat por la construcción en E.U. de las presas Hoover en 1930 y Gleen Canyon en 1950, disminuyó alarmantemente su población, por lo que se convirtió por decreto en una especie protegida (NOM-059-ECOL-SEMARNAT-2001).

La totoaba se encuentra dentro de la Lista Roja como "en peligro" en el Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies de Fauna y Flora Salvaje Amenazadas (por sus siglas en Inglés CITES). La mayoría de los estudios reportados en la literatura sobre dinámica y evaluación del tamaño poblacional de la totoaba, fueron realizados durante los años 90's, período durante el cual la población ya estaba gravemente reducida. A más de treinta años, el propósito de este trabajo es indagar en qué medida la estrategia de situar a la totoaba como especie protegida ha contribuido para superar el riesgo de desaparición que tenía. El presente es el informe anual correspondiente a un año de investigación. Se describen las actividades realizadas y resultados de las líneas de investigación referentes a dinámica poblacional, biología reproductiva, ecología trófica y relación recurso-ambiente. Los resultados mostrados son una referencia integral del análisis a nivel individual y poblacional.

## ANTECEDENTES

Actualmente, en la región del alto Golfo de California la flota deportiva/riberaña/camaronera captura especies de cabrillas, jureles, cochi, baya, dorado, pargos, una miscelánea de otras especies y, de manera incidental, la totoaba (*Totoaba macdonaldi*).

La totoaba ha sido, tanto para científicos como para administradores, una de las especies de mayor interés por su importancia ecológica al ser un organismo endémico del Golfo de California, estar en la lista de especies amenazadas de extinción, y ser protegida con veda permanente desde el año de 1975 (NORM-059-ECOL-SEMARNAT-2001). Esta especie es la más grande de la familia Sciaenidae (corvinas y berrugas) con un peso máximo de 135 kg y una longitud de hasta 2 metros (Berdegué, 1955; Cannon, 1966; Flanagan y Hendrickson, 1976; Román-Rodríguez y Hammann, 1997). Esta especie muestra un patrón de migración ontogenético usando como área de crianza el estuario del Río Colorado (Cisneros-Mata *et al.*, 1997), son también peces muy longevos que llegan a alcanzar los 25 años de edad (Román-Rodríguez, 1994).

Esta especie fue durante la mitad del siglo 20 una de las especies de mayor importancia comercial y deportiva en el alto Golfo de California. El manejo irresponsable de su pesquería originó una sobreexplotación y aunado a las alteraciones de tipo ecológico y de origen antropogénico ocurrida en la zona del delta del Río Colorado, provocó un fuerte decremento en las poblaciones (Flanagan y Hendrickson, 1976).

La disminución alarmante del stock motivó que el Gobierno de México declarará en 1975 una veda indefinida para su pesca y en 1979, el U.S. Fish and Wildlife Service (Servicio Nacional de Peces y Vida Silvestre de los Estados Unidos) declaró como una especie en peligro de extinción (Román-Rodríguez, 1990). Aparentemente la pesca de totoaba después de esto continuó y ha continuado en la actualidad como pesca clandestina a pesar de la veda establecida, además existe una mortalidad importante de los juveniles por los arrastres de barcos camaroneros (Barrera-Guevara, 1990). ¿Qué se conoce sobre su biología? En realidad la mayor parte de los estudios sobre el estado de la especies han sido descriptivos, resaltando aquellos que tratan con los aspectos morfológicos, pesqueros, ecológicos y de conservación (Berdegué, 1955;

Hendrickson, 1971; Arvizu y Chávez, 1972; Chávez, 1973; Villamar, 1980; Barrera-Guevara, 1990; Román-Rodríguez, 1994; Cisneros-Mata *et al.*, 1995; Cisneros-Mata *et al.*, 1997). Desgraciadamente, estas investigaciones no han continuado por lo que existe escasa información actual que permita sugerir estrategias apropiadas a las condiciones actuales del recurso. A continuación se detalla algunos antecedentes específicos sobre estos aspectos.

## **Biología**

### **Dinámica poblacional**

A partir de estudios prospectivos sobre el recurso camarón en los años 1989, 1990 y 1991, Román-Rodríguez (1994) muestreó 1125 juveniles y durante la temporada reproductiva (febrero-abril) en los años de 1986, 1987 y 1989-1991, muestreó 176 organismos adultos. Mencionó que la tasa de crecimiento de juveniles fue entre 2.6 y 4.4 cm/mes. La relación longitud-peso mostró que el crecimiento es isométrico. A partir de 77 otolitos de juveniles y de 43 otolitos de adultos se determinó la edad y crecimiento, y la estructura de la población estuvo compuesta por organismos entre 0+ y 25+ años de edad. Los valores de los parámetros de la ecuación de von Bertalanffy reportados son:  $k = 0.231 \text{ año}^{-1}$ ,  $L_{\infty} = 139.0 \text{ cm}$  (longitud patrón) y  $t_0 = -1.10 \text{ año}$  (Román-Rodríguez, 1994);  $k = 0.3162 \text{ año}^{-1}$ ,  $L_{\infty} = 135.5 \text{ cm}$  y  $t_0 = -0.0499 \text{ año}$  (Román-Rodríguez y Hammann, 1997);  $k = 0.152 \text{ año}^{-1}$ ,  $L_{\infty} = 169.9 \text{ cm}$  de longitud total y  $t_0 = -0.61 \text{ año}$  (Cisneros-Mata *et al.*, 1995); y  $k = 0.1743 \text{ año}^{-1}$ ,  $L_{\infty} = 206.33 \text{ cm}$ ,  $t_0 = -0.30 \text{ año}$  (Pedrín-Osuna *et al.*, 2001). Román-Rodríguez y Hammann (1997) registraron a su vez una edad máxima de 24 años.

Cisneros-Mata *et al.* (1995) indicó que la tasa intrínseca de mortalidad natural fue de 0.268 por año y que para la década de 1980 un número estimado de 120,300 juveniles morían cada año en la captura incidental de la pesquería de camarones, y 6,200 adultos morían debido a la pesca furtiva. Mientras que Pedrín-Osuna *et al.* (2001), con datos de muestreo de capturas experimentales y de fomento para los años de 1983 a 1993, registraron una mortalidad natural de  $M = 0.205 \text{ año}^{-1}$ , y la mortalidad total promedio para los nueve años de estudio de  $Z = 0.53$  y  $0.73 \text{ año}^{-1}$  para tallas de



primera captura de 140 cm y 150 cm, respectivamente. Es evidente que los datos varían de acuerdo el tipo de muestreo y los métodos de análisis.

Históricamente la pesquería de totoaba empezó alrededor de 1920, incrementando intensamente hasta 1942, cuando casi 2,300 toneladas fueron capturadas. La captura registró una disminución sistemática hasta 1958 cuando se registro solo 280 toneladas, pero la captura mínima se registró en 1975 con 59 toneladas. La pesquería se cerró en 1974. El gobierno mexicano aplico varias regulaciones para administrar la pesquería y así proteger el stock. Entre 1950 y 1955, se aplicó una veda total estacional para proteger el desove; entonces en la desembocadura del Río Colorado se declaró como un área natural protegida. Esta área protegida se transformó como Reserva Nacional en 1974 cuando se declaró la veda total y definitiva. La totoaba fue declarada como especie protegida en México y, un año después los Estados Unidos y la IUCN la incluyeron como especie en peligro (Baillie y Groombridge, 1996; IUCN, 2001). El establecimiento de la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado en 1993 fue el esfuerzo institucional más importante para la conservación de la totoaba y la vaquita marina, *Phocoena sinus*.

Recientemente, Lecardi y Chávez (2007), usando registros históricos de captura de 1929 a 1970 obtenidos de Arvizu y Chavéz (1972), reportaron que el cierre del flujo del Río Colorado y el incremento en la captura entre 1940-1954 tuvieron efectos importantes en la disminución de la captura, además develan de manera inesperada una fuerte correlación entre la captura, la abundancia y la biomasa del stock con el Índice de Oscilación por Décadas del Pacífico (IODP). Este artículo es una reevaluación de datos históricos, por lo que la imagen de la población es aquella de los años 1926 y 1970, muchos de los modelos que se usaron para alimentar el algoritmo, empleo parámetros poblacionales que fueron evaluados cuando la población estaba siendo afectada por la pesca. No existe información sobre esos mismos parámetros en la población actual, tampoco se puede afirmar si la especie ha estado disminuyendo o por el contrario han sufrido una recuperación gradual. Todo esto demanda de monitoreos actuales para precisar el estado de salud de la especie. Lo más lamentable es que no hay datos actualizados de la dinámica de las poblaciones a pesar de que, aparentemente existe una pesca incidental.

## **Reproducción**

La temporada de reproducción va desde febrero hasta principios de marzo y aún en junio (Berdegué, 1955). Thompson (1969) indicó que los máximos desoves se presentan en abril o principios de mayo y regularmente en la segunda quincena de este mes. Durante la temporada reproductiva de la totoaba entre los años 1985 y 1988, Barrera-Guevara (1990) reportó estadísticas descriptivas de un total de 201 organismos adultos (140 hembras y 61 machos). Las hembras variaron entre 134 y 197 cm de longitud total e intervalos de peso entre 21 y 81 kg; en este grupo el Índice Gonosomático (IGS) varió entre 1.18 y 24.3. Mientras que los machos variaron de 125-166 cm, 22-55 kg, y el IGS entre 0.83 y 6.8. Mediante análisis histológico, el autor sugirió que el desarrollo oocítico sigue un patrón “asincrónico continuo” y con desove único. La fecundidad fluctuó entre 980,000 y 3'600,000 huevos para hembras entre 124 y 145 cm de longitud total y un peso total entre 21 y 54 kg. Por su parte, Morales-Ortiz (1999) describió el desarrollo embrionario de totoaba en condiciones ex situ desde que el huevo es fecundado hasta que las larvas agotan su saco vitelino, a una temperatura de 26°C y salinidad de 35 ppm. Cisneros-Mata *et al.* (1995) reportan la edad media de primera reproducción en machos y hembras en 6 y 7 años, respectivamente. Estos análisis no han continuado, y el hecho de que las poblaciones se redujeron a niveles alarmantes, es posible que haya habido algunos ajustes en las variables reproductivas pudiendo afectar la dinámica de la especie.

## **Ecología trófica**

Se han reportado datos de la ecología trófica. De acuerdo a esto, se menciona que los juveniles se alimentan de invertebrados bénticos y los adultos de pequeños peces pelágicos. Román-Rodríguez (1989, 1990) establece que la especie se alimenta casi exclusivamente de la anchoveta *Cetengraulis mysticetus* y de manera accidental de moluscos y crustáceos, reduciendo su tasa de consumo de alimentos durante la época reproductiva. Previamente y al contraste, Rosales-Juárez y Ramírez-González (1987) establecieron que la alimentación de la totoaba estaba constituida por crustáceos (63% de penéidos), por peces (20% larvas y juveniles). Después de la disminución de la población, el estudio de los hábitos alimenticios no se ha hecho de manera sistemática ni tampoco se tienen registros actuales de los posibles cambios en la ecología trófica.

## OBJETIVOS

- a) Definir la estructura de la población, la relación longitud-peso y determinar la talla de primera captura.
- b) Estimar tasas de crecimiento y mortalidad de la población.
- c) Evaluar la ecología poblacional de la totoaba en su ámbito de distribución, poniendo énfasis en su abundancia y composición poblacional.
- d) Evaluar las principales características reproductivas que influyen en la dinámica poblacional: ciclo reproductivo, madurez gonadal, talla de primera reproducción y fecundidad parcial.
- e) Estimar la variabilidad de la dieta de la totoaba, su posición trófica e importancia en el flujo energético en el Golfo de California.
- f) Analizar las condiciones oceanográficas del área y su relación con la población de totoaba.

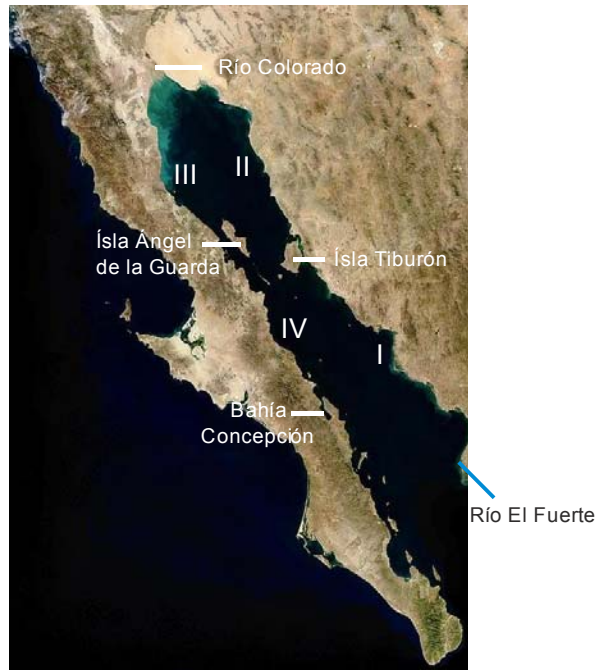
## MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

El Golfo de California ocupa una posición oceanográfica única entre los mares marginales del Océano Pacífico. Está limitado al oeste por la península de Baja California y al este por los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit. El Golfo de California está considerado como una gran cuenca oceánica de evaporación, que mide 1,400 km de largo entre latitudes 23° y 32°N y con un promedio de 150 km de ancho, el cual en su extremo sur, está en comunicación abierta con el Pacífico. Los sedimentos están constituidos por cienos de diatomeas, ricos en ácido sulfhídrico y abundante materia orgánica. En la parte norte del Golfo, estos sedimentos son suspendidos periódicamente por las olas y las mareas, y son removidos formando así los bancos móviles que dan origen a los mecanismos de dispersión y retroalimentación característicos de las interacciones intensas de fluidos de sedimentos. Las temperaturas superficiales en el Golfo están altamente influenciados por el clima árido de origen continental que lo rodea, y particularmente por los cambios estacionales en la dirección del viento, lo que da variaciones de temperatura anuales grandes (Fig. 1).

### Colección de muestras

Se realizaron 6 campañas de muestreo en el área que comprende los estados de Sinaloa, Sonora y Baja California. Para los muestreos se usaron lancha y/o yate con motor fuera de borda de aproximadamente 26 pies. Se realizaron un total de 794 lances con caña vía la pesca, distribuidos en el área mencionada arriba, correspondiente a las regiones I, II y III (Fig. 1). También, se realizaron un total de 46 lances con red tipo chinchorro de 200 brazas de longitud y con luz de malla de 8". El muestreo se realizó al amparo del permiso de Colecta Científica: OFICIO NÚM. SGPA/DGVS/02913/10, y conforme al proyecto de investigación CONABIO, "Estado de salud y estatus de conservación de la(s) población(es) de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el Golfo de California: una especie en peligro de extinción".



**Figura 1.** Área geográfica en la que se circunscribe el trabajo de investigación. Estratificación del Golfo de California en cuatro regiones: región I, Río El Fuerte-Isla Tiburón; región II, Isla Tiburón-Río Colorado; región III, Río Colorado-Isla Ángel de la Guarda; región IV, Isla Ángel de la Guarda-Bahía Concepción.

### **Dinámica poblacional**

Durante las campañas de muestreo se colectaron 235 organismos. De cada organismo se registró la longitud total y la estándar (mm), y el peso total (g). Con los datos obtenidos se construyeron histogramas de frecuencias por longitud y peso, se determinó la relación longitud-peso, se obtuvo la función de crecimiento, y la relación morfométrica entre la longitud del pez y la longitud del otolito. Se construyeron mapas de distribución con capturas georeferenciadas. En general, se utilizaron los métodos tradicionales de dinámica poblacional (Beverton y Holt, 1959; Gayanilo *et al.*, 1995; Sparre y Venema, 1995). Se analiza la relación recurso-ambiente.

## **Biología reproductiva**

Se extrajeron las gónadas de machos y hembras de 211 organismos. Cada una de ellas fue pesada y fijada individualmente en un frasco de plástico con solución Davidson (Howard y Smith, 1983). Las muestras se transportaron al laboratorio de Histología del CIBNOR, donde se llevo a cabo el análisis histológico cualitativo y cuantitativo.

## **Histología**

Del total de 235 organismos capturados, se extrajeron y analizaron 211 gónadas, de las cuales 70 eran de machos, 82 de hembras y 59 indiferenciados. Se realizaron 3 cortes, de la parte anterior, media y posterior de ambos ovarios y testículos, cada sección se colocó en casetes para su deshidratación en una serie de alcoholes de menor a mayor concentración (70, 80, 90, 96 y 100%). Se aclararon en xileno y se infiltraron en Paraplast X-Tra con punto de fusión de 54-56°C, en un procesador automático de tejidos ASP 200. Las inclusiones en parafina se elaboraron en un Centro de Inclusión Histoembbeder, posteriormente, se obtuvieron cortes de cada gónada a 4  $\mu\text{m}$  de grosor con un micrótopo de rotación. Para el estudio histológico los tejidos fueron teñidos con hematoxilina y contrastados con eosina (H-E) (Sheenan y Hrapchak, 1980), que proporciona información general de los tejidos, sin variaciones importantes en sus resultados, los cortes se tiñeron en un equipo automático Auto-Stainer.

## ***Captura de imágenes***

Las imágenes de los cortes teñidos con H&E de las gónadas de ambos sexos se capturaron en un sistema de captura y análisis de Imágenes Image Pro Plus (versión 7.0), integrado por un microscopio compuesto marca Olympus BX50 y una cámara digital CoolSNAP-Pro conectada a una computadora Pentium III.

### ***Caracterización morfológica de los estadios de desarrollo ovárico y sub-estadios ovocitarios***

Para la descripción del desarrollo ovárico que consta principalmente de las etapas previtelogénesis, vitelogénesis y postvitelogénesis, se utilizó la tinción hematoxilina-eosina (HE). Las gónadas se analizaron cualitativa y cuantitativamente según la abundancia de los tipos celulares de la línea germinal. Aunque las características del desarrollo ovocitario son en general similares entre los teleósteos (Wallace y Selman, 1981) existen numerosas escalas de madurez y esquemas de clasificación de ovocitos (Yamamoto, 1956; Nagahama, 1983; Wallace y Selman, 1990; Tyler y Sumpter, 1996; De Vlaming, 1983; West, 1990). Estas clasificaciones son útiles para determinar aspectos de la biología reproductiva de las especies. Debido a la variedad de estrategias reproductivas, es menos probable que una misma clasificación sea válida para géneros diferentes (Bowers, 1992). Los criterios morfológicos para caracterizar el desarrollo de los ovarios y sus ovocitos en *T. macdonaldi* se establecieron según las características morfológicas de las etapas del ciclo ovárico en peces. Los sub-estadios ovocitarios que contiene cada estadio ovárico se establecieron con base a las descripciones del crecimiento y desarrollo de ovocitos general en teleósteos: ovocitos previtelogénicos (nucleolo-cromatina y perinucleolares), inicio de la vitelogénesis (alvéolos corticales e inclusiones lipídicas), vitelogénicos (gránulos o glóbulos de vitelo tempranos y avanzados), ovocito maduro (migración de la vesícula germinal) y desove (ovocitos hidratados).

Para la totoaba no está reportada una escala de desarrollo gonadal, ni descripción histológica de desarrollo ovocitario, por lo que en el presente trabajo proponemos una escala de 6 estadios de desarrollo ovárico y 9 subestadios ovocitarios, la cual está basada fundamentalmente en las descripciones del crecimiento y desarrollo de los peces teleósteos antes mencionadas. Hasta el momento con la totoaba se han observado 5 estadios, sin embargo en futuros muestreos se espera obtener el estadio 6 de posdesove "efectivo".

En base a la presencia y abundancia de los distintos tipos celulares de la línea germinal en hembras, la presencia de folículos postovulatorios y ovocitos en reabsorción o atrésicos, se determinaron los estados de desarrollo gonadal.

### ***Ciclo reproductivo***

Se construyeron gráficos de la frecuencia relativa de los diferentes estadios de desarrollo gonadal por sexo para describir el ciclo reproductivo de la totoaba durante el periodo 2010-2011.

### ***Indicadores de reproducción***

#### Proporción sexual

Se estimó la proporción de sexos dividiendo el número de hembras entre el número de machos, esto por fecha de muestreo y por el periodo de todas las campañas de muestreo. Para probar diferencias en la proporción sexual se aplicó la prueba estadística ji cuadrada ( $X^2$ ) (Sokal y Rohlf, 1981).

#### Índice gonadosomático (IGS)

Se estimó el índice gonadosomático usando la ecuación:

$$IGS = \left( \frac{PG}{PT - PG} \right) * 100$$

donde:

$IGS$  = Índice gonadosomático,

$PG$  = Peso de gónada (g),

$PT$  = Peso total del organismo (g).

#### Factor de condición

Se estimó el factor de condición de acuerdo a Bagenal y Tesch (1978):

$$FC = \left( \frac{PT}{LT^b} \right) * 100$$

donde:

$FC$  = Factor de condición,



$LT$  = Longitud total del organismo (mm),

$b$  = Parámetro de alometría de la relación peso-longitud total.

#### Talla de primera madurez poblacional

Para estimar la talla de primera madurez, solo se consideró a las hembras y a los machos que estuviesen en el estadio de madurez III en adelante, los cuales fueron determinados previamente mediante el análisis histológico. Estos organismos maduros fueron agrupados en intervalos de talla de 50 mm. A los datos de frecuencia acumulada por talla, se les aplicó el modelo logístico (Hoydal *et al.*, 1982; Sparre y Venema, 1995):

$$P = \frac{1}{1 + e^{a-c*LT}}$$

donde:

$P$  = Porcentaje de organismos maduros,

$a$  y  $c$  = Constantes de la regresión lineal.

La ecuación anterior puede ser reescrita como:

$$\ln\left(\frac{1}{P} - 1\right) = a - c * LT$$

que representa una línea recta, y aplicando manipulaciones algebraicas se establece que la talla de primera madurez ( $L_{50\%}$ ) =  $a/c$ .

#### Fecundidad parcial

Para estimar la fecundidad parcial se pudieron utilizar solo 11 organismos con gónadas en estadio avanzado, es decir, que tuvieran ovocitos hidratados y esparcidos en el lumen ovárico. Las gónadas previamente fijadas en una solución Davidson, se disectaron de la siguiente manera: se tomaron 3 porciones de aproximadamente 5 centímetros, la primera de la parte anterior, la segunda de la parte media y la tercera de la parte posterior. Las porciones de gónada disectada se pesaron y se colocaron en

recipientes con alcohol al 70% durante 1 día, esto permitió un mejor manejo en laboratorio. Posteriormente, se pasaron a cloro al 10% y renovado cada 24 horas, las porciones de gónada permanecieron en cloro 3 días, o hasta que facilitara la remoción manual de la membrana (túnica albugínea) que envuelve a los ovocitos (Choy, 1985). Una vez desprendida la membrana de los ovocitos, se pesó, y la masa de ovocitos se colocó en un set de 3 tamices, el superior de 700 micras, el de la parte media de 500 micras y el inferior de 400 micras. A continuación se separaron los ovocitos mediante chorros de agua, una vez obtenidos los ovocitos de diferentes tamaños se pesaron por separado (peso húmedo), y se colocaron en un recipiente etiquetado con el número de organismo y el tamaño del ovocito (700, 500, 400 micras). Se dejaron secar a temperatura ambiente dentro de una campana, y una vez secos se pesó toda la masa de ovocitos por tamaño (peso seco), y se guardaron en tubos para su posterior conteo.

Para el conteo de ovocitos se tomó una muestra de 0.01 g por triplicado de cada uno de los 3 tamaños (700, 500 y 400 micras) de huevos tamizados por organismo. Finalmente, se realizó el conteo de los huevos con la ayuda de un microscopio estereoscópico y de un contador (Veeder-Root). De este número de huevos contados por triplicado, se obtuvo un promedio para cada uno de los tres tamaños, y se extrapoló al peso de la gónada (previamente restado el peso de la túnica), calculando así la fecundidad parcial. Los datos observados de fecundidad parcial (número de huevos) y longitud total (mm) fueron ajustados a un modelo de potencia.

## **Ecología trófica**

De los organismos que no presentaron el estomago evertido se extrajo el tracto digestivo completo y fueron conservados individualmente en una solución de formaldehído al 10% para su posterior análisis en el laboratorio de Recursos Nectónicos del CIBNOR en La Paz, Baja California Sur.

## **Análisis cualitativo**

Los estómagos fueron disectados pesando su contenido total. Los organismos o partes de ellos que se encontraron fueron separados por categoría en grupos semejantes. Con la ayuda de un microscopio estereoscópico y dependiendo del grado de digestión de las presas cada una de ellas fue identificada hasta el mínimo taxón posible. Se registraron datos del número de organismos por cada grupo taxonómico y el peso individual para posteriormente hacer un análisis cuantitativo.

Para las presas intactas o casi completas se utilizaron claves taxonómicas convencionales, que se apoyan en caracteres de morfología externa. Para peces se utilizaron las claves generales de Fischer *et al.* (1995), y trabajos especializados en grupos específicos como los de Whitehead *et al.* (1988) para Clupeiformes, Crabtree (1989) para *Colpichthys*, y Walker y Radford (1992) para *Umbrina*. Cuando los peces presentaban un avanzado grado de digestión dentro de los estómagos, se utilizó el esqueleto axial y apendicular utilizando las claves de Clothier (1950) y los trabajos de Miller y Jorgensen (1973) y Monod (1968).

Los crustáceos se identificaron por medio de los exoesqueletos o restos de éstos, mediante las claves de Fischer *et al.* (1995), Brusca (1980) y Hendrickx (1996, 1997). Para cefalópodos se utilizaron las claves de Fischer *et al.* (1995).

## **Análisis cuantitativo**

La composición cuantitativa de la dieta se analizó usando los métodos Numérico (%N), Gravimétrico (%P) y de Frecuencia de Aparición (%FA) (Cailliet *et al.*, 1986), y a partir de ellos se calculó el IIR (Pinkas *et al.*, 1971).

### **a) Método numérico (%N)**

Con este método se ponderó la importancia numérica de las presas en la dieta total. Para ello se enumera el número de presas de una determinada categoría o especie encontrada en todos los estómagos, y este valor se dividió por el número total de

presas en todos los estómagos. El cociente se multiplica por 100 para tener el porcentaje del total (%N).

### ***b) Método Gravimétrico (%P)***

Con este método se ponderó la importancia en biomasa, en peso húmedo según como lo describe (Hyslop, 1980). Para esto se registró el peso de las presas del grupo o especie encontrada en todos los estómagos, y ese valor se dividió por el peso de todas las presas en todos los estómagos. El cociente se multiplica por 100 para tener el porcentaje del total (%P).

### ***c) Método de frecuencia de aparición (%FA)***

El método de frecuencia de aparición descrito por Cailliet *et al.* (1986) fue utilizado para ponderar la frecuencia de aparición de cada presa en la dieta total. Con este fin se registró el número de estómagos en los cuales apareció cada presa específica, y el resultado se multiplicó por 100 para obtener el porcentaje de aparición en el número total de estómagos analizados (%FA).

### **Índice de importancia relativa (IIR)**

Cuando se utiliza los resultados de los métodos cuantitativos por separado (Numérico, Gravimétrico o Frecuencia de Aparición) es fácil subestimar el valor de algunas presas en la dieta. Por ejemplo, una presa puede ser muy numerosa en los estómagos pero su aporte en biomasa puede ser minúsculo, o por el contrario una presa pudiera ser grande y por tanto de gran importancia en términos de biomasa, pero puede ser muy poco frecuente en la dieta de la especie. Por ello, Pinkas *et al.* (1971) diseñaron un índice integral, el *IIR*, que incorpora los tres métodos en la siguiente fórmula:

$$IIR = (\%N + \%P) * \%FA$$

donde:

*N* = Porcentaje del número de presas.

$P$  = Porcentaje del peso.

$FA$  = Porcentaje de Frecuencia de Aparición.

### **Amplitud trófica**

Para determinar la amplitud del espectro trófico de cada especie-presa se empleó el índice estandarizado de Levin (Hurlbert, 1978; Krebs, 1989), mediante la siguiente fórmula:

$$Bi = \frac{1}{n - 1} \left( \frac{1}{\sum_j p_{ij}^2} \right)$$

donde:  $Bi$  es el índice estandarizado de Levin para el depredador  $i$ ;  $P_{ij}$  es la proporción de la presa  $j$  en la dieta del depredador  $i$ ; y  $n$  corresponde al número de componentes alimentarios.

Este índice asume valores de 0 a 1. Cuando los valores de  $Bi$  son cercanos a cero, el depredador se considera especialista, debido a que utiliza un número bajo de recursos y presenta una preferencia por ciertos componentes. Cuando los valores son cercanos a uno, su espectro es generalista, lo que indica que utiliza todos los recursos sin ninguna selección.

### **Tamaño de muestra**

Para establecer si el número de estómagos analizados fue representativo o suficiente para caracterizar el espectro trófico de la totoaba, se utilizó la metodología propuesta por Hoffman (1978). Esta consiste en graficar en el eje horizontal el número de estómagos analizados contra la diversidad acumulada en el  $i$ -ésimo estómago revisado en el eje vertical. La diversidad se estimó con el Índice de Shannon-Wiener (Krebs, 1989). La diversidad se va incrementando conforme aumenta el número de estómagos analizados, sin embargo llega a un límite en el cual la curva se estabiliza ya que no aparecen presas nuevas en los estómagos. Este punto donde la curva se estabiliza corresponde al número de estómagos mínimos necesarios para tener una adecuada

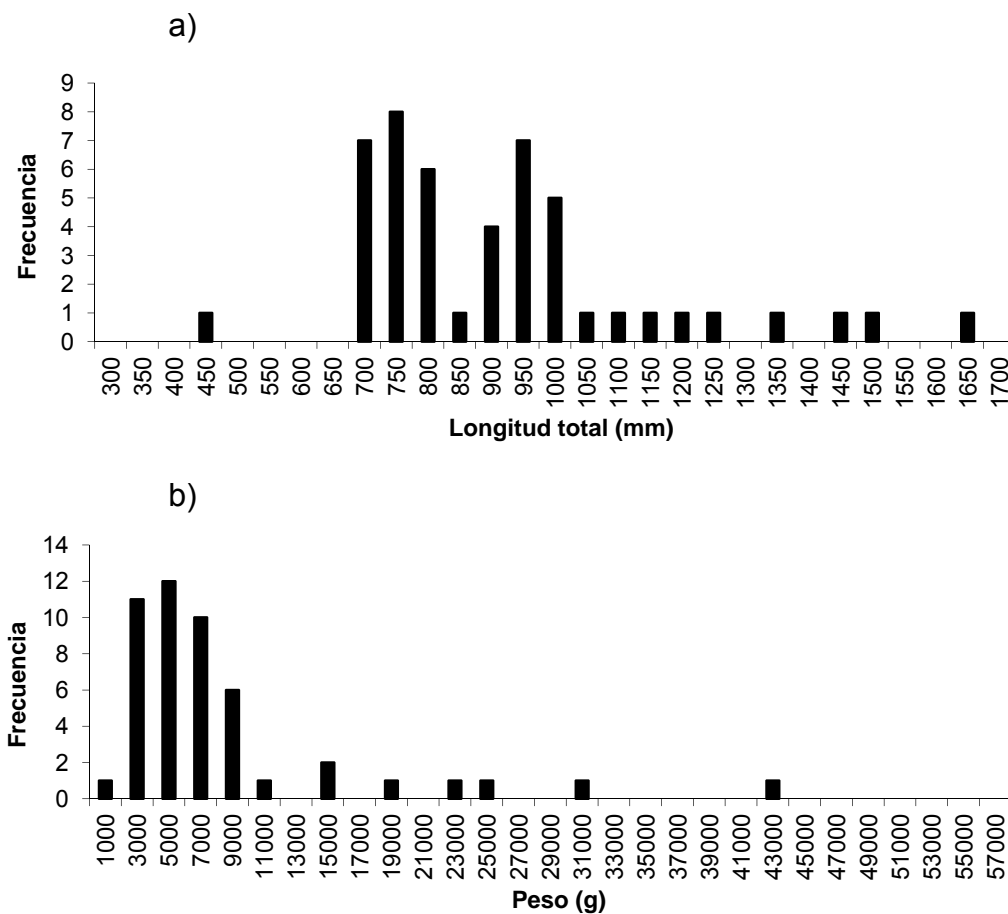
descripción de la dieta. El análisis se realizó seleccionando los estómagos de manera aleatoria para evitar posibles efectos debidos a las variaciones temporales.

## RESULTADOS

### Dinámica poblacional

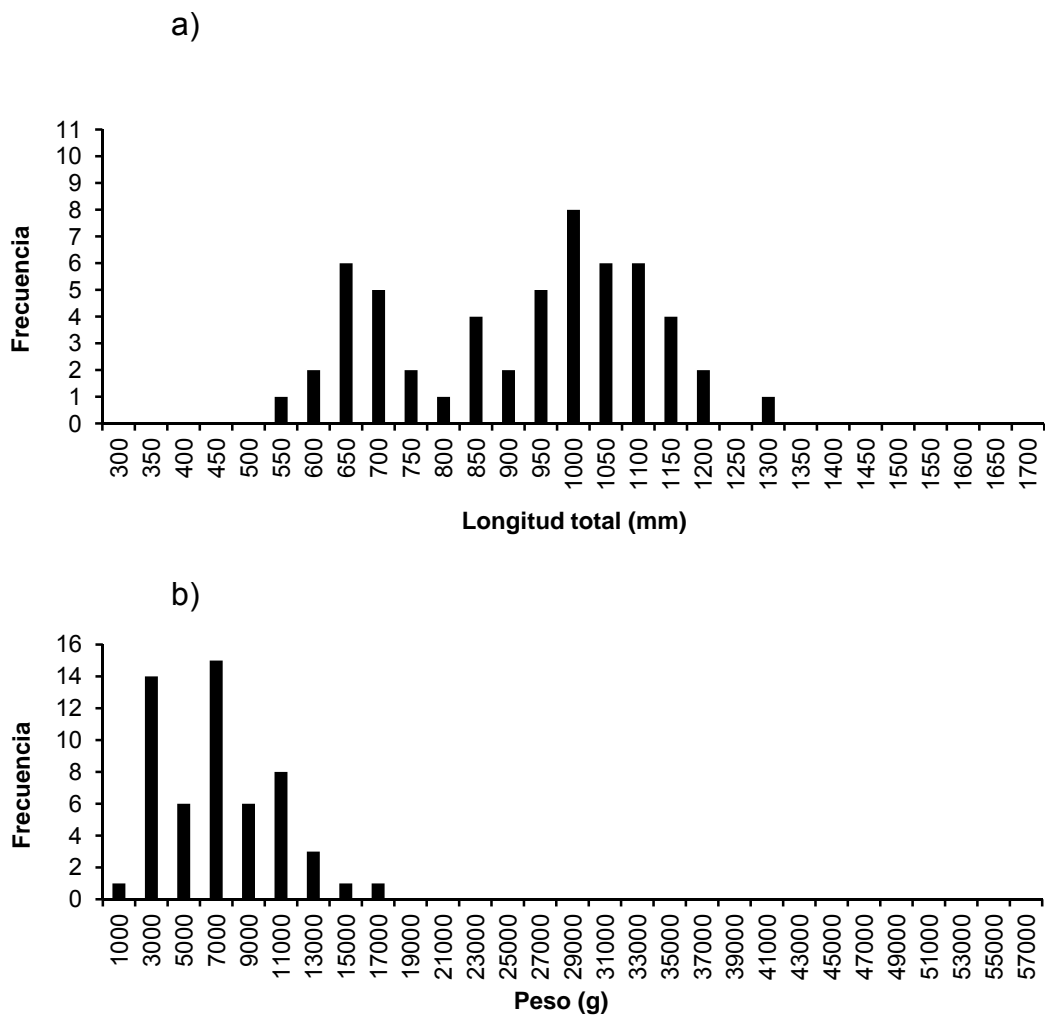
#### Estructura por longitud y peso

La composición por longitud en el muestreo de abril-mayo de 2010 (correspondiente a las regiones II y III), presentó un intervalo de variación entre 450 y 1,650 mm de longitud total (LT), con longitudes modales en los intervalos de 700, 750, 800 y 950 mm de LT (Fig. 2a). La composición en peso, mostró un intervalo entre 1,000 y 43,000 g, con pesos modales en los intervalos de 3,000 a 7,000 g. La captura en su gran mayoría estuvo constituida por organismos juveniles (machorros), salvo 5 organismos que se capturaron con red que fueron adultos reproductores con pesos superiores a los 19,000 g (Fig. 2b).



