



*Universidad Nacional Autónoma de México*

*Facultad de Estudios Superiores Iztacala*  
**Laboratorio de Ecología de Peces**

“Madurez sexual y potencial reproductivo del  
pez amarillo *Girardinichthys multiradiatus*,  
(Pisces: Goodeidae) en un ciclo anual”

## ***TESIS***

*Que para obtener el Título de:*

BIÓLOGO

*Presenta*

*Mendoza Marroquín Jorge Iván*

Biol. Ásela Rodríguez Varela  
Directora de la Tesis

M. en C. Adolfo Cruz Gómez  
Codirector de la Tesis



*Los Reyes, Iztacala*



2005

Ecología  
de Peces



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

*EL PRESENTE TRABAJO SE REALIZÓ EN EL LABORATORIO DE  
ECOLOGÍA DE PECES DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
IZTACALA A CARGO DE LA BIOL. ÁSELA DEL CARMEN RODRÍGUEZ  
VARELA Y EL M. EN C. ADOLFO CRUZ GÓMEZ*

## *AGRADECIMIENTOS*

Por este medio me permito plasmar en este trabajo un grandioso agradecimiento para todas las personas que ya sea directa o indirectamente, contribuyeron a la culminación del mismo. Comenzando primeramente por mi madre Ángela Marroquín Ortiz† y mi padre Camilo Mendoza García, cuyo gran apoyo y sacrificio, fue fundamental y primer pilar para culminar con éxito mi formación académica; a ustedes más que nadie les estaré siempre agradecido.

A mis hermanos Antonia†, Heriberto, Joaquín, Leticia y Sergio, que siempre me han apoyado sin dudar y han confiado siempre en mi capacidad, otorgándome las facilidades necesarias para realizar lo que he querido.

Agradezco de igual forma a mi directora de tesis Biol. Ásela del Carmen Rodríguez Varela y a mi codirector de tesis M. en C. Adolfo Cruz Gómez, por su gran confianza en mí, su gran apoyo y por todas las facilidades que me fueron otorgadas en la realización de este proyecto. Así, como la gran amistad que ambos me brindaron y el ambiente tan agradable en el que realice mi trabajo.

Me gustaría también de igual forma mencionar, abusando un poco de este espacio, a la Biol. María de los Ángeles Robledo Andrade, gran profesora, amiga, y ahora colega en este maravilloso mundo biológico, y al Dr. Elías Piedra con quien he entablado una amistad muy fuerte.

También agradezco muchísimo a mis amigos y compañeros desde secundaria hasta el presente, con los que he convivido y compartido grandes momentos, si bien no trato de ofender a nadie, solo mencionaré aquellos que para mí son dignos de mención, de secundaria: Maritza, Miguel, Daniela, Chark, Azael y Laura; de CCH: Edith, Guillermo, Pedro, Heder, Adriana, Onan, Chely e Itzel; de la FESI: Ady (Gente), Jess (Chavita), Eric (Panda), Dante (Aquaman), Ramse (Rambi) y David (Pocho), miembros del club de “Los mal queridos”; así como a Bárbara

(Bart), Cristian (Piut), Carlos (Charles), Zamira (Zam), Marianita y Argelia; algunos otros amigos míos: Gaby, Anel, Ale (Elenloori) y Adriana Paola. Muchas gracias por su amistad y todos los momentos que hemos pasado juntos y los que no por mis viajes también, jaja!.

Finalmente, quiero hacer mención especial de algunas personas que son fundamentalmente importantes para mí:

Enrique Arellano (Aioria), mi hermano, mi mejor amigo, te estaré siempre agradecido por todo cuanto has hecho por mí, por lo que hemos convivido, los relajos, las convenciones, por soportar mis locuras y guardar los secretos de otras tantas.

Lizeth Lozano (Flaquita), mi linda flaquita, mi mejor amiga, muchísimas gracias por todos esos momentos que me has otorgado, por todas las conversaciones, por tus opiniones, tus halagos, tus regaños, tus consejos, tus oídos, te agradezco muchísimo por todo.

Ivonne Flores (Chiquita), tu entrada en mi vida, aunque hace poco, ha sido importantísima y fundamental, te reitero que agradezco toda tu confianza, tus palabras, tus halagos, tus abrazos, tus besos, tus miradas, tu persona y muchas gracias por apoyarme en todo lo que quiero realizar.

*Atte: Biol. Jorge I. Mendoza*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	5
ANTECEDENTES.....	5
○ <i>Estímulos visuales y comportamiento</i> .....	5
○ <i>Morfología reproductiva</i> .....	6
○ <i>Reproducción</i> .....	6
ÁREA DE ESTUDIO.....	7
MATERIAL Y MÉTODOS.....	7
RESULTADOS.....	9
○ <i>Hembras</i> .....	10
○ <i>Machos</i> .....	28
DISCUSIÓN.....	42
CONCLUSIONES.....	45
IMÁGENES.....	46
REFLEXIONES FINALES.....	45
LITERATURA CITADA.....	54
CITAS DE WWW.....	56

## RESUMEN

En el territorio nacional se presentan una serie de cuencas hidrológicas bien definidas, a las cuales se asocia un peculiar complejo ictiofaunístico y en las que existen más de 115 especies endémicas. En particular, la subfamilia de peces vivíparos Goodeinae es endémica de México. Esta distribución le confiere gran importancia al estudio de la biología reproductiva de estas especies de la ictiología americana y, en especial, mexicana. *Girardinichthys multiradiatus* es un pez pequeño, de tallas máximas de 80mm de longitud total; es una especie vivípara con dimorfismo sexual. Se distribuye desde Laguna Superior, Morelos, cuenca del Río Lerma y lagos de Zempoala, no ha sido tomado en cuenta en la NOM-059-ECOL-2001, siendo que la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la categoriza como amenazada. Se conocen solo algunos aspectos de su biología y hay pocos estudios sobre sus aspectos reproductivos, por lo que el presente trabajo tuvo como objetivo principal estudiar la madurez sexual del pez amarillo *Girardinichthys multiradiatus* por medio de los índices hepatosomático (IHS) y gonadosomático (IGS), así como la evaluación del potencial reproductivo mediante el índice de fecundidad, y de manera general evaluar las condiciones fisicoquímicas del embalse San Martín, mediante muestreos mensuales de Diciembre del 2003 a Noviembre del 2004. Se registró la posición del sitio de colecta y parámetros fisicoquímicos. Los ejemplares se fijaron en formol. Fueron pesados y medidos y se seleccionó el 30% de ejemplares para realizar con ellos el análisis de las gónadas para obtener la madurez sexual y el potencial reproductivo de la especie. Los resultados muestran para *G. multiradiatus* una madurez sexual en individuos mayores de 2.5 cm con camadas de 18 embriones en promedio y máximas de hasta 47 individuos. La fecundidad presentada tiende a decrecer dada la característica vivípara de la especie, encontrándose un menor número de huevos fecundados y de embriones presentes en las tallas más grandes a comparación del número de huevos no fecundados en las tallas más pequeñas. A partir del análisis de gónadas de las hembras colectadas se estableció que el periodo reproductivo de *G. multiradiatus* presenta dos temporadas reproductivas, una corta durante Marzo-Abril, y otra continua de Junio a Septiembre, interrumpiéndose posiblemente por efecto ambiental durante Mayo, y de Octubre a Febrero, observando un incremento en el porcentaje de huevos no fecundados y un descenso de los IGS e IHS. De Diciembre a Abril se presenta en hembras un ciclo de madurez sexual, debido a que el IGS alcanza su máximo en Abril, donde también se da el mayor porcentaje de huevos fecundados y embriones, mientras que el IHS desciende al madurar la gónada; en cambio, los machos parecen madurar en un menor tiempo que va de Diciembre a Marzo, notándose más claramente un incremento en el peso de la gónada que en el IGS. Por otra parte el FC en hembras registró su máximo valor en Enero coincidiendo con el máximo valor de IHS, notándose que el FC parece guardar una relación más directa con el IHS que con el IGS, mostrando valores más elevados que este último en los meses de baja o nula reproducción. En machos los dos valores de FC más elevados se presentaron durante Abril, y de manera general no parecen guardar una relación con el IGS.

## INTRODUCCIÓN

Las aguas continentales junto con los océanos y las zonas terrestres, constituyen algunos de los ambientes fundamentales de nuestro planeta que han sido colonizados por los seres vivos, además de ser el que mayor influencia directa tiene por parte del hombre (Ramírez *et al.*, 2003). Uno de los grupos más representativos en los sistemas acuáticos son los peces. La biodiversidad de peces en los sistemas de agua dulce es muy significativa zoogeográficamente, ya que estos son incapaces de escapar de los sistemas de las cuencas en que se hayan confinados (De la Vega, 2003).

México, posee una ictiofauna rica y diversificada, compuesta de aproximadamente 47 familias y 506 especies. Esto representa el 60% de las especies de América del norte; lo que habla de la importancia de la ictiofauna de México principalmente por su gran número de endemismos (De la Vega, *op. cit.*).

Contreras (2002), menciona que debido a las características topográficas y fisiográficas del territorio nacional, se presentan una serie de cuencas hidrológicas bien definidas, a cada una de las cuales se asocia un peculiar complejo ictiofaunístico y en las que existen más de 115 especies endémicas.

En este contexto, resalta el caso del sistema Lerma-Santiago, en el que de las 57 especies existentes, 33 son endémicas y en su mayoría pertenecen a las familias Atherinidae y Goodeidae (Contreras, *op. cit.*).

En particular, la subfamilia de peces vivíparos Goodeinae es endémica de México, y las familias Poeciliidae y Anablepidae habitan mayoritariamente en América, con amplia distribución de especies en México. Esta distribución le confiere gran importancia al estudio de la biología reproductiva de estas especies de la ictiología americana y, en especial, mexicana (Uribe-Aranzábal *et al.*, 2004).

La evolución de la oviparidad a la viviparidad en teleósteos ha integrado modificaciones esenciales de diversas y complejas características morfológicas, fisiológicas y conductuales. El estudio de la biología de la reproducción constituye un aspecto esencial en el conocimiento de las especies animales, ya que define su permanencia en el hábitat, el equilibrio de sus poblaciones, y es base del desarrollo ontogenético y evolutivo. El análisis, tanto de los ciclos gonadales, que incluye el desarrollo de los gametos femeninos mediante la ovogénesis, y masculinos mediante la espermatogénesis, como de la estructura de los sistemas reproductivos, son básicos en el estudio de la biología reproductiva (Uribe-Aranzábal *et al.*, *op. cit.*).

En México, existen alrededor de 40 especies de peces de la familia Goodeidae, de las que 12 (30%) se encuentra en alguna categoría de amenaza y 2 están probablemente extintas del medio silvestre, según datos de la NOM-059-ECOL-2001, siete de estas especies se asocian a la región central de México (SEMARNAT, 2002). Las especies endémicas pertenecientes a la familia Goodeidae encontradas dentro de la NOM-059-ECOL-2001 son:

ESPECIE	NOMBRE COMÚN	CATEGORÍA	DISTRIBUCIÓN
<i>Allotoca diazi</i>	Chorumo	P	Lerma-Santiago y Balsas
<i>Allotoca dugesii</i>	Tiro	A	Lerma-Santiago
<i>Ameca splendens</i>	Mexcalpique mariposa	P	Ameca-Magdalena
<i>Ataenobius toweri</i>	Mexcalpique de cola azul	P	Pánuco
<i>Characodon audax</i>	Mexcalpique del toboso	A	El Toboso Durango
<i>Characodon lateralis</i>	Mexcalpique arcoiris	P	Tunal-Santiaguillo
<i>Girardinichthys viviparus</i>	Mexcalpique	P	Valle de México
<i>Hubbsina turneri</i>	Mexcalpique michoacano o cherehuita	P	Lerma-Santiago
<i>Skiffia bilineatus</i>	Tiro rayado	P	Lerma-Santiago, Cuitzeo
<i>Skiffia francesae</i>	Tiro dorado	E	
<i>Skiffia lermae</i>	Tiro	A	Lerma-Santiago
<i>Xenophorus captiva</i>	Mexcalpique viejo	P	Pánuco
<i>Zoogoneticus quitzeoensis</i>	Picote	A	Lago Cuitzeo
<i>Zoogoneticus tequila</i>	Picote tequila	E	

A: Amenazada P: En peligro de extinción E: Probablemente extinta en el medio silvestre

Caso particular sucede con *Girardinichthys multiradiatus* (Meek, 1904), pez godeido de tallas máximas de 80 mm de longitud total, vivíparo con dimorfismo sexual, en la cual el macho presenta una aleta anal modificada (andropodio). Por lo regular las hembras son de mayor talla que los machos. Su reproducción ocurre durante todo el año y tiene camadas de hasta 30 crías. En general viven muy próximos a la orilla, entre la vegetación sumergida, donde encuentran refugios de los depredadores y se alimentan principalmente de pequeños invertebrados (Álvarez, 1970; Torres-Orozco, 1991 y CONANP, 2005). Se distribuye desde Laguna Superior, Mor., cuenca del Río Lerma y lagos de Zempoala y a pesar de que la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) la categoriza como amenazada en la lista roja de especies amenazadas del 2004 (Contreras & Almada, 1996), en la NOM-059-ECOL-2001, no ha sido tomada en cuenta aunque en esta se mencione que las especies amenazadas podrían encontrarse en peligro de extinción si continúan operando factores que ocasionen el deterioro o modificación del hábitat, o disminuyan sus poblaciones (DOF, 2002).

En la parte del Estado de Querétaro perteneciente a la cuenca del Lerma, la familia Goodeidae es la mejor representada, tanto en número de poblaciones como de efectivos en las mismas y ecosistemas ocupados, dos de las cuales se

distribuyen ampliamente (*Goodea atripinis* y *Xenotoca variata*), mientras que *G. multiradiatus* es la única especie que se localiza solo, en un cuerpo de agua del estado (Gutiérrez-Yurrita & Morales, 2004).

Desgraciadamente, como consecuencia del desmesurado crecimiento de asentamientos urbanos e industriales y las descargas vertidas a los ríos, sobre todo en la porción del río Lerma, ha ocurrido un fuerte impacto sobre la fauna nativa. El problema se ha visto agudizado al introducir especies exóticas en casi todos los cuerpos de agua continentales del país, lo que ha desplazado a las especies nativas o en algunos casos las ha llevado a la extinción. En el caso de la familia Goodeidae la pérdida sería irreparable ya que es endémica de México y la mayoría de los miembros de esta familia se distribuyen en la cuenca del Lerma (Carabias, 1988; Méndez-Sánchez *et al.*, 2002 y Aguilar, 2003). Tal es el caso de *G. multiradiatus*, que a pesar de ser una especie endémica, muy poco se ha descrito de su biología, especialmente lo relacionado a los aspectos reproductivos, por lo que el presente trabajo, tuvo como objetivos:

#### **General**

- ✘ Establecer la madurez sexual y el potencial reproductivo del pez amarillo *Girardinichthys multiradiatus* durante un ciclo anual de diciembre del 2003 a noviembre del 2004.

#### **Particulares:**

- ✘ Determinar mensualmente las condiciones de temperatura, profundidad, transparencia, pH, oxígeno disuelto y conductividad del embalse San Martín.
- ✘ Determinar la talla, peso y sexo de los ejemplares colectados mensualmente.
- ✘ Evaluación de madurez gonádica por medio de los índices hepatosomático y gonadosomático.
- ✘ Determinar estado de madurez sexual en hembras y machos seleccionados.
- ✘ Evaluación del potencial reproductivo de la especie mediante el índice de fecundidad.

## Objetivo General

- ✘ Establecer la madurez sexual y el potencial reproductivo del pez amarillo *Girardinichthys multiradiatus* durante un ciclo anual de diciembre del 2003 a noviembre del 2004.

## Objetivo Particulares:

- ✘ Determinar mensualmente las condiciones de temperatura, profundidad, transparencia, pH, oxígeno disuelto y conductividad del embalse San Martín.
- ✘ Determinar la talla, peso y sexo de los ejemplares colectados mensualmente.
- ✘ Evaluación de madurez gonádica por medio de los índices hepatosomático y gonadosomático.
- ✘ Determinar estado de madurez sexual en hembras y machos seleccionados.
- ✘ Evaluación del potencial reproductivo de la especie mediante el índice de fecundidad.

## ANTECEDENTES

Los estudios realizados, con relación a la reproducción, pueden ser divididos en tres secciones:

### *Estímulos visuales y comportamiento*

Macías-García & Perera (2002), realizan un experimento demostrando que las hembras de *Girardinichthys multiradiatus*, mantienen preferencias por los machos basadas en colores dimórficos y patrones de color, permaneciendo más tiempo cerca de los machos que fueron irradiados con filtros UV+ en condiciones de laboratorio. Localizando también que las hembras presentan en los flancos áreas de reflexión de UV, distinguiendo por esta reflexión en que momento observan un macho o una hembra. Esta ha sido la primera vez que se ha evidenciado la relación entre la luz UV y las preferencias de color en el pez amarillo.

### *Morfología reproductiva*

Uribe-Aranzábal *et al.* (2004), hicieron la descripción y comparación de las características estructurales del ovario gestante y no gestante en dos especies de teleósteos vivíparos *Ilyodon whitei* (Goodeidae) y *Poecilopsis gracilis* (Poecilidae), donde la estructura del ovario en ambas especies muestra que es un órgano único, no pareado, alargado y sacular; la pared del ovario contiene elementos germinales y se observan espermatozoides en la luz del ovario de ambas especies, aunque en *I. whitei* solamente se observaron en las etapas de vitelogénesis avanzada y gestación temprana, mientras que en *P. gracilis* fueron abundantes en todas las etapas del ciclo ovárico.

Turner (2005a), realiza una comparación entre las peculiaridades de la reproducción de la familia Goodeidae y otros ciprinodontes ovovivíparos y

vivíparos, concluyendo que con base en los procesos reproductivos, diferencias histológicas y características distintivas de cada especie, los godeidos han surgido separadamente de un ancestro ovovivíparo.

Turner (2005b), menciona que los embriones de veintiún especies de la familia Goodeidae presentan trofotenia, por la que los embriones absorben sustancias disueltas en el líquido ovárico mientras ellos son retenidos en la cavidad ovárica. Los embriones de tres especies no han estado disponibles para su estudio y no hay trofotenia presente en la especie *Ataeniobius toweri*. Existen tres tipos generales de trofotenia cuya estructura es suficientemente constante en cada especie para ser utilizado en su determinación.

### *Reproducción*

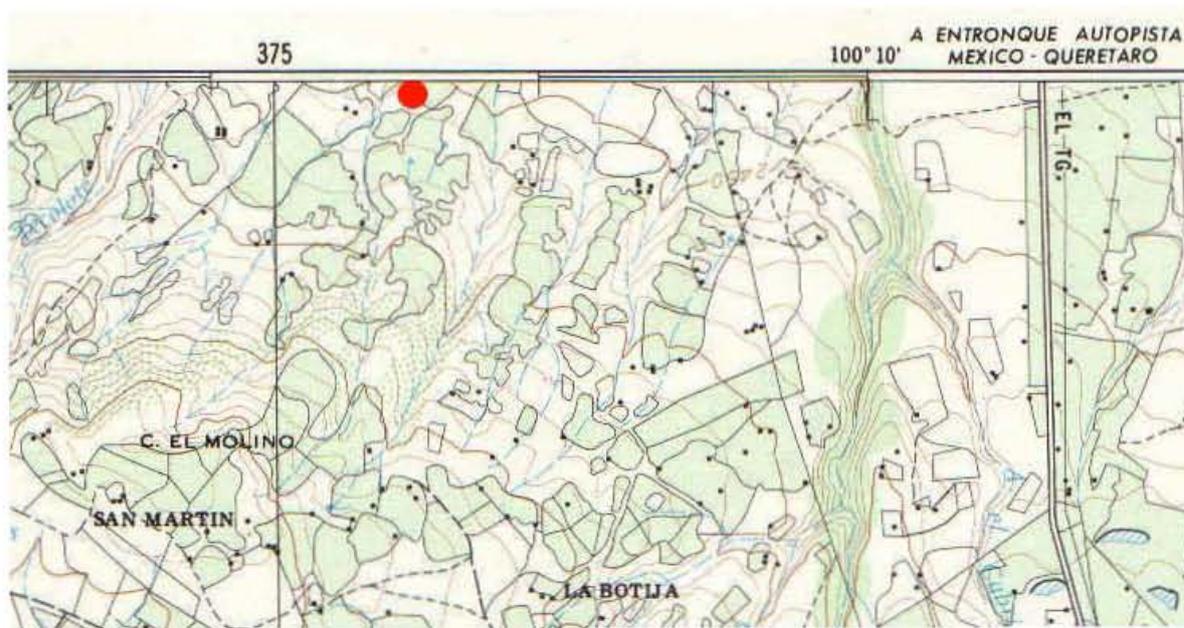
Díaz-Pardo & Ortiz-Jiménez (1986), en un estudio establecen los estadios del desarrollo ovárico, la relación del tamaño de la madre y número de crías, desarrollo embrionario y algunos aspectos del comportamiento reproductivo de *Girardinichthys viviparus*. Determinaron seis estadios de desarrollo embrionario y calcularon el índice de heterogonia para la longitud cefálica y el diámetro ocular.

Blanco (2000), menciona que los machos de *Characodon audax* alcanzan la madurez sexual hacia los dos o tres meses de edad comenzando a cortejar a algunas hembras de su tamaño. Las hembras presentan un periodo de gestación de 45 días y tiene camadas de hasta 30 crías.

Macías-García & Saborío (2004), estudiaron la paternidad múltiple y la procedencia del esperma en el pez amarillo (*Girardinichthys multiradiatus*), ellos sugieren que existe una relación entre el tiempo que tarda el macho en el cortejo de la hembra y la cantidad de esperma liberado, aunque no dejan fuera la posibilidad de que las hembras son las que escogen la paternidad de acuerdo a los meritos que haga el macho.

### **ÁREA DE ESTUDIO**

El embalse San Martín (Foto 1) se encuentra situado cerca del poblado San Martín, Amealco, Qro., en las coordenadas geográficas 20° 15' 09" a 20° 15' 13" de latitud norte y 100° 11' 23" a 100° 11' 21" de longitud oeste, a una altitud



entre los 2400 msnm. Se utiliza para el riego de las parcelas aledañas (CETENAL, 1977) (Fig. 1).

Fig.1 Localización del área de estudio,  Escala: 1:50000 (Tomado de CETENAL, 1977).

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo mensualmente de Diciembre de 2003 a Noviembre de 2004. En cada muestreo se tomó nota de la posición del sitio de colecta con un geoposicionador Magellan Map 410 (Foto 2) y se registraron los siguientes parámetros fisicoquímicos: Oxígeno disuelto en agua con oxímetro OAKTON (Foto 3); pH con potenciómetro digital marca ORION 290<sup>a</sup> (Foto 4); temperatura y conductividad con un conductímetro YSI 30 (Foto 5); transparencia con un disco de Secchi (Foto 6) y sonda portátil marca Speedtech Instruments para medir profundidad (Foto 7).

Se realizó la colecta de peces por medio de una red de cuchara de 2 mm de abertura de malla y 0.25 m<sup>2</sup> de abertura de boca (Foto 8). Los ejemplares fueron fijados en formol al 10%. De cada ejemplar colectado se determinó la longitud patrón con un calibrador marca Scala calibrado hasta centésima de milímetro (Foto 9) y el peso con una balanza digital Acculab VI-1mg de 0.001g de precisión (Foto 10). Se formaron frecuencias con intervalos de 0.5 cm de longitud patrón en los que se representaron todas las tallas encontradas y se seleccionó un total de 241 hembras y 143 machos para realizar con ellos el análisis de las gónadas, representando el 30% del total de ejemplares colectados. Cada pez fue disectado realizando un corte de manera semirectangular desde el ano hasta el comienzo del opérculo (Foto 11). Se extrajeron la gónada e hígado (Foto 12) y fueron pesados en conjunto y posteriormente de manera individual en la balanza digital anteriormente mencionada (Rodríguez, 1992).

Para la evaluación de la madurez gonádica en hembras se utilizaron los índices basados fundamentalmente en el peso de la gónada e hígado, además del factor de condición; mientras que en los machos solo fueron utilizados el índice gonasomático y el factor de condición como:

El factor de Condición Simple (K) o Índice Ponderal (IP), está basado en la relación que guarda la longitud total o patrón del pez, con su peso. Debido a que las proporciones somáticas de crecimiento permanecen constantes se ha propuesto la siguiente fórmula (Rodríguez, 1992):

$$K = \frac{W}{L^b} 100 \qquad IP = \frac{W}{L^b} 100$$

Donde:

K = Factor de Condición  
IP = Índice Ponderal  
W = Peso en gramos  
L = Longitud en centímetros  
b = pendientes de la regresión peso-longitud

La evaluación de la madurez gonádica se determinó utilizando el índice gonadosomático y el hepatosomático propuestos por Rodríguez (1992). El índice gonadosomático se basa en que el peso de la gónada con respecto al peso total del organismo guarda una relación directa que explica el estado de desarrollo gonádico, se expresa bajo la siguiente fórmula:

$$IGS = \frac{W_g}{W_t} 100$$

Donde:

IGS = Índice gonadosomático

W<sub>g</sub> = Peso de la gónada

W<sub>t</sub> = Peso del ejemplar

El índice hepatosomático se basa en la relación que existe entre el peso del hígado y el peso del ejemplar. Esta relación, es específica para hembras ya que el hígado segrega vitelogeninas durante la vitelogénesis exógena que van a ser captadas por el óvulo en desarrollo. Su fórmula es la siguiente:

$$IHS = \frac{W_h}{W_t} 100$$

Donde:

IHS = Índice hepatosomático

W<sub>h</sub> = Peso del hígado

W<sub>t</sub> = Peso del ejemplar

Para conocer el potencial reproductivo de la especie se obtuvo el índice de fecundidad descrito por Rodríguez (1992), considerando la fecundidad absoluta, como el número de huevos que se encuentran en el ovario a nivel individuo. Asimismo, con estos datos se obtuvo el modelo de fecundidad propuesto por Wootton (1992).

$$F = aL^b \quad y \quad F = aW^b$$

Donde:

F = Fecundidad

a & b = constantes

L = longitud

W = peso

Con los datos obtenidos se hizo la caracterización del desarrollo de cada sexo de la especie por estadios y clases de talla; de esta forma se obtuvo el ciclo de madurez sexual y sus características relacionadas, a lo largo de todo el año.