**Figura 2.** a) Estructura por clase de longitud y b) Estructura en peso total de totoaba en el Alto Golfo de California en los meses de abril-mayo de 2010.

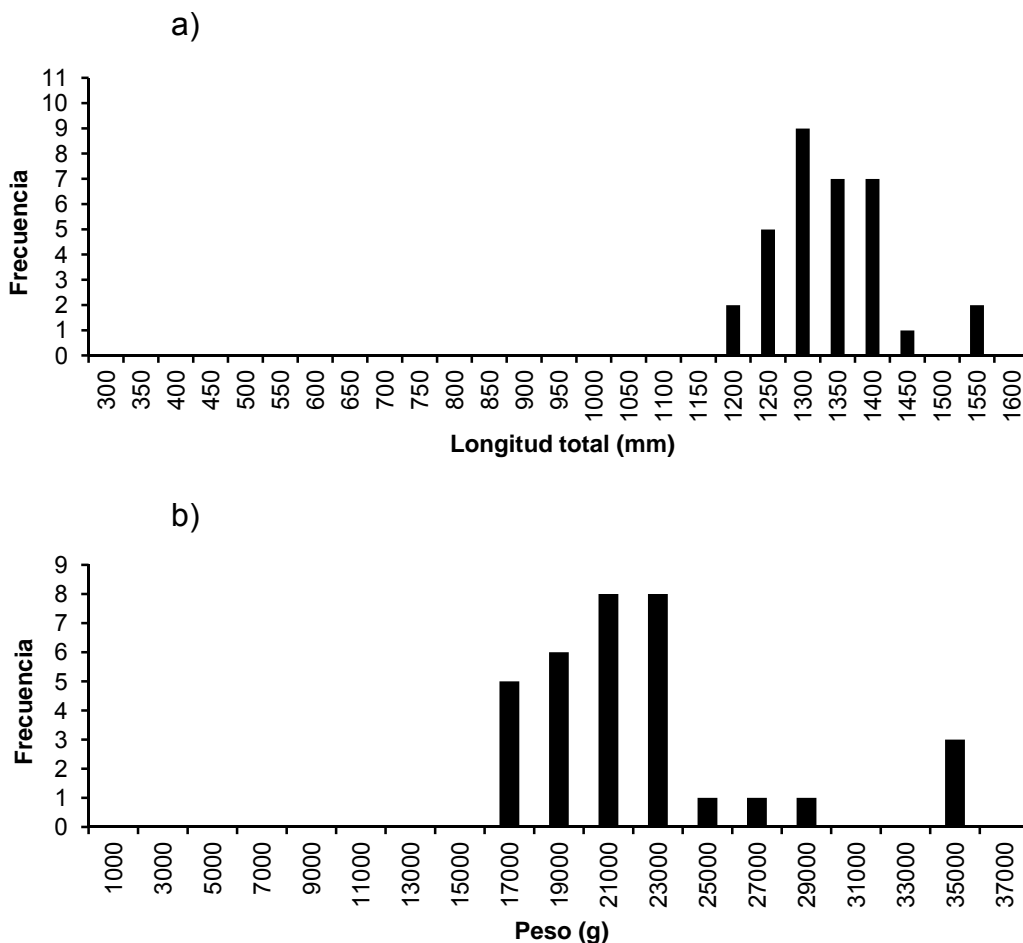
En el muestreo de noviembre de 2010 (correspondiente a la región III) la estructura por longitud, presentó un intervalo de variación entre 550 y 1,300 mm de LT, con tallas modales en los intervalos de 650 y 1000 mm de LT (Fig. 3a). La composición en peso, mostró un intervalo entre 1,000 y 17,000 g, con pesos modales en los intervalos de 3,000 y 7,000 g. La captura en su totalidad estuvo constituida por organismos juveniles (machorros) (Fig. 3b).



**Figura 3.** a) Estructura por clase de longitud de totoaba en el Alto Golfo de California en el mes de noviembre de 2010, b) Estructura en peso total.



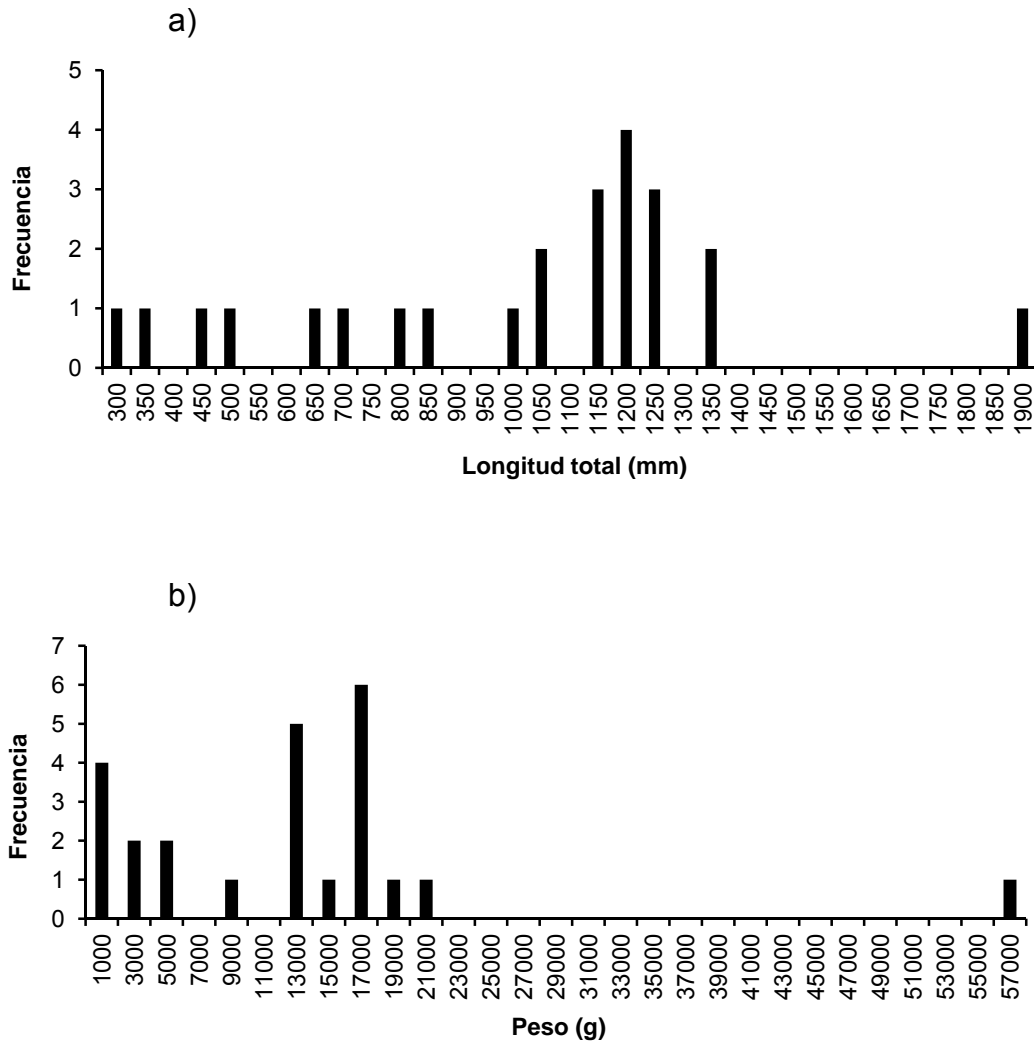
Para el muestreo de febrero de 2011 (correspondiente a las regiones II y III) la composición por longitud mostró un intervalo de variación de organismos adultos que van de los 1,200 a los 1,550 mm de LT, con longitud modal en el intervalo de 1,300 mm de LT (Fig. 4a). La composición en peso, mostró un intervalo entre los 17,000 y los 35,000 g, con pesos modales en los intervalos de 21,000 y 23,000 g. La captura en su gran mayoría estuvo establecida por organismos adultos (Fig. 4b).



**Figura 4.** a) Estructura por clase de longitud de totoaba en el Alto Golfo de California en el mes de febrero de 2011, b) Estructura en peso total.

En el muestreo de marzo de 2011 (correspondiente a las regiones II y III), la estructura por tallas presentó un intervalo de variación que involucra tanto organismos

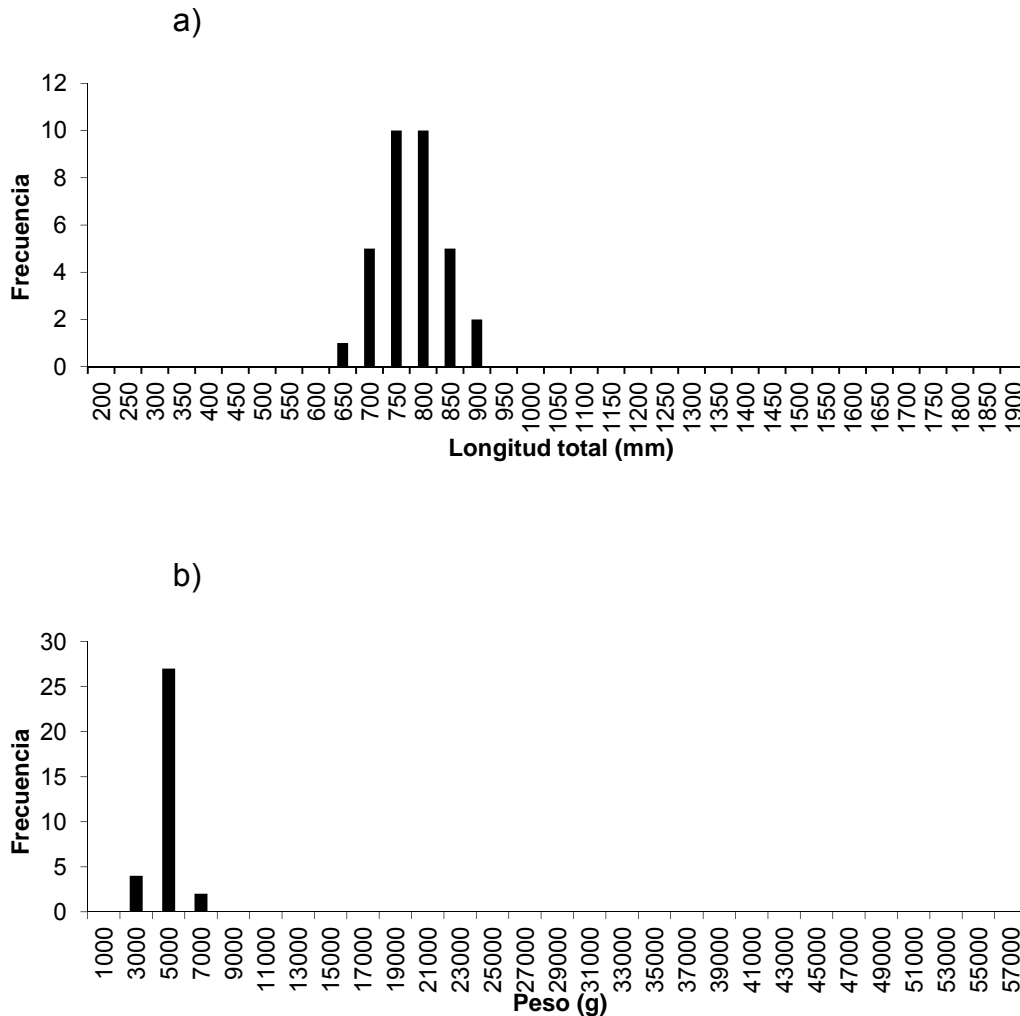
juveniles (machorros) como adultos reproductores, que van de 300 a 1,900 mm de LT, con longitud modal en los intervalos de 1,150, 1,200 y 1,250 mm de LT (Fig. 5a). La composición en peso, mostró un intervalo entre 1,000 y 57,000 g, con peso modal en el intervalo de 17,000 g (Fig. 5b).



**Figura 5.** a) Estructura por clase de longitud de totoaba en el Alto Golfo de California en el mes de marzo de 2011, b) Estructura en peso total.

La composición por longitud en el muestreo de septiembre de 2011 (correspondiente a las regiones II y III), presentó un intervalo de variación entre 650 y 900 mm de LT, con longitudes modales en los intervalos de 750 y 800 mm de LT (Fig. 2a). La composición

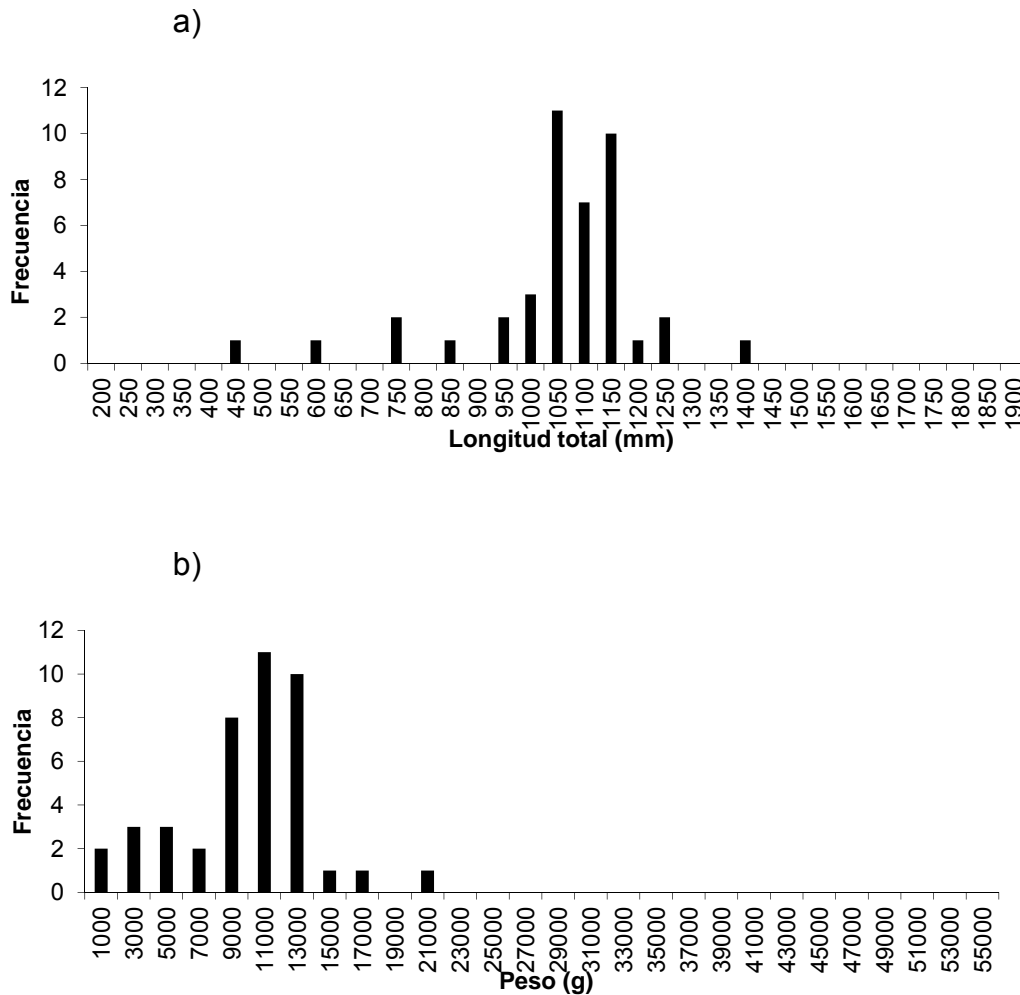
en peso, mostró un intervalo entre 3,000 y 7,000 g, con un peso modal en 5,000 g. La captura estuvo formada por organismos juveniles de bajo peso. (Fig. 6b).



**Figura 6.** a) Estructura por clase de longitud de totoaba en el Alto Golfo de California en el mes de septiembre de 2011, b) Estructura en peso total.

En el muestreo de diciembre de 2011 (correspondiente a las regiones I, II y III), la estructura por longitud presentó un intervalo de variación entre 450 y 1,400 mm de LT, con tallas modales en los intervalos de 1050 y 1150 mm de LT (Fig. 7a). La composición en peso, mostró un intervalo entre 1,000 y 21,000 g, con pesos modales en los intervalos de 11,000 y 13,000 g. La captura en su totalidad estuvo constituida por

organismos juveniles, pero más grandes y con mayor peso que los del muestreo de septiembre (Fig. 7b).

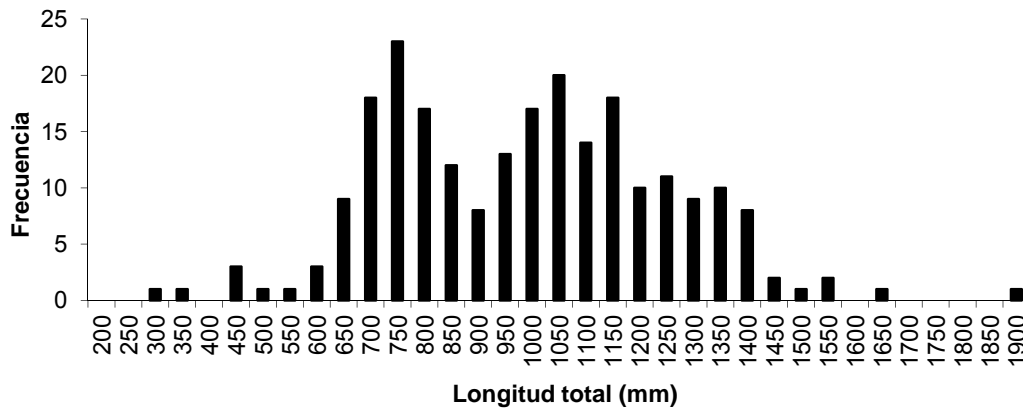


**Figura 7.** a) Estructura por clase de longitud de totoaba en el Alto Golfo de California en el mes de diciembre de 2011, b) Estructura en peso total.

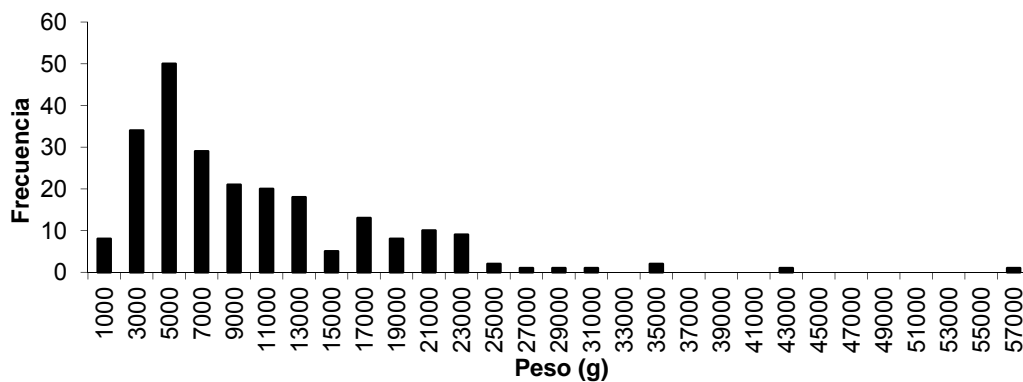
La estructura por clase de longitud de las 6 campañas de muestreo correspondientes a las regiones I, II y III, se muestra en la figura 8, y estadísticos generales en la tabla 1. El intervalo de variación estuvo entre 280 y 1,860 mm de LT, con modas en los intervalos de 750, 1050 y 1150 mm de LT (Fig. 8a). En el histograma de longitud se observa que la captura en su totalidad estuvo establecida tanto por peces juveniles como por adultos

reproductores. La composición en peso, mostró un intervalo entre 190 y 57,000 g, con pesos modales en los intervalos de 3,000, 5,000 y 7,000 g (Fig. 8b).

a)



b)

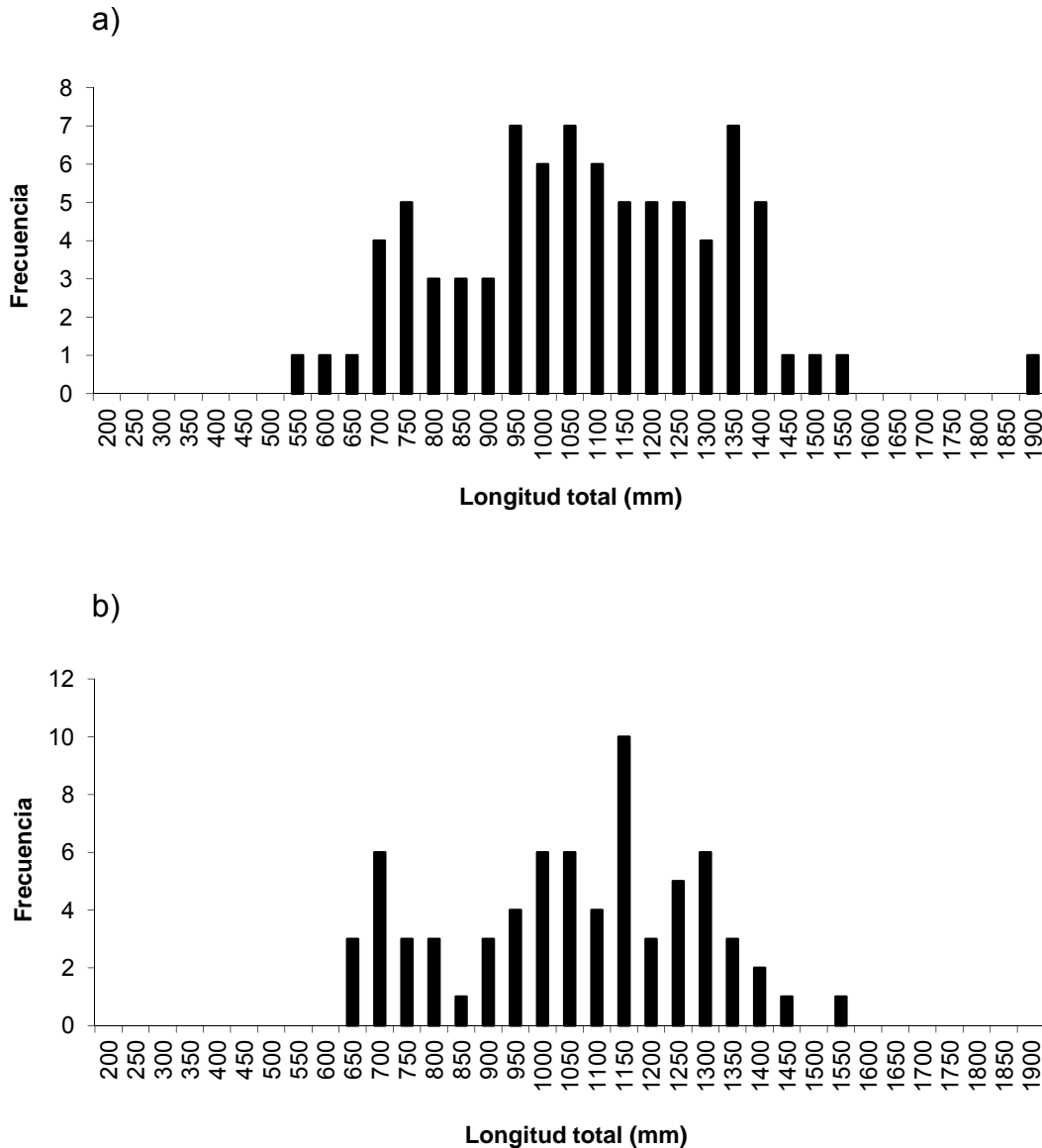


**Figura 8.** a) Estructura por clase de longitud y b) Estructura en peso de totoaba en el Golfo de California durante el periodo de muestreo (1 año).

**Tabla 1.** Longitud y peso promedio, desviación estándar, longitud máxima y mínima registradas durante las 6 campañas de muestreo de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el Golfo de California.

Variables	Longitud total (mm)	Peso total (g)
Media	965	9,448
Desviación Estándar	259	8,133
Máximo	1,860	57,000
Mínimo	280	190

La estructura por clase de longitud por sexo de las 6 campañas de muestreo se muestra en la figura 9, y estadísticos generales en la tabla 2. El intervalo de variación para hembras estuvo entre 520 y 1,860 mm de LT, con modas en los intervalos de 950, 1050 y 1350 mm de LT (Fig. 9a). El intervalo de variación para machos estuvo entre 630 y 1535 mm de LT, con moda en 1150 mm de LT (Fig. 9b).



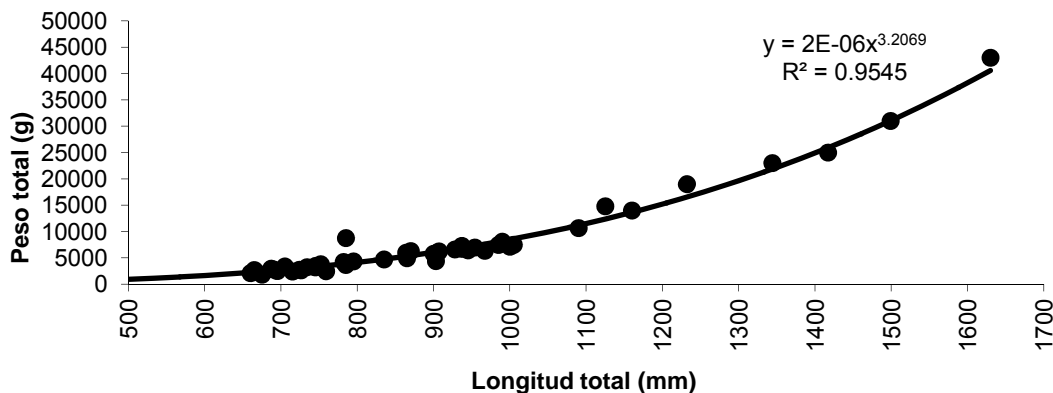
**Figura 9.** a) Estructura de longitud de hembras y b) Estructura de longitud de machos de totoaba en el Golfo de California durante el periodo de muestreo (1 año).

**Tabla 2.** Longitud total media, desviación estándar, longitud máxima y mínima por sexo, registradas durante las 6 campañas de muestreo de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el Golfo de California.

Variables	Longitud total (mm)		Peso total (g)
	Hembra	Macho	
Media	1,058	1,032	
Desviación Estándar	250	225	
Máximo	1,860	1,535	
Mínimo	520	630	

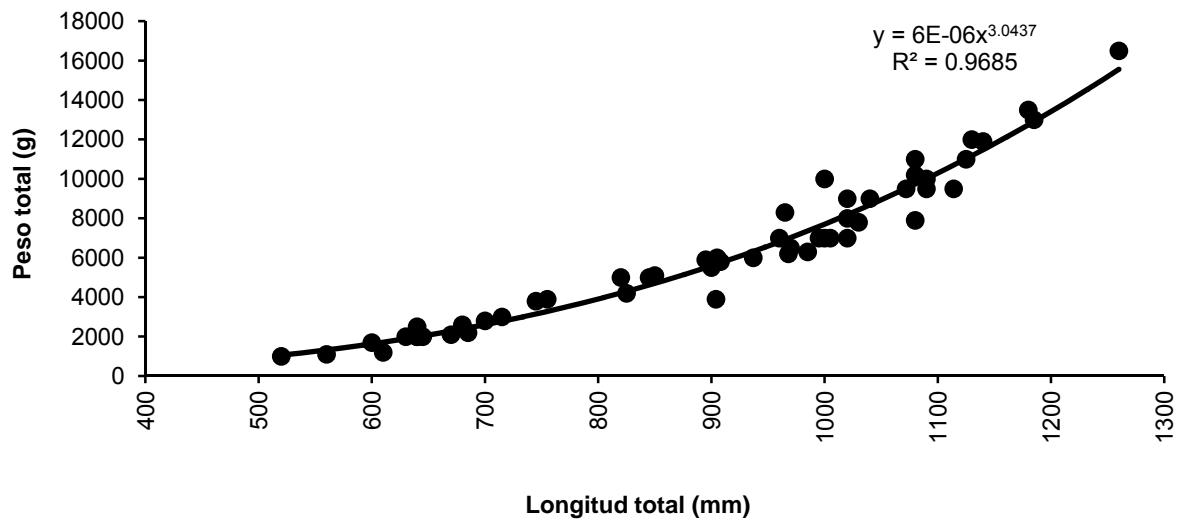
### Relación longitud-peso

Los datos observados (regiones II y III) de longitud total (mm) y peso (g) fueron ajustados a una regresión potencial de la forma  $P = aL^b$ , donde  $a$  es el factor de condición (cambios relativos al peso) y  $b$  es el parámetro de ajuste (tipo de crecimiento). La figura 10 muestra el ajuste de dicha relación. La prueba “F” aplicada al modelo fue significativa al 95% ( $p < 0.05$ ). La prueba “t” aplicada a los valores de  $b$ , bajo la hipótesis de que  $b = 3$ , mostró que las diferencias no fueron significativas ( $p > 0.05$ ), sugiriendo un crecimiento isométrico.



**Figura 10.** Relación longitud-peso de totoaba en el Golfo de California en los meses de abril-mayo de 2010.

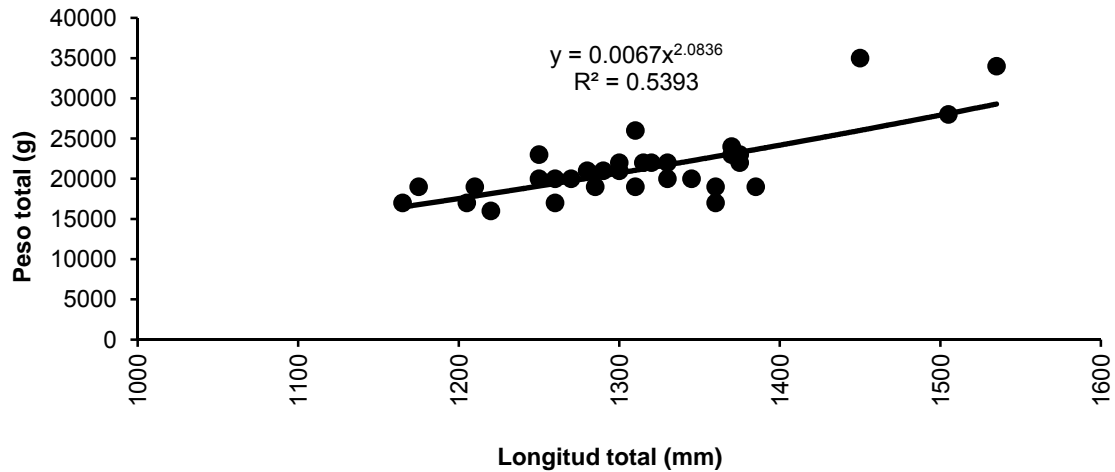
Por lo que respecta a los datos observados (región III) de longitud total (mm) y peso (g) en el mes de noviembre de 2010, y al igual que en el primer muestreo, la prueba “F” aplicada al modelo fue significativa al 95% ( $p < 0.05$ ). La prueba “t” aplicada a los valores de  $b$ , bajo la hipótesis de que  $b = 3$ , mostró que las diferencias no fueron significativas ( $p > 0.05$ ), siendo consistentes con el crecimiento isométrico del primer muestreo (Fig. 11).



**Figura 11.** Relación longitud-peso de totoaba en el Golfo de California en el mes de noviembre de 2010.

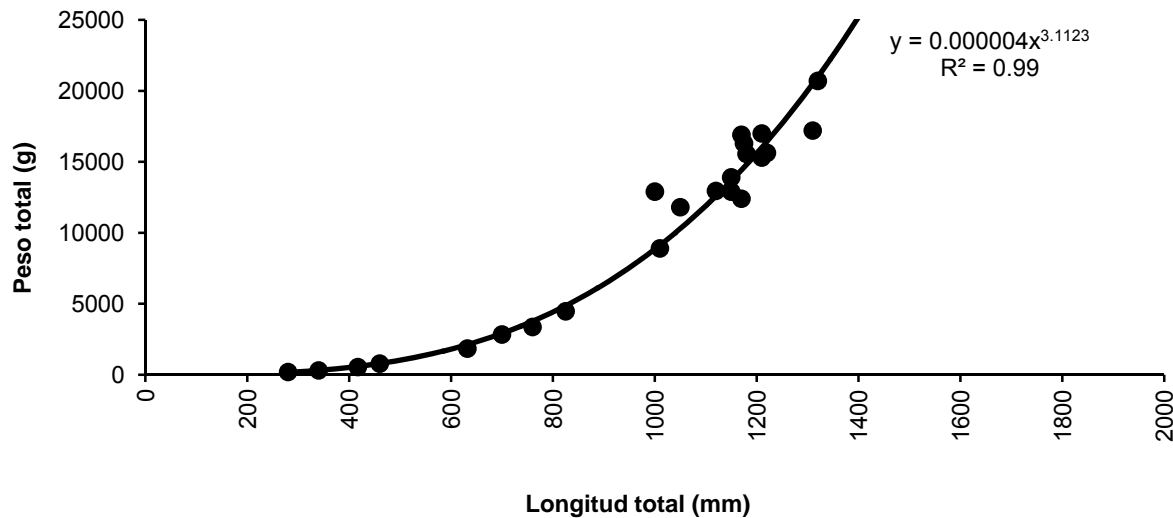
Respecto a los datos observados (regiones II y III) de longitud total (mm) y peso (g) en el mes de febrero de 2011, y al igual que en los primeros dos muestreos, la prueba “F” aplicada al modelo fue significativa al 95% ( $p < 0.05$ ), y la prueba “t” aplicada a los valores de  $b$ , mostró que las diferencias fueron significativas ( $p < 0.05$ ). En este caso mostrando un crecimiento alométrico, y con baja correlación (Fig. 12).