## RESULTADOS

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos presentados en la Tabla 1 indican que la máxima temperatura del agua fue en mayo (26.9°C) mientras que la mínima fue durante febrero (15°C). De igual manera, los valores de O<sub>2</sub> disuelto (11.48 mg/L), conductividad (143.25  $\mu$ u) y pH (9.7) tuvieron sus máximos en el mes de mayo, en lo que los mínimos registraron una mayor variación de meses. La mayor profundidad se dio en octubre (100cm) y la mínima en mayo (30cm); mientras que la mayor transparencia se tuvo en marzo (50cm) y la menor durante abril y junio (10cm). El promedio anual de los parámetros se muestra en la Tabla 2.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos en el embalse San Martín, Querétaro.

Mes	Temperatura Ambiente	Profundidad cm	Transparencia cm	Oxígeno disuelto mg/L	Conductividad $\mu$ u	pH	Temperatura del agua
Diciembre							
Enero	16		20	9.58		8	17
Febrero		60	40	8.44		8.7	15
Marzo	20	60	50	7.57	115.9	9	18.5
Abril	29	90	10	7.3	120.5	9.5	24.4
Mayo	35	30		11.48	143.25	9.7	26.9
Junio	18	50	10	7.27	40.3	8	17.1
Julio	24	90	20	8.6	76	9.1	22
Agosto	19	60	25	6.3	82.2	8.4	17.2
Septiembre	24	75	15.8	6.89	60.4	8	18
Octubre		100	63	7.22	85.2	9.1	20.3
Noviembre	26	80	64.5	7.14	92.8	8.4	15.4

Tabla 2. Promedio anual de parámetros fisicoquímicos en el embalse San Martín, Querétaro

Parámetro fisicoquímico	Promedio	SE $\pm$
Temperatura ambiente ° C	23.44	6 $\pm$
Profundidad cm	69.5	21.4 $\pm$
Transparencia cm	31.83	21 $\pm$
O <sub>2</sub> disuelto mg/L	7.98	1.48 $\pm$
Conductividad $\mu$ u	90.72	31.75 $\pm$
pH	8.7	0.6 $\pm$
Temperatura del agua ° C	19.25	3.78 $\pm$

## Hembras

En total se colectaron 804 hembras, siendo diciembre el mes con mayor número de hembras colectadas con 122, mientras que en marzo solo se obtuvieron 17 hembras. La longitud promedio tuvo su máximo en marzo (2.6994 cm) y su mínimo en mayo (1.4147 cm), el peso promedio máximo fue durante abril (0.6395 g) y el mínimo en mayo (0.0705 g). La hembra con la

máxima longitud se localiza en septiembre (4.97 cm) y la de mínima longitud en mayo (1.06 cm) (Tabla 3).

Tabla 3. Número total de hembras colectadas durante el año de muestro

HEMBRAS							
Mes	Colectadas	Peso Prom. g	SE± Peso	Long. Prom. cm	SE ± Longitud	Long. Max. cm	Long. Min. cm
Diciembre	122	0.1462	0.1976±	1.7673	0.3591±	4.06	1.4
Enero	121	0.1358	0.1073±	1.7799	0.2946±	2.98	1.29
Febrero	64	0.5304	0.295±	2.6732	0.4843±	3.41	1.33
Marzo	17	0.5663	0.3662±	2.6994	0.5446±	3.55	1.48
Abril	21	0.6395	0.624±	2.689	0.7509±	4.22	1.43
Mayo	53	0.0705	0.095±	1.4147	0.2955±	2.94	1.06
Junio	54	0.5239	0.3434±	2.5878	0.6703±	3.75	1.27
Julio	50	0.5146	0.6071±	2.3836	0.9767±	4.37	1.4
Agosto	51	0.5163	0.6022±	2.4469	0.9583±	4.45	1.46
Septiembre	92	0.2823	0.5105±	1.9813	0.6967±	4.97	1.32
Octubre	56	0.3641	1.0637±	1.9927	0.4346±	3.97	1.5
Noviembre	103	0.1871	0.1789±	1.8712	0.403±	3.64	1.46

Noviembre fue el mes con el máximo número de huevos no fecundados encontrados (4405) en el total de hembras analizadas, mientras que marzo presentó el mínimo (151). El máximo número de huevos fecundados en las hembras analizadas fue de 128 en febrero y el mínimo de 3 durante octubre. Julio fue el mes que presentó el máximo valor de embriones (147), en contraste con el mínimo presentado en diciembre (8); siendo enero, febrero, mayo y noviembre los meses en que las hembras no presentaron ningún embrión (Tabla 4).

Tabla 4. Número total de huevos no fecundados, fecundados y de embriones encontrados durante cada mes

	<i>Dic</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>
Hembras analizadas	37	36	19	5	6	16	16	15	15	28	17	31
No fecundados	1682	1632	827	151	275	757	2247	1586	1439	3219	2196	4405
Fecundados	0	0	128	16	0	19	59	4	4	48	3	14
Embriones	8	0	0	30	38	0	112	147	85	91	16	0
Total	1690	1632	955	197	313	776	2418	1737	1528	3358	2215	4419

En la figura 2 se muestran los resultados del IGS, IHS y FC de diciembre, donde el valor más alto de IGS (9.78) y FC (3.08) se presentó en la talla más grande (4-4.49 cm), mientras el valor más alto de IHS (2.35) lo presenta la talla de 2.5-2.99 cm.

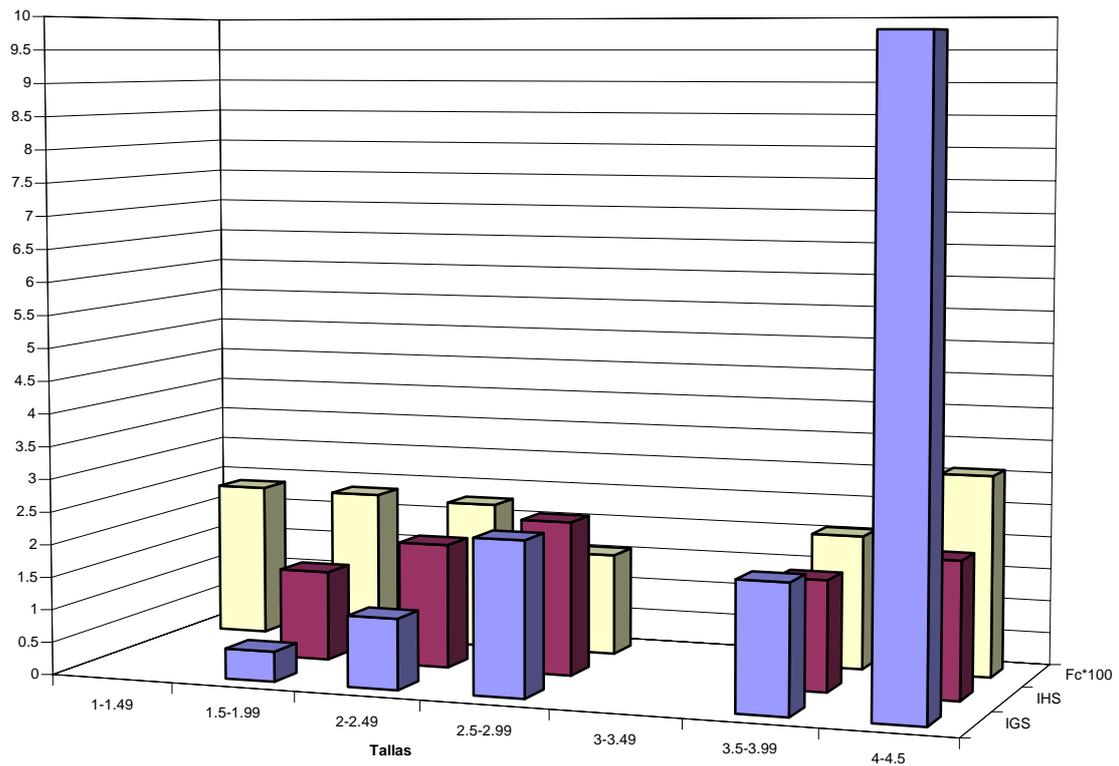


Fig. 2. Valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante diciembre del 2003.

Durante enero los valores del IHS son mayores que el IGS en todas las tallas, aunque el más alto IHS (4.53) se presenta en la talla de 1-1.49 cm, mientras que el FC presenta valores más elevados que el IGS y IHS en las tallas de 2-2.49 cm (3.15) y 2.5-2.99 cm (2.39) (Fig. 3).

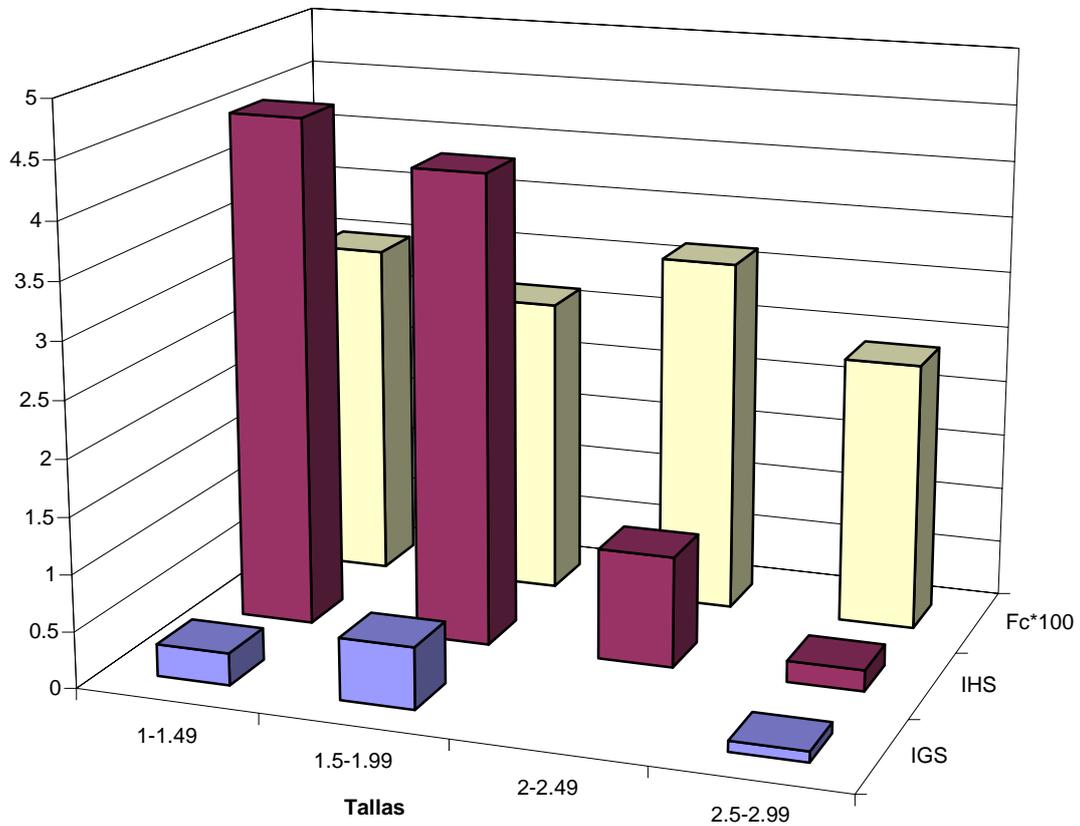


Fig. 3 Valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante enero del 2004

Durante febrero el IHS va incrementándose gradualmente y permanece más elevado que el IGS en todas las tallas, alcanzando su máximo (2.094) en la talla de 3-3.49 cm. El IGS que también se incrementa gradualmente alcanza su valor más alto (1.1) en la talla de 3-3.49 cm, mientras que el FC más alto (1.44) se da en la talla de 1.5-1.99 cm, aunque en general permanece constante en todas las tallas (Fig. 4).

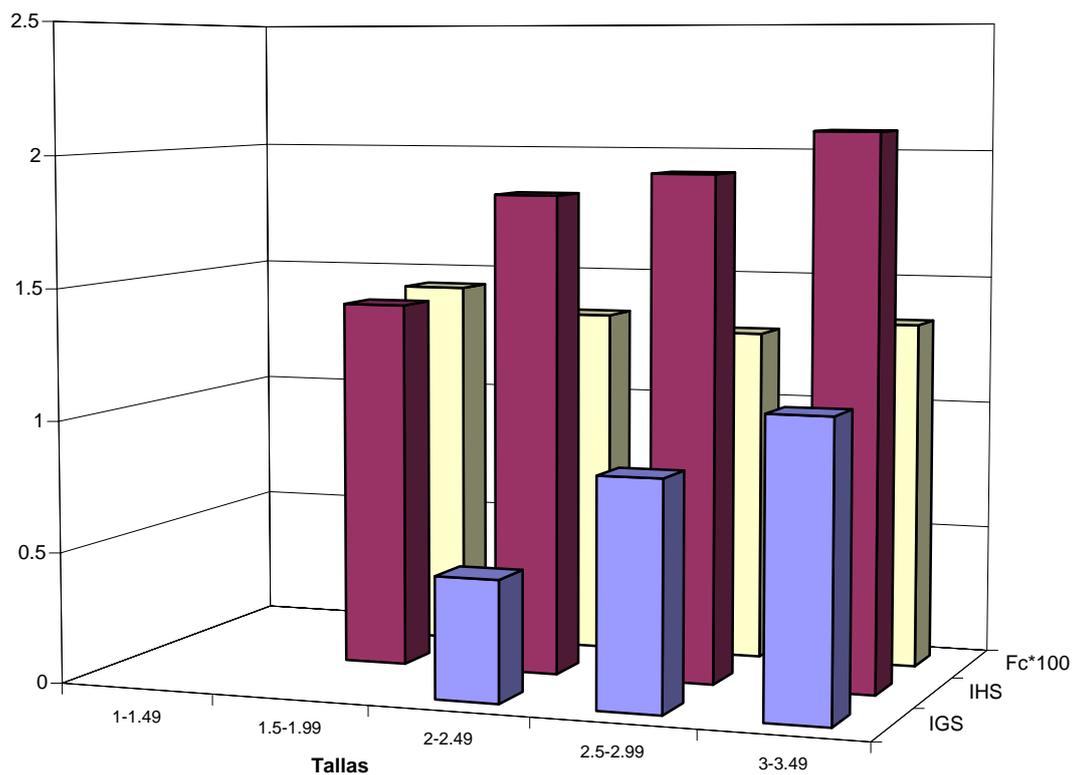


Fig. 4 Valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante febrero del 2004

Caso contrario sucede en marzo y abril, donde el IGS muestra un mayor incremento que el IHS, siendo en marzo el valor más alto (11.79) en la talla de 3.5-3.99 cm y en abril (21.54) en la talla de 4-4.49 cm, en ambos meses el FC permanece constante en todas las tallas y parece estar más relacionado con el IHS que con el IGS (Fig. 5 y 6).

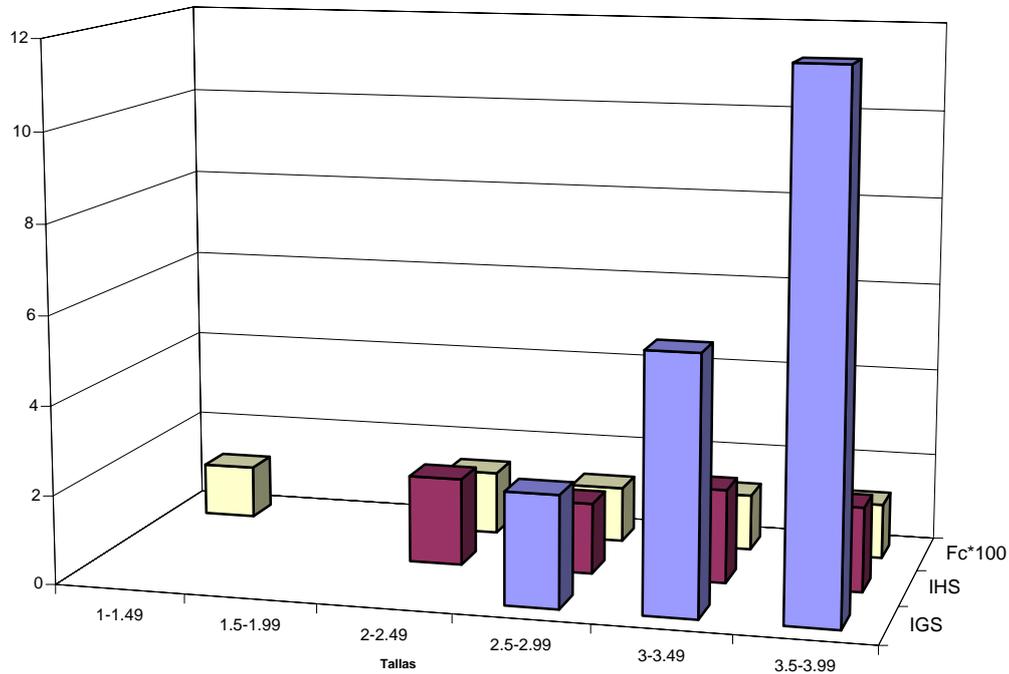


Fig. 5 Valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante marzo del 2004

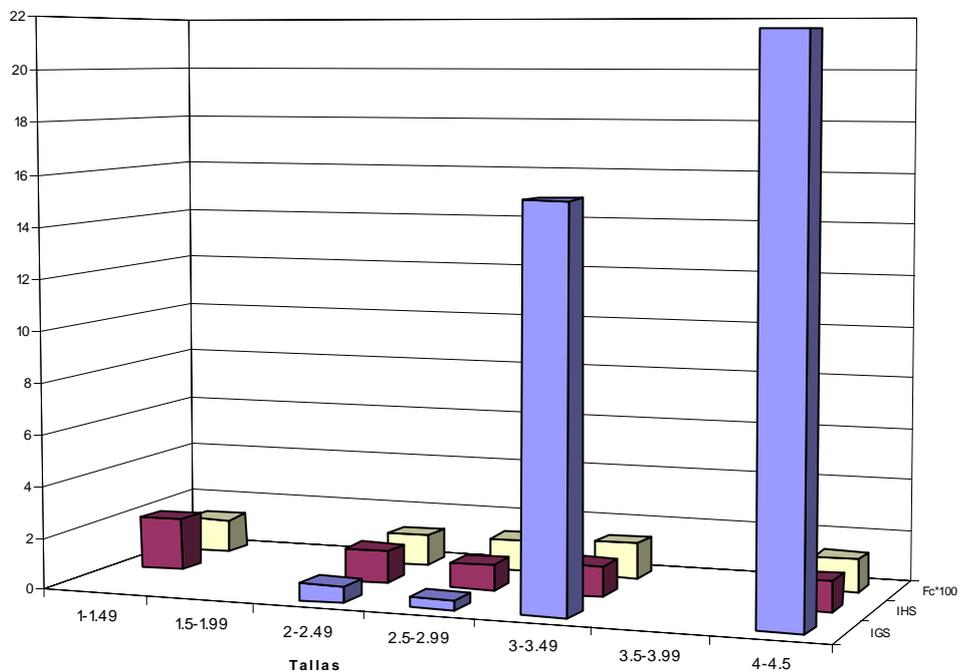


Fig. 6 Valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante abril del 2004

Mayo presenta solo un valor de IGS (0.86) en la talla de 2.5-2.99 cm debido a que las gónadas de las dos primeras tallas (1-1.49 y 1.5-1.99) no registraron

ningún peso por ser muy pequeñas; mientras que los valores de IHS y FC son más elevados y se presentan desde las primeras tallas, donde el FC más alto (1.92) está en la talla de 1-1.49 cm y el IHS más alto (1.24) está en la talla de 2.5-2.99 cm (Fig. 7).

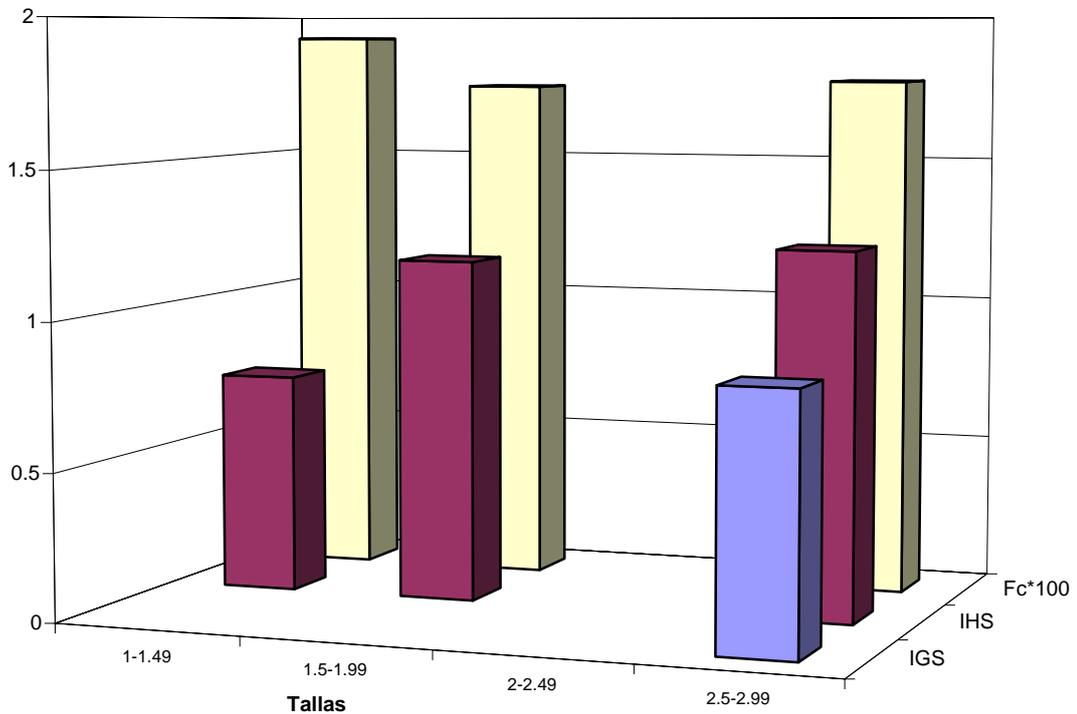


Fig. 7 Valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante mayo del 2004

En contraste con mayo, los meses de junio, julio, agosto y septiembre van incrementando gradualmente su IGS, siendo sus valores más altos (5.83) (12.85) (17.27) y (16.17) en las tallas de 3-3.49 cm, 3-3.49 cm, 4-4.49 cm y 3.5-3.99 cm respectivamente, mientras que los valores de IHS y FC permanecen

por debajo de 2.5 en todas las tallas de estos mismos meses (Fig. 8, 9, 10 y 11).