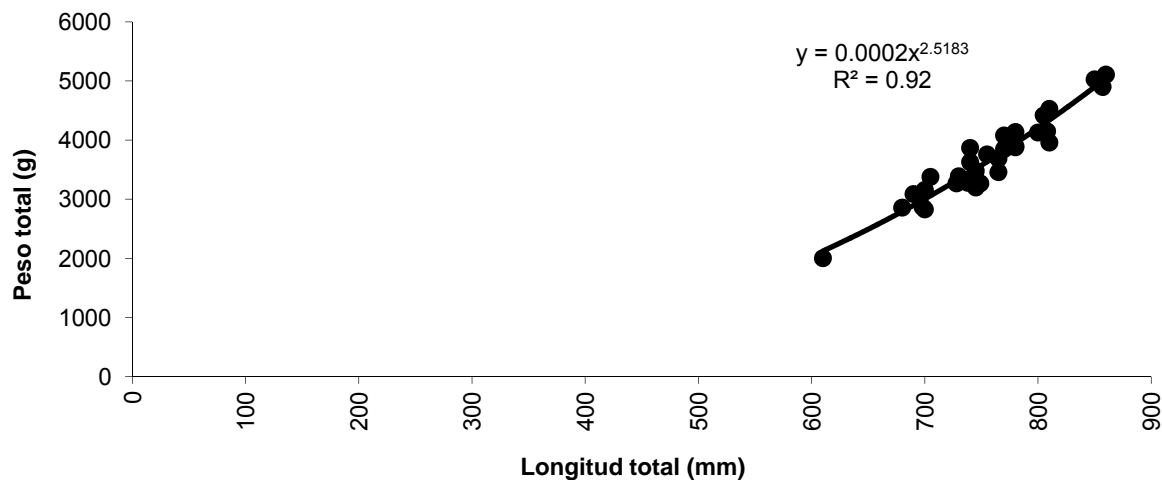
**Figura 12.** Relación longitud-peso de totoaba en el Golfo de California en el mes de febrero de 2011.

Por lo que respecta a los datos observados (regiones II y III) en el mes de marzo de 2011, y al igual que en los dos primeros muestreos, la prueba “F” aplicada al modelo fue significativa al 95% ( $p < 0.05$ ). La prueba “t” aplicada a los valores de  $b$ , bajo la hipótesis de que  $b = 3$ , mostró que las diferencias no fueron significativas ( $p > 0.05$ ), siendo consistentes con el crecimiento isométrico (Fig. 13).



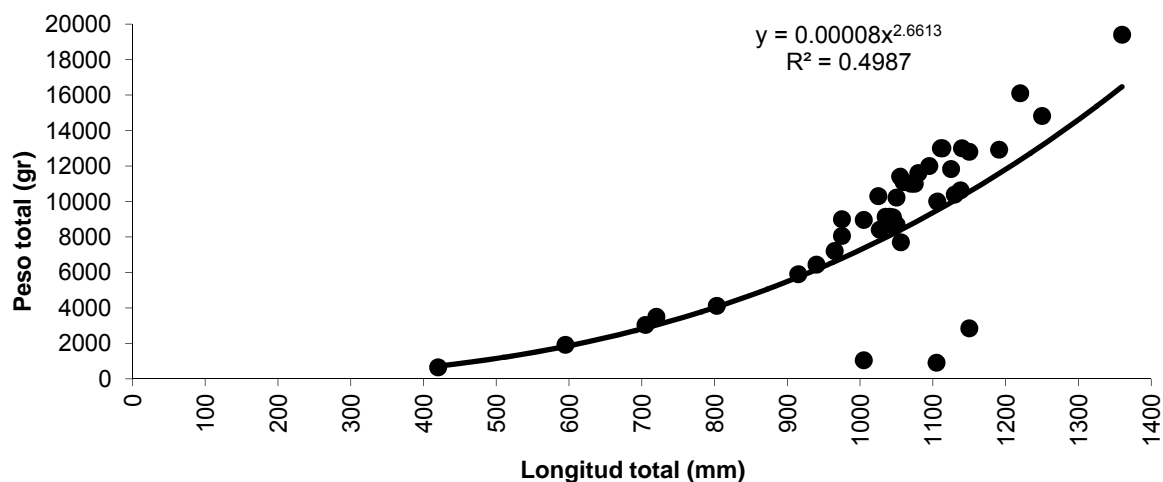
**Figura 13.** Relación longitud-peso de totoaba en el Golfo de California en el mes de marzo de 2011.

Los datos observados (regiones II y III) en el mes de septiembre de 2011, y al igual que en el muestreo de febrero del mismo año, la prueba “F” aplicada al modelo fue significativa al 95% ( $p < 0.05$ ), y la prueba “t” aplicada a los valores de  $b$ , bajo la hipótesis de que  $b = 3$ , mostró que las diferencias fueron significativas ( $p < 0.05$ ), mostrando en este caso también un crecimiento alométrico (Fig. 14). En ambos muestreos el intervalo de longitud fue pequeño, aunque en este último caso con alta correlación ( $R^2=0.92$ ).



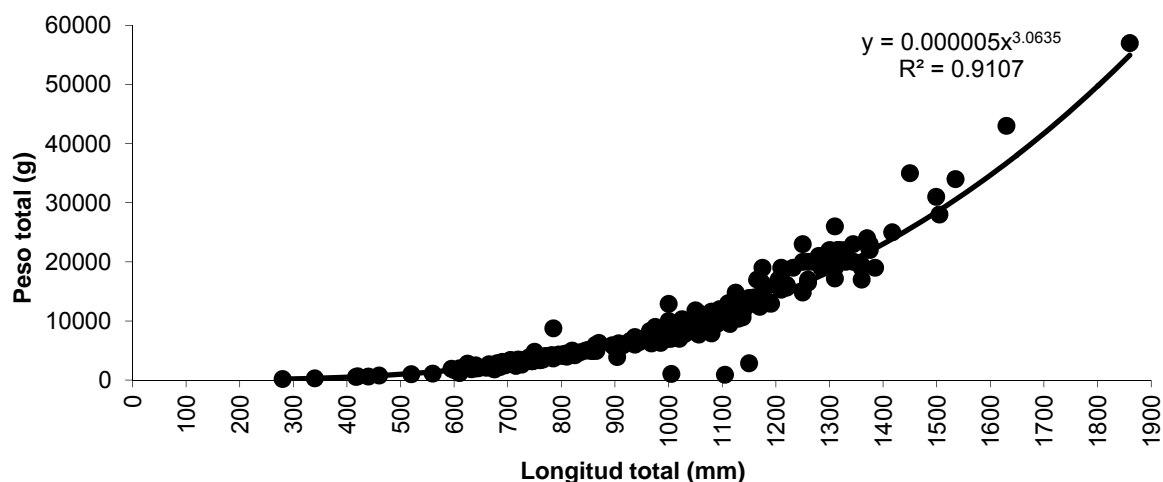
**Figura 14.** Relación longitud-peso de totoaba en el Golfo de California en el mes de septiembre de 2011.

Por lo que respecta a los datos observados (regiones I, II y III) de longitud y peso en el mes de diciembre de 2011, la prueba “F” aplicada al modelo fue significativa al 95% ( $p < 0.05$ ), y la prueba “t” aplicada a los valores de  $b$ , bajo la hipótesis de que  $b = 3$ , mostró que las diferencias no fueron significativas ( $p > 0.05$ ), siendo consistentes con el crecimiento isométrico (Fig. 15).



**Figura 15.** Relación longitud-peso de totoaba en el Golfo de California en el mes de diciembre de 2011.

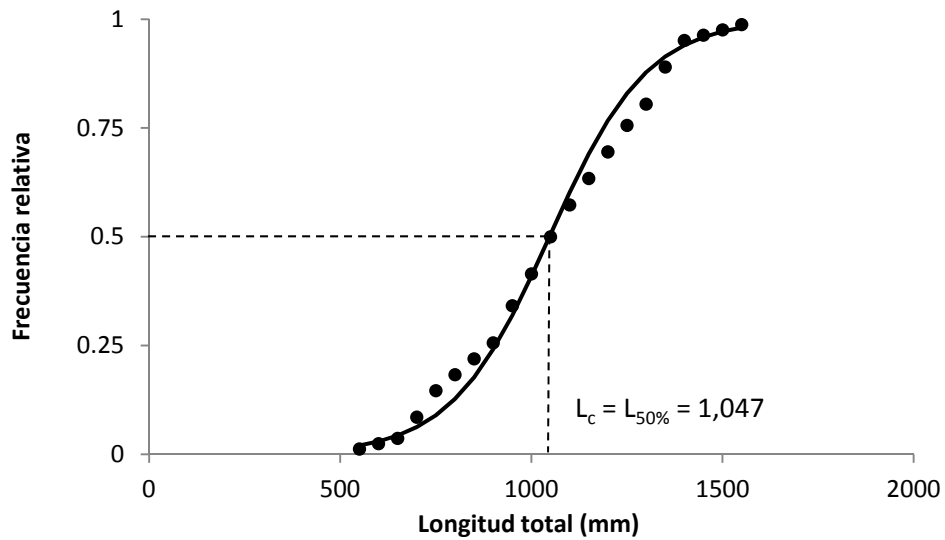
Los datos observados de longitud total (mm) y peso (g) de los seis muestreos realizados en las regiones I, II y III, y su ajuste a una regresión de potencia son mostrados en la figura 16. La prueba “F” aplicada al modelo fue significativa al 95% ( $p < 0.05$ ), y la prueba “t” aplicada a los valores de  $b$ , mostró que las diferencias no fueron significativas ( $p > 0.05$ ), corroborando un crecimiento isométrico de la especie.



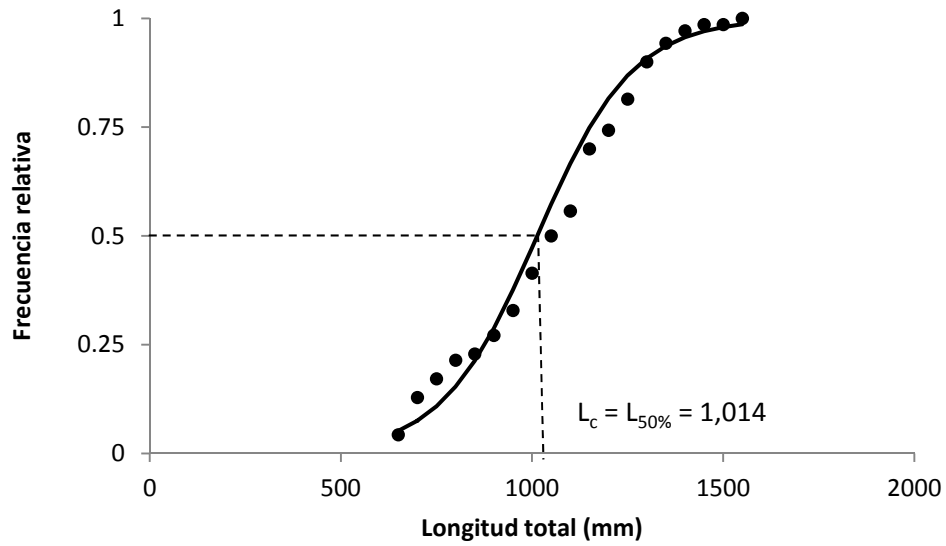
**Figura 16.** Relación longitud-peso correspondiente a las seis campañas de muestreo de totoaba en el Golfo de California.

## Talla de primera captura

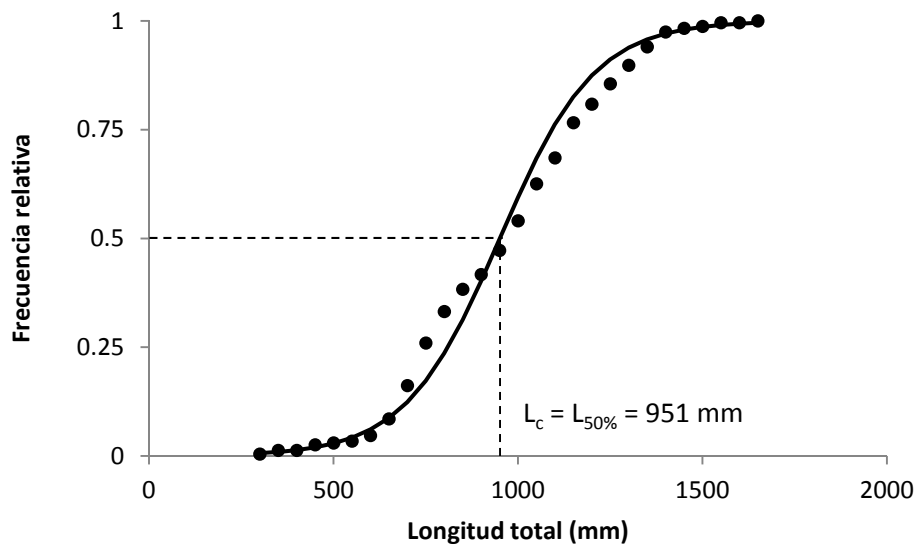
La talla de primera captura poblacional ( $L_{50\%}$ ) para las hembras fue de 1,047 mm LT (Fig. 17), para machos fue de 1,014 mm LT (Fig. 18), y considerando todos los organismos capturados fue de 951 mm LT (Fig. 19). La prueba “F” aplicada a los modelos y la prueba “t” aplicada a los parámetros de los modelos, en todos los casos, fueron altamente significativos ( $p < 0.01$ ) (Tabla 3).



**Figura 17.** Talla de primera captura poblacional ( $L_{50\%}$ ) para hembras de totoaba en el periodo 2010-2011 en el Golfo de California.



**Figura 18.** Talla de primera captura poblacional ( $L_{50\%}$ ) para machos de totoaba en el periodo 2010-2011 en el Golfo de California.



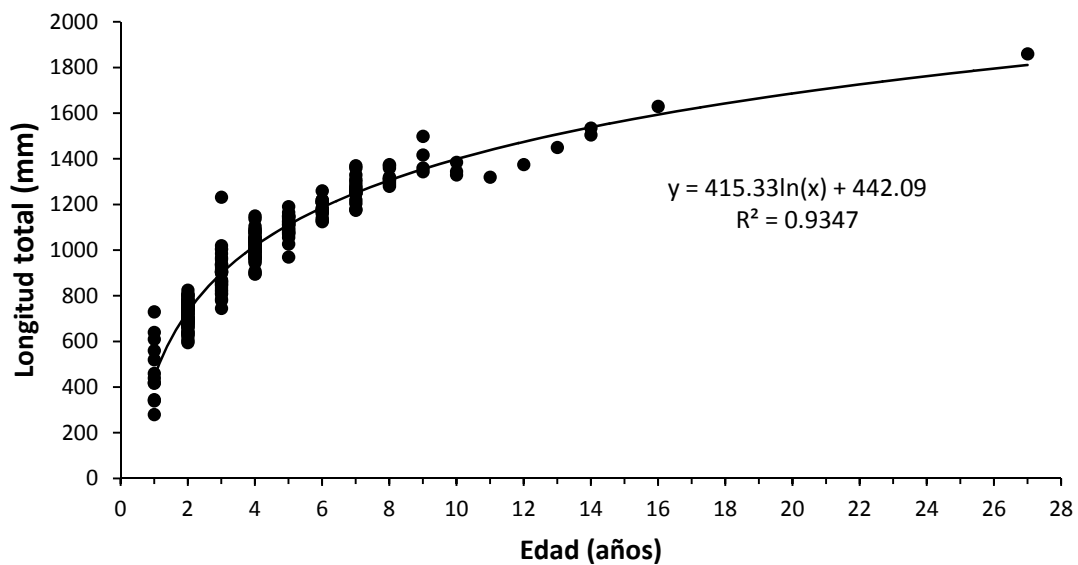
**Figura 19.** Talla de primera captura poblacional ( $L_c=L_{50\%}$ ) para el total de organismos capturados de totoaba en el periodo 2010-2011 en el Golfo de California.

**Tabla 3.** Talla de primera captura y estadísticos asociados a los modelos para hembras, machos y el total de organismos capturados en el Golfo de California.

	Hembras	Machos	Total
$L_{50\%}$	1,047	1,014	951
<b>a</b>	8.1683**	8.1087**	7.4172**
<b>b</b>	0.0078**	0.0080**	0.0078**
$R^2_{adj}$	0.98	0.97	0.99
<b>N</b>	82	70	228

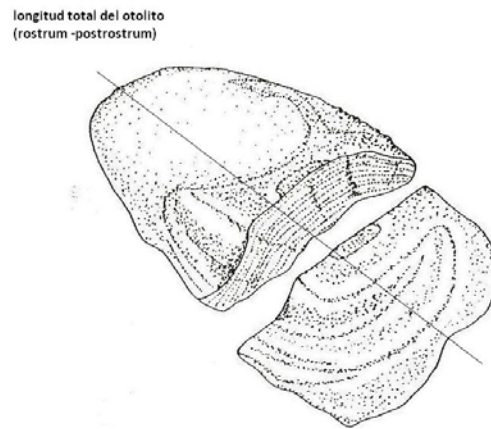
### Edad y crecimiento

La edad máxima calculada para los organismos capturados durante los muestreos de este estudio fue de 27 años para un organismo de 1,860 mm de LT, lo anterior con base en el modelo que describe la relación longitud del otolito (rostrum-postrostrum) vs edad propuesto para la especie por Román-Rodríguez y Hammann (1997) (Fig. 20).

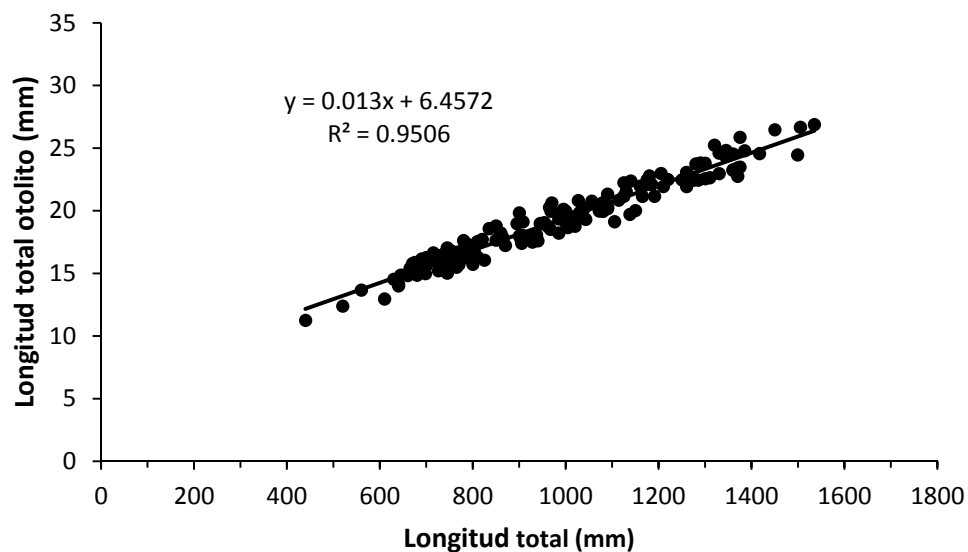


**Figura 20.** Edad calculada para la especie *Totoaba macdonaldi* a partir de la relación longitud total del otolito vs edad.

También se obtuvieron las medidas del otolito sin seccionar para conocer si existía una relación entre el largo del otolito y la longitud total del pez. El largo total del otolito se consideró desde un extremo hasta el otro en la parte dorsal del otolito (Fig. 21). La relación entre estas dos medidas quedó representada por una ecuación lineal dado que ambas medidas representan vectores lineales y el coeficiente de correlación nos indica una relación estrecha entre ellas (Fig. 22).

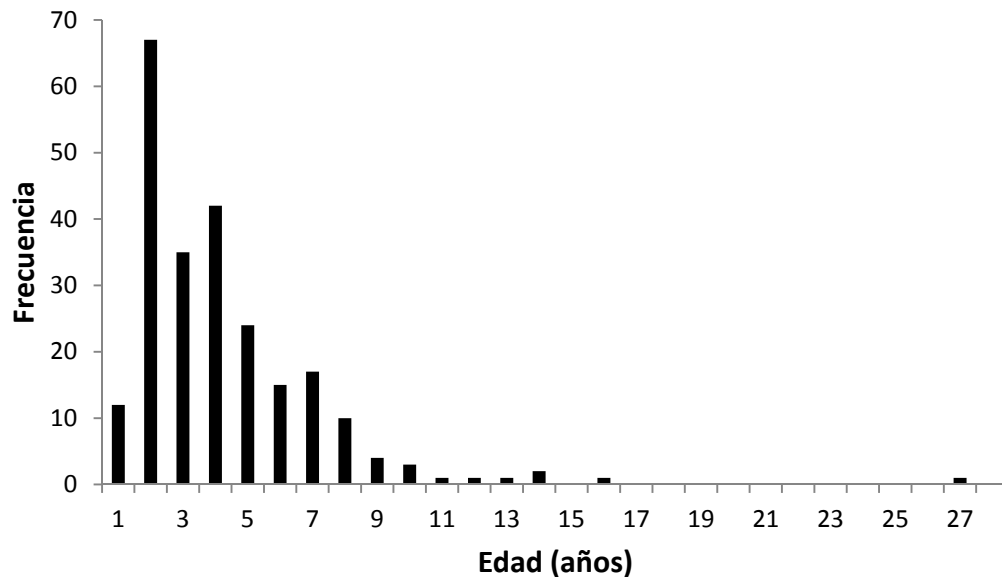


**Figura 21.** Esquema de un otolito de *Totoaba macdonaldi*, señalando la longitud rostro-postrostrum (Dibujo de J. R. Campoy F.).



**Figura 22.** Relación lineal de longitud total del pez vs longitud total del otolito para la especie *Totoaba macdonaldi*.

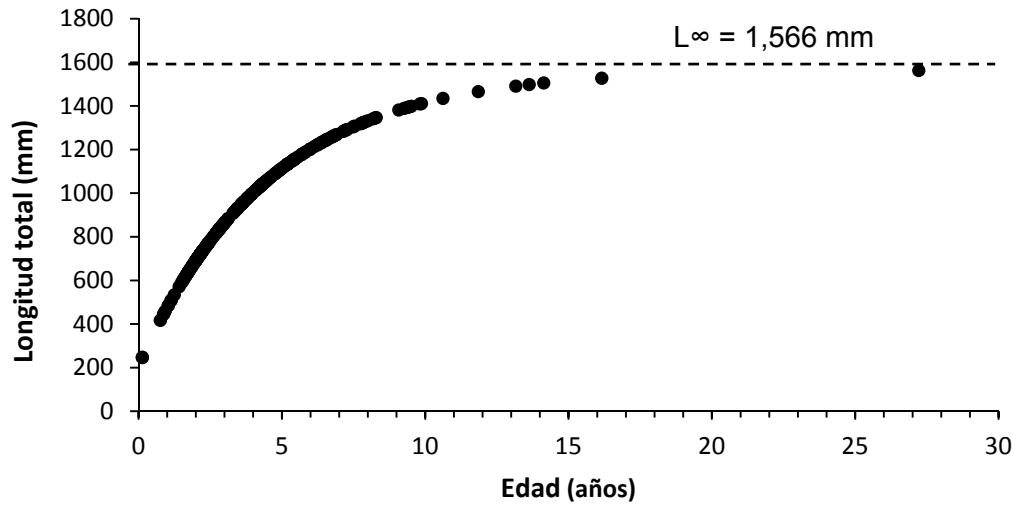
La estructura por clase de edad durante el periodo de estudio se muestra en la figura 23. El intervalo de variación estuvo en su mayoría entre 1 y 16 años, con un sólo organismo de 27 años, con modas en los grupos de edad 2, 3, y 4 años. En el histograma de edad se observa que la captura en su totalidad estuvo establecida tanto por peces juveniles en su mayoría, como por adultos reproductores, pero en baja frecuencia. El grupo de edad 2 fue el más abundante, y a partir del grupo de edad 9 fueron sumamente escasos.



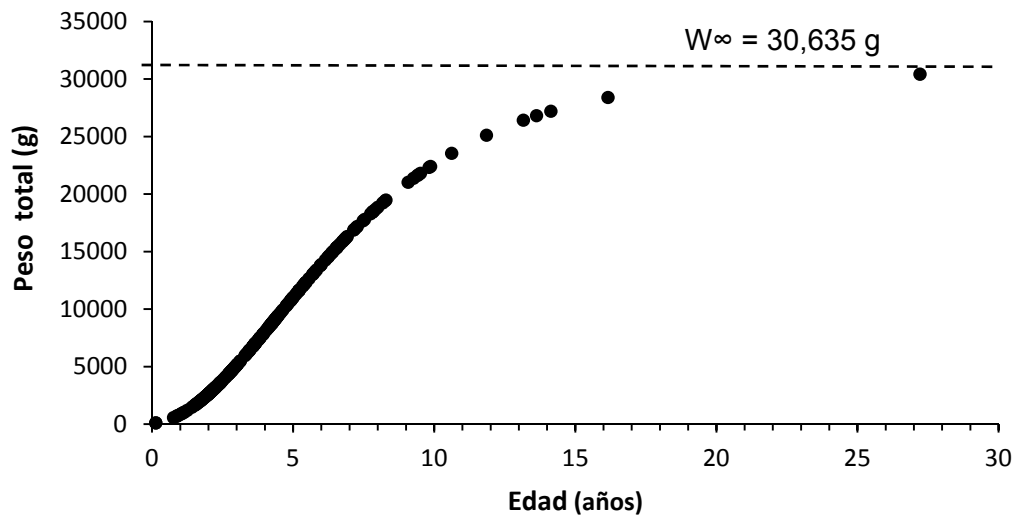
**Figura 23.** Estructura por clase de edad de totoaba en el Golfo de California durante el periodo de estudio.

A partir de la edad calculada con base en el modelo que describe la relación longitud del otolito (rostrum-postrostrum) vs edad propuesto para la especie por Román-Rodríguez y Hammann (1997) y usando la longitud media de diferentes edades, se estimaron los parámetros de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy, siendo:  $L_{\infty}=1,566$  mm LT,  $K=0.22$  año<sup>-1</sup>, y  $t_0=-0.65$  año, y a partir de la relación longitud-peso, se obtuvo el peso infinito:  $W_{\infty}=30,635$  g. Todos los datos edad-longitud y edad-peso derivados para la totoaba en este estudio son mostrados en las figuras 24 y 25, respectivamente.





**Figura 24.** Curva de crecimiento de von Bertalanffy basada en la longitud de la totoaba muestreadas en el Golfo de California.

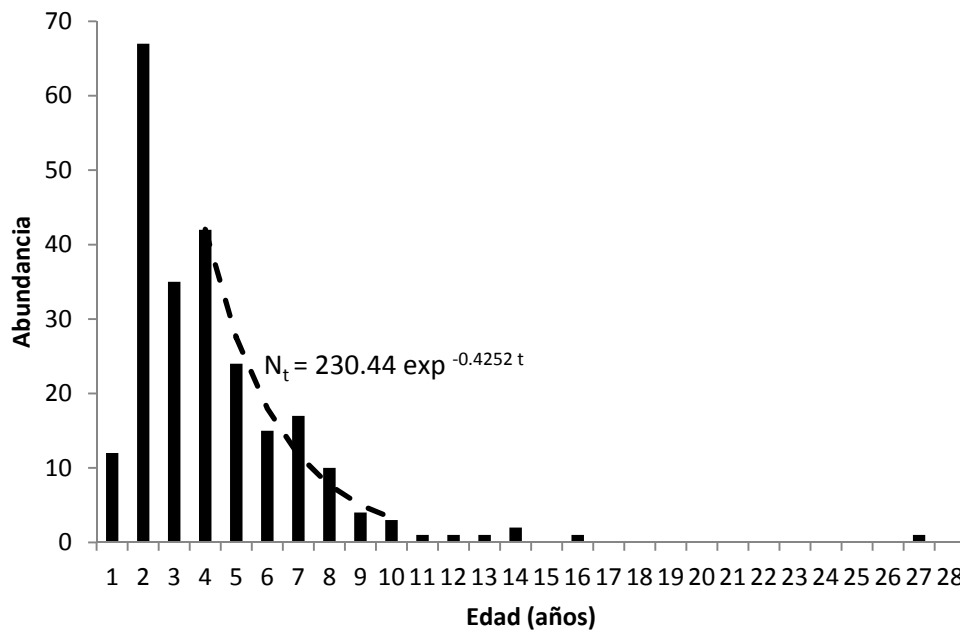


**Figura 25.** Curva de crecimiento de von Bertalanffy convertida a peso de las totoabas muestreadas en el Golfo de California.

## Mortalidad

Los cálculos de mortalidad natural (M) usando el modelo de Pauly (1984), el cual asume dependencia de M sobre los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy ( $K=0.22 \text{ año}^{-1}$  y  $L_{\infty}=156.6 \text{ cm LT}$ ), y la temperatura del hábitat ( $T=19^{\circ}\text{C}$ ), se obtuvo una  $M=0.35^{-1}$  para la totoaba.

Se calculó la tasa de mortalidad total usando dos métodos; el modelo de extinción exponencial y el modelo de Beverton y Holt, en ambos casos basados en datos de la composición por edades. Los resultados del modelo exponencial se muestra en la figura 26, donde  $Z=-0.4252$ .



**Figura 26.** Estimado del coeficiente instantáneo de mortalidad total (Z) usando el modelo de extinción exponencial y basado en la composición por edad de la totoaba.

El resultado usando el modelo de Beverton y Holt (1959) ( $Z = \frac{1}{\bar{t}-t'}$ ) donde  $\bar{t}$  es la edad media de todos los peces de edad  $t'$  y más viejos, y  $t'$  es la edad en la que todos los peces de esa edad y más viejos están sometidos a una explotación plena ( $\bar{t} = 4.3 \text{ años}$ ;  $t' = 2 \text{ años}$ ) en este estudio. El cálculo arrojó un valor de  $Z=1.77^{-1}$ .

## **Distribución**

Del análisis de la información generada en la primer campaña de muestreo (regiones I y II), se encontró que el 18% de los lances con caña fueron positivos para la presencia de totoaba, y de los 4 lances con red agallera el 25% de los lances fueron positivos para totoaba. La distribución de la captura se presenta en la figura 27, la máxima captura registrada se localizó frente a la costa de San Felipe en un área conocida como Isla Consag. El número total de organismos capturados en la primera campaña de muestreo fue de 47.

En la segunda campaña de muestreo (región III), se encontró que el 52% de los lances con caña fueron positivos para la presencia de totoaba. También, se registraron 12 lances con la flota artesanal camaronera (chinchorro de 300 brazas), siendo el 8.33% de los lances positivos para totoaba (un solo organismo capturado). La distribución de la captura se presenta en la figura 28, donde las capturas vuelven a ser importantes frente a la costa de San Felipe en las proximidades de la Isla Consag. En el área de las islas El Muerto y San Luis cerca de la Bahía San Luis Gonzaga fue aun más productiva para la captura de totoaba, que el área frente a la costa de San Felipe. El número total de organismos capturados en esta campaña fue de 56.

En el tercer muestreo (regiones II y III), a diferencia de los dos anteriores, el área de muestreo se extendió más al sur, no obstante, la escases fue notoria. Los 133 lances con caña fueron negativos. Sin embargo, de los 19 lances con red (chinchorro de 300 brazas, con luz de malla 8" y 10"), el 32% de los lances fueron positivos para totoaba. La distribución de la captura se presenta en la figura 29, donde se observa que las capturas son nulas frente a la costa de San Felipe en las proximidades de la Isla Consag y en la zona de las islas conocidas como las Encantadas. En esta ocasión la captura de totoaba se restringió a la zona más norteña del Alto Golfo, y el número total de organismos capturados fue de 33.

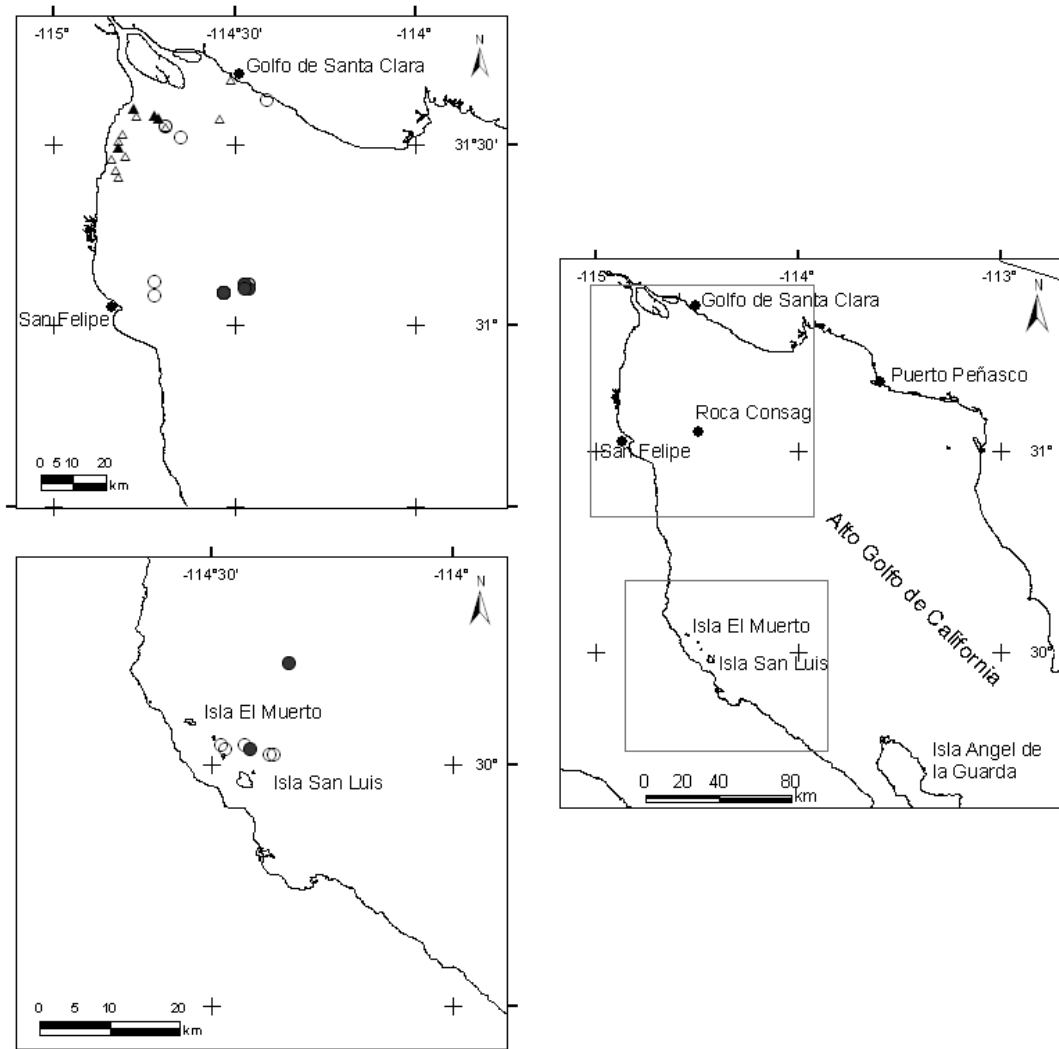
La cuarta campaña de muestreo (regiones II y III) que se realizó en los meses de marzo-abril de 2011, se caracterizó por presentar las más bajas capturas, tanto con caña como con red agallera. Se encontró que el 13% de los lances con caña fueron positivos para la presencia de totoaba, y el 21% en los lances con red. La distribución

de la captura se presenta en la figura 30, donde se observa que las capturas son nulas en la zona más norteña y cercana a los esteros del Alto Golfo de California. Además, se registró una baja abundancia frente a la costa de San Felipe en las proximidades de la Isla Consag. En las campañas anteriores esta área se había caracterizado por generar los valores más altos de captura. En esta ocasión la captura máxima de totoaba se obtuvo al sur de San Felipe. El número total de organismos capturados durante la cuarta campaña de muestro fue de 24.