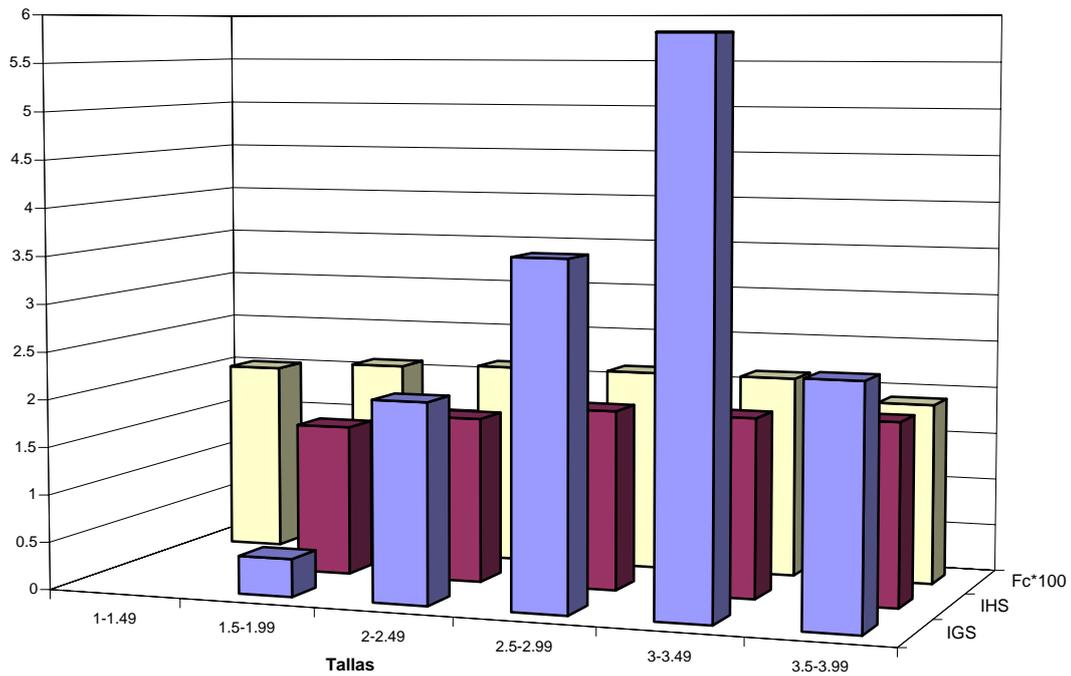


Fig. 8 Valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante junio del 2004

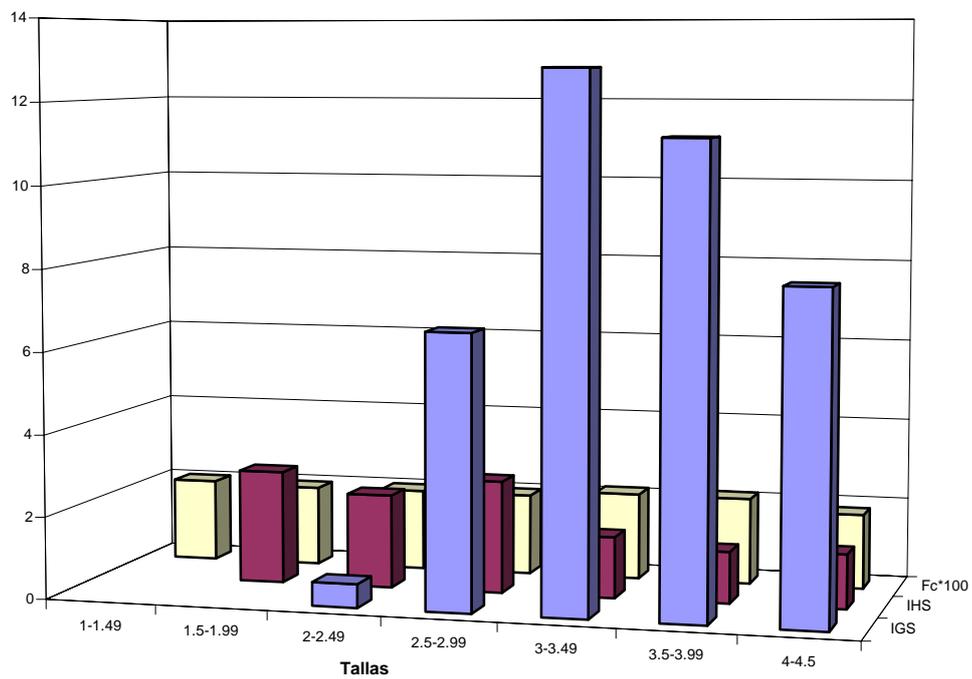


Fig. 9 Valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante julio del 2004

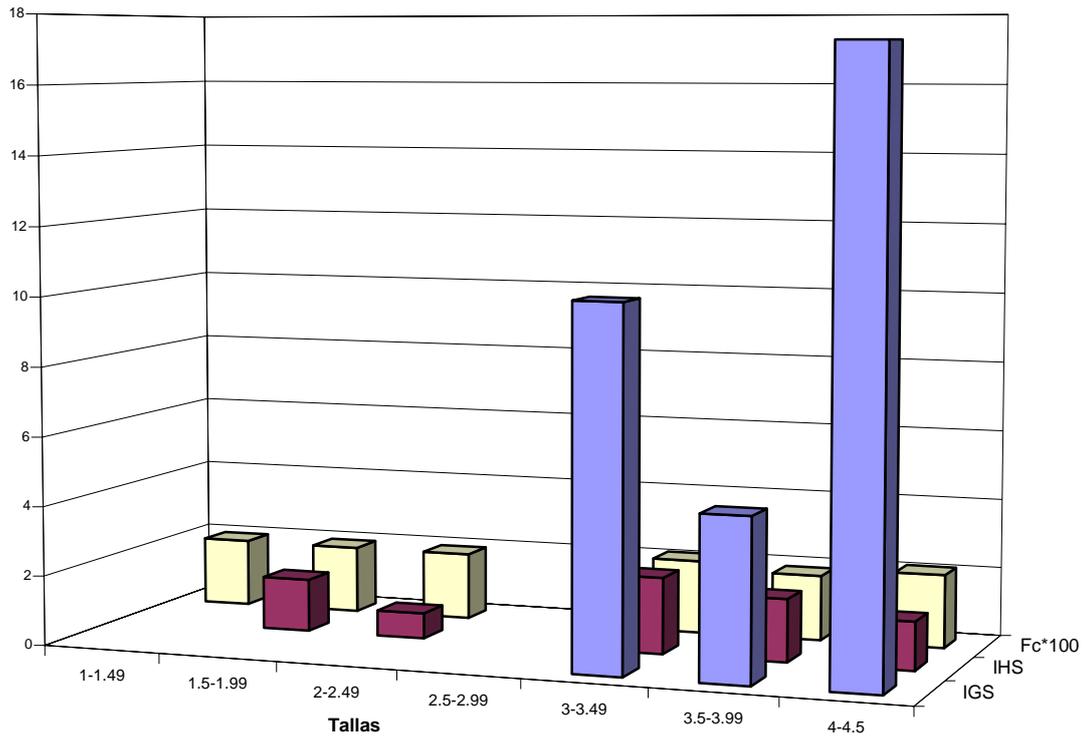


Fig. 10 Valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante agosto del 2004

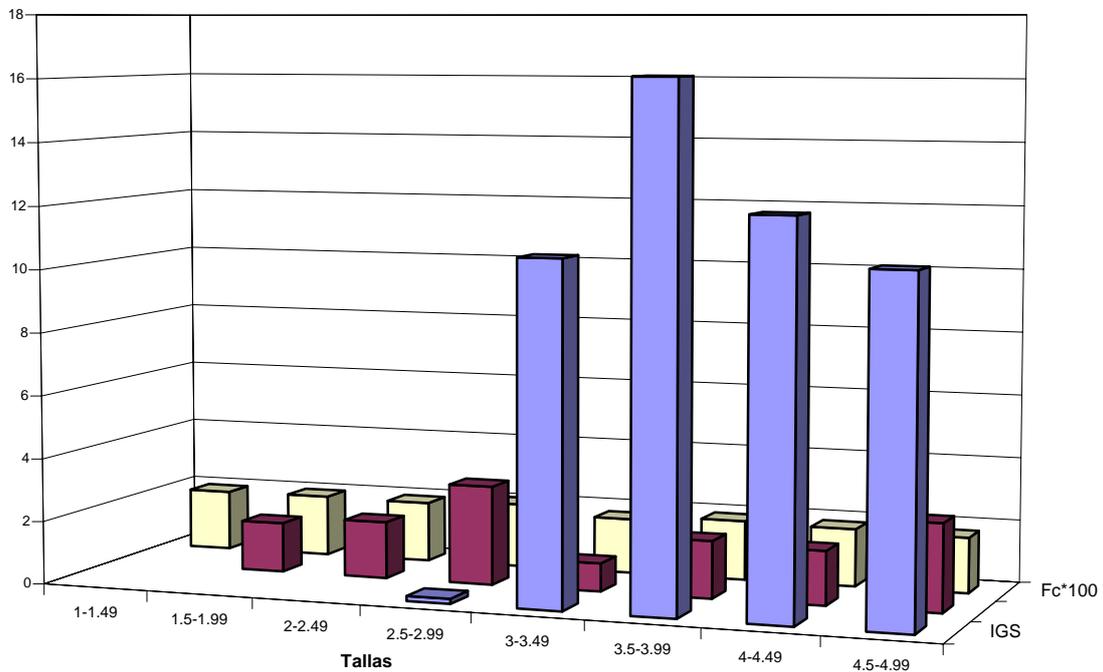


Fig. 11 Valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante septiembre del 2004

Octubre presenta su IGS más alto (3.58) en la talla de 3.5-3.99 cm, mientras que el IHS con un incremento gradual, tiene su valor más alto (2.25) en la talla de 3.5-3.99 cm, al igual que en los meses anteriores el valor del FC permanece

más o menos de manera constante por debajo de 2.5 en las tallas presentes (Fig. 12).

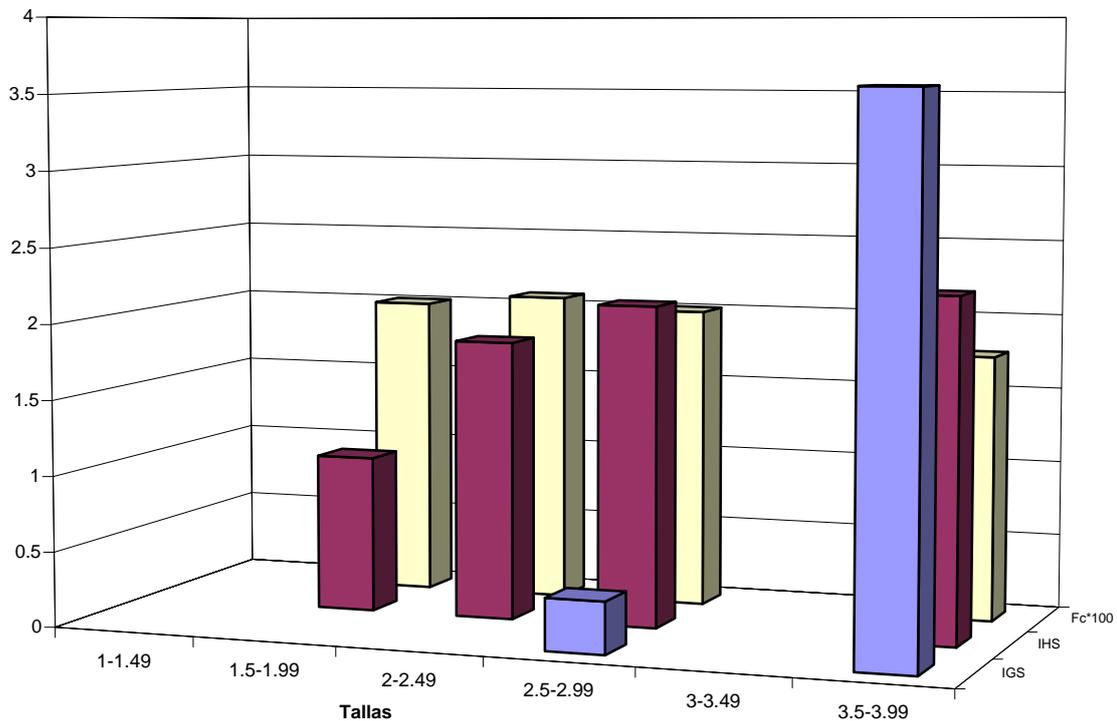


Fig. 12 Valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante octubre del 2004

Durante noviembre también se presenta un incremento gradual del IGS, siendo su valor más alto (1.33) en la talla de 3.5-3.99 cm, mientras que el IHS siempre se mantiene por arriba del IGS y su valor más alto (2.76) se da en la talla de 2-2.49 cm. Los valores de FC vuelven a presentarse de manera más o menos constante siendo su valor más alto (2.12) en la talla de 2.5-2.99 cm (Fig. 13).

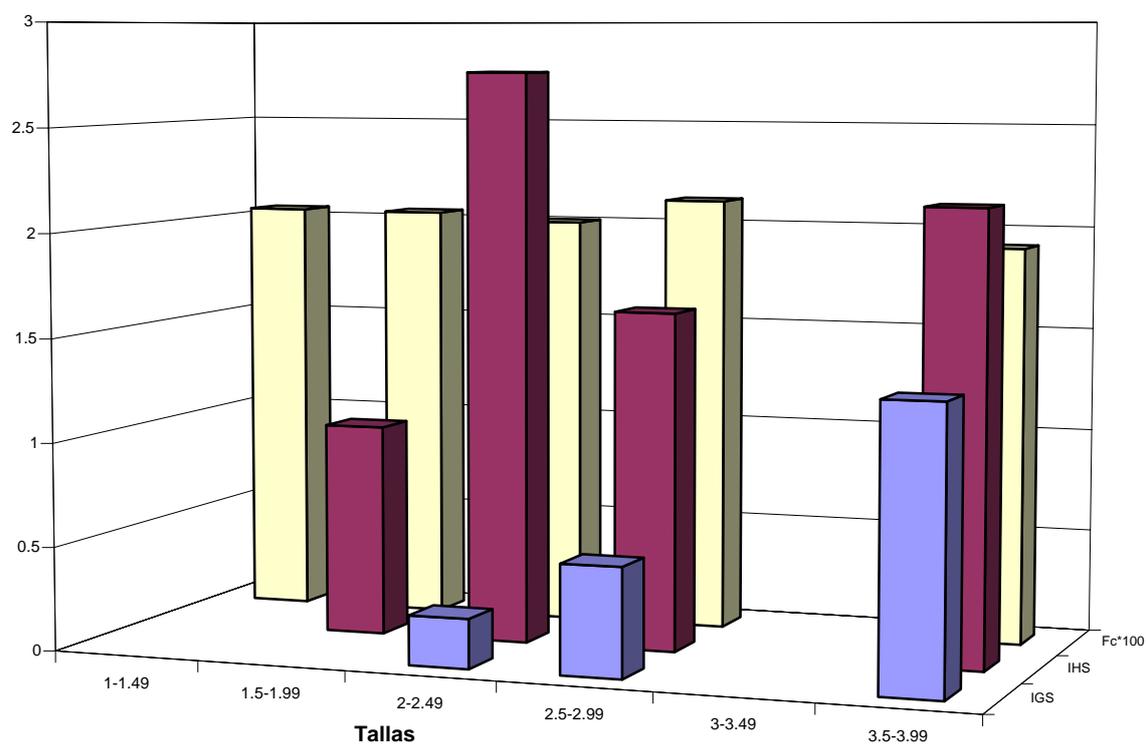


Fig. 13 Valores del índice gonadosomático (IGS), hepatosomático (IHS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante noviembre del 2004

En la figura 14 se muestran los valores del IGS durante todos los meses, donde abril presentó el valor más alto (21.54) en la talla de 4-4.49 cm, comparativamente a los meses de enero (0.094) y septiembre (0.165) que en la talla de 2.5-2.99 cm tienen los valores más bajos.

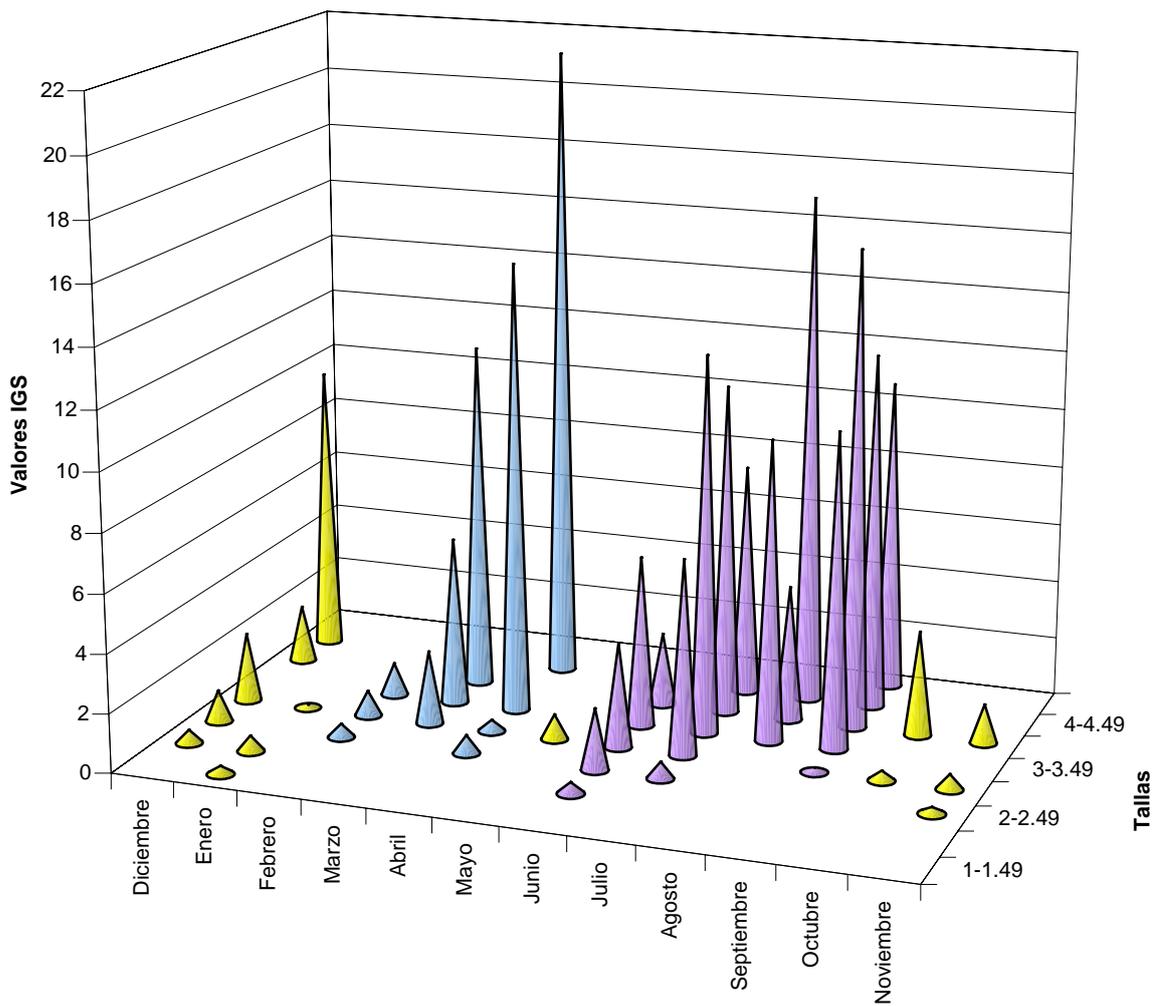


Fig. 14 Valores del índice gonadosomático (IGS) por mes y talla

El IGS muestra su máximo y mínimo valor durante enero (4.53) en la talla de 1-1.49 cm y (0.18) en la talla de 2.5-2.99 cm, respectivamente, manteniéndose de forma constante de febrero a agosto (Fig. 15).

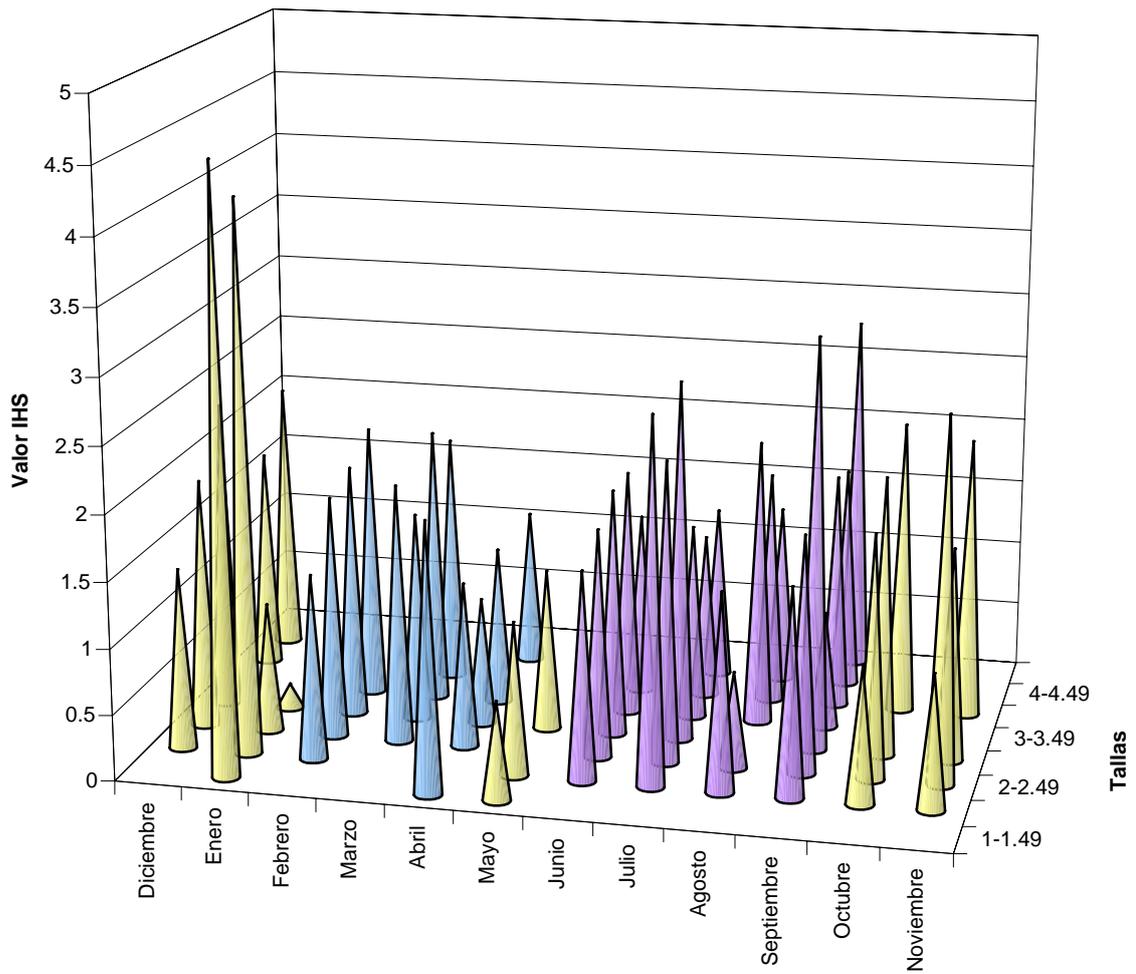


Fig. 15 Valores del índice hepatosomático (IHS) por mes y talla

La figura 16 muestra que abril presenta en promedio un mayor peso de gónada que el resto de los meses (0.523 g) en la talla de 4-4.49 cm, siendo enero, febrero, mayo, octubre y noviembre los meses que tienen los valores más bajos en las tallas que van de 1-2.99 cm.

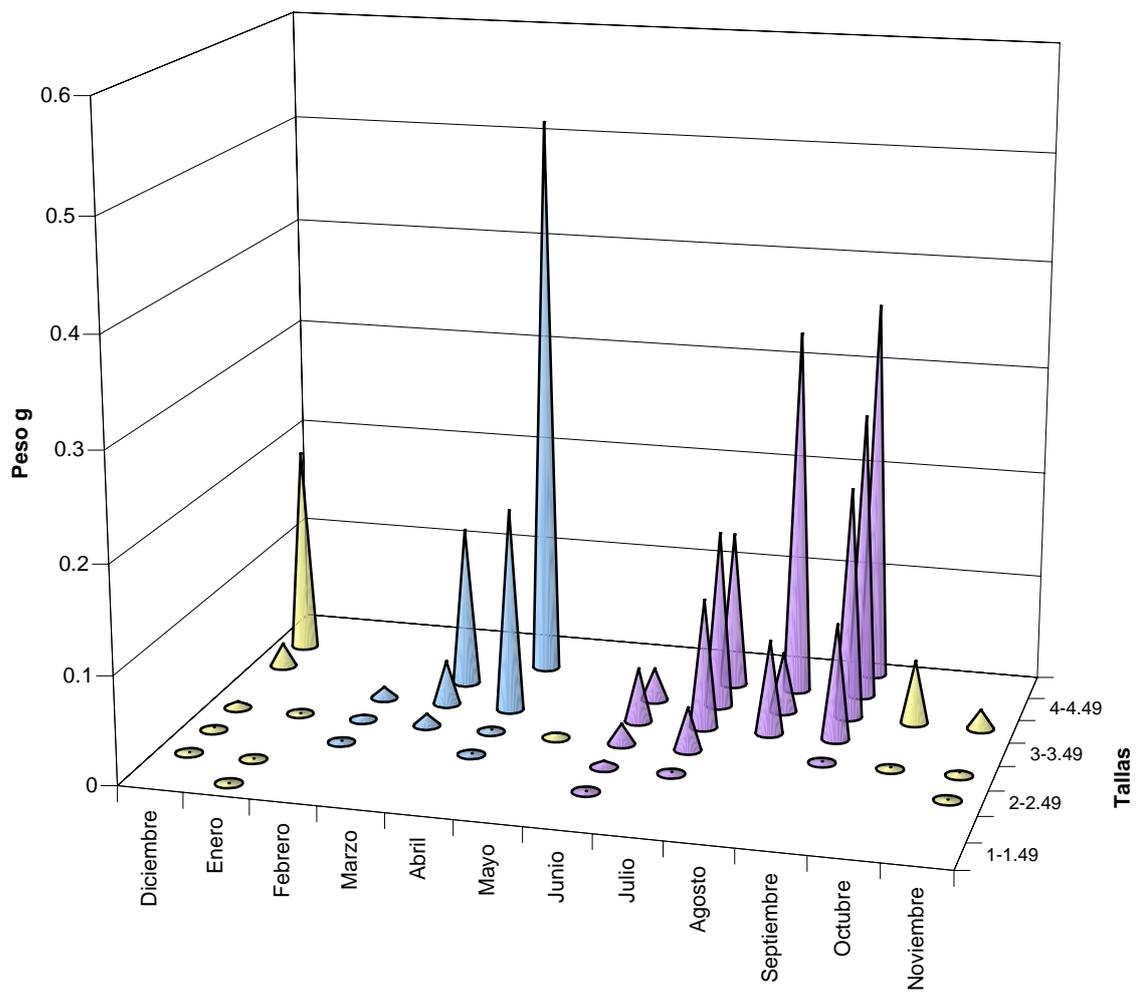


Fig. 16 Peso promedio de la gónada por mes y talla

Septiembre presenta el mayor peso promedio del hígado (0.092 g) en la talla de 4.5-4.99 cm, mientras que en enero (0.0006 g) y mayo (0.0003 g) se dan los valores mínimos durante las tallas de 2.5-2.99 cm y 1-1.49 cm, respectivamente, aunque en general de febrero a agosto se presentan valores bajos en las tallas comprendidas entre 1 y 2.99 cm (Fig. 17).