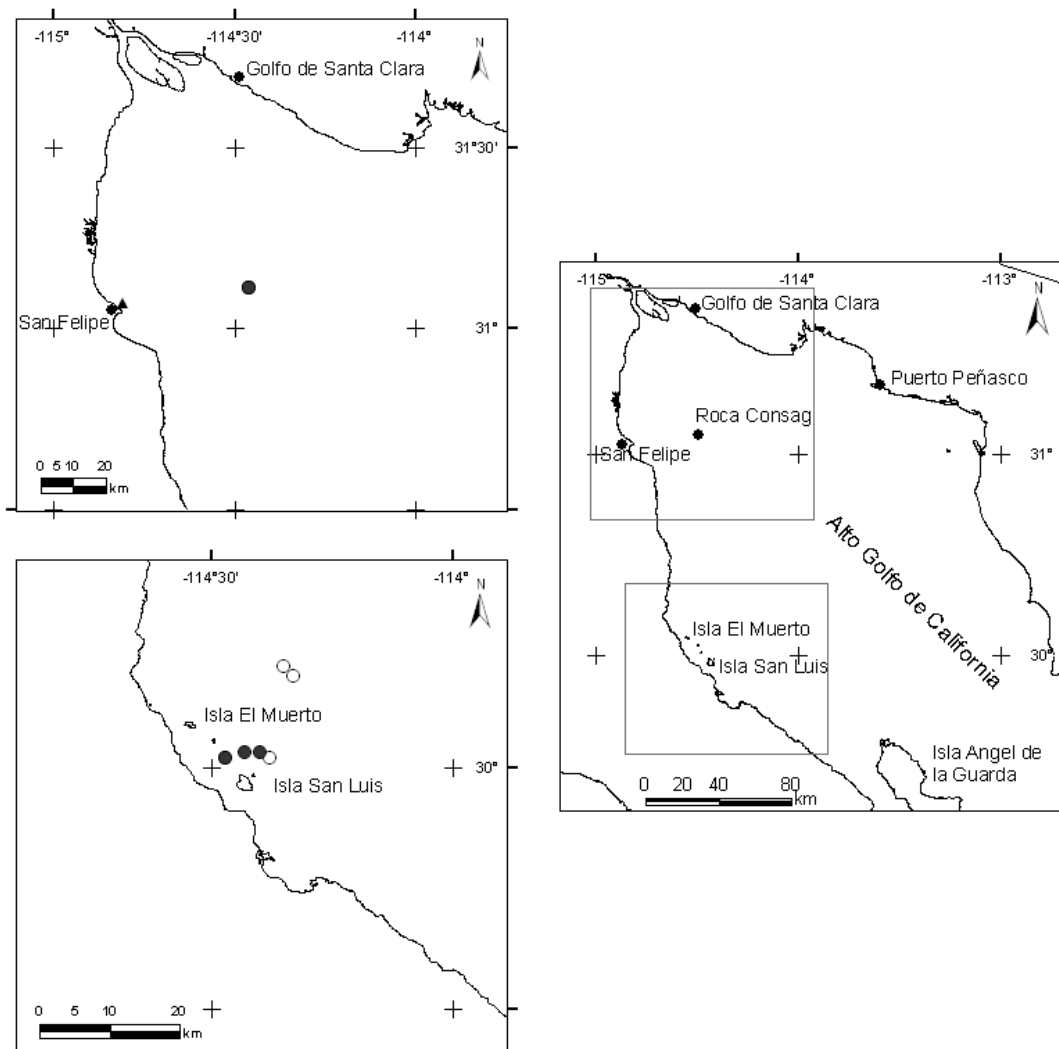
En la quinta salida, el área de muestreo (regiones II y III) se extendió al sur frente a las costas de Topolobampo en Sinaloa y frente a las costas de El Desemboque en Sonora. La escases fue notoria en esta época del año en la zona del Alto Golfo, particularmente, en las proximidades de la Isla Consag y en El Desemboque al norte de Isla Tiburón. De los 171 lances con caña el 19% fueron positivos para la presencia de totoaba. En este muestreo no se realizaron lances con red chinchorro. La distribución de la captura se presenta en la figura 31, donde se aprecia que las capturas de totoaba en esta ocasión se restringió a la zona de las islas El Muerto y San Luis, siendo 33 el número total de organismos capturados.

En la sexta y última campaña de muestreo (regiones I, II y III), este se inició desde el litoral de Las Gruyas al norte de Topolobampo en el Estado de Sinaloa con un organismo capturado. Le siguió Yavaros, Sonora, pero sin captura. El muestreo realizado en Bahía de Lobos, Sonora fue positivo con 21 organismos capturados con red chinchorro. Le siguió El Desemboque también positivo con 5 organismos, de los cuales, uno fue capturado con chinchorro y cuatro con caña. El último lugar de muestreo en el litoral de Sonora fue realizado en un campo pesquero conocido como la salinita localizado al NW de Puerto Peñasco, pero sin captura. Por el lado de Baja California, se realizó un muestreo en el área de las islas El Muerto y San Luis, siendo positivo con 14 organismos capturados con caña. En general, se registró que de los 109 lances realizados con caña el 17% fueron positivos, y de los 3 lances realizados con chinchorro todos fueron positivos para la presencia de totoaba. La distribución de la captura se presenta en la figura 32, donde las capturas vuelven a ser importantes en el área de las Encantadas cerca de la Bahía San Luis Gonzaga y en Bahía de Lobos. El número total de organismos capturados en esta campaña fue de 42. La figura 33

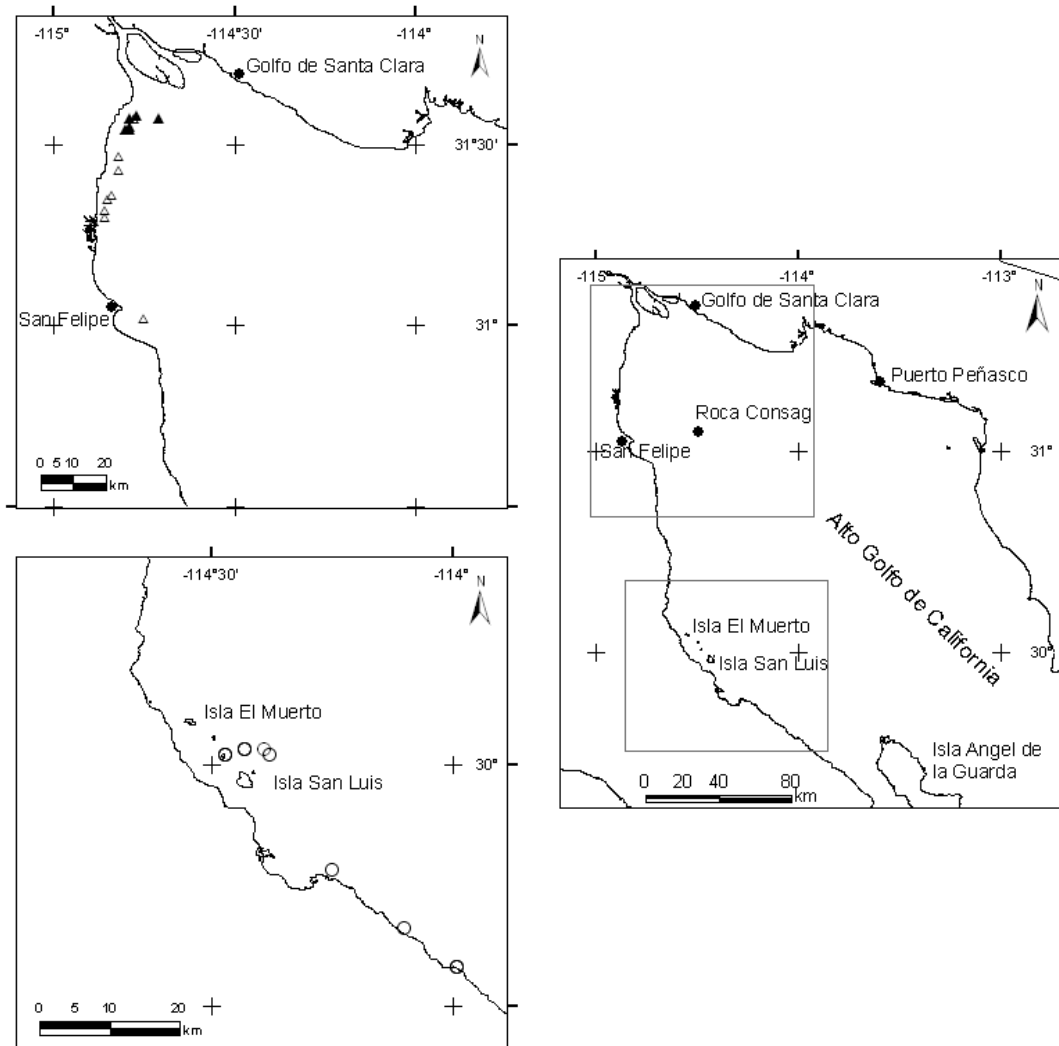
muestra la distribución espacial donde se encontró totoaba en las seis campañas de muestreo realizadas.



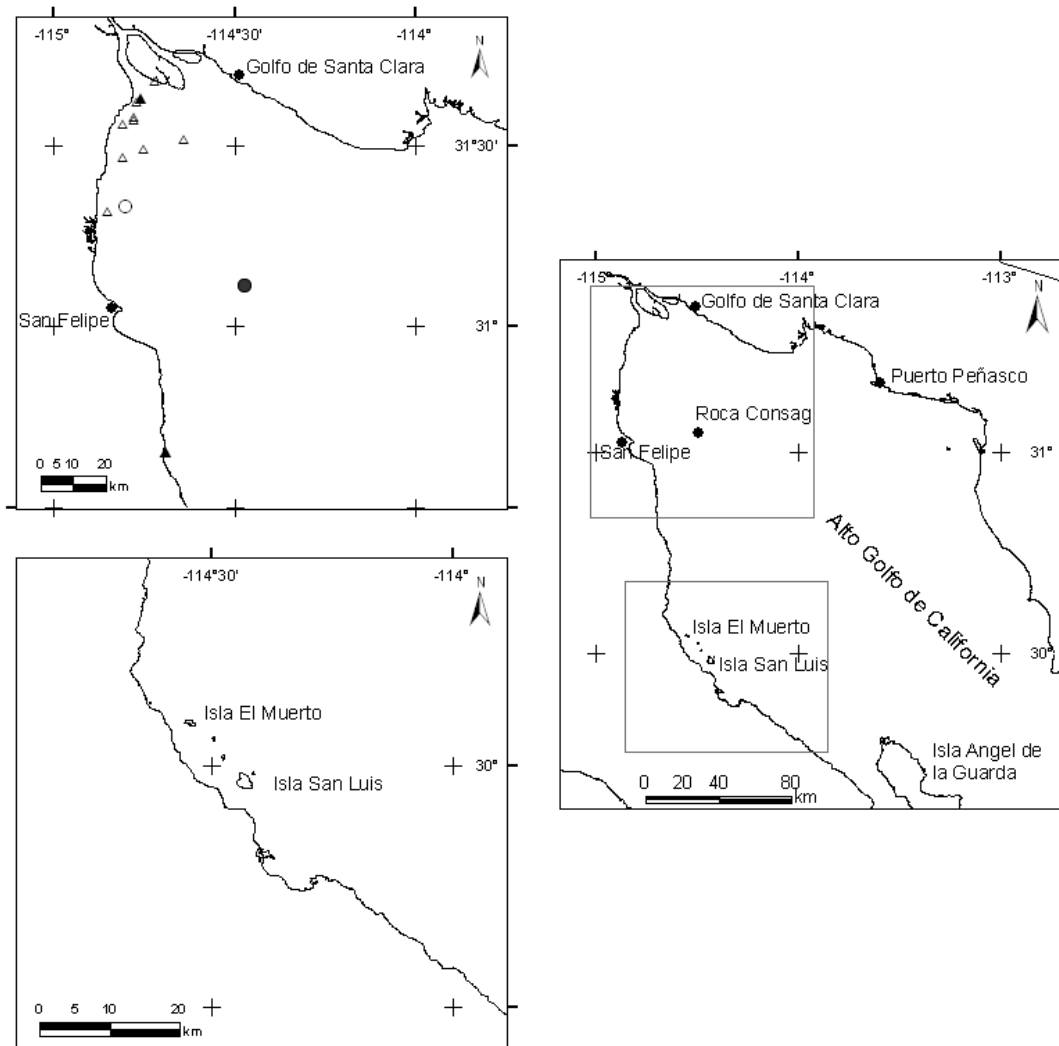
**Figura 27.** Área de estudio y estaciones durante la primera campaña de muestreo de totoaba en el Alto Golfo de California, realizada en los meses de abril-mayo de 2010. Circulo negro representa esfuerzo (caña) con captura, círculo representa esfuerzo (caña) sin captura, triangulo negro representa esfuerzo (red agallera) con captura, triangulo representa esfuerzo (red agallera) sin captura.



**Figura 28.** Área de estudio y estaciones durante la segunda campaña de muestreo de totoaba en el Alto Golfo de California realizado en el mes de noviembre de 2010. Circulo negro representa esfuerzo (caña) con captura, círculo representa esfuerzo (caña) sin captura, triangulo negro representa esfuerzo (red agallera) con captura, triangulo representa esfuerzo (red agallera) sin captura.

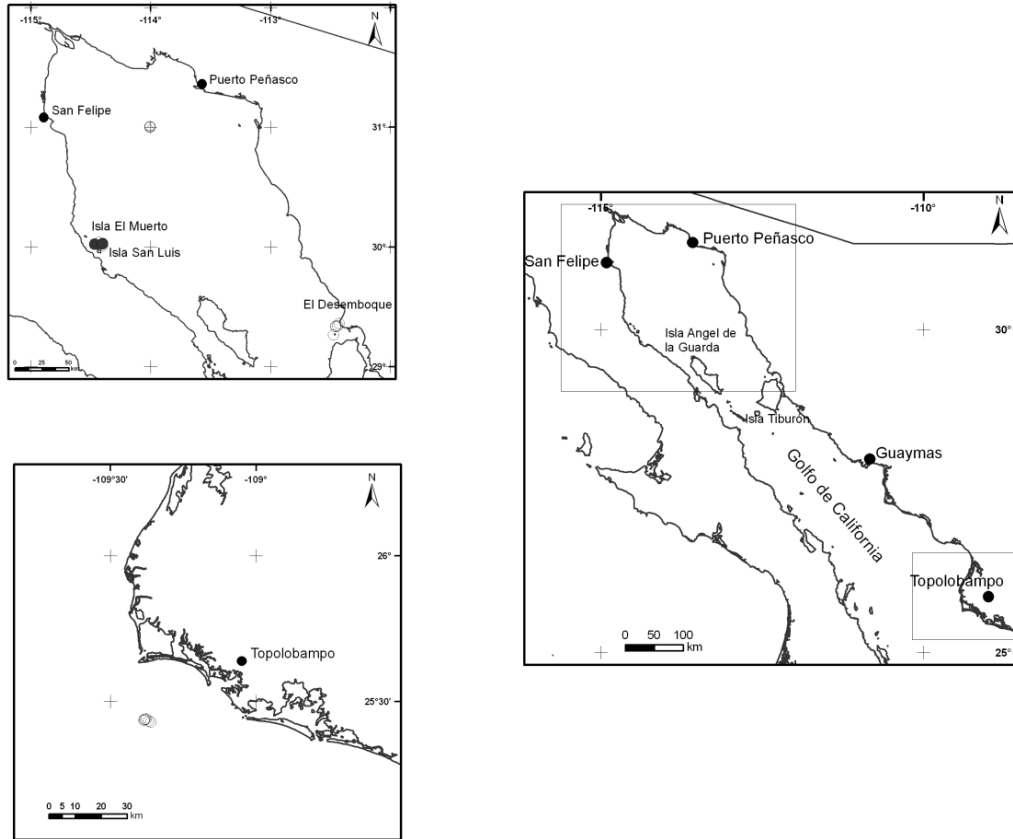


**Figura 29.** Área de estudio y estaciones durante la tercera campaña de muestreo de totoaba en el Alto Golfo de California realizado en el mes de febrero de 2011. Circulo negro representa esfuerzo (caña) con captura, círculo representa esfuerzo (caña) sin captura, triangulo negro representa esfuerzo (red agallera) con captura, triangulo representa esfuerzo (red agallera) sin captura.

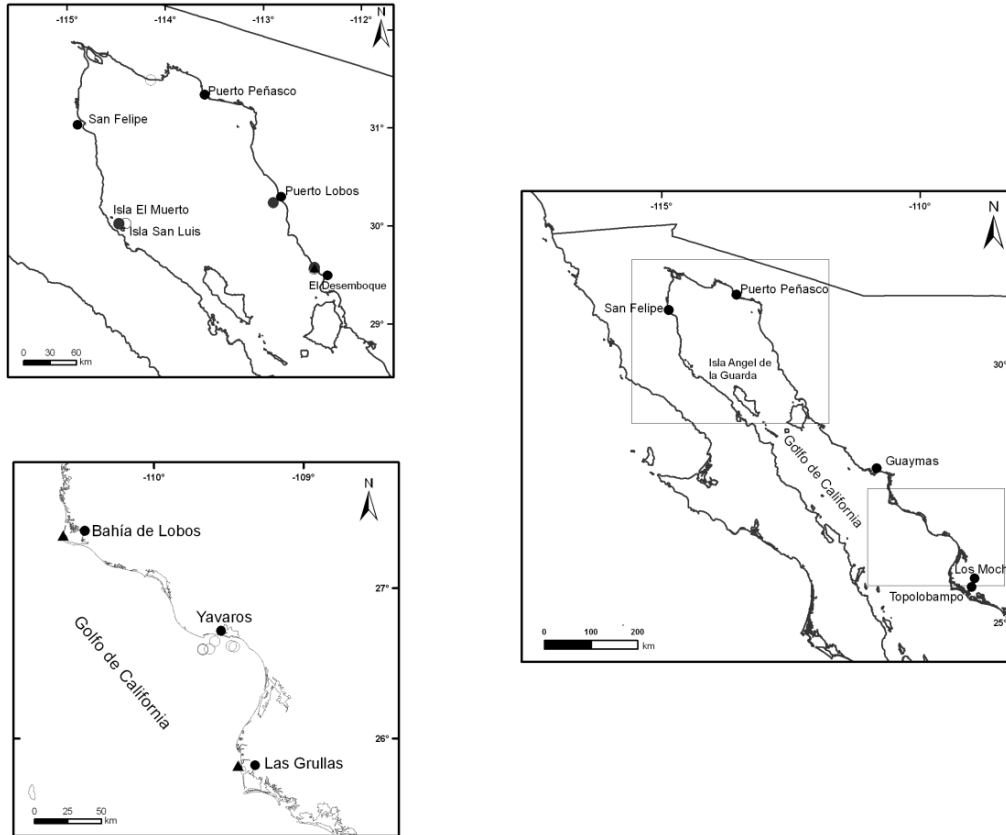


**Figura 30.** Área de estudio y estaciones durante la cuarta campaña de muestreo de totoaba en el Alto Golfo de California realizado en los meses de marzo-abril de 2011. Circulo negro representa esfuerzo (caña) con captura, círculo representa esfuerzo (caña) sin captura, triangulo negro representa esfuerzo (red agallera) con captura, triangulo representa esfuerzo (red agallera) sin captura.

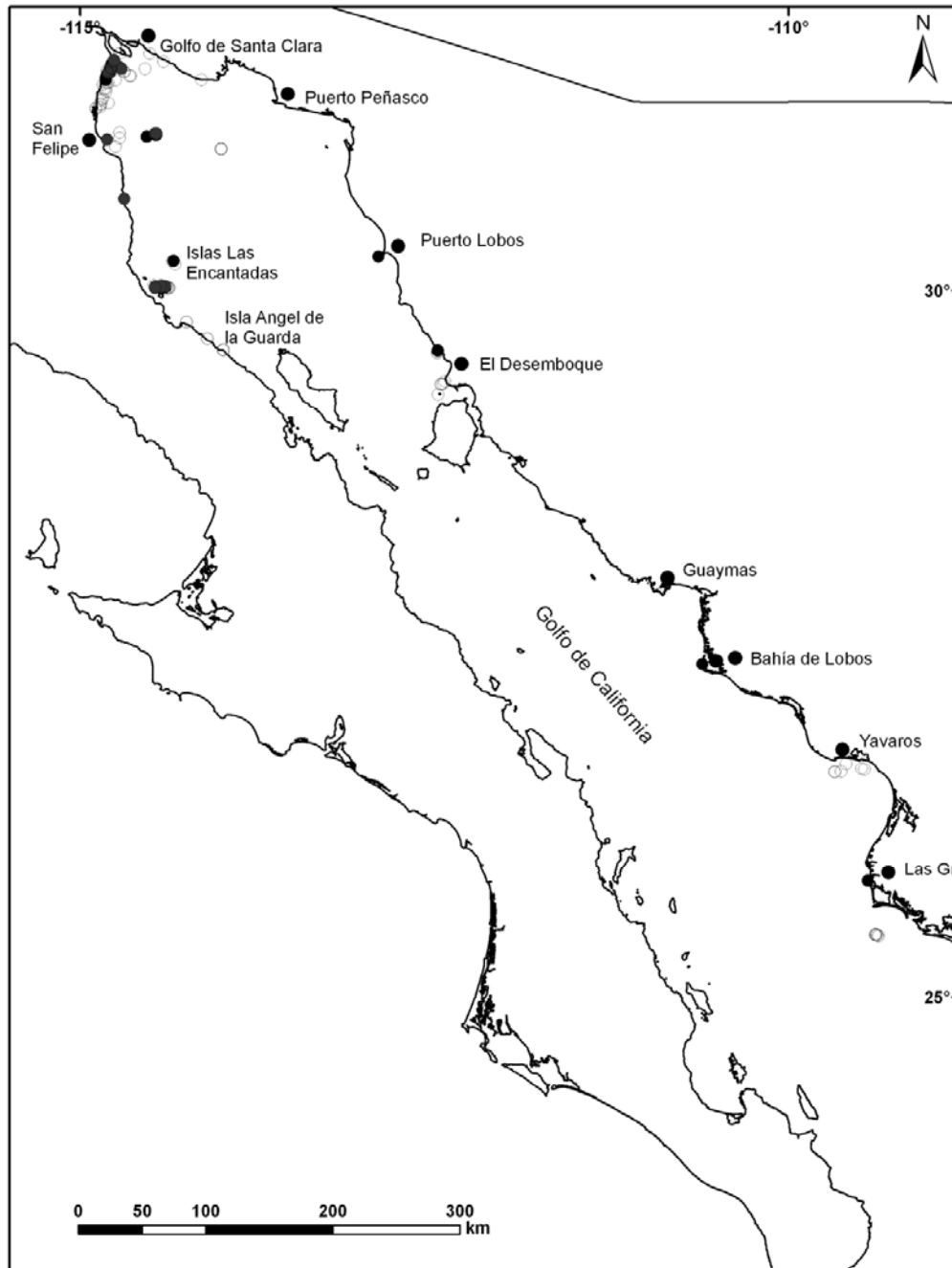




**Figura 31.** Área de estudio y estaciones durante la quinta campaña de muestreo de totoaba en el Golfo de California realizado en los meses de septiembre-octubre de 2011. Circulo negro representa esfuerzo (caña) con captura, círculo representa esfuerzo (caña) sin captura, triangulo negro representa esfuerzo (red agallera) con captura, triangulo representa esfuerzo (red agallera) sin captura.



**Figura 32.** Área de estudio y estaciones durante la sexta campaña de muestreo de totoaba en el Golfo de California realizado en los meses de noviembre-diciembre de 2011. Circulo negro representa esfuerzo (caña) con captura, círculo representa esfuerzo (caña) sin captura, triangulo negro representa esfuerzo (red agallera) con captura, triangulo representa esfuerzo (red agallera) sin captura.



**Figura 33.** Distribución de totoaba durante las seis campañas de muestreo en el Golfo de California.

## **Abundancia**

El cálculo de la abundancia aún no es posible tenerlo. No se puede llenar un vacío de información de 38 años con sólo 6 muestreos en la actualidad, además de las limitaciones que hubo durante las 6 campañas de muestreo en esta primera etapa del proyecto. Uno de los problemas que se tiene con esta especie y que se identificó desde un principio en la propuesta de investigación, es la total ausencia de datos biológico-pesqueros rigurosos, pero en la medida que se obtengan más datos y de mejor calidad se estará en la posibilidad de obtener y/o calcular parámetros poblacionales, y en consecuencia obtener un estimado de la abundancia de la población en el Golfo de California. Para este análisis demográfico, es muy posible que en el futuro inmediato se use un modelo poblacional basado en la matriz de Leslie, para ello es necesario conocer aspectos poblacionales que a la fecha se está trabajando en ello con financiamiento del CONACYT.

Respecto a la tendencia poblacional, lo que se observó en los seis muestreos realizados en esta primera etapa, es posible esté a la alza. Sin embargo, hasta que no finalice el estudio, ahora financiado por el CONACYT, se podrá decir con mayor precisión, cuál es su tendencia poblacional a la fecha.

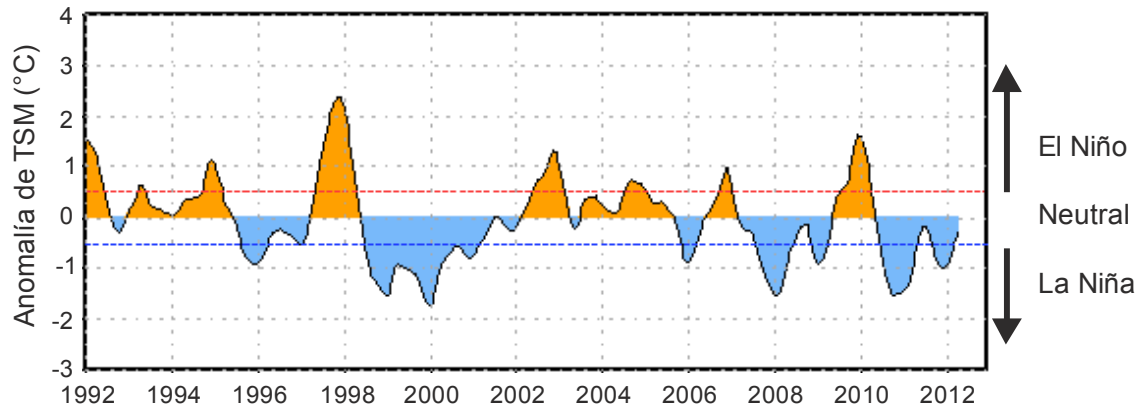
## Relación recurso-ambiente

Los seis muestreos de investigación para este periodo de estudio fueron realizados durante las temporadas de primavera y otoño de 2010, e invierno, primavera, principios de otoño y un último muestreo a finales de otoño de 2011. En el primer muestreo realizado en abril-mayo de 2010, se registró un evento “El Niño” con anomalías positivas de hasta 1.6°C, y con una duración de los meses de JJA de 2009 a MAM de 2010. Esto, de acuerdo a los recientes episodios cálido y frío del Pacífico basado en un umbral de +/- 0.5°C para el Índice del Niño Oceánico (por sus siglas en Inglés ONI). El ONI son las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) obtenido del promedio móvil de 3 meses de ERSST.v3b en la región Niño 3.4 (5N-5S, 120-170W) (Fig. 34)

([http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf)). Para los meses en los que se realizó el primer muestreo la anomalía positiva promedio de MAM disminuyó a 0.7°C. En estas condiciones ambientales de año “El Niño”, y con una temperatura promedio en los sitios de muestreo de 18.4°C en las proximidades de las islas El Muerto y San Luis, y de 20.0°C frente a la costa de San Felipe en isla Consag fue que se registró captura de totoaba.

A partir del segundo muestreo realizado en otoño de 2010, el tercero y hasta el cuarto muestreo realizados en invierno y primavera de 2011, respectivamente, se registró un evento “La Niña” con anomalías de hasta -1.5°C, y con una duración de los meses de JJA de 2010 a MAM de 2011. Para los meses en los que se realizó el segundo muestreo la anomalía negativa promedio de OND fue la más baja (-1.5°C). En estas condiciones ambientales, y con una temperatura promedio en los sitios de

muestreo de 21.7°C en las proximidades de las islas El Muerto y San Luis, y de 22.7°C frente a la costa de San Felipe en isla Consag se registró la captura de totoaba. Para los meses en los que se realizó el tercer muestreo la anomalía negativa promedio de EFM disminuyó a -1.3°C. En estas condiciones ambientales, y con una temperatura promedio en los sitios de captura de 15.4°C se registró captura de totoaba, esto en la zona más norteña del Alto Golfo. Para el cuarto muestreo la anomalía negativa promedio de FMA disminuyó a -1.0°C. En estas condiciones ambientales, y con una temperatura promedio en los sitios de captura de 15.4°C se obtuvo la captura de totoaba, también en la zona más norteña del Alto Golfo. El quinto y sexto muestreo realizado a principios y finales, respectivamente, del mismo otoño del 2011, se registró otro evento “La Niña” con anomalías de hasta -1.0°C, y con una duración de los meses de ASO de 2011 a FMA de 2012. Para los meses en los que se realizó el quinto muestreo la anomalía negativa promedio de ASO fue de -0.6°C. En estas condiciones ambientales, y con una temperatura promedio en los sitios de muestreo de 29.0°C en las proximidades de las islas El Muerto y San Luis se registró captura de totoaba. Para el sexto muestreo la anomalía negativa promedio de OND se incrementó a -1.0°C. En estas condiciones ambientales de año “La Niña”, y con una temperatura promedio en los sitios de muestreo de 23.1°C se registró captura de totoaba (Fig. 34).



**Figura 34.** Los valores de ONI desde DEF de 1992 a JEF de 2012. Tomada de: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf).

## Biología reproductiva

### Clases reproductivas en hembras

#### *Estadio I (crecimiento primario)*

Es la fase inicial de crecimiento de los ovocitos intraováricos a partir de la línea germinal, una vez que se multiplicaron las ovogonias (17 a 20  $\mu\text{m}$  de diámetro), este estadio está caracterizado principalmente por los ovocitos previtelogénicos; nucléolo cromatina (24 a 38  $\mu\text{m}$ ) cuyo núcleo ocupa la mayor parte de la célula, perinucleolo temprano (44 a 76  $\mu\text{m}$ ) que presenta varios nucléolos dispersos en el nucleoplasma, y perinucleolo avanzado (76 a 102  $\mu\text{m}$ ) cuyos nucléolos se encuentran en la periferia del nucleoplasma, debajo de la membrana nuclear. Este grupo de ovocitos tiene un citoplasma intensamente basófilo (Fig. 35). Este estadio es en el que se encontró el 100% de las hembras en noviembre cuando aun las hembras se encuentran en reposo, volviéndose a presentar en abril con un 37%, cuando la actividad reproductiva ha disminuido (Fig. 47).

### ***Estadio II (crecimiento secundario)***

En este estadio se observan ovocitos en vitelogénesis temprana (103 a 136  $\mu\text{m}$ ), que se caracterizan por la aparición de alvéolos corticales e inclusiones lipídicas (137 a 252  $\mu\text{m}$ ). El citoplasma ha aumentado de tamaño en relación al núcleo, empiezan aparecer las vesículas o alvéolos en el citoplasma. Los alvéolos corticales aumentan de tamaño y número hasta formar varias filas en la periferia del ovoplasma. Inicia la acumulación de vitelo en forma de glóbulos esféricos y pequeños situados en la zona cortical del ovoplasma. Las células foliculares son planas y se extienden alrededor del ovocito (Fig. 36 y 37). Este estadio se presenta con mayor frecuencia en abril (42%) (Fig. 47).

### ***Estadio III (crecimiento terciario)***

Los ovocitos vitelogénicos caracterizan este estadio, en cuyo ovoplasma se observan glóbulos de vitelo (eosinófilos) que al principio son de un tamaño menor (ovocitos vitelogénicos tempranos de 227-360  $\mu\text{m}$ ), y se hacen grandes al avanzar la acumulación de vitelo (ovocitos vitelogénicos avanzados de 400-502  $\mu\text{m}$ ). Se observa la zona radiata, diferenciada en una delgada capa eosinófila externa (Fig. 38 y 39). Este estadio se presenta con mayor frecuencia en febrero (92%), indicando el avance de la maduración de las hembras que entran en el periodo de vitelogénesis final, disminuyendo hasta un 37% conforme disminuye la actividad reproductiva en abril (Fig. 47).

### ***Estadio IV (madurez)***

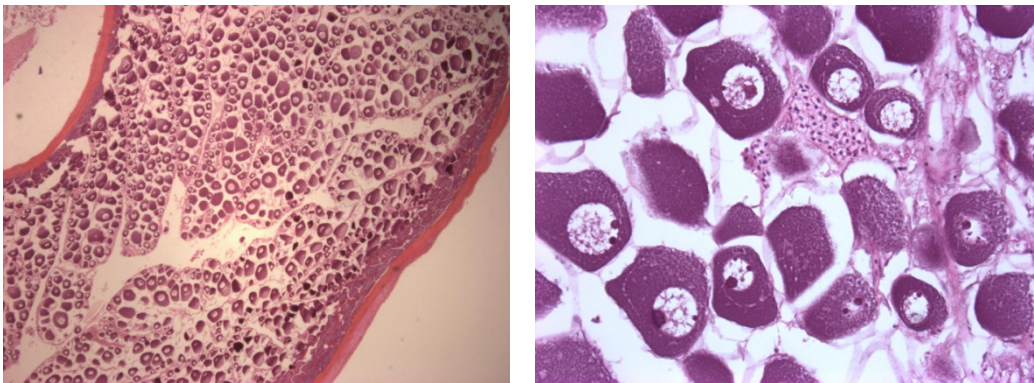
Durante la postvitelogénesis del ovocito, el vitelo lipídico comienza a fusionarse en una única y gran vacuola (gota lipídica) situada en el polo vegetativo, por lo que el núcleo es completamente desplazado, migra desde el centro de la celular hacia el polo animal donde se alarga y finalmente se disuelve. Después que termina la homogenización de los componentes proteicos y lipídicos del vitelo, se inicia la



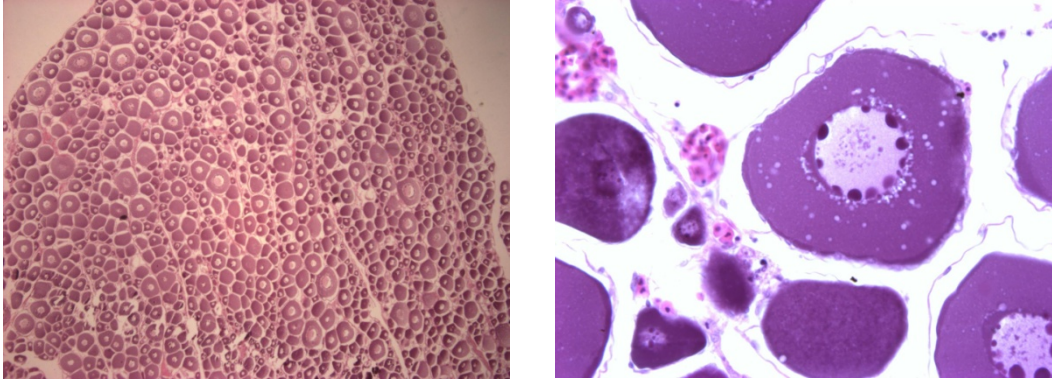
hidratación de los ovocitos, dando lugar a la ovulación. Los ovocitos en esta etapa miden más de 500µm. Además de los ovocitos maduros, siguen presentes ovocitos inmaduros o previtelogénicos. (Fig. 40). Este estadio se presenta en baja frecuencia en febrero (7.7%), incrementándose hasta el 50% en marzo representando el mayor periodo de madurez, disminuyendo a un 20% en abril, (Fig. 47).

### ***Estadio V (desove)***

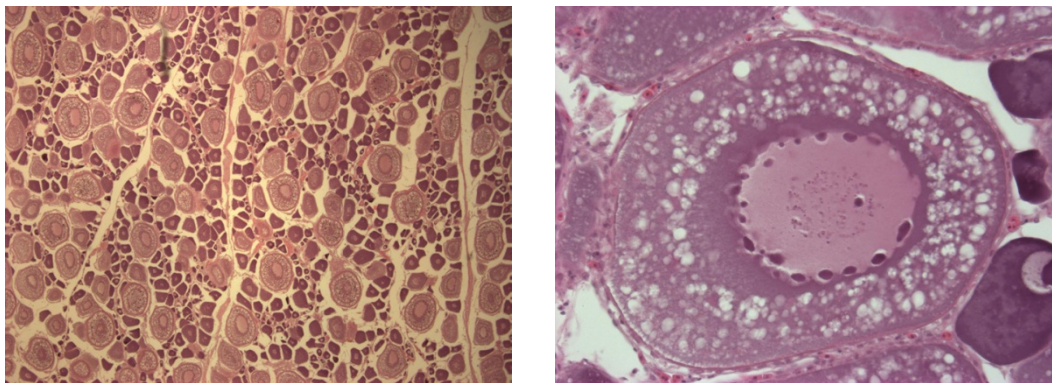
Se observan principalmente ovocitos pre-hidratados e hidratados (> 600 µm), en esta fase la ovulación es evidente histológicamente por la pérdida de integridad del folículo. Hasta el momento no se ha observado el desove total o posdesove de la población, ya que se han observado escasos folículos atrésicos y folículos postovulatorios que en otras especies de peces caracterizan este estadio (Fig. 41 y 42). Este estadio se presentó en baja frecuencia (12.5%) en marzo, marcando el periodo de mayor actividad reproductiva (Fig. 47).



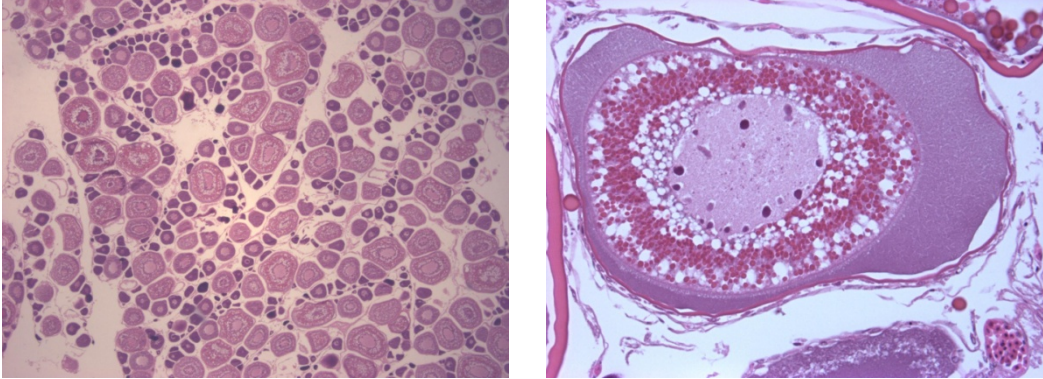
**Figura 35.** Estadio ovárico I. Estroma ovárico inmaduro de *T. macdonaldi* en crecimiento primario (previtelogénesis). Se observan ovocitos nucléolo-cromatina, perinucleolo tempranos, con nucléolos esféricos y perinucleolares tardíos con múltiples nucléolos. A) 40X B) 200X. Tinción hematoxilina eosina.



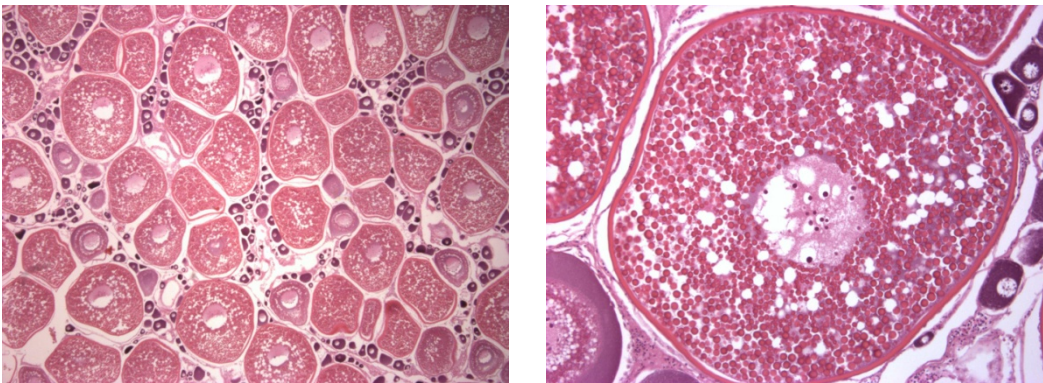
**Figura 36.** Estadio ovárico II. Crecimiento secundario, alvéolos corticales distribuidos por todo el ovoplasma. A) 40X y B) 200X.



**Figura 37.** Estadio ovárico II. Crecimiento secundario (vitelogénesis inicial), ovocitos con inclusiones lipídicas, aún se observan alvéolos corticales ubicados debajo de la zona pelúcida. A) 40X y B) 200X.

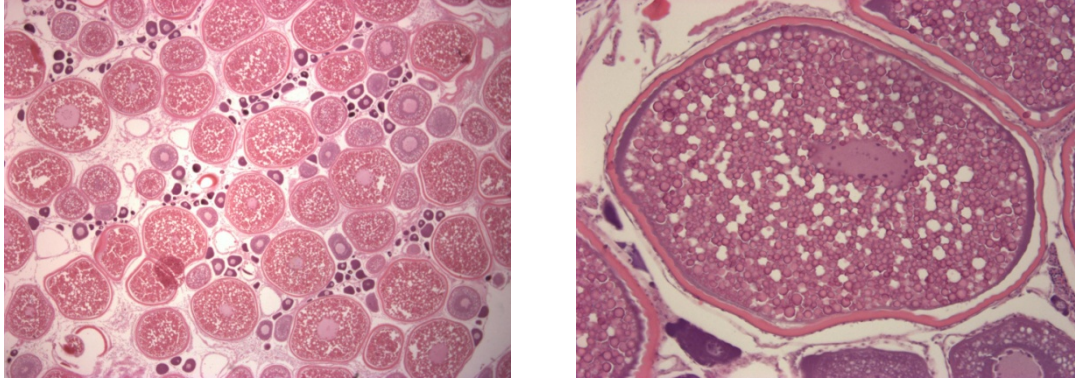


**Figura 38.** Estadio ovárico III. Crecimiento terciario (vitelogénesis media), ovocitos con gránulos de vitelo primario. Se observa la zona radiata diferenciada en una delgada línea eosinofíla alrededor del ovocito. Tinción hematoxilina-eosina. A) 40X y B) 200X.

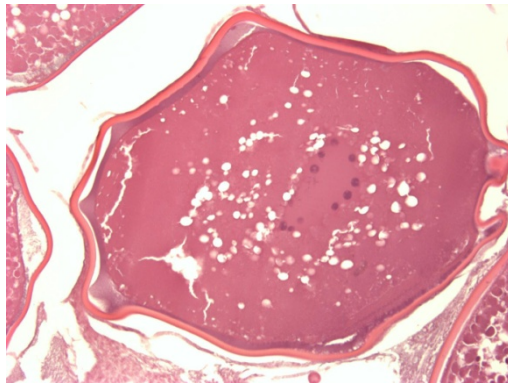


**Figura 39.** Estadio ovárico III. Crecimiento terciario (vitelogénesis final), ovocitos con gránulos de vitelo denso. Tinción hematoxilina-eosina. A) 40X y B) 100X.

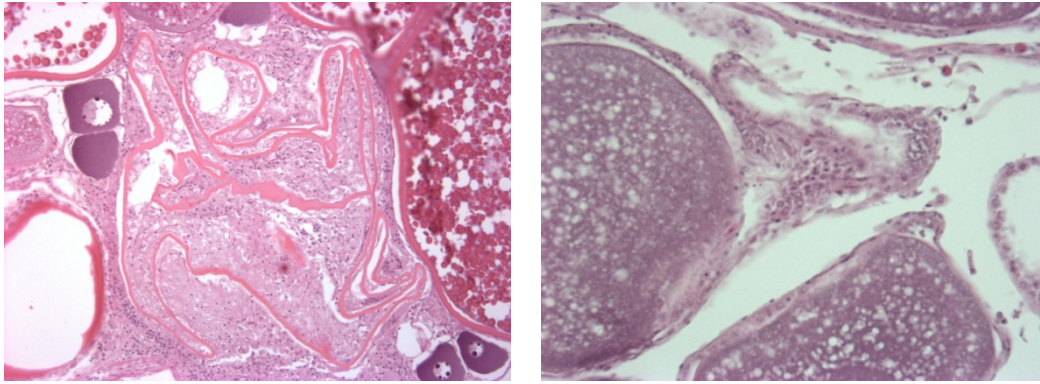




**Figura 40.** Estadio ovárico IV. Madurez, ovocitos en vitelogénesis terminal con migración de la vesícula germinal. Tinción hematoxilina-eosina. A) 40X y B) 100X.



**Figura 41.** Estadio ovárico V. Desove, ovocitos pre-hidratados. Tinción hematoxilina-eosina 100X.



**Figura 42.** Estadio ovárico V. Desoves parciales, A) folículos atrésicos y B) folículos postovulatorios. Técnica hematoxilina-eosina 200X.

### Clases reproductivas en machos

Existe información limitada sobre la estructura testicular del orden Sciaenidae (Perciformes) grupo filogenéticamente importante. El presente estudio llevó a cabo el análisis histológico para determinar la estructura de los testículos y describir el proceso de espermatogénesis, y describir las fases de desarrollo de los testículos durante el ciclo anual de reproducción en *T. macdonaldi* en las aguas del Golfo de California.

La estructura testicular en los teleósteos es variable entre las especies, pero en general se ha definido que algunos teleósteos tienen testículos de tipo lobular, mientras que otros son de tipo tubular (De Vlaming, 1974). El tipo lobular, que es típico de la mayoría de los teleósteos, se caracteriza por la presencia de numerosos lóbulos separados por finas capas de tejido conjuntivo.

El testículo de *T. macdonaldi* es un órgano pareado alargado que se extiende en el peritoneo debajo de los riñones en la cavidad abdominal. Un surco ventral une al órgano, denominado surco ventral o hilio. La determinación del sexo de las gónadas es macroscópicamente posible debido a la presencia del surco ventral, que se hace más profundo con el avance de la madurez. Histológicamente, cada testículo es dividido por una pared de tejido conjuntivo en numerosos lóbulos grandes, y cada lóbulo se define por una membrana basal. Dentro de cada lóbulo, la

unidad estructural principal son los espermatocistos que contienen a las células germinales que se encuentran en distintas etapas de desarrollo.

Las células germinales dentro de cada espermatocisto se dividen de forma sincrónica. La espermatogénesis se inicia a todo lo largo del lóbulo testicular. Las células germinales son las células más grandes en el epitelio germinal, tienen un gran núcleo situado en el centro de la célula, y se distribuyen al azar a lo largo del epitelio testicular. Se dividen por mitosis dando lugar a grupos de las pequeñas generaciones de espermatogonias. Al final de las divisiones mitóticas las espermatogonias, se transforman en espermatocitos primarios que se caracterizan por sus núcleos con una gran cantidad de cromatina condensada. Los espermatocitos primarios entran en la primera división meiótica, transformándose en espermatocitos secundarios. Los espermatocitos secundarios se transforman en espermátidas como resultado de la segunda división meiótica. Las espermátidas, que son aún más pequeñas que los espermatocitos secundarios, se caracterizan por una masa compacta de cromatina que se tiñe intensamente de hematoxilina. Dentro del tejido testicular, los espermatocistos llenos de paquetes de espermatogonias, espermatocitos primarios, secundarios, y espermátidas, se encuentran normalmente envueltos en un lóbulo común.

Durante la espermatogénesis, secciones longitudinales y transversales de los testículos permitieron observar que los espermatozoos, dentro de cada grupo, se colocan en una dirección, mientras que las colas se orientan juntas en la dirección opuesta hacia el lumen del espermatocisto. Conforme el desarrollo progresa, el grupo de espermatozoos se visualizan desplazados hacia el centro del lóbulo, donde luego son liberados en los conductos testiculares principales. Antes del final de la primera emisión de esperma, un aumento en el volumen de los lóbulos se observa como producto de las múltiples divisiones mitóticas de las espermatogonias primarias y de su concentración sincrónica en espermatocistos dando lugar a paquetes de espermatogonias secundarias, espermatocitos primarios, espermatocitos secundarios, y espermátidas. Antes de la maduración, secciones longitudinales y transversales de los testículos revelan que prácticamente todos los lóbulos que contienen las células germinales se alargan, procedentes de los extremos apicales

de los lóbulos. A medida que más espermatozoos se liberan en el lumen de los lóbulos, los lóbulos más alargados se tornan más voluminosos. Un ducto principal es también formado dentro del testículo en el que los lóbulos terminan, los conductos primarios de los dos testículos se fusionan, formando un conducto común que se abre al exterior a través del poro genital.

En el ciclo reproductivo anual de machos de totoaba, se pueden reconocer histológicamente 4 clases reproductivas descritas para teleósteos con base en los cambios del epitelio germinal. Las clases se fundamentan en la definición de epitelio germinal continuo o discontinuo, y en los estadios de las células germinales presentes (Grier y Taylor, 1998). En el epitelio germinal continuo, hay una población continua de células germinales, espermáticas y de Sertoli a todo lo largo de la membrana basal del lóbulo. Las células germinales se dividen y desarrollan sincrónicamente dentro de estructuras llamadas espermatocisto, cuyos bordes están formados por células de Sertoli. En el epitelio germinal continuo, los espermatozoos maduran y ocurre la espermiación (su liberación a la luz o lumen del lóbulo). La alternancia de epitelio germinal continuo y discontinuo, y los estadios de las células espermáticas asociadas con las células de Sertoli, en el epitelio germinal, son los criterios que se utilizaron para determinar las clases reproductivas en los machos. En teleósteos se manejan cinco clases reproductivas (quiescencia, maduración temprana, maduración intermedia, maduración avanzada y regresión) basadas en cambios del epitelio germinal masculino y los tipos de células germinales presentes.

En base a esta dinámica de tipos celulares durante la espermatogénesis, y de su transición de epitelio germinal continuo a discontinuo, se identificó en el desarrollo testicular de *T. macdonaldi* cuatro de las cinco clases descritas para teleósteos.

### ***Clase I (quiescencia)***

El testículo se caracteriza histológicamente por la presencia de células germinales primarias y espermatogonias. En los organismos que no han alcanzado la talla de primera madurez (juveniles) no se observa aun la organización de los espermatocistos constituidos por las células germinales. En los organismos adultos,

los espermatocitos, si los hay, son muy pocos (Fig. 43). En noviembre el 80% de los machos se encontraban en los inmaduros o en fase de reposo con abundantes células germinales y espermatogonias (Fig.48).

### ***Clase II (maduración temprana)***

El testículo aumenta de tamaño, se considera el inicio de la espermatogénesis, los lóbulos llenos de espermatocitos son más abundantes, conteniendo a las células germinales, espermatogonias, espermatocitos primarios y secundarios, con pocas espermátidas. Se observa epitelio germinal continuo entre los conductos y el lumen está parcialmente cerrado (Fig. 44). Este estadio aparece por primera vez en noviembre presentándose en el 15% de los organismos e incrementándose a 33% en marzo (Fig. 48).

### ***Clase III (maduración intermedia)***

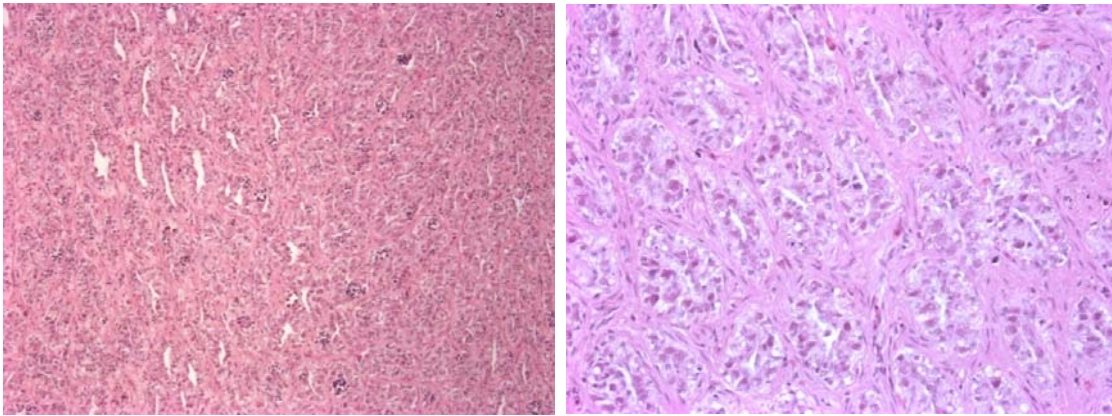
La profundidad del surco ventral del testículo aumenta, los lóbulos están alargados, con las células germinales en todas las etapas de la espermatogénesis y espermiogénesis, es decir, espermatogonias, espermatocitos primarios y secundarios, y un número creciente de espermátidas y algunos espermatozoos con las caudas orientadas hacia el lumen del espermatocito. Se observa el epitelio germinal discontinuo en la región de los conductos testiculares y de epitelio germinal continuo en la región de los lóbulos (Fig. 45). Los machos en esta clase se presentan en alta frecuencia (63%) en febrero, y disminuyendo (33%) en marzo (Fig. 48).

### ***Clase IV (maduración avanzada)***

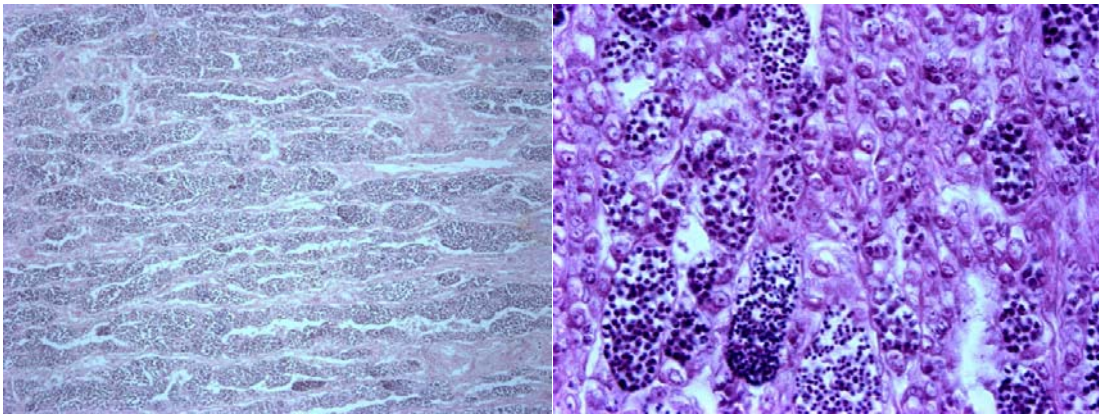
El testículo aumenta de tamaño de manera significativa con un profundo y más visible surco ventral. Los lóbulos de forma alargada se anastomosan llenos de espermatozoos, se observa que los lóbulos presentan epitelio germinal discontinuo



en su extremo distal y epitelio germinal continuo en el extremo proximal. Aún están presentes gametos en otras fases de la espermatogénesis, pero se han reducido en cantidad, y se limitan principalmente a la periferia de los lóbulos testiculares (Fig. 46). Esta clase se presenta con un 5% desde noviembre, incrementándose hasta 36% en febrero y disminuyendo a 33 % en marzo (Fig. 48).

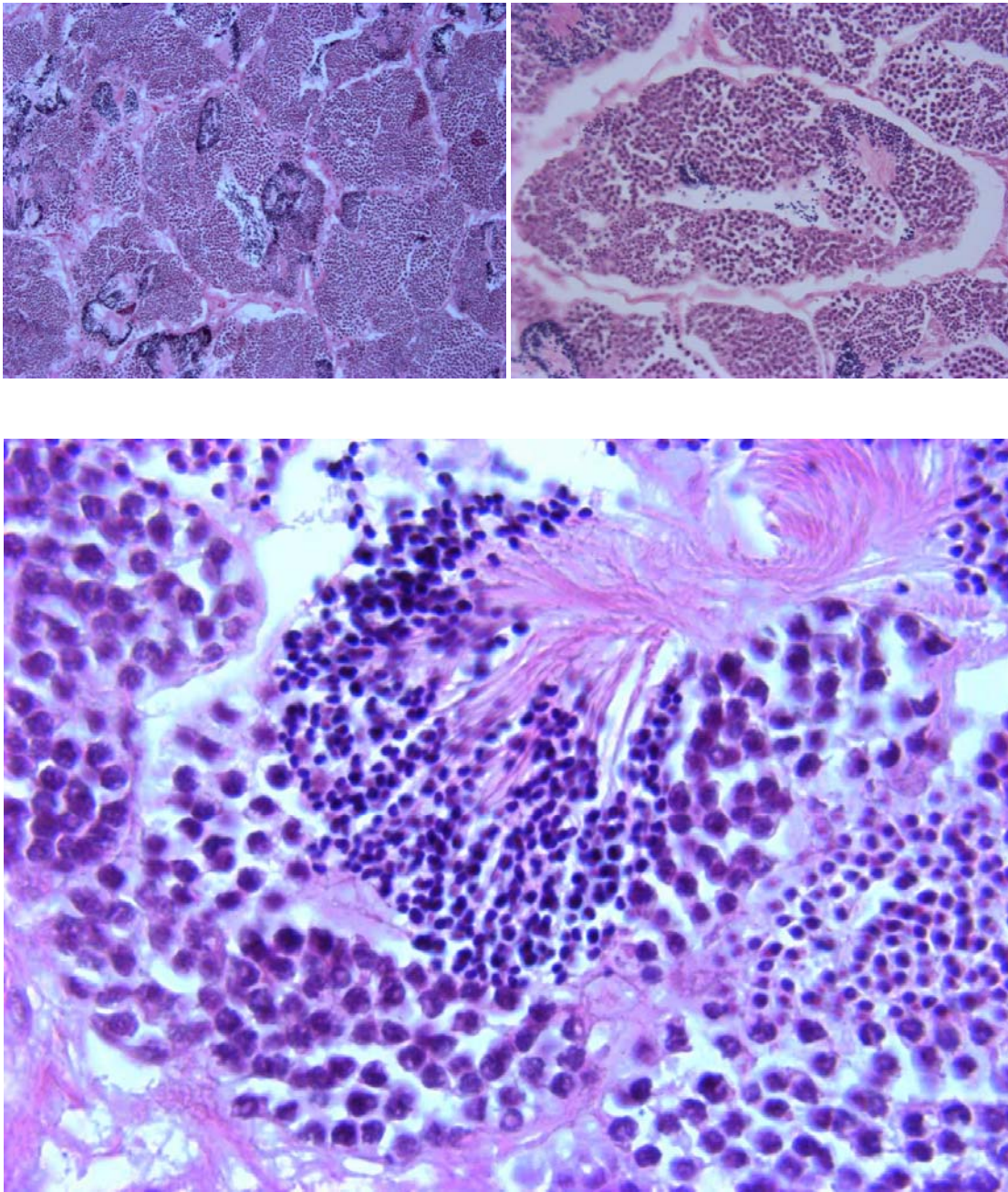


**Figura 43.** Testículo de *T. macdonaldi* en quiescencia (Clase I), se observan abundantes células germinales y espermatogonias inmersas en el tejido conjuntivo. Tinción hematoxilina-eosina, 400X.

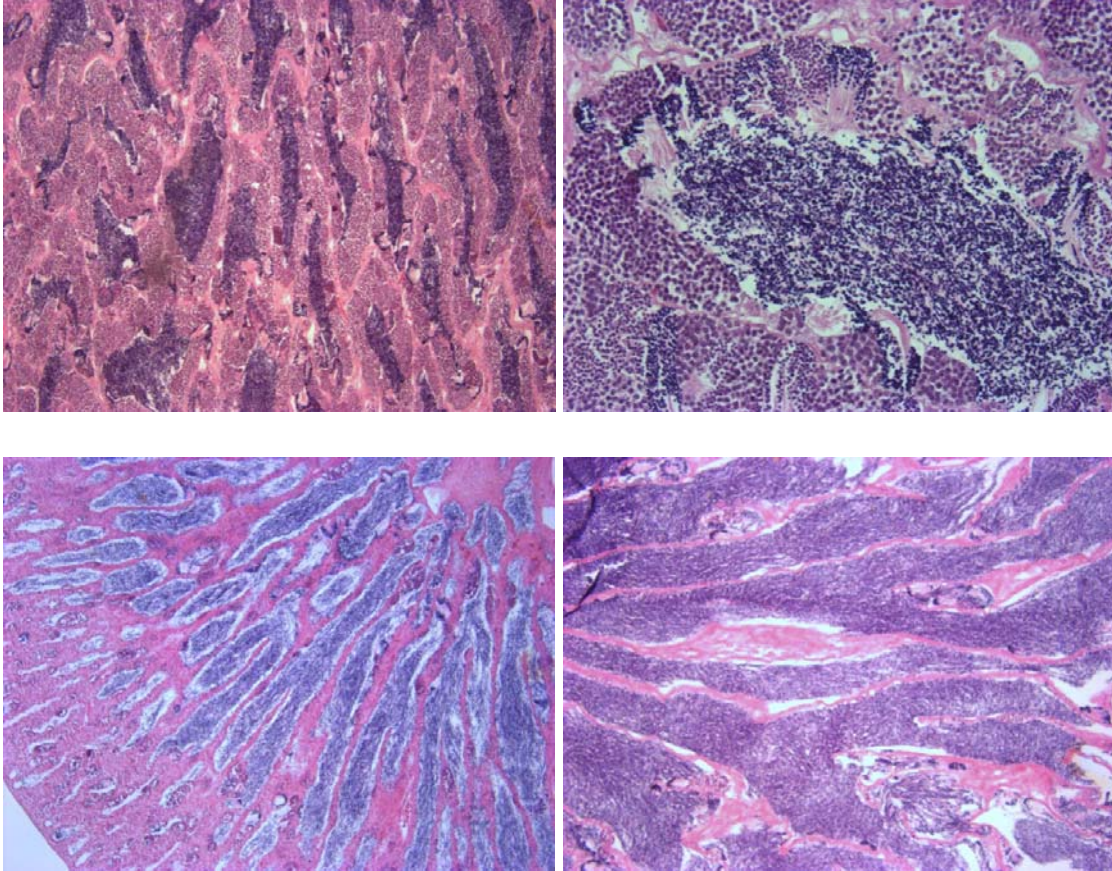


**Figura 44.** Testículo de *T. macdonaldi* en maduración temprana (Clase II), se observa la estructura de los primeros espermatocistos rodeados de espermatogonias y tejido conjuntivo, contenidos en cada espermatocisto se observan paquetes de espermatocitos primarios y secundarios. Tinción hematoxilina-eosina, 100X.





**Figura 45.** Testículo de *T. macdonaldi* en maduración intermedia (Clase III), se observan espermatocitos y espermatidas en paquetes dentro de los espermatocistos y espermatozoos libres con las caudas orientadas hacia el lumen. Tinción hematoxilina-eosina, a) 100X, b) 400X, c) 1000X.

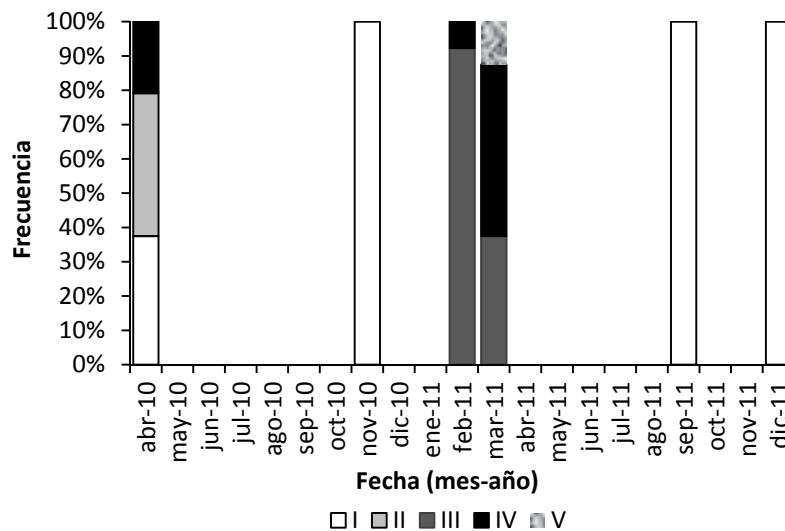


**Figura 46.** Testículo de *T. macdonaldi* en maduración avanzada (Clase IV), con epitelio germinal discontinuo, se observan abundantes espermatozoos. Tinción hematoxilina-eosina, A) 100X y B) 40X.

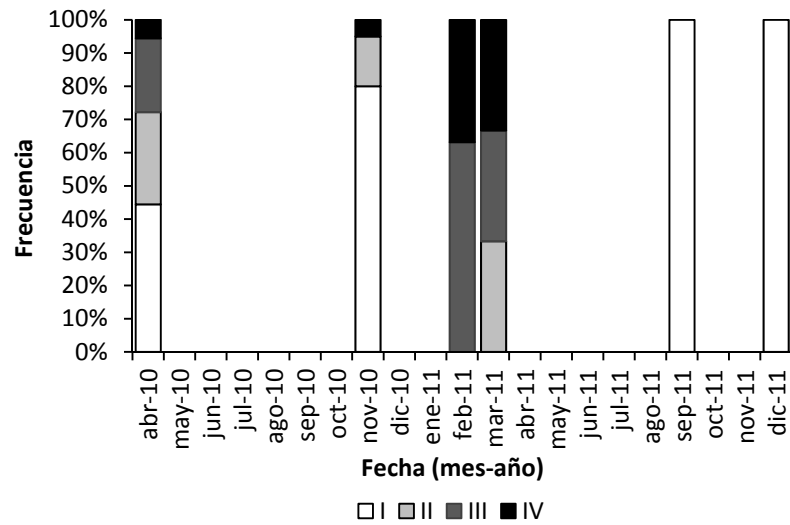


## Ciclo reproductivo

Se describe el ciclo reproductivo mediante la frecuencia relativa de los estadios de desarrollo gonadal para hembras y las clases reproductivas para machos, obtenidos de la caracterización morfológica anteriormente descrita, durante el periodo del 2010 al 2011 en el Golfo de California. Los parámetros empleados para identificar y seguir la actividad reproductiva en la población estuvieron basados en los cambios de la estructura histológica de ovarios y testículos. A su vez que se comparó con los indicadores de reproducción y la temperatura superficial del mar (TSM). La reproducción de esta especie es marcadamente estacional, el desarrollo de las gónadas se activa durante el invierno y avanza durante la primavera, presentándose la mayor actividad reproductiva en marzo y abril, cuando se presenta la mayor frecuencia de organismos maduros, tanto de hembras como de machos (Figs. 47 y 48).



**Figura 47.** Ciclo reproductivo para hembras durante el periodo de 2010-2011.



**Figura 48.** Ciclo reproductivo para machos durante el periodo de 2010-2011.

## Indicadores de reproducción

### *Proporción sexual*

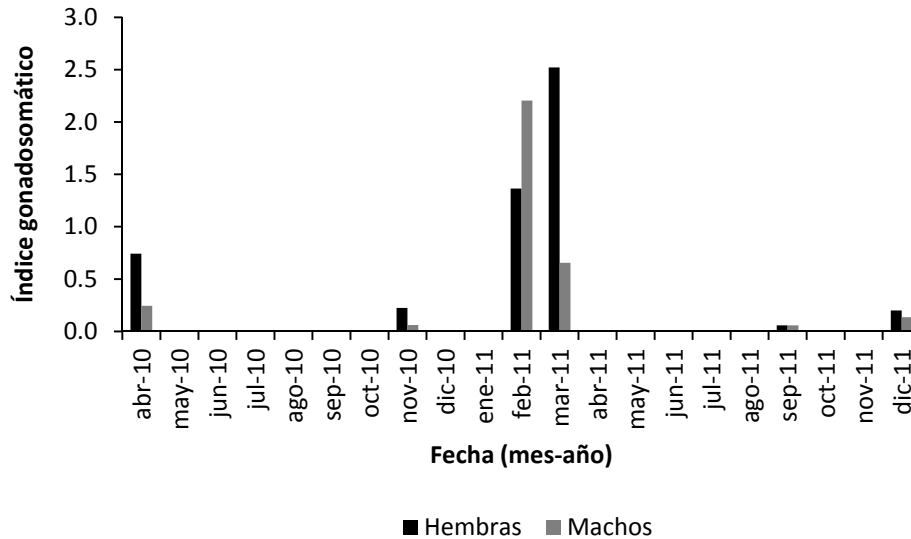
La proporción sexual aunque variable a lo largo del periodo de estudio y frecuentemente con un número mayor de hembras, no presentó diferencias significativas ( $p=0.20$ ). El valor general de la relación fue de 1.17:1 (H:M) (Tabla 4).

**Tabla 4.** Proporción sexual por campaña de muestreo y total de totoaba en el Golfo de California.

Fecha de muestreo	No. de Hembras	No. de Machos	Proporción sexual (H/M)
Abr-10	24	18	1.33
Nov-10	28	20	1.40
Feb-11	14	19	0.74
Mar-11	8	6	1.33
Sep-11	-	-	-
Dic-11	8	7	1.14
Total	82	70	1.17

### ***Índice gonadosomático***

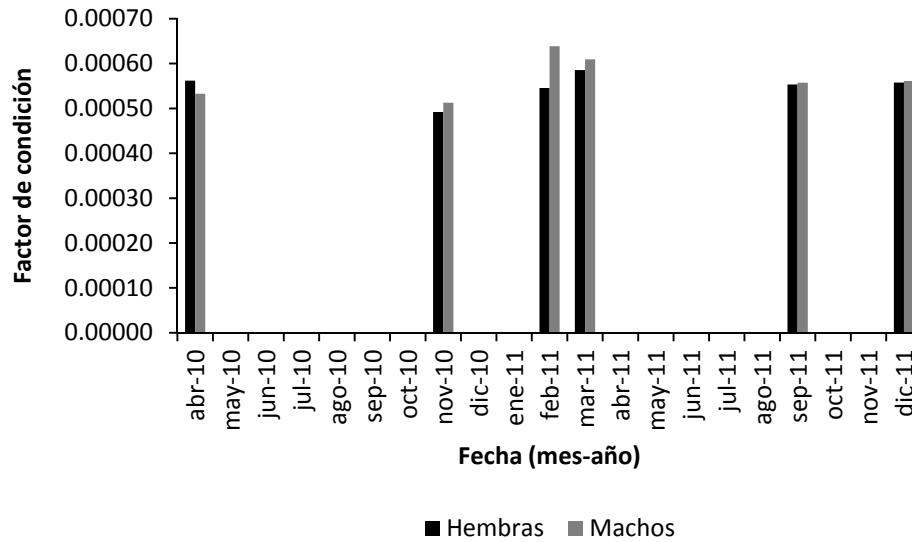
La figura 49 muestra los valores promedio del índice gonadosomático, este índice presentó sus valores más bajos en los meses de septiembre a diciembre y los valores más altos fueron observados en los meses de febrero a abril tanto para hembras como para machos. Estos últimos meses mostrando mucha actividad reproductiva.