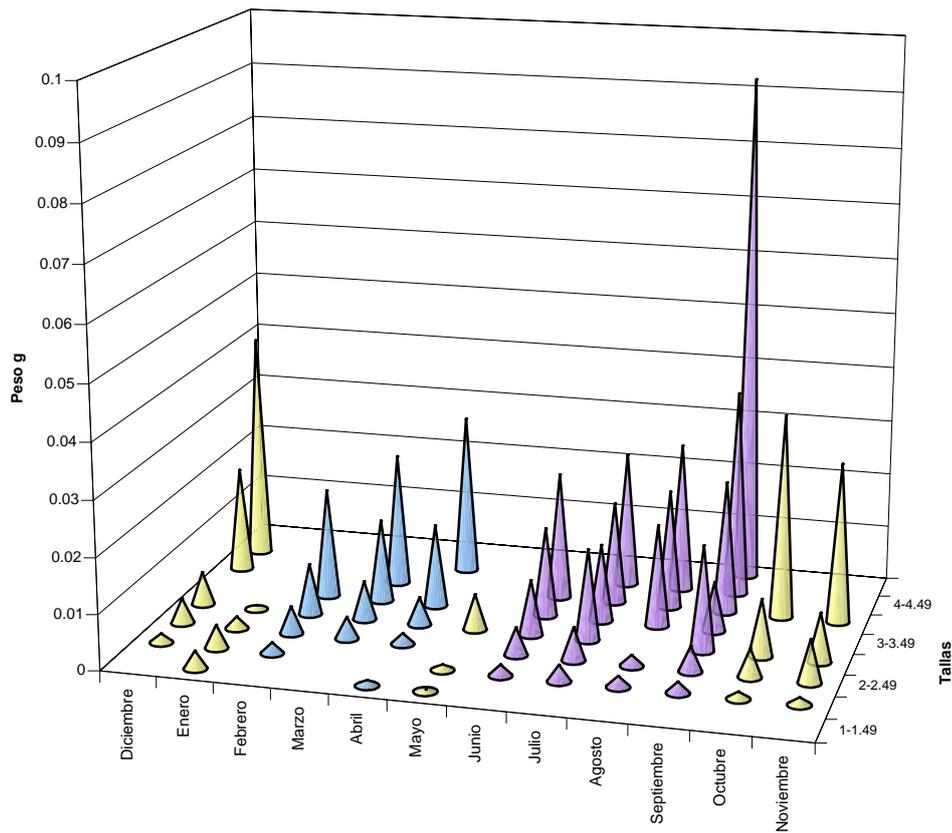


Fig. 17 Peso promedio del hígado por mes y talla

Durante diciembre (76.22 %), enero (72.72 %), mayo (88.67 %), julio (38 %), agosto (39.21 %), septiembre (48.91 %), octubre (57.14 %) y noviembre (57.28 %) las dos primeras tallas (1-1.49 cm y 1.5-1.99 cm) son más frecuentes que el resto, mientras que en febrero (37.5 %), marzo (35.29 %), abril (38.1 %) y junio (31.5 %) presentan mayor frecuencia las tallas comprendidas de los 2 a los 2.49 cm. Las tallas de 3cm en adelante son las que en todos los meses presentan la más baja frecuencia de aparición (Fig. 18).

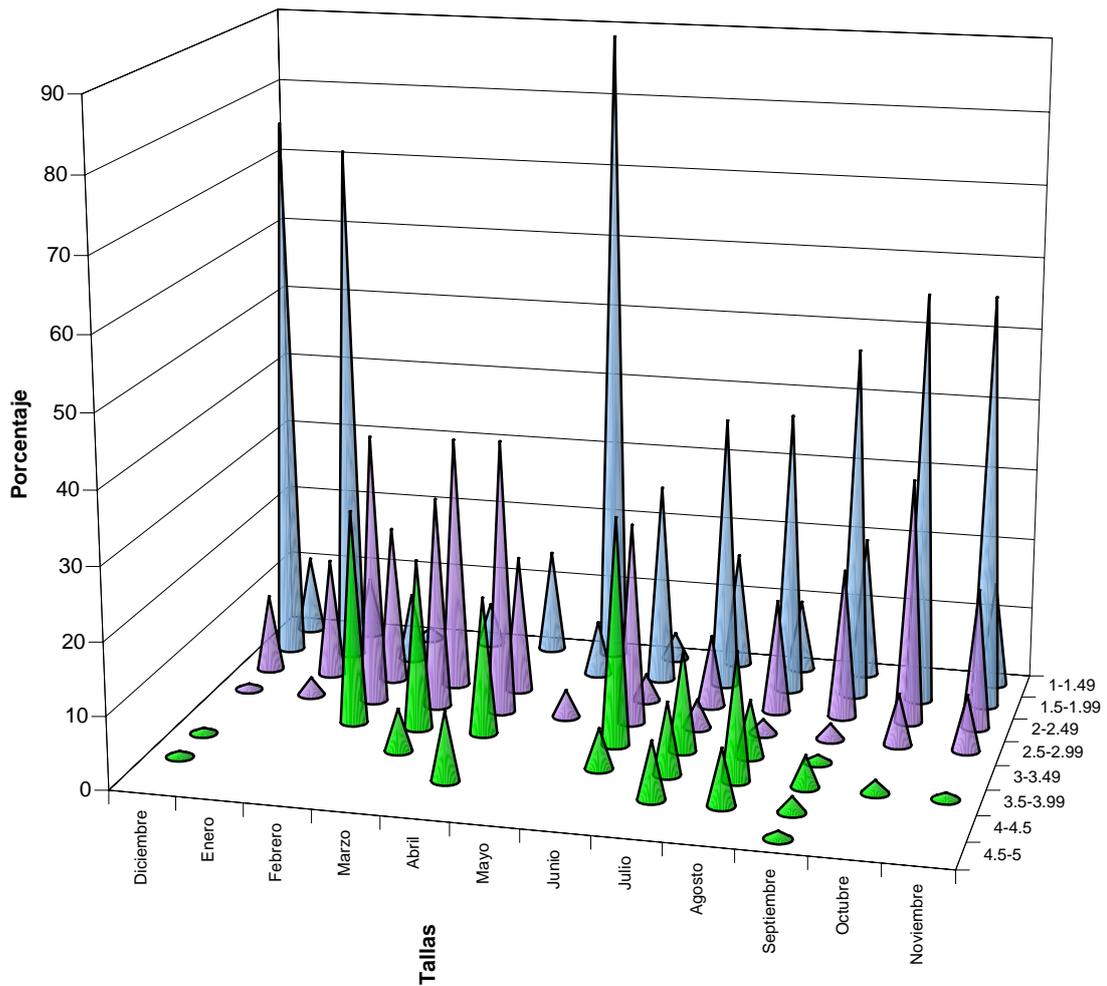


Fig. 18 Porcentaje de frecuencia de tallas por mes

Existe una relación indirecta entre el desarrollo de la gónada e hígado, donde el hígado baja su porcentaje en peso conforme la gónada lo va incrementando. Esto es visible claramente de Febrero a Abril y de Junio a Septiembre, donde el peso porcentual del hígado es 10.98 % contra 1.21 % de la gónada durante febrero, en marzo el hígado (9.6 %) es ligeramente superior a la gónada (9 %), en cambio en abril el valor del hígado (9 %) es ligeramente inferior al de los meses anteriores mientras que el de la gónada (26.84 %) es mucho mayor; comparativamente durante junio el valor del hígado (10.62 %) es superior al de la gónada (5.6 %), mientras que en julio, agosto y septiembre, el valor del

hígado (12.18 %), (13.44 %) y (13.44%) respectivamente, es inferior al de la gónada (16.32 %), (21.66 %) y 16.04 %) respectivamente hablando (Fig. 19).

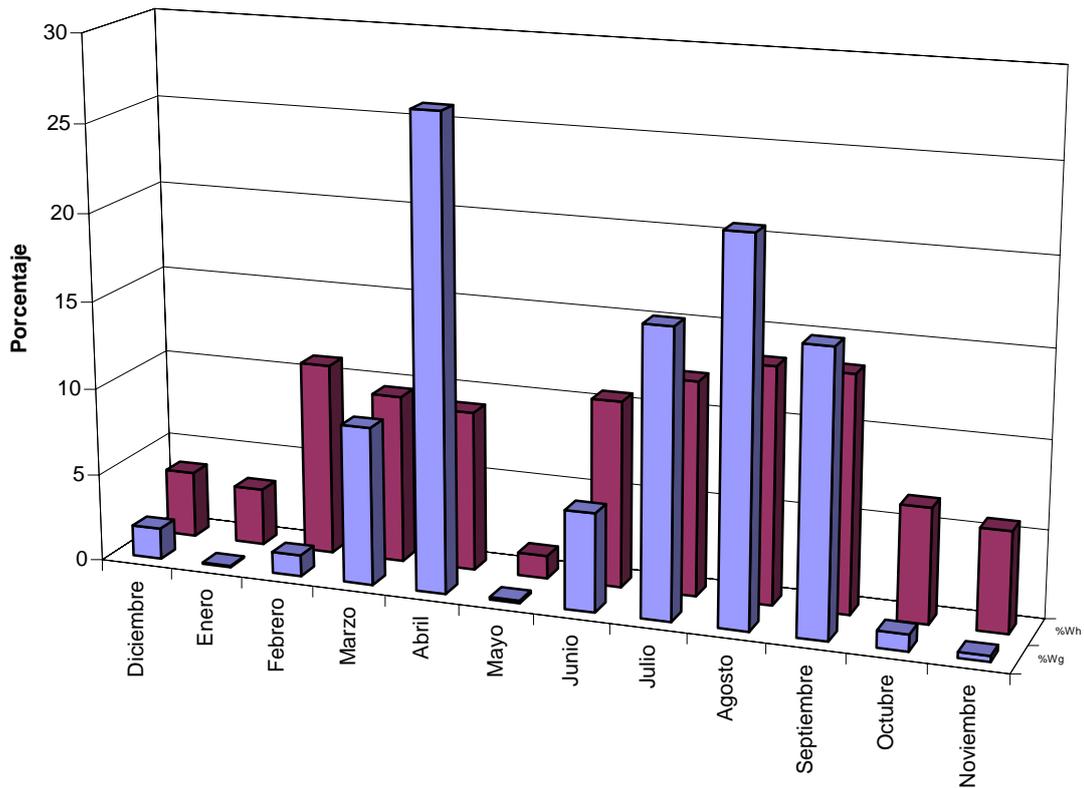


Fig. 19 Porcentaje de la relación peso gónada-hígado durante los 12 meses

La mayor fecundidad, tomada como el número total de huevos y/o embriones encontrados dentro de la gónada, se presentó en las tallas menores a 2.5 cm, que a su vez presentaron en su mayoría huevos no fecundados dentro de sus gónadas. La fecundidad se ve reducida en las tallas mayores a 2.5 cm; siendo en estas mismas tallas donde ya se observa la presencia de huevos fecundados y de embriones. Al relacionar la talla de las hembras con el número de huevos fecundados y embriones no tomando en cuenta los inmaduros, se observa que conforme la talla incrementa, se presenta también un aumento de huevos fecundados y embriones, aunque existe variabilidad en cuanto al tamaño y número de embriones dentro de las gónadas (Fig. 20 y 21).