**Figura 49.** Índice gonadosomático por campaña de muestreo para hembras y machos de totoaba en el Golfo de California.

### ***Factor de condición***

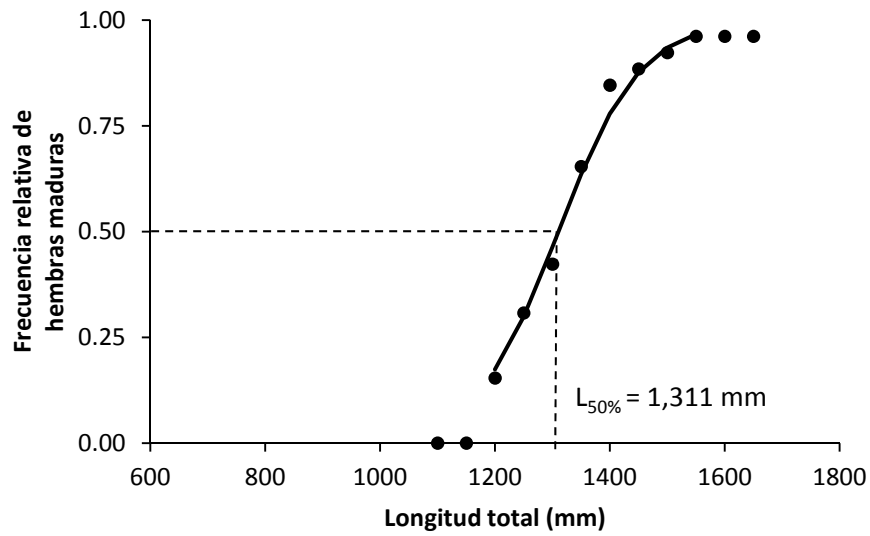
Los valores promedio por fecha de muestreo del factor de condición son mostrados en la figura 50, en donde se aprecia poca variabilidad y con valores ligeramente más altos en los meses de reproducción tanto para hembras como para machos.



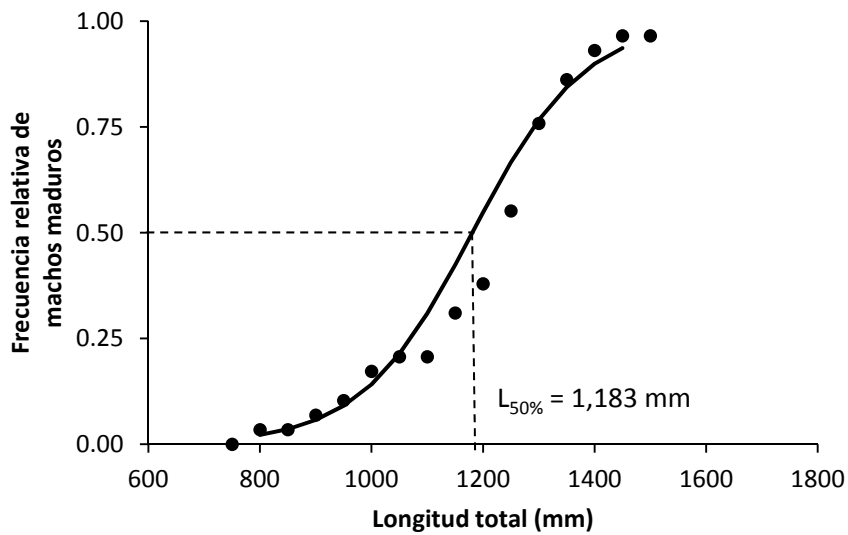
**Figura 50.** Factor de condición por campaña de muestreo para hembras y machos de totoaba en el Golfo de California.

### ***Talla de primera madurez individual y poblacional***

La talla mínima de madurez individual observada se registró en una hembra de 1,160 mm y en un macho de 755 mm LT. La talla mínima de madurez poblacional ( $L_{50\%}$ ) para las hembras fue de 1,311 mm LT (Fig. 51), para machos fue de 1,183 mm LT (Fig. 52), y considerando todos los organismos maduros fue de 1,240 mm LT (Fig. 53). La prueba “F” aplicada a los modelos y la prueba “t” aplicada a los parámetros de los modelos, en todos los casos, fueron altamente significativos ( $p < 0.01$ ) (Tabla 5).

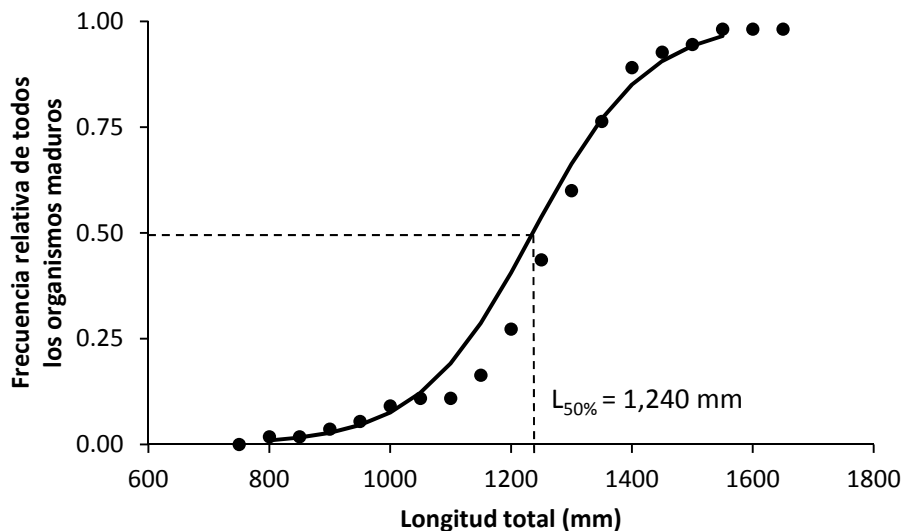


**Figura 51.** Talla de primera madurez poblacional ( $L_{50\%}$ ) para hembras de totoaba en el periodo 2010-2011 en el Golfo de California.



**Figura 52.** Talla de primera madurez poblacional ( $L_{50\%}$ ) para machos de totoaba en el periodo 2010-2011 en el Golfo de California.





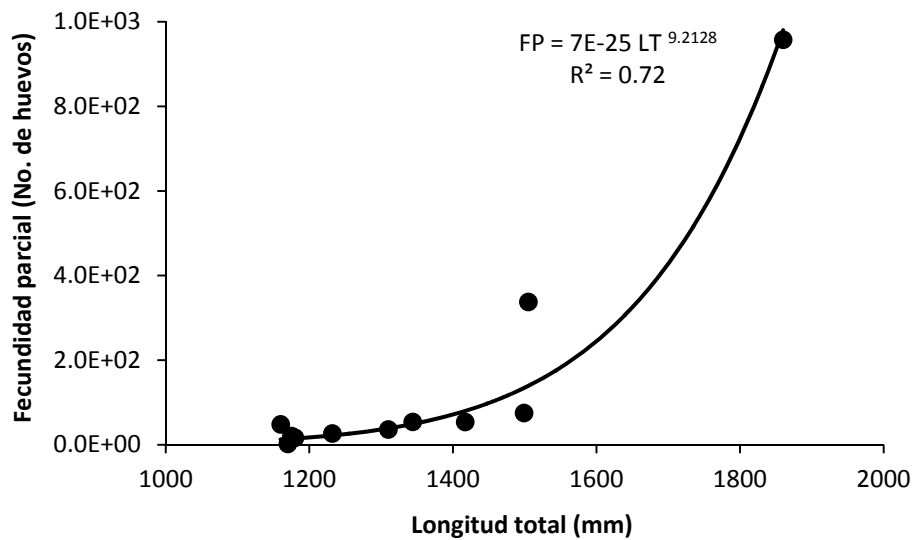
**Figura 53.** Talla de primera madurez poblacional (L<sub>50%</sub>) para el total de hembras y machos de totoaba en el periodo 2010-2011 en el Golfo de California.

**Tabla 5.** Talla primera madurez y estadísticos asociados a los modelos para hembras, machos y el total de organismos maduros colectados en el Golfo de California.

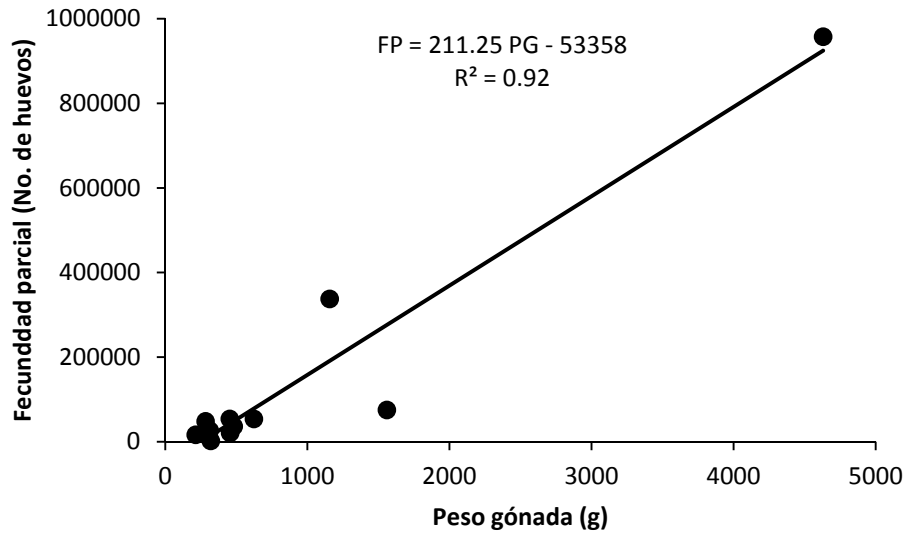
	Hembras	Machos	Total
<b>L<sub>50%</sub></b>	1,311	1,181	1,240
<b>a</b>	18.43**	11.95**	13.26**
<b>b</b>	0.0141**	0.0101**	0.0107**
<b>R<sup>2</sup><sub>adj</sub></b>	0.98	0.96	0.97
<b>N</b>	26	29	55

### ***Fecundidad parcial***

Para el estudio de fecundidad parcial se procesaron 11 gónadas por ser las únicas con las condiciones de madurez para los cálculos. Las hembras presentaron en un intervalo de talla de 1,160 a 1,860 mm LT y en un intervalo de peso total (PT) de 14,000 a 57,000 g, respectivamente. La fecundidad parcial de ovocitos de 700 micras mostró un valor mínimo de 1,964 huevos para un organismo de 1,170 mm LT con un PT de 16,900 g, y un máximo de 957,489 huevos para un organismo de 1,860 mm LT con un peso de 57,000 g, la media fue de 148,094 huevos. La fecundidad parcial mostró una relación de potencia y significativa con LT ( $p < 0.05$ ) (Fig. 54) y, lineal y significativa con el peso de la gónada (PG) ( $p < 0.05$ ) (Fig. 55). El peso de la gónada representó mejor predicción ( $R^2 = 92\%$ ) que la longitud total ( $R^2 = 72\%$ ).

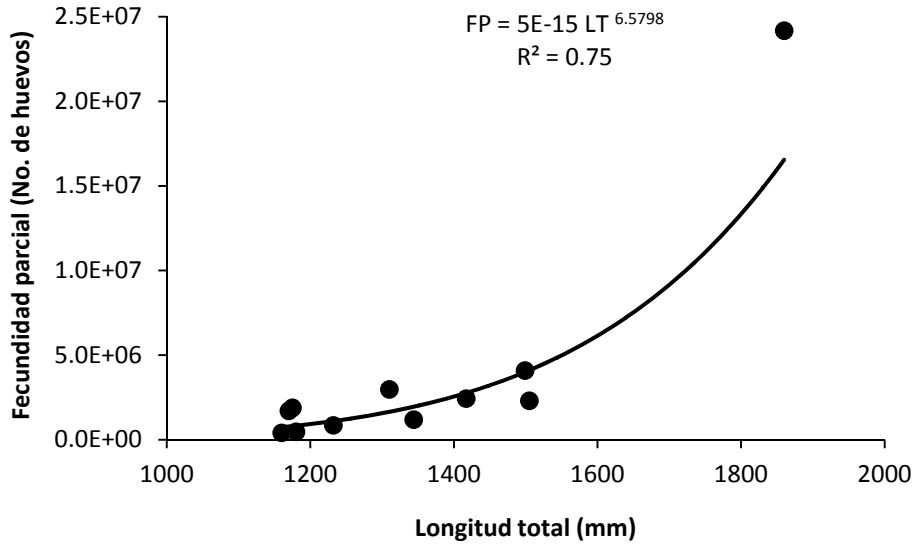


**Figura 54.** Relación de potencia entre la fecundidad parcial (número de huevos de 700 micras) y la longitud total (mm) de totoaba en el Golfo de California.

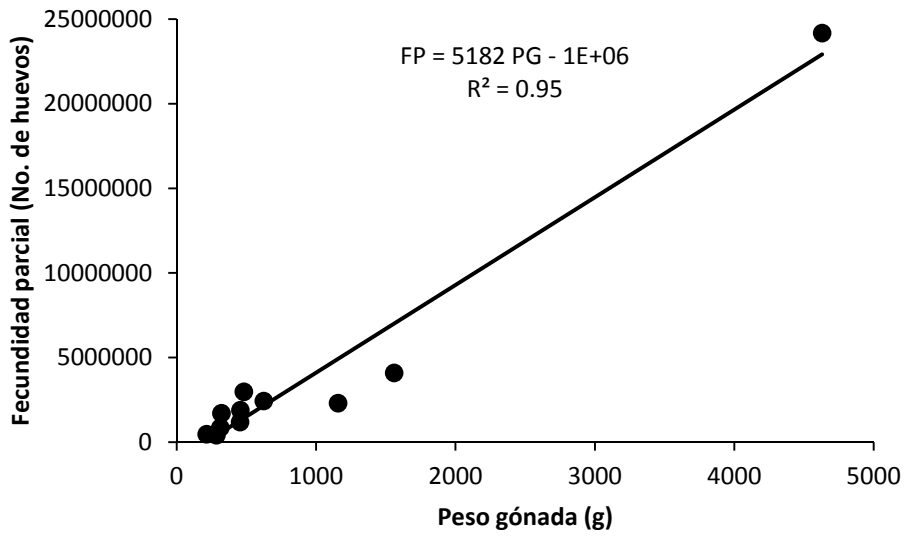


**Figura 55.** Relación lineal entre la fecundidad parcial (número de huevos de 700 micras) y el peso de la gónada (g) de totoaba en el Golfo de California.

La fecundidad parcial de ovocitos de 500 micras mostró un valor mínimo de 409,477 huevos para un organismo de 1,160 mm LT con un PT de 14,000 g, y un máximo de 24,174,831 huevos para un organismo de 1,860 mm LT con un peso de 57,000 g, la media fue de 3,862,505 huevos. La fecundidad parcial mostró una relación de potencia y significativa con la longitud total ( $p < 0.05$ ) (Fig. 56) y, lineal y significativa con PG ( $p < 0.05$ ) (Fig. 57). El peso de la gónada representó mejor predicción ( $R^2 = 95\%$ ) que la longitud total ( $R^2 = 75\%$ ).

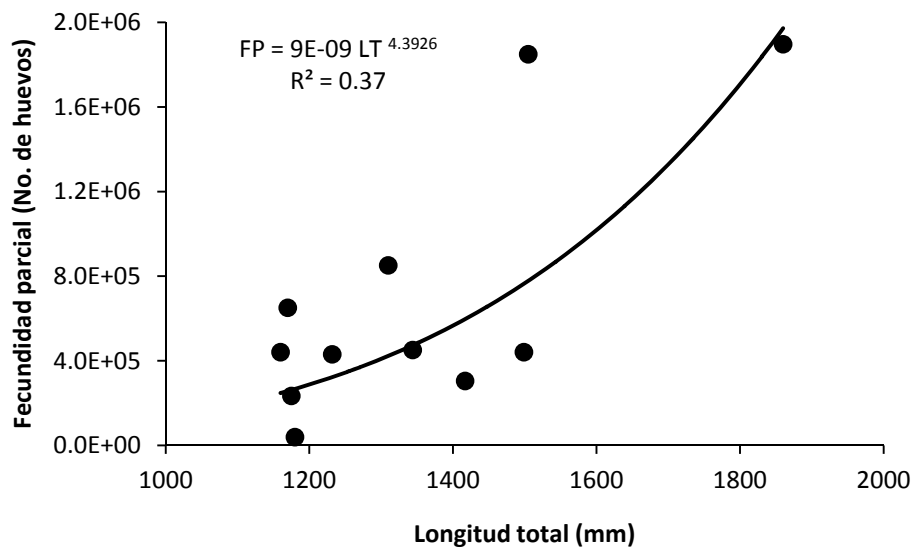


**Figura 56.** Relación de potencia entre la fecundidad parcial (número de huevos de 500 micras) y la longitud total (mm) de totoaba en el Golfo de California.

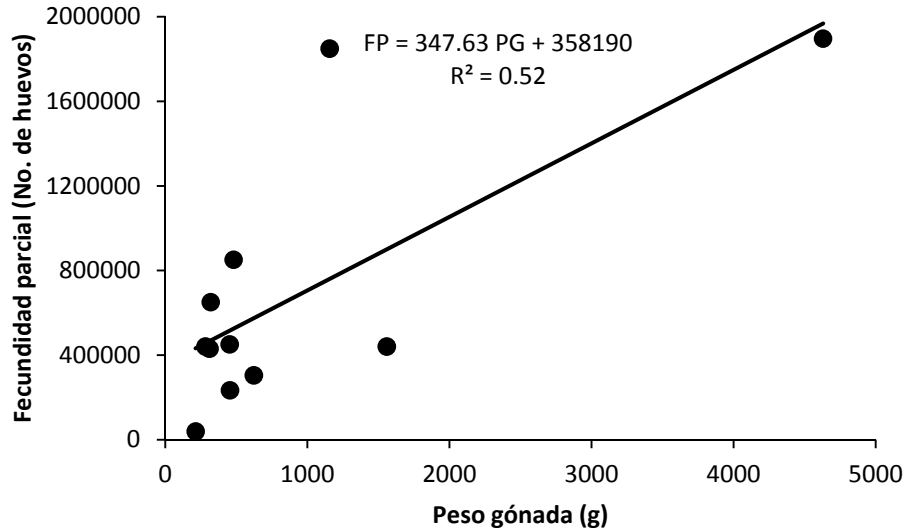


**Figura 57.** Relación lineal entre la fecundidad parcial (número de huevos de 500 micras) y el peso de la gónada (g) de totoaba en el Golfo de California.

La fecundidad parcial de ovocitos de 400 micras mostró un valor mínimo de 38,780 huevos para un organismo de 1,180 mm LT con un PT de 15,560 g, y un máximo de 1,896,347 huevos para un organismo de 1,860 mm LT con un peso de 57,000 g, la media fue de 689,701 huevos. La fecundidad parcial mostró una relación de potencia con bajo  $R^2$ , pero significativa ( $p < 0.05$ ) (Fig. 58) y, lineal con bajo  $R^2$ , pero significativa con el peso de la gónada ( $p < 0.05$ ) (Fig. 59). El peso de la gónada representó mejor predicción ( $R^2 = 52\%$ ) que la longitud total ( $R^2 = 37\%$ ).

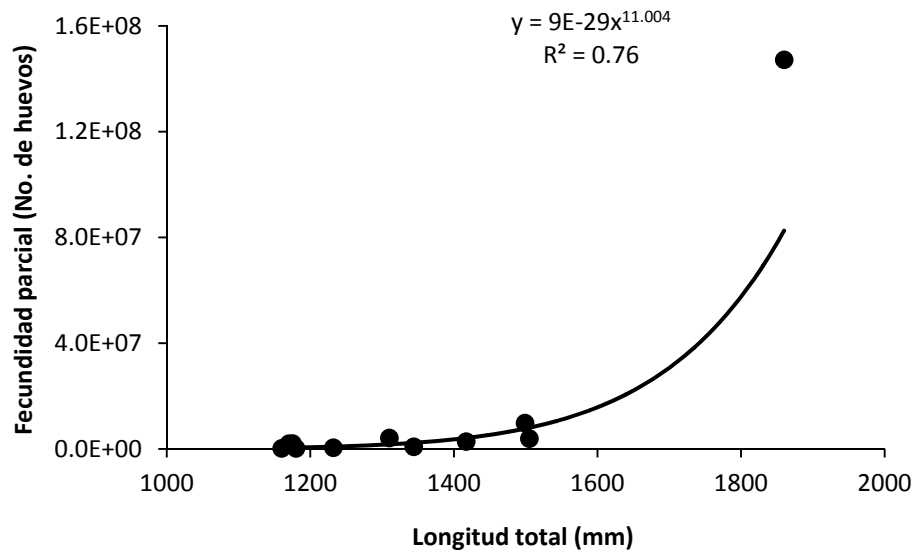


**Figura 58.** Relación entre la fecundidad parcial (número de huevos de 400 micras) y la longitud total (mm) de totoaba en el Golfo de California.

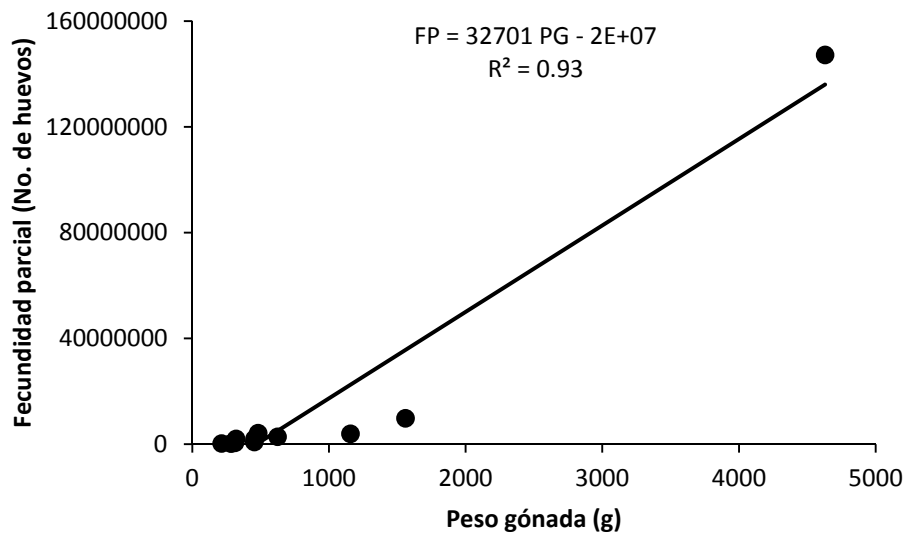


**Figura 59.** Relación lineal entre la fecundidad parcial (número de huevos de 400 micras) y el peso de la gónada (g) de totoaba en el Golfo de California.

La fecundidad parcial del total de ovocitos mostró un valor mínimo de 202,117 huevos para un organismo de 1,160 mm LT con un peso de 14,000 g ( $14,437 \text{ kg}^{-1}$ ), y un máximo de 147,184,910 huevos para un organismo de 1,860 con un peso de 57,000 g ( $2,582,191 \text{ kg}^{-1}$ ), la media fue de 15,779,711 huevos ( $338,486 \text{ kg}^{-1}$ ). La fecundidad parcial mostró una relación de potencia y significativa con la longitud total ( $p < 0.05$ ) (Fig. 60) y, lineal y significativa con el peso de la gónada ( $p < 0.05$ ) (Fig. 61). El peso de la gónada representó mejor predicción ( $R^2 = 93\%$ ) que la longitud total ( $R^2 = 76\%$ ).



**Figura 60.** Relación entre la fecundidad (número total de huevos) y la longitud total (mm) de totoaba en el Golfo de California.



**Figura 61.** Relación lineal entre la fecundidad parcial (número total de huevos) y el peso de la gónada (g) de totoaba en el Golfo de California.

## Ecología trófica

Durante las seis campañas de muestreo se colectaron un total de 235 individuos, de los cuales se analizaron 203, 15 individuos fueron destinados íntegros a la Colección Ictiológica, y los 17 restantes no fueron colectados los estómagos. De los peces analizados 32% contenían alimento en el estómago y el 68% estaban vacíos o regurgitados (Tabla 6).

**Tabla 6.** Individuos analizados por campaña indicando el número con y sin alimento en el estómago. Se indica el rango de longitud patrón (LP en mm) mínimo, máximo y promedio de los peces con alimento en el estómago.

	Abril 2010	Noviembre 2010	Febrero 2011	Marzo 2011	Octubre 2011	Noviembre 2011
CON ALIMENTO	13	1	28	7	0	16
LP Min-Max (promedio)	564-1305 (833)	1025	1015-1350 (1149)	1000-1640 (1133)	-	835-998 (905)
VACÍOS	30	50	5	6	30	17
Total	43	51	33	13	30	33

## Espectro trófico por campaña

Se describe el espectro trófico de *T. macdonaldi* por campaña de muestreo. Cuando las presas se denotan utilizando una categoría taxonómica superior (p. ej., Euphausiidae) o se menciona con el nombre genérico del grupo (p. ej., pez óseo) significa que no pudo ser identificado a un nivel taxonómico más fino por el grado de digestión presente.

### *Primera campaña*

Para la campaña de abril del 2010 (regiones II y III), se identificaron un total de 15 componentes alimentarios en la dieta de la totoaba: siete crustáceos (*Metapenaeopsis mineri*, *Squilla panamensis*, Euphausiidae, *Sicyonia* spp., Brachyura, Portunidae y



crustáceos) y ocho peces (Engraulidae, *Cetengraulis mysticetus*, *Colpichthys* spp. *Lepophidium microlepis*, *Anchoa* spp. y Actinopterygii (tres peces no identificados).

De acuerdo con el método numérico, se registraron un total de 204 organismos-presa. El camarón *Metapenaeopsis mineri* con 25.9 %, seguido de los peces de la familia Engraulidae (no-identificados) que contribuyeron con el 22%, el pez *Cetengraulis mysticetus* contribuyó con el 18.6%, *Anchoa* spp. el 14.7% y el pez atherinido *Colpichthys* spp. alcanzó el 8.3% (Tabla 7; Fig. 62).

**Tabla 7.** Composición del espectro trófico de *T. macdonaldi* durante la campaña de abril del 2010. Se indican valores del método numérico (N), gravimétrico (P), frecuencia de aparición (FA) e índice de importancia relativa (IIR).

	N	%N	P (g)	%P	FA	%FA	IIR	%IIR
<b>ACTINOPTERYGII</b>	1	0.49	2.03	0.26	1	7.69	5.74	0.14
Pez C	1	0.49	0.70	0.09	1	7.69	4.45	0.11
Pez L	1	0.49	11.55	1.46	1	7.69	14.97	0.36
<b>Atheriniformes</b>								
Atherinopsidae								
<i>Colpichthys</i> spp.	17	8.33	70.48	8.88	2	15.38	264.88	6.32
<b>Clupeiformes</b>								
Engraulidae	45	22.06	124.00	15.63	3	23.08	869.75	20.76
<i>Cetengraulis mysticetus</i>	38	18.63	246.00	31.01	3	23.08	1145.44	27.34
<i>Anchoa</i> spp.	30	14.71	190.51	24.01	2	15.38	595.69	14.22
<b>Ophidiiformes</b>								
Ophidiidae								
<i>Lepophidium microlepis</i>	1	0.49	3.67	0.46	1	7.69	7.33	0.17
<b>Subtotal</b>	<b>134</b>	<b>65.69</b>	<b>648.94</b>	<b>81.80</b>			<b>2908.25</b>	<b>69.40</b>
<b>CRUSTACEA</b>	1	0.49	0.02	0.00	1	7.69	3.79	0.09
<b>Decapoda</b>								
Brachyura	1	0.49	1.78	0.22	1	7.69	5.50	0.13
<b>Portunoidea</b>	2	0.98	17.29	2.18	2	15.38	48.61	1.16
<b>Penaeoidea</b>								
<i>Metapenaeopsis</i>								
<i>mineri</i>	53	25.98	87.40	11.02	4	30.77	1138.38	27.17
<b>Euphausiacea</b>								
Euphausiidae	2	0.98	0.05	0.01	1	7.69	7.59	0.18
<b>Sicyoniidae</b>								
<i>Sicyonia</i> spp.	5	2.45	5.34	0.67	1	7.69	24.03	0.57

**Stomatopoda**

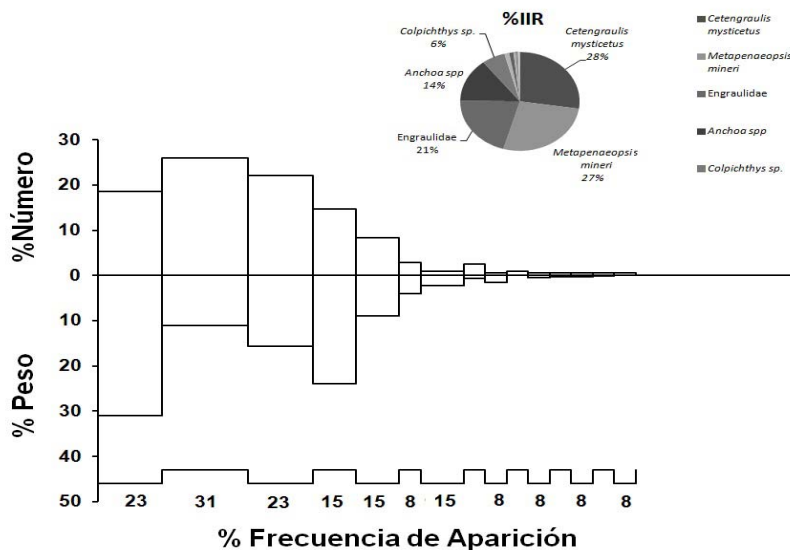
Squilloidea

<i>Squilla panamensis</i>	6	2.94	32.51	4.10	1	7.69	54.15	1.29
<b>Subtotal</b>	<b>70</b>	<b>34.31</b>	<b>144.39</b>	<b>18.20</b>			<b>1282.05</b>	<b>30.60</b>
<b>Total</b>	<b>204</b>	<b>100</b>	<b>793</b>	<b>100</b>	<b>13</b>		<b>4190</b>	<b>100</b>

De acuerdo al método gravimétrico, los componentes más importantes en el contenido estomacal fueron el pez *Cetengraulis mysticetus*, con el 31%, seguido de los camarones *Metapenaeopsis mineri* con el 11%, los peces de la familia Engraulidae con el 15%, *Anchoa* spp. con el 24% y el pez *Colpichthys* spp. con el 8.8%. El peso total de las 204 presas registradas fue de 793.312 g (Tabla 7).

Las presas más frecuentes en los estómagos fueron el camarón *Metapenaeopsis mineri*, que se registró en 4 de los 13 estómagos, seguido del pez *Cetengraulis mysticetus* que apareció en 3 estómagos al igual que los peces de la familia Engraulidae (Tabla 7).

Así, de acuerdo al IIR, se encontró que la anchoveta bocona *Cetengraulis mysticetus*, los camarones *Metapenaeopsis mineri* y los peces de la familia Engraulidae fueron las presas más importantes del espectro trófico de la totoaba durante la campaña de abril del 2010, representando el 75% del total (Fig. 62) (Tabla 7).



**Figura 62.-** Espectro trófico de *T. macdonaldi* durante la campaña de abril del 2010. Se presenta el porcentaje en número, peso, frecuencia de aparición y el Índice de Importancia Relativa (%IIR).

### **Segunda campaña**

Para la campaña de noviembre del 2010 (región III) la única presa presente en el único estómago con alimento, fue el cangrejo *Portunus xantusii* (Tabla 8).

**Tabla 8.** Composición del espectro trófico de *T. macdonaldi* durante la campaña de noviembre del 2010. Se indican valores del método numérico (N), gravimétrico (P), frecuencia de aparición (FA) e Índice de Importancia Relativa (IIR).

	N	%N	P	%P	FA	%FA	IIR	%IIR
CRUSTACEA								
Decapoda								
Brachyura								
<i>Portunus xantusii</i>	3	100	67.52	100	1	100	20000	100

### **Tercera campaña**

Para la campaña de febrero del 2011 (regiones II y III) se identificaron un total de 13 componentes alimentarios en la dieta de la totoaba: seis peces (*Colpichthys* spp., *Cetengraulis mysticetus*, *Umbrina roncadore*, peces de la familia Engraulidae y dos peces no identificados A y B), cuatro crustáceos (*Portunus* spp., *Portunus xantusii*, *Metapenaeopsis mineri*, camarones de la familia Penaeoidea, crustáceos no identificados) y 2 cefalópodos (*Lolliguncula panamensis* y un calamar de la familia Loliginidae) (Tabla 9).

Se registraron un total de 195 organismos en los estómagos, por lo que de acuerdo con el método numérico el grupo de los peces fue el más importante, con el 85.13%. De ellos, el atherinido *Colpichthys* spp. representó el 36.41%, la anchoveta bocona *Cetengraulis mysticetus* el 23.59%, y otros peces de la familia Engraulidae no identificables el 22.5%. Los crustáceos y cefalópodos tuvieron poca incidencia en la dieta (13.85% y 1.03%, respectivamente) (Tabla 9).

Según el método gravimétrico, los componentes más importantes fueron los peces con más del 87.17%, siendo *Colpichthys* spp. (35%), *Cetengraulis mysticetus* (25.6%) y peces de la familia Engraulidae no identificables (23.7%) los más

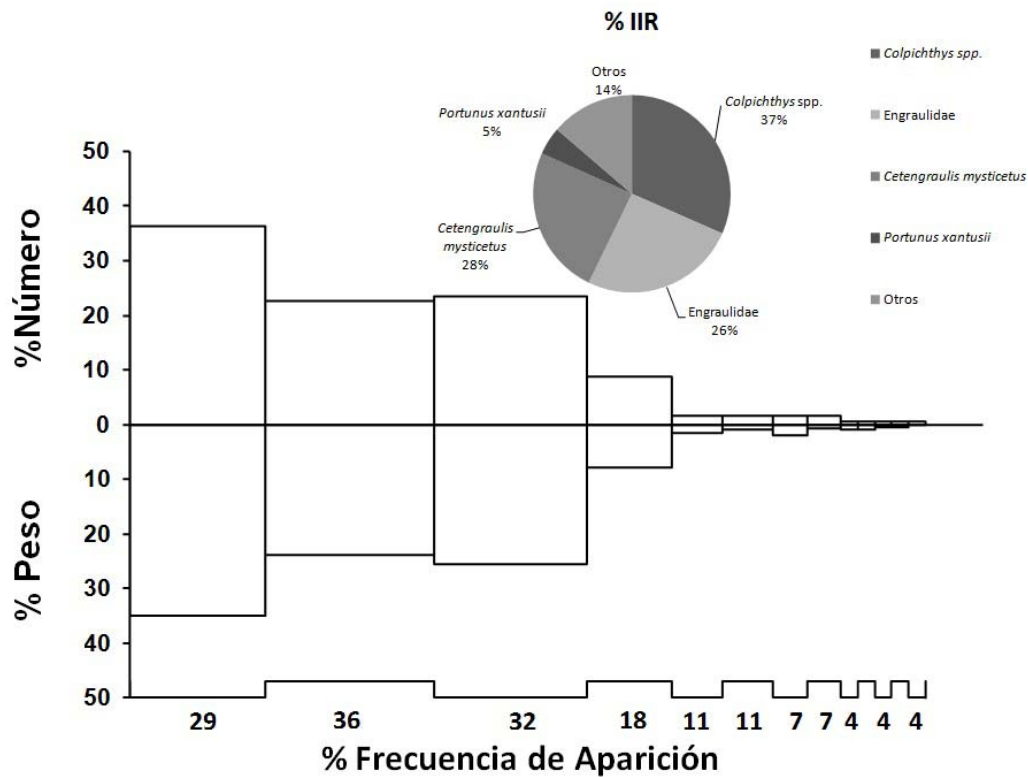
representativos. Los crustáceos aportaron el 11% y los cefalópodos casi el 2%. El peso total de las 195 presas fue de 1,958.5 g (Tabla 9).

**Tabla 9.** Composición del espectro trófico de *T. macdonaldi* durante la campaña de febrero del 2011. Se indican valores del método numérico (N), gravimétrico (P), frecuencia de aparición (FA) e Índice de Importancia Relativa (IIR).

	N	%N	P	%P	FA	%FA	IIR	%IIR
<b>ACTINOPTERYGII</b>								
Pez A	1	0.51	8.24	0.42	1	3.57	3.33	0.06
Pez B	1	0.51	11.41	0.58	1	3.57	3.91	0.07
<b>Atheriniformes</b>								
<b>Atherinopsidae</b>								
<i>Colpichthys</i> spp.	71	36.41	684.38	34.94	8	28.57	2038.72	35.09
<b>Clupeiformes</b>								
Engraulidae	44	22.56	464.88	23.74	10	35.71	1653.61	28.46
<i>Cetengraulis mysticetus</i>	46	23.59	501.32	25.60	9	32.14	1581.02	27.21
<b>Perciformes</b>								
<i>Umbrina roncadora</i>	3	1.54	37.00	1.89	2	7.14	24.48	0.42
<b>Subtotal</b>	<b>166</b>	<b>85.13</b>	<b>1707.23</b>	<b>87.17</b>			<b>5305.08</b>	<b>91.32</b>
<b>CRUSTACEA</b>								
<b>Decapoda</b>								
<b>Portunoidea</b>								
<i>Portunus</i> spp.	3	1.54	29.67	1.51	3	10.71	32.72	0.56
<i>Portunus xantusii</i>	17	8.72	155.56	7.94	5	17.86	297.52	5.12
<b>Penaeoidea</b>								
<i>Metapenaeopsis mineri</i>	1	0.51	0.33	0.02	1	3.57	1.89	0.03
<b>Subtotal</b>	<b>27</b>	<b>13.85</b>	<b>217.54</b>	<b>11.11</b>			<b>494.72</b>	<b>8.52</b>
<b>MOLLUSCA</b>								
<b>Cephalopoda</b>								
<b>Teuthoidea</b>								
<b>Loliginidae</b>								
<i>Loliguncula panamensis</i>	1	0.51	17.28	0.88	1	3.57	4.98	0.09
<i>Loliguncula panamensis</i>	1	0.51	16.41	0.84	1	3.57	4.82	0.08
<b>Subtotal</b>	<b>2</b>	<b>1.03</b>	<b>33.69</b>	<b>1.72</b>	<b>2</b>		<b>9.81</b>	<b>0.17</b>
<b>Total</b>	<b>195</b>	<b>100</b>	<b>1958.5</b>	<b>100</b>	<b>28</b>		<b>5810</b>	<b>100</b>

Las presas más frecuentes en los estómagos de las totoabas en este muestreo fueron los peces de la familia Engraulidae (35.7%), los cuales se registraron en 10 estómagos. *Cetengraulis mysticetus* y *Colpichthys* spp. fueron presas secundarias con el 32% y 28.5% respectivamente de los 27 estómagos revisados. De los crustáceos, el que apareció con mayor frecuencia fue la jaiba *Portunus xantusii* (17.8%). Los cefalópodos fueron las presas menos frecuentes (Tabla 9).

El IIR indica que los peces fueron el componente principal de la dieta de la totoaba durante la campaña de febrero del 2011, ya que alcanzó valores de más del 90%. De ellos, *Colpichthys* spp. fue el más importante (35%), seguido de los peces de la familia Engraulidae no identificables y *Cetengraulis mysticetus* (28% y 27 % respectivamente) (Fig. 63; Tabla 9).



**Figura 63.-** Espectro trófico de *T. macdonaldi* durante la campaña de febrero del 2011. Se presenta porcentaje de número, peso y frecuencia de aparición y el Índice de Importancia Relativa (%IIR).

### ***Cuarta campaña***

Para la campaña de marzo del 2011 (regiones II y III), se identificaron un total de 6 componentes alimentarios en la dieta de la totoaba: cinco peces (*Cetengraulis mysticetus*), peces de la familia Engraulidae, *Umbrina roncadior*, *Bairdiella* spp., y peces no identificables) y un crustáceo no identificable (*Brachyura*) (Tabla 10).

Se registraron un total de 234 organismos, por lo que de acuerdo con el método numérico el grupo de los peces fue el más importante, con el 99%. De ellos, los peces de la familia Engraulidae no identificables representaron el 87.6%, la anchoveta bocona *Cetengraulis mysticetus* el 8.55%, y los crustáceos tuvieron poca incidencia en la dieta (0.85%) (Tabla 10).

De acuerdo al método gravimétrico los componentes más importantes fueron los peces con más del 99.7%, donde los peces no identificables (67%) y los peces de la familia Engraulidae no identificables (26.5%) fueron los más representativos. La aportación de los crustáceos fue mínima (0.21%). El peso total de las 234 presas fue de 1,135.5 g (Tabla 10).

Las presas más frecuentes en los estómagos de las totoabas en esta campaña fueron los peces de la familia Engraulidae (71.4%) que se registraron en 5 de los siete estómagos analizados. El resto de los componentes fueron secundarios ya que solo se encontraron en uno o dos estómagos (Tabla 10).

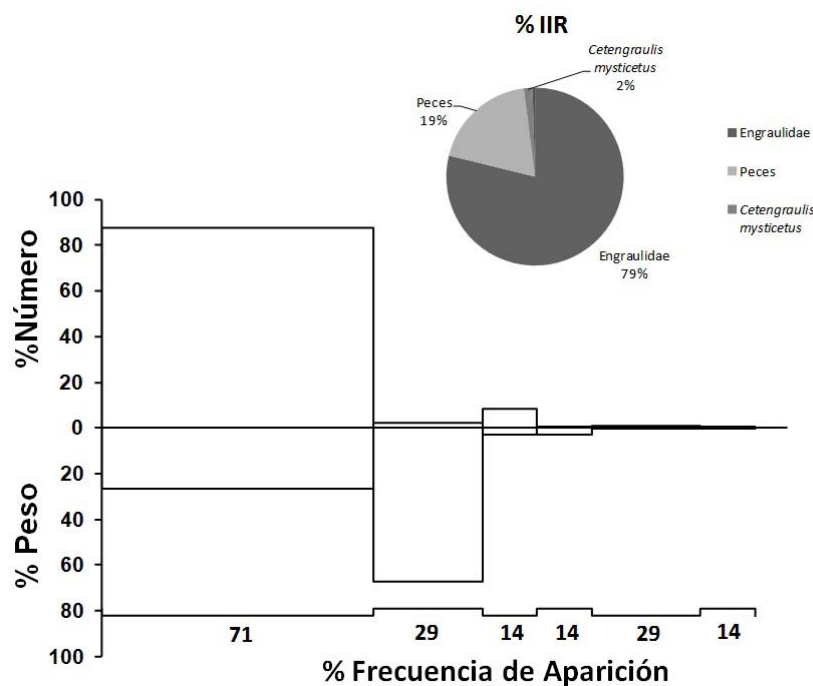
El IIR indica que los peces fueron el componente principal de la dieta de la totoaba durante la campaña de febrero del 2011, ya que alcanzó valores de más del 99%. De ellos, los peces de la familia Engraulidae no identificables representaron el 78.5% seguido de los peces no identificables con el 19% (Fig. 64) (Tabla 10).

### ***Quinta campaña***

Para la campaña de octubre del 2011 (regiones II y III) de los 30 estómagos analizados 27 presentaron los estómagos vacíos y 3 estaban regurgitados.

**Tabla 10.** Composición del espectro trófico de *T. macdonaldi* durante la campaña de marzo del 2011. Se indican valores del método numérico (N), gravimétrico (P), frecuencia de aparición (FA) e Índice de Importancia Relativa (IIR).

	N	%N	P	%P	FA	%FA	IIR	%IIR
<b>ACTINOPTERYGII</b>	5	2.14	762.6	67.16	2	28.57	1979.87	19.07
<b>Clupeiformes</b>								
Engraulidae	205	87.61	301.1	26.52	5	71.43	8151.67	78.51
<i>Cetengraulis mysticetus</i>	20	8.55	32.82	2.89	1	14.29	163.39	1.57
<b>Perciformes</b>								
Sciaenidae								
<i>Umbrina roncadore</i>	1	0.43	5.27	0.46	1	14.29	12.74	0.12
<i>Bairdiella</i> spp.	1	0.43	31.35	2.76	1	14.29	45.55	0.44
<b>Subtotal</b>	<b>232</b>	<b>99.15</b>	<b>1133.14</b>	<b>99.79</b>			<b>10353.21</b>	<b>99.71</b>
<b>CRUSTACEA</b>								
<b>Decapoda</b>								
Brachyura	2	0.85	2.38	0.21	2	28.57	30.41	0.29
<b>Subtotal</b>	<b>2</b>	<b>0.85</b>	<b>2.38</b>	<b>0.21</b>			<b>30.41</b>	<b>0.29</b>
<b>Total</b>	<b>234</b>	<b>100</b>	<b>1135.52</b>	<b>100</b>	<b>7</b>		<b>10383.6143</b>	<b>100</b>



**Figura 64.-** Espectro trófico de *T. macdonaldi* durante la campaña de marzo del 2011. Se presenta porcentaje de número, peso y frecuencia de aparición y el Índice de Importancia Relativa (%IIR).

## ***Sexta campaña***

Para la campaña de noviembre de 2011 (regiones I, II y III), se identificaron un total de 12 organismos-presa en la dieta de la totoaba: diez peces (*Colpichthys* spp, *Cetengraulis mysticetus*, *Mugil cephalus*, *Bairdiella* spp, *Scomber japonicus*, *Eucinostomus dowii*, *Paralichthys californicus*, pez A, pez O y peces que por el grado de digestión no pudieron ser identificados) y dos crustáceos (cangrejos *Portunus* spp y los camarones *Metapenaeopsis mineri*) (Tabla 11).

Se registraron un total de 55 organismos, por lo que de acuerdo con el método numérico el grupo de los peces fue el más importante, con el 92.7%. De ellos, los más representativos fueron los peces no identificables con el 30.9%, el pejerrey *Colpichthys* spp. con el 27.2%, y la lisa rayada *Mugil cephalus* con el 12.7%. Los crustáceos representaron solo el 7.27 % (Tabla 11).

Según el método gravimétrico los componentes más importantes fueron los peces con el 95%, donde la lisa rayada *Mugil cephalus* (46.9%), los peces no identificables (12.3%) y la macarela *Scomber japonicus* (12.10%) fueron los más representativos. La aportación de los crustáceos fue mínima (5%). El peso total de las 55 presas fue de 1000.94 g (Tabla 11).

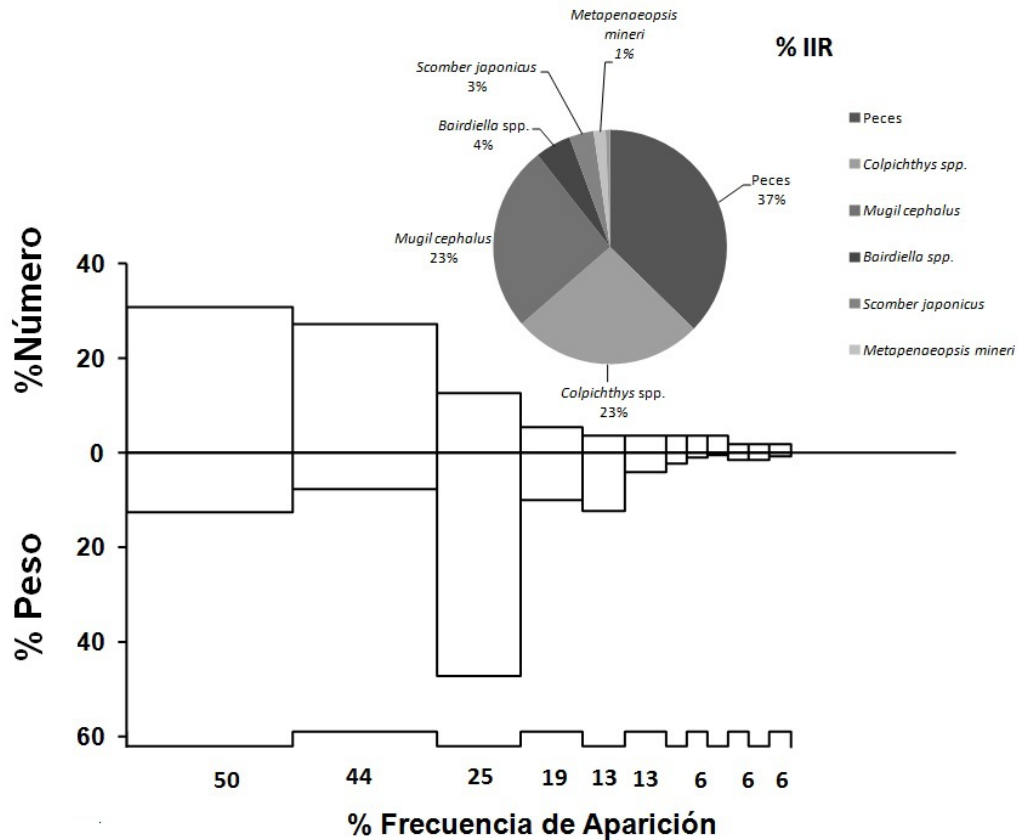
Las presas más frecuentes en los estómagos analizados en esta campaña fueron los peces no identificados (50%) y el pejerrey *Colpichthys* spp. (43.7%) que se registraron en 8 y 7 estómagos respectivamente. De los crustáceos, el camarón *Metapenaeopsis mineri* apareció en dos estómagos (12.5%) y la jaiba *Portunus* spp. (6.25%) solo en un estómago (Tabla 11).

El IIR indica que los peces fueron el componente principal de la dieta de la totoaba durante la campaña de noviembre del 2011, ya que alcanzó valores del 97.8%. De ellos, los peces no identificados fue el grupo más importante (35.5%), seguido del pejerrey *Colpichthys* spp. (25.8%) y la lisa rayada *Mugil cephalus* (25.25%) (Fig. 65; Tabla 11).



**Tabla 11.** Composición del espectro trófico de *T. macdonaldi* durante la campaña de noviembre del 2011. Se indican valores del método numérico (N), gravimétrico (P), frecuencia de aparición (FA) e Índice de Importancia Relativa (IIR).

	<b>N</b>	<b>%N</b>	<b>P</b>	<b>%P</b>	<b>FA</b>	<b>%FA</b>	<b>IIR</b>	<b>%IIR</b>
<b>ACTINOPTERYGII</b>	17	30.91	123.605	12.35	8	50	2162.90	36.59
Pez A	1	1.82	14.98	1.50	1	6.25	20.72	0.35
Pez O	2	3.64	21.05	2.10	1	6.25	35.87	0.61
<b>Atheriniformes</b>								
Atherinopsidae								
<i>Colpichthys</i> spp.	15	27.27	76.65	7.66	7	43.75	1528.21	25.86
<b>Clupeiformes</b>								
Engraulidae								
<i>Cetengraulis</i> <i>mysticetus</i>	2	3.64	3.2	0.32	1	6.25	24.73	0.42
<b>Mugiliformes</b>								
Mugilidae								
<i>Mugil cephalus</i>	7	12.73	470.05	46.96	4	25	1492.20	25.25
<b>Perciformes</b>								
Gerreidae								
<i>Eucinostomus dowii</i>	1	1.82	14.81	1.48	1	6.25	20.61	0.35
Sciaenidae								
<i>Bairdiella</i> spp.	3	5.45	99.91	9.98	3	18.75	289.43	4.90
Scombridae								
<i>Scomber japonicus</i>	2	3.64	121.16	12.10	2	12.5	196.76	3.33
<b>Pleuronectiformes</b>								
Paralichthyidae								
<i>Paralichthys californicus</i>	1	1.82	5.51	0.55	1	6.25	14.80	0.25
<b>Subtotal</b>	<b>51</b>	<b>92.73</b>	<b>950.925</b>	<b>95.00</b>	<b>59</b>		<b>5786.22</b>	<b>97.89</b>
<b>CRUSTACEA</b>								
<b>Portunoidea</b>								
<i>Portunus</i> spp.	2	3.64	9.97	1.00	1	6.25	28.95	0.49
<b>Penaeoidea</b>								
<i>Metapenaeopsis mineri</i>	2	3.64	40.05	4.00	2	12.5	95.47	1.62
<b>Subtotal</b>	<b>4</b>	<b>7.27</b>	<b>50.02</b>	<b>5.00</b>	<b>25</b>		<b>124.42</b>	<b>2.11</b>
<b>Total</b>	<b>55</b>	<b>100</b>	<b>1000.945</b>	<b>100</b>	<b>16</b>		<b>5910.64</b>	<b>100.00</b>

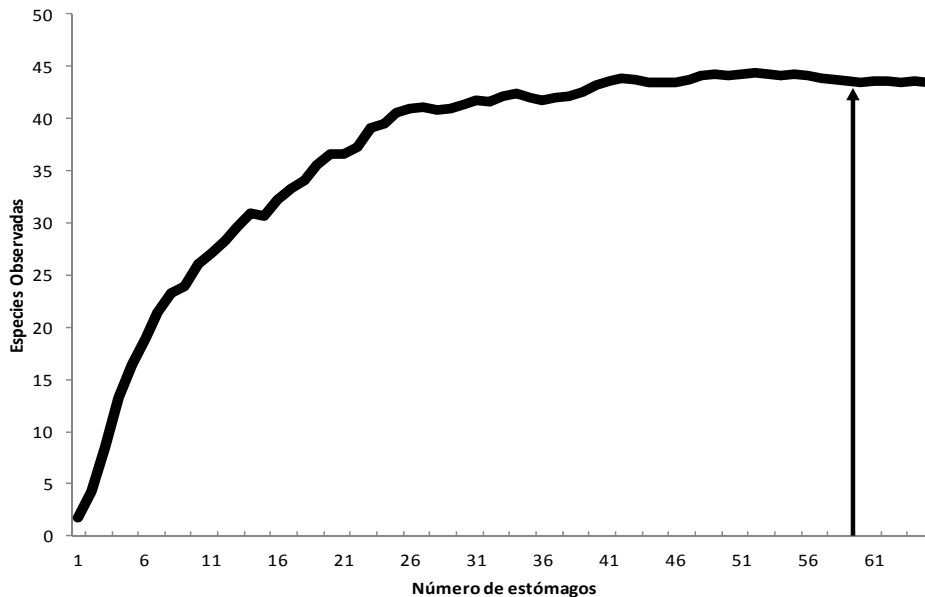


**Figura 65.-** Espectro trófico de *T. macdonaldi* durante la campaña de noviembre del 2011. Se presenta porcentaje de número, peso y frecuencia de aparición y el Índice de Importancia Relativa (%IIR).

### Espectro trófico global

Del total de organismos analizados 65 contenían alimento (32%) y 138 estuvieron vacíos (68%). Para determinar si el número de estómagos analizados es suficiente para caracterizar el espectro trófico de *Totoaba macdonaldi*, se empleó una curva acumulativa de presas de acuerdo con la metodología propuesta por Jiménez-Valverde y Hortal (2003). Empleando una matriz con el número total de estómagos analizados relacionada con las presas y de manera aleatoria (100 veces), se obtiene una curva de especies-presa (usando el programa Primer 6). El tamaño de muestra se considera adecuado la acumulación sucesiva de especies-presas de los componentes

alimentarios se estabiliza (Fig. 66). El tamaño mínimo de muestra estimado es de aproximadamente 60 estómagos, por lo que es representativo el análisis global del espectro trófico de la totoaba.



**Figura 66.** Curva de acumulación sucesiva de presas (desde  $n = 1$  hasta  $n = 65$ ) muestra que la diversidad de componentes alimentarios de la totoaba ha alcanzado el punto de estabilización.

Se identificaron un total de 29 componentes alimentarios en la dieta de la totoaba: 17 correspondieron a peces, diez a crustáceos y 2 cefalópodos (Tabla 12).

Se registraron un total de 691 organismos, por lo que de acuerdo al método numérico los peces constituyen el grupo más importante (84.37%), seguido de los crustáceos (15.34%) y los cefalópodos (solo el 0.29%). Entre los peces destacan los engraulidos no identificables (42.55%), la anchoveta bocona *Cetengraulis mysticetus* (15.34%) y el pejerrey *Colpichthys* spp (14.91%) (Tabla 12).

De acuerdo al método gravimétrico el componente más importantes nuevamente fueron los peces, ya que aportaron casi el 90%, mientras que los crustáceos solo el 9.73% y los cefalópodos apenas el 0.68% (Tabla 12). Entre los peces destacan los

engraulidos no identificables (17.96%), la anchoveta bocona *Cetengraulis mysticetus* (15.81%), el pejerrey *Colpichthys* spp (16.78%) y otros peces Actinopterygii no identificados (17.92%) (Tabla 12).

Las presas más frecuentes en los estómagos fueron los peces, apareciendo en 60 de los 65 estómagos analizados, los crustáceos en 25 estómagos y cefalópodos en 2 estómagos (Tabla 12).

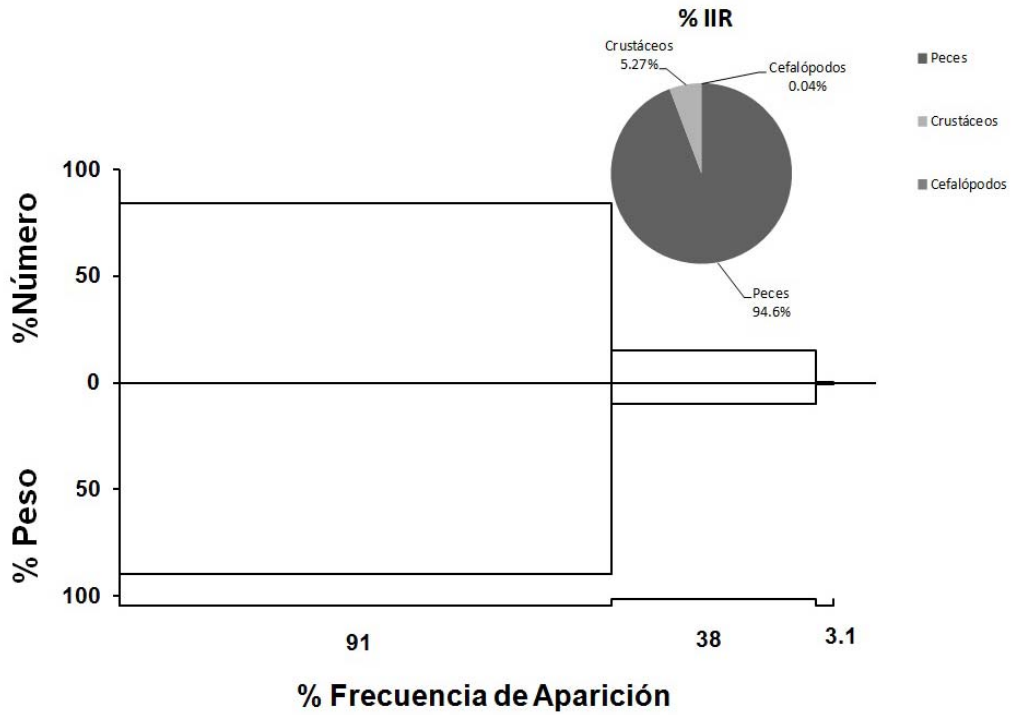
Los valores globales de IIR reflejan que el grupo de los peces fue el más representativo del espectro trófico de la totoaba, aportando los peces de la familia Engraulidae (identificados y no-identificados a nivel específico) y *Colpichthys* spp. más del 60%. El total de los crustáceos aporta el 5.26% de la dieta, siendo el más representativo el camarón *Metapenaeopsis mineri* con el 2.89%, y los cefalópodos no superaron el 0.04% del IIR (Fig. 67).

El valor del índice de Levin (*B<sub>i</sub>*) señala que este depredador presenta una conducta alimentaria especialista, ya que presenta un valor de 0.090.

**Tabla 12.** Composición del espectro trófico global de *T. macdonaldi*. Se indican valores del método numérico (N), gravimétrico (P), frecuencia de aparición (FA) e índice de importancia relativa (IIR).

	N	%N	P	%P	FA	%FA	IIR	%IIR
<b>ACTINOPTERYGII</b>	23	3.33	888.29	17.92	14	21.54	457.74	11.52
Pez A	2	0.29	23.22	0.47	2	3.08	2.33	0.06
Pez B	1	0.14	11.41	0.23	1	1.54	0.58	0.01
Pez C	1	0.14	0.7	0.01	1	1.54	0.24	0.01
Pez L	1	0.14	11.55	0.23	1	1.54	0.58	0.01
Pez O	2	0.29	21.05	0.42	1	1.54	1.10	0.03
<b>Atheriniformes</b>								
Atherinopsidae								
<i>Colpichthys</i> spp.	103	14.91	831.51	16.78	17	26.15	828.66	20.85
<b>Clupeiformes</b>								
Engraulidae	294	42.55	889.96	17.96	18	27.69	1675.51	42.16
<i>Cetengraulis mysticetus</i>	106	15.34	783.341	15.81	14	21.54	670.84	16.88
<i>Anchoa</i> spp.	30	4.34	190.51	3.84	2	3.08	25.19	0.63
<b>Mugiliformes</b>								
Mugilidae								
<i>Mugil cephalus</i>	7	1.01	470.05	9.48	4	6.15	64.60	1.63
<b>Ophidiiformes</b>								

Ophidiidae									
<i>Lepophidium microlepis</i>	1	0.14	3.67	0.07	1	1.54	0.34	0.01	
<b>Perciformes</b>									
Gerreidae									
<i>Eucinostomus dowii</i>	1	0.14	14.81	0.30	1	1.54	0.68	0.02	
Sciaenidae									
<i>Umbrina roncadior</i>	4	0.58	42.27	0.85	3	4.62	6.61	0.17	
<i>Bairdiella</i> spp.	4	0.58	131.26	2.65	4	6.15	19.86	0.50	
Scombridae									
<i>Scomber japonicus</i>	2	0.29	121.16	2.44	2	3.08	8.41	0.21	
<b>Pleuronectiformes</b>									
Paralichthyidae									
<i>Paralichthys californicus</i>	1	0.14	5.51	0.11	1	1.54	0.39	0.01	
<b>Subtotal</b>	<b>583</b>	<b>84.37</b>	<b>4440.27</b>	<b>89.59</b>	<b>60</b>		<b>3763.66</b>	<b>94.70</b>	
<b>CRUSTACEA</b>	<b>4</b>	<b>0.58</b>	<b>17.67</b>	<b>0.36</b>	<b>4</b>	<b>6.15</b>	<b>5.76</b>	<b>0.14</b>	
<b>Decapoda</b>									
Brachyura	3	0.43	4.3	0.09	3	4.62	2.40	0.06	
<b>Portunoidea</b>	<b>2</b>	<b>0.29</b>	<b>17.29</b>	<b>0.35</b>	<b>2</b>	<b>3.08</b>	<b>1.96</b>	<b>0.05</b>	
<i>Portunus</i> spp.	5	0.72	39.64	0.80	4	6.15	9.37	0.24	
<i>Portunus xantusii</i>	20	2.89	223.08	4.50	6	9.23	68.27	1.72	
<b>Penaeoidea</b>	<b>3</b>	<b>0.43</b>	<b>14.33</b>	<b>0.29</b>	<b>2</b>	<b>3.08</b>	<b>2.23</b>	<b>0.06</b>	
<i>Metapenaeopsis mineri</i>	56	8.10	127.781	2.58	7	10.77	115.04	2.89	
<b>Euphausiacea</b>									
Euphausiidae	2	0.29	0.05	0.00	1	1.54	0.45	0.01	
<b>Sicyoniidae</b>									
<i>Sicyonia</i> spp.	5	0.72	5.34	0.11	1	1.54	1.28	0.03	
<b>Stomatopoda</b>									
Squilloidea									
<i>Squilla panamensis</i>	6	0.87	32.51	0.66	1	1.54	2.35	0.06	
<b>Subtotal</b>	<b>106</b>	<b>15.34</b>	<b>481.991</b>	<b>9.73</b>	<b>25</b>		<b>209.11</b>	<b>5.26</b>	
<b>MOLLUSCA</b>									
<b>Cephalopoda</b>									
<b>Teuthida</b>									
Loliginidae	1	0.14	17.28	0.35	1	1.54	0.76	0.02	
<i>Lolliguncula panamensis</i>	1	0.14	16.41	0.33	1	1.54	0.73	0.02	
<b>Subtotal</b>	<b>2</b>	<b>0.29</b>	<b>33.69</b>	<b>0.68</b>	<b>2</b>		<b>1.49</b>	<b>0.04</b>	
<b>Total</b>	<b>691</b>	<b>100.00</b>	<b>4955.95</b>	<b>100</b>	<b>65</b>		<b>3974.26</b>	<b>100</b>	



**Figura 67.-** Espectro trófico global de *T. macdonaldi*. Se presenta porcentaje de número, peso y frecuencia de aparición y el Índice de Importancia Relativa (%IIR).

## DISCUSIÓN

La estructura por tallas y peso reportados en el presente informe corresponden tanto a organismos juveniles que van desde los 300 mm de LT con un peso total de 1,000 g, como a organismos adultos reproductores de hasta 1,900 mm de LT con un peso total de 57,000 g. La estructura por talla mostró en general 5 cohortes más o menos bien definidas. Sin embargo, el número de organismos capturados inferiores a 600 mm de LT y 3,000 g de PT, y superiores a los 1,400 mm de LT y 23,000 g de PT fueron escasos. Es importante incrementar el tamaño de muestra, particularmente, las correspondientes a tallas juveniles (pequeñas) y adultos (reproductores) para poder tener la estructura poblacional lo más completa posible. Durante el periodo de estudio, la distribución de la estructura de tallas en el gradiente latitudinal, no indicó un patrón claro, pero si es observable una selectividad del arte de pesca. La captura con red camaronera registró las tallas más pequeñas estando en los intervalos de 300 y 350 mm de LT. La captura con caña presentó un intervalo de tallas de 450 a 1,250 mm de LT, siendo las tallas mejor representadas. La captura con red agallera mostró un intervalo de tallas de 1,000 a 1900 mm de LT, registrándose con este arte la captura de organismos con tallas más grandes. Hay un grupo de tallas que es capturado tanto por caña como por red agallera y está en el intervalo de 1,000 a 1250 mm de LT. Flanagan (1973) reportó una distribución de tallas de la captura comercial del año 1963 que van de 1017 (1172 mm LT) a 1576 (1791 mm LT) mm de longitud patrón (LP), con una mayor frecuencia en el intervalo de 1147 (1316 mm LT) a 1189 mm LP (1362 mm LT), y una talla promedio de 1249 mm LP (1429 mm LT). Los números en paréntesis son sus equivalentes en longitud total para ser comparados con los valores reportados en este estudio en LT. Estas tallas reportadas por Flanagan (1973) concuerdan con las tallas registradas en este estudio capturadas con red agallera y corresponden en su mayoría a organismos reproductores. Román-Rodríguez (1994) reportó la captura de organismos reproductores en los meses de febrero y abril con distribución de frecuencias en un intervalo reducido que fluctuó alrededor de una talla promedio de 1,355 mm LP  $\pm$  13.3 (1546 mm LT). También registró una hembra con una talla máxima de 1,780 mm LT. Otro reporte de captura de hembra con talla máxima de 1,980 mm LT fue registrado en el año de 1985 (Barrera-Guevara, com. per.). Asimismo, Flanagan y

Hendrickson (1976) mencionan la existencia de organismos de tallas cercanas a los dos metros. En el presente estudio se tiene el registro de un individuo con 1,860 mm LT, que al igual que en el pasado han sido casos extremos. Román-Rodríguez y Hammann, (1997) colectaron muestras de juveniles de redes de arrastre de camarón y de adultos usando redes agalleras durante las temporadas reproductivas (Feb-Abr) de 1986, 1987 y 1989-1991. Ellos reportan para juveniles un intervalo de tallas de 100 a 600 mm LP (155 a 709 mm LT) con un promedio de 223 mm LP (291 mm LT), y para adultos el intervalo fue de 600 a 1,850 mm LP (709 a 2,095 mm LT) con un promedio de 1,360 mm LP (1,552 mm LT). Pedrín-Osuna *et al.* (2001) con datos de capturas experimentales y de fomento de 1983 a 1993 también reportan distribución de tallas, y estas son similares a las encontradas en el presente estudio.

La relación de potencia presentó un crecimiento isométrico, con excepción de dos muestreos en los meses de febrero y septiembre del 2011 en los que se observó un crecimiento alométrico, pero en estos muestreos el intervalo de talla registrado fue pequeño. Considerando las seis campañas de muestreo la relación longitud total-peso total mostró claramente que la totoaba crece de manera isométrica ( $b=3.06$ ). Al respecto Román-Rodríguez (1994) reporta también un crecimiento isométrico, al igual que algunas especies de scianidos (Román-Rodríguez, 2000).

La edad máxima calculada para los organismos capturados durante los muestreos de este estudio fue de 27 años, el organismo midió 1,860 mm LT, lo anterior con base en el modelo que describe la relación longitud del otolito (rostrum-postrostrum) vs edad propuesta por Román-Rodríguez y Hammann (1997) para la especie. Diferentes estudios enfocados a edad y crecimiento de totoaba y usando el modelo de crecimiento individual de von Bertalanffy han sido realizados por diversos autores. El primero de ellos por Nakashima (1916), este autor estimó una edad máxima (para un pez de 1,980 mm de longitud estándar) de 9 años, hoy en día a todas luces subestimada. Berdegué (1955) reportó una  $L_{\infty}=1,330$  mm y una edad máxima de 15 años. Flanagan (1973) reanalizó los datos de Berdegué y estimó una  $K=0.16$  año<sup>-1</sup>, una  $L_{\infty}=1,467$  mm y una edad máxima de 20 años. Molina-Váldez *et al.*, (1988) usando estructura por tallas reportaron una  $K=0.119$  año<sup>-1</sup>, una  $L_{\infty}=1,373$  mm,  $t_0=-2.264$  y una edad máxima de 19 años, que también se observa una subestimación de la edad



máxima. Román-Rodríguez y Hammann (1997) usando lectura de anillos de crecimiento en otolitos para determinar la edad reportan una  $K=0.3162$ , una  $L_{\infty}=1,355$ ,  $t_0=0.04994$  y una edad máxima de 25 años. Cisneros-Mata *et al.*, (1995) agruparon todos los datos y obtuvieron una  $K=0.152 \text{ año}^{-1}$ ,  $L_{\infty}=1,699 \text{ mm LT}$ ,  $t_0=-0.61 \text{ año}$ . Pedrín-Osuna *et al.*, (2001) usando tallas de juveniles y adultos, y métodos indirectos reportan valores de  $K=0.1856$  y  $K=0.1743 \text{ año}^{-1}$ ,  $L_{\infty}=207.49$  y  $L_{\infty}=206.33 \text{ cm}$ ,  $t_0=-0.751$  y  $t_0=-0.3$  año obtenidos por los métodos SLCA y ELEFAN, respectivamente. No obstante de ser difícil comparar los diferentes resultados por la gran heterogeneidad de los datos y métodos usados con los obtenidos en este estudio ( $K=0.22 \text{ año}^{-1}$ ,  $L_{\infty}=1,566 \text{ mm LT}$ ,  $t_0=-0.65$  año y una edad máxima de 27 años), es claro que la totoaba es una especie longeva y de lento crecimiento.

El coeficiente instantáneo de mortalidad natural ( $M$ ) usando la ecuación de Pauly (1984) fue de  $M=0.35 \text{ año}^{-1}$ , y el coeficiente instantáneo de mortalidad total ( $Z$ ) usando el modelo de extinción exponencial fue de  $Z=0.4252 \text{ año}^{-1}$ , y usando el modelo de Beverton y Holt (Sparre y Venema, 1995) fue de  $Z=1.77 \text{ año}^{-1}$ . Con excepción de este último valor de  $Z$ , coinciden con los valores reportados para la especie por Cisneros-Mata *et al.*, (1995) con una  $M=0.268 \text{ año}^{-1}$  y una  $Z=0.414 \text{ año}^{-1}$ . Pedrín-Osuna *et al.*, (2001) con datos de muestreo de capturas experimentales para los años de 1983 a 1993, reportaron una  $M=0.205 \text{ año}^{-1}$  y una  $Z$  promedio para los nueve años de estudio con un valor de  $Z=0.53$  y  $Z=0.73 \text{ año}^{-1}$  para tallas de primera captura de 140 cm y 150 cm, respectivamente. Es evidente que los resultados varían de acuerdo al tipo de muestreo y los métodos utilizados para obtener sus estimaciones. Los valores de mortalidad obtenidos en el presente estudio se consideran valores razonables para la especie, ya que una especie tan longeva (27 años) y de crecimiento lento ( $K=0.22 \text{ año}^{-1}$ ) no podría soportar mortalidades altas, pues se extinguiría rápidamente (Sparre y Venema, 1995). Beverton y Holt (1959) encontraron que valores de la razón  $M/K$ , por lo general, se sitúan en el rango de 1.5 a 2.5. Esta razón ( $M/K$ ) para la especie en el presente estudio entra en el intervalo con un valor de 1.59.

La distribución de la totoaba en el Golfo de California sigue siendo amplia, desde la boca del río Fuerte en Sinaloa (región I) hasta la boca del río Colorado en Sonora (región II), y por la costa de la Península desde la boca del Río Colorado hasta la zona

de las Islas El muerto y San Luis (Las Encantadas) (región III), y un poco más al sur. Esta ha sido la cobertura de muestreo y donde casi en todos los lugares hemos capturado totoaba, en su gran mayoría juveniles y pre-adultos. La distribución y captura de adultos ha sido y sigue siendo en el Alto Golfo, particularmente, en las áreas vecinas a la boca del río Colorado en los meses de febrero-abril cuando la totoaba sigue un patrón de migración ontogenético bien establecido con propósitos reproductivos. Esta distribución y comportamiento migratorio ha sido reportado por numerosos investigadores (Rosales-Juárez y Ramírez-González, 1987; Barrera-Guevara, 1990; Román-Rodríguez, 1990, 1994; Cisneros-Mata *et al.*, 1995; Cisneros-Mata *et al.*, 1997).

Por lo que respecta a las muestras de ovario de *T. macdonaldi* procesadas por técnica histológica general, fueron analizadas para determinar la dinámica de la ovogénesis y la organización histológica general del ovario. Se determinó que en esta especie la ovogénesis asociada al crecimiento y desarrollo folicular comprende 9 sub-estadios ovocitarios intraováricos, y que no existe sincronía interfolicular. La maduración del ovario comprende 6 estadios, aunque al momento solo se han observado 5 estadios, se espera en futuros muestreos obtener el estadio 6 que correspondería al posdesove “efectivo”. Los estadios utilizados en complemento a las diferentes escalas macroscópicas de madurez sexual e índice gonadosomático, permiten definir adecuadamente el ciclo reproductivo de esta especie. Estos eventos, que dan como resultado el creciente máximo de los ovocitos, son criterios fiables para determinar el periodo de desove. Sin embargo, los ovocitos en diferentes clases vitelogénicas siguen creciendo en los ovarios, lo cual define la estrategia asincrónica en esta especie. Estas observaciones se hicieron en los ovarios de la muestras de febrero, lo que indica que la maduración de ovocitos es un proceso acelerado que dura de uno a dos meses a partir del inicio de la vitelogénesis. Una vez finalizada la madurez morfológica, los ovocitos en estadio de metafase I son liberados al lúmen ovárico y las estructuras foliculares remanentes dan origen al folículo postovulatorio. La madurez de los ovocitos es asincrónica, por lo que las hembras desovan parcialmente durante varios días. El epitelio germinal se renueva debido a que las ovogonias proliferan durante el largo periodo de reposo, durante el verano y otoño. Después de la ovulación, el tejido trabecular ovárico permanece, por lo cual no pierde su función gametogénica,

esto significa que una vez que las hembras alcanzan la talla de primera madurez, y durante las subsecuentes temporadas de desove, el ovario no se reabsorbe totalmente, regresando al estadio ovárico I, que contiene los ovocitos previtelogénicos que constituyen las siguientes generaciones de ovulos. En general, la totoaba presenta desarrollo gonádico asincrónico con desoves parciales. La actividad reproductiva es estacional, se presenta en un periodo principal (primavera), representada por los altos porcentajes de gónadas maduras.

Barrera-Guevara (1992) realizando un estudio de la biología reproductiva con 201 especímenes adultos de totoaba, reportaron que el desarrollo oocítico sigue un patrón asincrónico continuo, aspecto que se corrobora en este estudio. Estos mismos autores clasifican a la especie como desovante único, este aspecto no es corroborado en el presente estudio, más bien es considerado como una especie con desoves parciales.

La proporción de sexos aunque variable en tiempo y espacio, en general, mostró una relación 1.17:1, pero al no haber diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), podemos suponer que la relación es una hembra por cada macho. Barrera-Guevara (1992) reportan para el Alto Golfo por el lado de Baja California una proporción de siete hembras por cada macho, sugiriendo la formación temporal de cardúmenes predesovantes unisexuales, en contraste, por el lado de Sonora registran casi una hembra por cada macho. Rosales-Juárez y Ramírez-González (1987) también mencionan que las totoabas tienen tendencia de agruparse en cardúmenes de un sólo sexo. En los seis muestreos realizados en este estudio no se observó este comportamiento de cardúmenes unisexuales.

Los valores de IGS presentaron gran variabilidad reflejando una característica del desarrollo ovárico y testicular asincrónico. De Vlaming *et al.* (1982) mencionan que esta variabilidad en IGS, es producida por los cambios continuos por acumulación y descarga de gametos. En general, los machos presentaron valores promedio más bajos y con un valor máximo obtenido en febrero de 2011, mientras que para hembras se registró en el mes de marzo del mismo año, coincidiendo con los estadios de madurez y desove. Esto concuerda con lo reportado por Román-Rodríguez (1990), siendo más alto el valor obtenido para hembras y en el mes de abril. Barrera-Guevara (1992) mencionan

que IGS puede emplearse como indicador de la actividad ovárica sólo de una manera limitada. Al respecto, Ochoa-Báez (1998) concluye que IGS por sí solo no da información suficiente para la identificación de los periodos de desove.

El factor de condición es considerado como una medida indirecta del estado fisiológico del pez, de manera que valores bajos sugieren exposición a condiciones ambientales adversas y/o mala nutrición (Blackwell *et al.*, 2000). Los valores obtenidos de este índice para la totoaba no mostraron tendencia alguna, y si un comportamiento estable a lo largo del año con valores ligeramente altos en los meses de reproducción, con lo que prácticamente no se observa un uso de sus reservas energéticas. Es posible que la energía necesaria para la reproducción sea obtenida de su consumo diario de alimento (Massutí y Morales-Nin, 1997).

La talla de primera madurez individual se registró en una hembra de 1,160 mm LT y en un macho de 755 mm LT. Con estos valores, aparentemente los machos maduran a tallas más pequeñas, sin embargo, esto puede ser un efecto de muestreo al capturar pocos organismos en etapa madura durante el periodo reproductivo, o bien, ser un efecto del arte de pesca, ya que se ha estado utilizando caña y red agallera. Por lo que es importante incrementar el tamaño de muestra y poder verificar este comportamiento. Rosales-Juárez y Ramírez-González (1987) reportan a los ejemplares más pequeños sexualmente maduros en tallas de 1,210 mm (no mencionan el tipo de longitud, total o patrón).

Referente a la talla de primera madurez poblacional ( $L_{50\%}$ ) durante el periodo de estudio, fue calculada para hembras en 1,311 mm LT, para machos en 1,183 mm LT, y para el total de la población madura se obtuvo en 1,240 mm LT. Sugiriendo que los machos maduran a tallas más pequeñas, independientemente del tamaño de muestra y del arte de pesca. La longitud de primera madurez de hembras y machos ha sido determinada en 1,300 y 1,200 mm, respectivamente, por Arvizu y Chávez (1972) y Molina-Váldez *et al.* (1988), coincidiendo con este estudio tanto en las longitudes de primera madurez como en que los machos maduran a tallas más pequeñas. Cisneros-Mata *et al.* (1995) usando estas longitudes (1,300 y 1,200 mm) y el modelo crecimiento individual, estimaron la edad promedio de primera reproducción en hembras y machos en 7 y 6 años de edad, respectivamente.

Los valores mínimo y máximo de  $14,437 \text{ kg}^{-1}$  y  $2,582,191 \text{ kg}^{-1}$ , respectivamente de fecundidad parcial, representan una gran variabilidad y una media alta ( $338,486 \text{ kg}^{-1}$ ) en la fecundidad de la especie. Un sólo organismo capturado con una LT de 1,860 mm, un PT de 57,000 g, y un peso de gónada de 4,630 g, produjo un estimado muy por encima de los otros organismos capturados. Barrera-Guevara (1992) con un tamaño de muestra de 8 totoabas y basado en la frecuencia de ovocitos maduros más grandes que  $500 \mu$ , estimó la fecundidad parcial de  $61,067 \text{ kg}^{-1}$ . Coteró-Altamirano y Tapia-Vázquez (1993) con un tamaño de muestra de 25 individuos y basados en la frecuencia de ovocitos vitelogénicos, estimaron la fecundidad parcial de  $470,570 \text{ kg}^{-1}$ . Aunque es difícil argumentar sobre las diferencias entre los estimados de fecundidad, es posible que este último valor reportado esté sobreestimado.

Las características de la estrategia reproductiva que presenta la totoaba, como lo es el desarrollo asincrónico de sus ovocitos, el desove parcial y la duración de varios meses, sugieren que los únicos ovocitos que son liberados son aquellos que llegan a la fase de hidratación y en varias ocasiones en una misma temporada de reproducción. Arocha *et al.* (1999) sugieren que la estimación de la fecundidad parcial debe hacerse sólo sobre la porción de ovocitos hidratados próximos a ser liberados. Los resultados de fecundidad parcial obtenidos en este estudio deben ser considerados como preliminares, ya que para estimar la fecundidad parcial de la totoaba se consideraron ovocitos no hidratados ( $400 \mu$ ), por lo que posiblemente se esté sobreestimando la fecundidad parcial.

El porcentaje de estómagos vacíos es, aparentemente, muy alto en la totoaba, ya que de modo global representó el 68%, y en las campañas varió desde un 15.2% (campaña 3, febrero 2011) hasta el 100% (campaña 5, octubre 2011). La explicación poco tiene que ver con la época de muestreo, sino con la profundidad de la cual se extraen cuando se usa la técnica de caña y anzuelo. Cuando estos peces son capturados mediante anzuelos, la rápida ascensión de los peces en la columna de agua provoca drástico cambio de presión, pasando de varias atmósferas en el fondo a una en superficie (cada 10 metros de profundidad es una atmósfera de presión), lo que causa una violenta expansión de la vejiga gaseosa que llega incluso a salir por la boca. Esto provoca la eversión del estómago y pérdida del alimento en la mayoría de los

organismos. Por eso, cuando son capturados mediante redes el porcentaje de eversión de estómagos es menor, ya que permanecen por varias horas atrapados y mueren por sofocación, y no hay el problema de la descompresión. Observaciones similares ya habían sido comentadas por Berdegué (1955), quien solo pudo obtener 9 organismos con alimento de un total de 80 capturados con anzuelos en San Felipe, en el Alto Golfo de California. True *et al.* (1997) comentan esta problemática de la descompresión en totoabas capturadas con anzuelo, y desarrollaron un procedimiento de manejo para poder mantenerlos con vida con fines acuaculturales. Román Rodríguez (1989, 1990), quien utilizó redes agalleras y de deriva para sus muestreos, registró porcentajes de estómagos vacíos que fueron del 0% al 75%, sugiriendo que la vacuidad de los estómagos se asocia con la época reproductiva.

Los primeros antecedentes de la alimentación de la totoaba proceden de Nakashima (1916), quien menciona que la dieta se basa en peces pequeños y crustáceos, pero principalmente camarones, aunque no da mayor información acerca de las tallas o cuantos organismos fueron analizados. En nuestro estudio, basado en 65 organismos con alimento, la primera aproximación a la dieta de la totoaba indica que es un depredador ictiófago (IIR 94.70%) altamente selectivo, ya que su alimento primario lo constituyen los peces engráulidos (59.67%), y muy secundariamente los crustáceos (IIR 5.26%). Esto fue corroborado con la estimación de amplitud de nicho (Índice de Levin estandarizado), que fue cercano a 0. Este patrón de alimentación fue el más frecuente, ya que ocurrió en todas las campañas excepto en la Primera (abril 2010), donde solo alcanzó el 69.40%, y en la Segunda (noviembre 2010) donde se tuvo un solo individuo con alimento (una jaiba), por lo que no es representativo.

Estos resultados no difieren de los presentados por Berdegué (1955, 1956), quien utilizó indicadores cualitativos de la abundancia de las presas. El acota que los juveniles (190-290 mm LP; N=7) básicamente se alimentan de crustáceos y algunos peces pequeños, mientras que los organismos adultos (920-1270 mm LP; N=9) prácticamente se alimentaron de engráulidos y algunos crustáceos. Otros autores como Arvizu y Chávez (1972) o Cisneros-Mata *et al.* (1995) solo recapitulan los resultados de los autores ya mencionados sin agregar información adicional. En nuestro análisis, únicamente en la primera Campaña (abril 2010) registramos un incremento sustancial

de los crustáceos en la dieta (30.6%) y coincide con la muestra con menores tallas (promedio 833 mm LP), pero la talla mínima fue de 564 mm LP (Tabla 6). Por su parte Román Rodríguez (1989, 1990), quien analizó individuos adultos (1150-1600 mm LP; 76 individuos con alimento) registró también que los peces son el grupo más importante en la dieta de la totoaba. Sin embargo, sus estimaciones no son exactamente comparables ya que para el cálculo del IIR no consideró el método numérico.

La caracterización de la dieta de la totoaba aquí presentada debe considerarse como una aproximación preliminar, válida para adultos inmaduros y maduros (ver sección de este Informe para talla de primera madurez). El análisis de tamaño de muestra (Fig. 66) indicó que 61 estómagos con alimentos ya son suficientes para alcanzar la estabilización del número acumulado de presas, y por tanto, representativo del espectro trófico de la especie en el área de estudio. Sin embargo, es deseable un mayor tamaño de muestra para hacer análisis diferencial robusto por talla y área geográfica.

Todo lo presentado en este informe debe ser considerado como resultados preliminares, ya que algunos de ellos pueden cambiar conforme avance la investigación, sobre todo en aquellos resultados que involucran cálculos numéricos.

## CONCLUSIONES PRELIMINARES (Primer año de estudio)

El intervalo de tallas capturado fue de 280 mm a 1,860 mm LT. La escases de individuos debajo de 400 mm LT fue notoria y corresponden a organismos capturados con red camaronera. Asimismo, los individuos mayores a 1,400 mm LT fueron limitados y correspondieron a organismos capturados con red agallera, en ambos casos capturados en el área del Alto Golfo. Además, se identificaron claramente tres cohortes entre las tallas de 600 mm y 1,400 mm LT.

La relación de potencia mostrada por la longitud total y el peso total sugiere un crecimiento isométrico para la especie.

La talla de primera captura ( $L_{50\%}$ ) para la población de hembras fue de 1,047 mm LT, y para machos fue de 1,014 mm LT. La  $L_{50\%}$  general fue de 951 mm LT, esta talla es menor por el alto porcentaje (33%) de individuos capturados en estadio inmaduro con sexo indeterminado.

La edad de máxima calculada para un individuo de 1,860 mm LT fue de 27 años. El intervalo de edad fue desde 1 hasta 27 años, pero las edades mejor representadas estuvieron entre 2 y 7 años. Es importante incrementar el tamaño de muestra de organismos de 8 años y más viejos. Los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy para esta estructura de edades fueron:  $L_{\infty}=1,566$  mm LT,  $K=0.22$  año<sup>-1</sup>,  $t_0=-0.65$  año, y  $W_{\infty}=30,635$  g. Estos valores en los parámetros de crecimiento muestra a una especie con características longevas y de lento crecimiento.

Los valores obtenidos en las tasas de mortalidad natural ( $M=0.35$  año<sup>-1</sup>) y total ( $Z=0.4252$  año<sup>-1</sup>), se consideran valores razonables para la especie, ya que una especie longeva y de crecimiento lento no podría soportar mortalidades altas.

La distribución de la totoaba fue amplia, prácticamente en todo el Golfo de California donde se muestreó se capturaron ejemplares. Algunas áreas se caracterizaron por presentar solo organismos juveniles, como son: el área de Isla Consag frente a la costa de San Felipe, el área de las islas Las Encantadas al norte de Bahía San Luis Gonzaga, y desde luego en el área del Alto Golfo.

El intervalo de temperatura en el que se capturó totoaba fue amplió con valores que van de los 15.4° a 29 °C. No observándose todavía un patrón de distribución y



abundancia con la temperatura. Sin embargo, se ha observado que el periodo reproductivo si puede ser afectado, particularmente retrasándolo durante un evento “La Niña”.

La reproducción de la totoaba es estacional, el desarrollo de las gónadas se activa durante la temporada de invierno y avanza durante la primavera, presentándose la mayor actividad reproductiva en los meses de marzo y abril, tanto de hembras como de machos.

La proporción sexual aunque variable a lo largo del periodo de estudio y frecuentemente con un número mayor de hembras, no presentó diferencias significativas ( $p=0.20$ ), por lo que, la relación hembra-macho se reporta como 1:1.

El índice gonadosomático y el factor de condición presentó sus valores más altos en los meses de febrero a abril, coincidiendo con el periodo reproductivo.

La talla mínima de madurez poblacional ( $L_{50\%}$ ) para las hembras fue de 1,311 mm LT, para machos fue de 1,183 mm LT, y considerando todos los organismos maduros fue de 1,240 mm LT. Estas tallas en los tres casos son superiores a las tallas de primera captura, mostrando a una especie con signos de vulnerabilidad.

La totoaba presentó ovocitos con características de desarrollo asincrónico y desoves con duración de varios meses, sugiriendo que los ovocitos que son liberados son aquellos que llegan a la fase de hidratación y en repetidas ocasiones dentro de una misma temporada de reproducción.

La fecundidad parcial del total de ovocitos mostró un valor mínimo de 202,117 huevos para un organismo de 1,160 mm LT con un peso de 14,000 g ( $14,437 \text{ h kg}^{-1}$ ), y un máximo de 147,184,910 huevos para un organismo de 1,860 mm LT con un peso de 57,000 g ( $2,582,191 \text{ h kg}^{-1}$ ), la media fue de 15,779,711 huevos ( $338,486 \text{ h kg}^{-1}$ ). Estos valores representan una gran variabilidad en la fecundidad de la especie. Se identifica la necesidad de ampliar el tamaño de muestra hacia los organismos reproductores.

La totoaba es un depredador ictiófago altamente selectivo, ya que su alimento primario lo constituyen los peces engráulidos y secundariamente pejerreyes del género *Colpichthys*. Se identifica la necesidad de ampliar la muestra hacia los intervalos menores a 500 mm LP para caracterizar la dieta de los juveniles de la totoaba.

El estado de salud y estatus de conservación actual de la totoaba dados los estudios realizados y comprometidos en esta primera etapa, es que es una especie que muestra algunas características de una población saludable con potencial a sugerir cambiar su estatus a protección especial. Sin embargo, también muestra signos de una población muy vulnerable. Por lo que, dado el periodo corto del estudio (primera etapa), las limitaciones de muestreo en esta primera etapa, y los estudios faltantes propuestos en el proyecto general a tres años (una etapa por año), no es posible tener una respuesta definitiva. Se recomienda ampliamente continuar con los estudios en dinámica poblacional, biología reproductiva, ecología trófica, relación recurso-ambiente, y desde luego, realizar los estudios de las otras líneas de investigación propuestas, que incluye, genética poblacional, fisiología (estrés oxidativo y disfunción endocrina), bioquímica (metabolismo de lípidos y osmoregulación), química de otolitos, toxicología (cuantificación de metales pesados y plaguicidas organoclorados), y parasitología (endo y ectoparásitos).

## REFERENCIAS

- Arocha, F., L.A. Marcano, A. Lárez, D. Altuve and J. Alio. 1999. The fishery, demographic size structure and oocyte development of dolphinfish, *Coryphaena hippurus*, in Venezuela and adjacent waters. *Scientia Marina*. 63(3-4): 401-409.
- Arvizu, J. y H. Chávez. 1972. Sinopsis sobre la biología de la totoaba *Cynoscion macdonaldi*, Gilbert 1890. FAO Fish. Synop. 108. 21 p.
- Bagenal, T.B. and F.W. Tesch. 1978. Age and Growth. In: T.B. Bagenal (editor). *Methods for assessment of fish production in freshwater*, 3era edition. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England, 101-136 p.
- Baillie, J. and B. Groombridge. 1996. IUNC Red List of threatened animals. IUNC, Gland, Switzerland, 387 p.
- Barrera-Guevara, J.C. 1990. The conservation of *Totoaba macdonaldi* (Gilbert), (Pisces: Sciaenidae), in the Gulf of California, México. *Journal of Fish Biology* 37 (Suppl. A): 201-202.
- Barrera-Guevara, J.C. 1992. Biología reproductiva de la totoaba, *Totoaba macdonaldi* (Gilbert, 1891) (Teleostei: Sciaenidae). Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guaymas, Sonora, México.
- Berdegúe, A.J. 1955. La pesquería de totoaba (*Cynoscion macdonaldi*) en San Felipe, Baja California. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 16: 45-78.
- Berdegúe A.J. 1956. Peces de importancia comercial en la costa nor-occidental de México. Secretaría de Marina, Dirección General de pesca e Industrias Conexas. México, 345 p.
- Beverton, R.J.H. and S.J. Holt. 1959. A review of the lifespans and mortality rates of fish in nature, and their relation to growth and other physiological characteristics. In: CIBA Foundation, colloquia on ageing. Vol. 5. The lifespan of animals, edited by G.E.W. Wolstenholme and M. O Connor. London, Churchill, Vol. 5: 142-180.
- Blackwell, B.G., M.L. Brown and N.W. Willis. 2000. Relative weight ( $W_r$ ) status and current use in fisheries assessment and management. *Rev. Fish. Sci.*, 8(1): 1-44.
- Bowers, M.J. 1992. Annual reproductive cycle of oocytes and embryos of yellowtail rockfish *Sebastes flavidus* (Family Scorpaenidae). *Fish. Bull.* (90): 231-242.

- Brusca, R.C. 1980. Common intertidal invertebrates of the Gulf of California. The University of Arizona Press. 573 p.
- Cailliet, G.M.; M.S. Love and A.W. Ebeling. 1986. Fishes. A field and laboratory manual on their structure identification and natural history. 194 p.
- Cannon, R. 1966. The sea of Cortes. Lane Magazine and book Co. Menlo Park, California, 283 p.
- Chávez, H. 1973. Descripción de los ejemplares juveniles de totoaba, *Cynoscion macdonaldi* (Gilbert). Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 34: 293-300.
- Choy, S.C. 1985. A rapid method for removing and counting eggs from fresh and preserved decapods crustaceans. Aquaculture, 48: 369-372.
- Cisneros-Mata, M.A., G. Montemayor-López and M.J. Román-Rodríguez. 1995. Life history and conservation of *Totoaba macdonaldi*. Conservation Biology. 9(4): 806-814.
- Cisneros-Mata, M.A., L.W. Botsford and J.F. Quinn. 1997. Projecting viability of *Totoaba macdonaldi*, a population with unknown age-dependent variability. Ecological Applications, 7(3): 968-980.
- Clothier, C.R. 1950. A key to some southern California fishes based on vertebral characters. Calif. Dep. Fish and Game. Fish. Bull. 79: 1-83.
- Cotero-Altamirano, C.E. and Tapia-Vázquez, O. 1993. Madurez y fecundidad de la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) Gilbert en la prospección invierno-primavera 1987. Secretaría de Pesca, Instituto Nacional de la Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada, Baja California, México.
- Crabtree, C.B. 1989. A new silverside of the genus *Colpichthys* (Atheriniformes: Atherinidae) from the Gulf of California, Mexico. Copeia 1989 (no. 3): 558-568.
- De Vlaming, V. 1983. Oocyte developmental patterns and hormonal involvements among teleosts. In Rankin JC, Pitcher TJ, Duggan RT, editors. Control Processes in Fish Physiology (pp. 176-99). London: Croom Helm.
- De Vlaming, V., G. Grossman and F. Chapman. 1982. On the use the gonosomatic index. Comp. Biochem. Physiol., 73A: 31-39.
- De Vlaming, V.L. 1974. Environmental and endocrine control of teleost reproduction. In: Schreck CB (ed) Control and sex in fishes. Department of Fisheries and Wildlife

Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, pp 13-83.

- Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K.E. Carpenter y V.H. Niem. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca en el Pacífico Centro-Oriental. Vols. I, II y III. Invertebrados y Vertebrados parte 1 y 2: 1-1813.
- Flanagan, C.A. 1973. Study of the feasibility of modeling the totoaba fishery of the northern Gulf of California, with preliminary estimation of some critical parameters. Biological Science Report 249, University of Arizona 58 p.
- Flanagan, C.A., and J.R. Hendrickson. 1976. Observations on the commercial fishery and reproductive biology of the totoaba, *Cynoscion macdonaldi* in the northern Gulf of California. Fishery Bulletin, 74: 531-544.
- Gayanilo, F.C., Jr., P. Sparre and D. Pauly. 1995. The FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT) User's Guide. FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 7 Rome, FAO. 126 p.
- Grier, H.J. and R.G. Taylor. 1998. Testicular maturation and regression in the common snook. J Fish Biol, 53: 521-542.
- Hendrickson, J.R. 1971. Report on totoaba research, Northern Gulf of California IV. June 6, 1970. March 6, 1971. M.S.
- Hendrickx, M.E. 1996. Los camarones Penaeoidea Bentónicos (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata) del Pacífico Mexicano. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad e Inst. Cienc. Mar. y Limnol., UNAM, México 148 p.
- Hendrickx, M.E. 1997. Los cangrejos Braquiuros (Crustacea: Brachyura: Dromiidae, hasta Leucosiidae). Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad e Inst. Cienc. Mar. y Limnol., UNAM, México 178 p.
- Hoffman, M. 1978. The use of Pielou's method to determine sample size in food studies. In: Fish Food Habits studies. Proc. 2<sup>nd</sup> Pac. NW Technical Workshop. Washington Sea Grant Publications. University of Washington, Seattle, p. 56-61.
- Howard, D.W. and C.S. Smith. 1983. Histological techniques for marine bivalve mollusks. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/NEC-25, U.S. Department of Commerce, Woods Hole, MA.

- Hoydal, K., C.J. Rorvik and P. Sparre. 1982. Estimation of effective mesh sizes and their utilization in assessment. *Dana*, 2: 69-95.
- Hurlbert, S.H. 1978. The measurement of niche overlap and some relatives. *Ecology*. 59: 67-77.
- Hyslop, J.E. 1980. Stomach contents analysis. A review of methods and their application. *Journal of Fisheries Biology*. 17: 411-429.
- IUCN. 2001. IUCN Red list categories and criteria: Version 3.1. IUCN Species survival commission, Glad, Switzerland, and Cambridge, UK.
- Jiménez-Valverde A. y J. Hortal. 2003 Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8, 31-VII-2003:151–161.
- Krebs, C.J. 1989. *Ecological methodology*. Harper and Row, N.Y. U.S.A. 550 p.
- Lecardi, D. and E.A. Chávez. 2007. Possible causes related to historic stock depletion of the totoaba *Totoaba macdonaldi* (Pisciformes: Sciaenidae), endemic to the Gulf of California. *Fisheries Research*, 86 (2-3): 136-142.
- Massutí, E. and B. Morales-Nin. 1997. Reproduction biology of dolphin-fish (*Coryphaena hippurus* L) off the Island of Majorca (Western Mediterranean). *Fish. Res.* 30: 57-65.
- Miller, D.J. and S.C. Jorgenson. 1973. Meristic characters of some marine fishes of the western Atlantic Ocean. *Calif. Dep. Fish. Bull.* 71(1): 301-312.
- Molina-Váldez, D., Cisneros-Mata, M.A., Urías-Sotomayor, R., Cervantes-Vaca, C. y Márquez-Tiburcio, A. 1988. Prospección y evaluación de la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el Golfo de California. Informe final al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México. Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de Guaymas, Instituto Nacional de la Pesca, Guaymas, Sonora, México.
- Monod, T. 1968. Le complexe urophore des poissons teleosteens. *Memories de L'Institute Fundamental D' Afrique Noire*. 81: 705 p.
- Morales-Ortiz, C. 1999. Descripción del desarrollo embrionario de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) bajo condiciones de laboratorio. Tesis de licenciatura inédita. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, BC. 56 p.

- Nagahama, Y. 1983. The functional morphology of teleost gonads. In: Fish Physiology (W.S. Hoar, D.J. Randall and E.M. Donaldson, eds.) Vol IXA pp 223-275. Academic Press, New York.
- Nakashima, E. 1916. Notes on the totuava (*Cynoscion macdonaldi* Gilbert). Copeia 37: 86-96.
- Ochoa Báez, R.I. 1998. Estacionalidad reproductiva y producción ovárica de la anchoa europea, *Engraulis encrasicolus* Clupeiformes: Engraulidae en el mar catalán. Tesis de Doctorado. Univ. Polit de Cataluña, Barcelona, España. Blackwell Science. Oxford, UK. 325 p.
- Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. Studies and Reviews 8. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- Pedrín-Osuna, O., J.H. Córdova-Murueta y M. Delgado-Marchena. 2001. Crecimiento y mortalidad de la totoaba, *Totoaba macdonaldi*, del alto Golfo de California. INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera No. 15: 131-140.
- Pinkas L., M.S. Oliphant and I.L.K. Iverson. 1971. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters. California Department of Fish and Game, Fish Bulletin 152, 1-105.
- Rodríguez-Quiroz, G. and A. Bracamonte-Sierra. 2008. Pertinencia de las ANP como política de conservación y mejoramiento de la calidad de vida: Análisis de percepción en la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado. Estud. Soc. México. 16(32).
- Román-Rodríguez M. and G. Hammann. 1997. Age and growth of totoaba, *Totoaba macdonaldi*; (Sciaenidae), in the upper Gulf of California. Fishery Bulletin, 95: 620-628.
- Román-Rodríguez, M.J. 1989. Análisis de los contenidos estomacales de la totoaba *Totoaba macdonaldi* (Gilbert 1891) (Pises: Scianidae) durante la época reproductiva en la parte norte del alto Golfo de California. Tesis Biólogo. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 82 p.
- Román-Rodríguez, M.J. 1990. Alimentación de *Totoaba macdonaldi* (Gilbert) (Pises: Scianidae) en la parte norte del alto Golfo de California. Ecológica 1(2): 1-9.

- Román-Rodríguez, M.J. 1994. Edad y crecimiento de la totoaba (*Totoaba macdonaldi*) Gilbert en el Alto Golfo de California. Tesis de Maestría en Ciencias. CICESE. 90 pp.
- Román-Rodríguez, M.J. 2000. Estudio Poblacional del chano norteño *Micropogonias megalops* y la curvina golfina *Cynoscion othonopterus* (Gilbert) (Pisces: Scianidae), especies endémicas del Alto Golfo. Instituto del Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable del Estado de Sonora. Informe Final SNIB-CONABIO proyecto L.298. México, D.F.
- Rosales-Juárez, F. y E. Ramírez-González. 1987. Estado Actual del conocimiento sobre la totoaba (*Cynoscion macdonaldi*), Gilbert 1890. Secretaría de Pesca, México. 42 p.
- Sheenan, D.C and B.B. Hrapchak. 1980. Theory and Practice of Histotechnology. St. Louis, MO: CV Mosby Co. 106 p.
- Sokal and Rohlf. 1981. Statistical tables. 2a ed. Wlt. Freeman and Company, 219 p.
- Sparre, P. y S.C. Venema. 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 306.1 Rev. 1., 440 p.
- Thompson, R.W. 1969. Tidal currents and general circulation In: Environmental impact of brine effluents on Gulf of California. U.S. Report Ins. And Dev. Prog. Rep. No. 387.
- True, C.D., A. Silva Loera and N. Castro Castro. 1997. Acquisition of broodstock of *Totoaba macdonaldi*: field handling, decompression, and prophylaxis of an endangered species. The Progressive Fish Culturist 59: 246-248.
- Tyler, C.R. and J.P. Sumpter. 1996. Oocyte growth and development in teleosts. Reviews in Fish Biology and Fisheries 6: 287-318.
- Villamar, A. 1980. *Totoaba*, un nuevo género de la familia Scianidae del Golfo de California, México (Pisces: Teleostei). Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas de México. 23: 129-133.
- Walker, H.J.Jr. and K.W. Radford. 1992. Eastern Pacific species of the genus *Umbrina* (Pisces: Sciaenidae) with a description of a new species. Fishery Bulletin v. 90: 574-587.



- Wallace, R.A. and K. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *American Zoologist* 21: 325-43.
- Wallace, R.A. and K. Selman. 1990. Ultrastructural aspects of oogenesis and oocyte growth in fish and amphibians. *Journal of Electron Microscopy Technique* 16: 175-201.
- West, G. 1990. Methods of assessing ovarian development in Fishes: A review. *Australian Journal of Marine Freshwater Research* 41: 199-22.
- Whitehead, P.J.P., G.J. Nelson and T. Wongratana. 1988. FAO species catalogue. Vol. 7. Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeoidei). An annotated and illustrate catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, anchovies and wolf-herrings. Part 2. Engraulididae. FAO Fish.Synop. (125) Vol. 7, PT. 2: 305-579.
- Yamamoto, K.I. 1956. Annual cycle in the development of ovarian eggs in the flounder, *Liopsetta obscura*. *Journal of the Faculty of Science of Hokkaido University Series VI Zoology*, 12: 362-373.