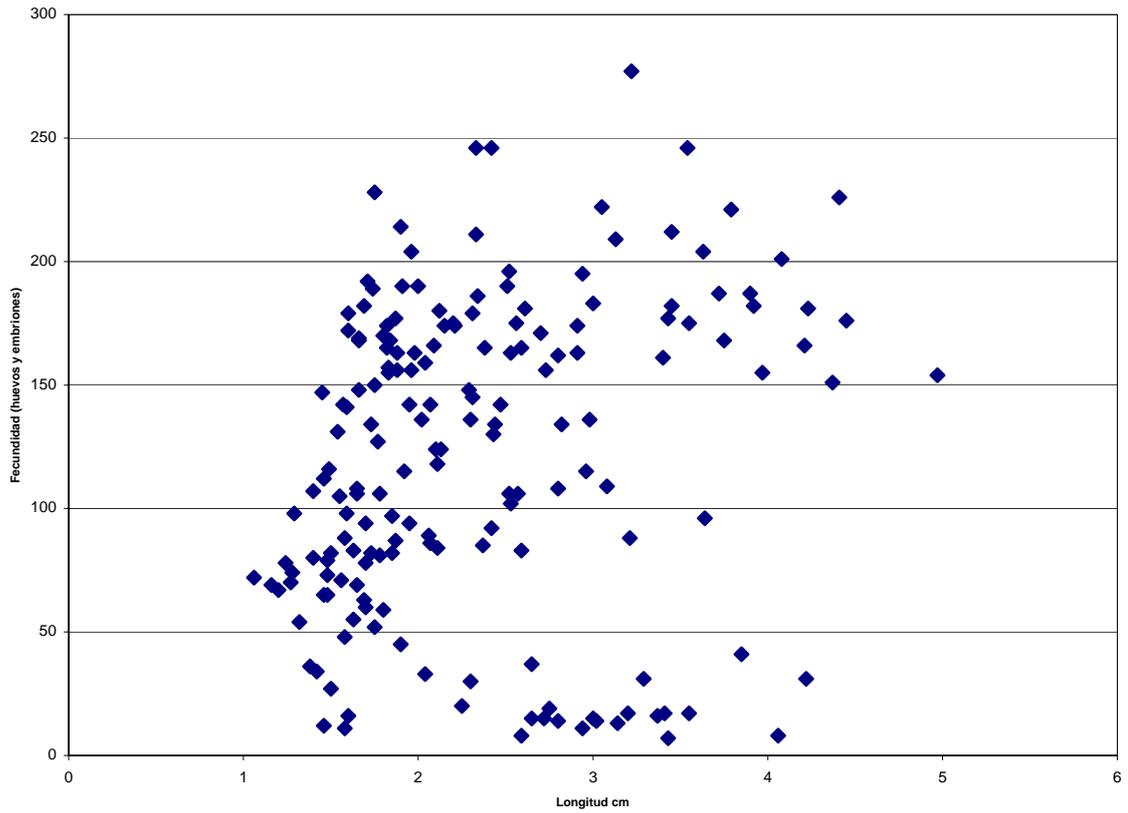


Fig. 20 Fecundidad durante los meses muestreados con respecto a la longitud

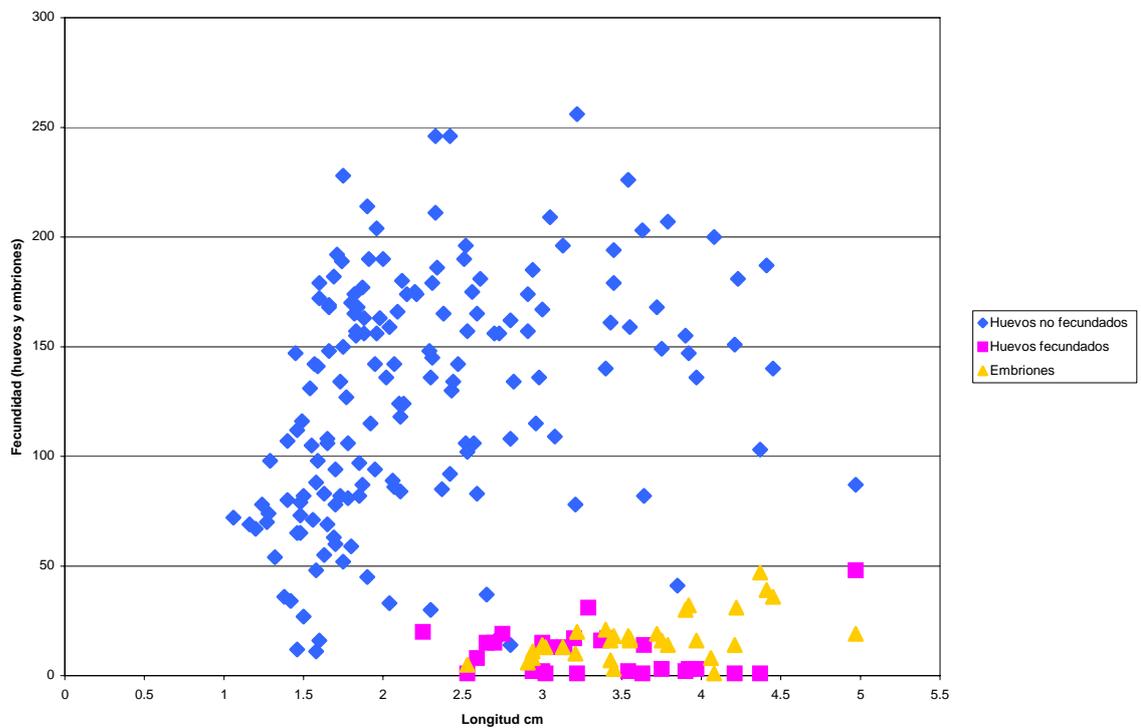


Fig. 21 Fecundidad por contenido de gónada durante los meses muestreados con respecto a la longitud

## Machos

En total se colectaron 476 machos, siendo enero el mes con mayor número de machos colectados (71), mientras que en mayo y agosto solo se obtuvieron 11 machos. La longitud promedio tuvo su máximo en junio (2.5814 cm) y su mínimo en diciembre (1.8013 cm), el peso promedio máximo fue durante junio (0.4385 g) y el mínimo en diciembre (0.1458 g). El macho con la máxima longitud se localiza en octubre (3.59 cm) y el de mínima longitud en mayo (1.32 cm) (Tabla 5).

Tabla 5. Número total de machos colectados y analizados durante el año de muestro

MACHOS							
Mes	Colectados	Peso Prom. g	SE± Peso	Long. Prom. Cm	SE± Longitud	Long. Max. cm	Long. Min. cm
Diciembre	61	0.1458	0.0757±	1.8013	0.2057±	2.81	1.53
Enero	71	0.1664	0.0761±	1.9377	0.2604±	2.69	1.51
Febrero	29	0.3721	0.1783±	2.4421	0.301±	3.28	1.99
Marzo	49	0.3319	0.083±	2.4186	0.1542±	3.04	2.1
Abril	13	0.3477	0.0513±	2.4415	0.1457±	2.74	2.3
Mayo	11	0.2801	0.1535±	2.19	0.5155±	2.7	1.32
Junio	35	0.4385	0.1582±	2.5814	0.2937±	3.49	1.79
Julio	32	0.3672	0.1954±	2.4544	0.4733±	3.46	1.56
Agosto	11	0.2878	0.2105±	2.2927	0.5252±	3.01	1.66
Septiembre	31	0.281	0.2262±	2.1771	0.5047±	3.55	1.55
Octubre	66	0.2982	0.1498±	2.2241	0.296±	3.59	1.62
Noviembre	67	0.2245	0.1503±	1.9861	0.3736±	3.01	1.37

En la figura 22 se muestran los valores del IGS y el FC de los machos durante diciembre, donde el valor más alto de IGS (2.52) se presentó en la talla de 2-2.49 cm, mientras que el FC más elevado (2) lo presenta la segunda talla de 1.5-1.99 cm.

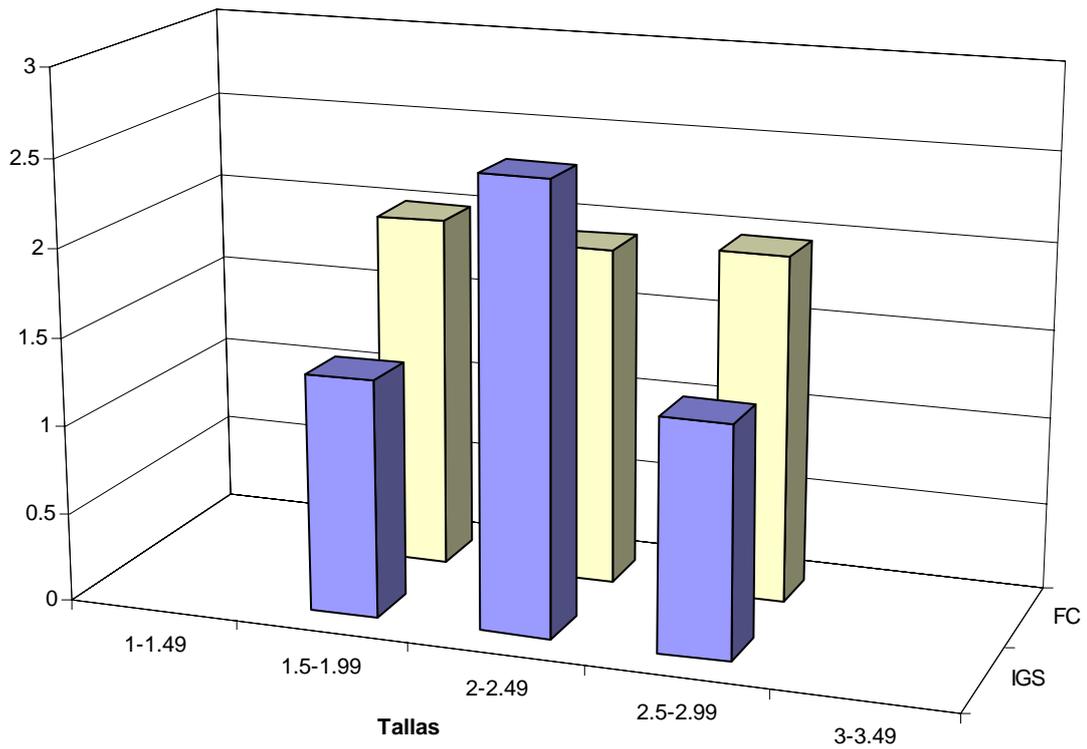


Fig. 22. Valores del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante diciembre del 2003.

Durante enero los valores del FC son más altos que los de IGS en todas las tallas y tienden a ir en aumento al contrario de los del IGS que van disminuyendo a través de las tallas; así el valor más alto de IGS (1.47) se presenta en la talla de 1.5-1.99 cm, siendo que el más elevado FC (2.93) se obtiene en la talla de 2.5-2.99 cm (Fig. 23).

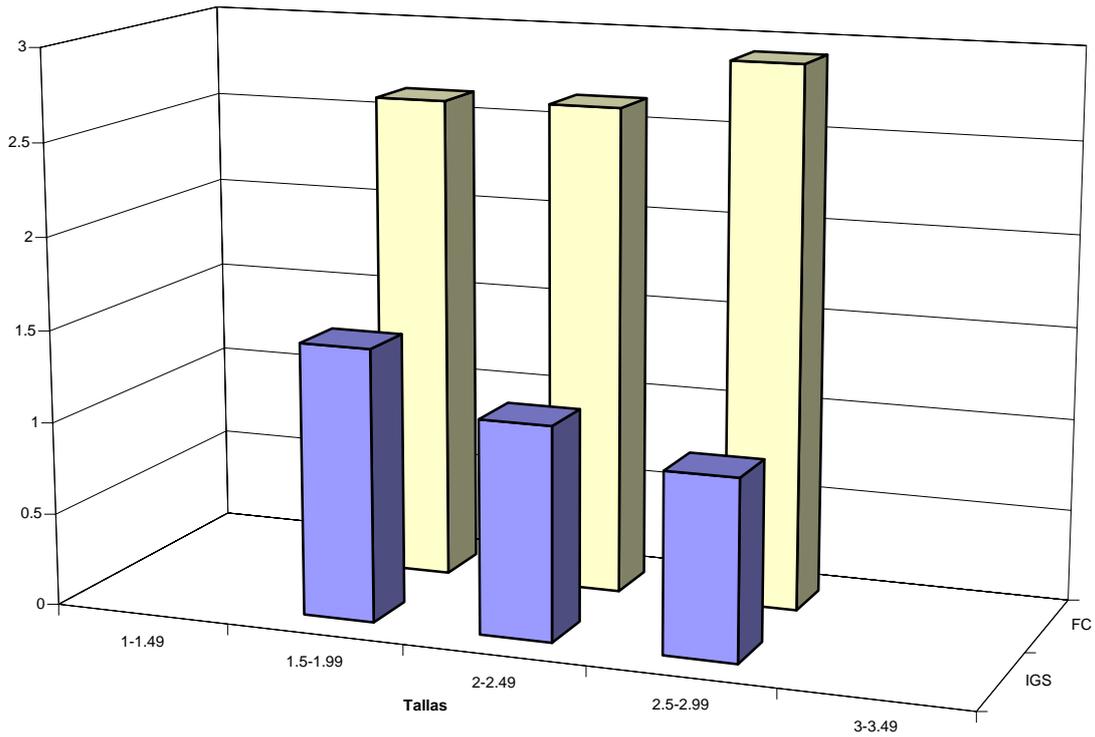


Fig. 23. Valores del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante enero del 2004.

En febrero solo en la talla de 1.5-1.99 cm se da un valor de IGS (1.42) más alto que el de FC (1.25), siendo que éste es el máximo IGS de éste mes y el FC es el mínimo a comparación de su valor máximo (1.54) que se presenta en la talla de 2-2.49 cm (Fig. 24).

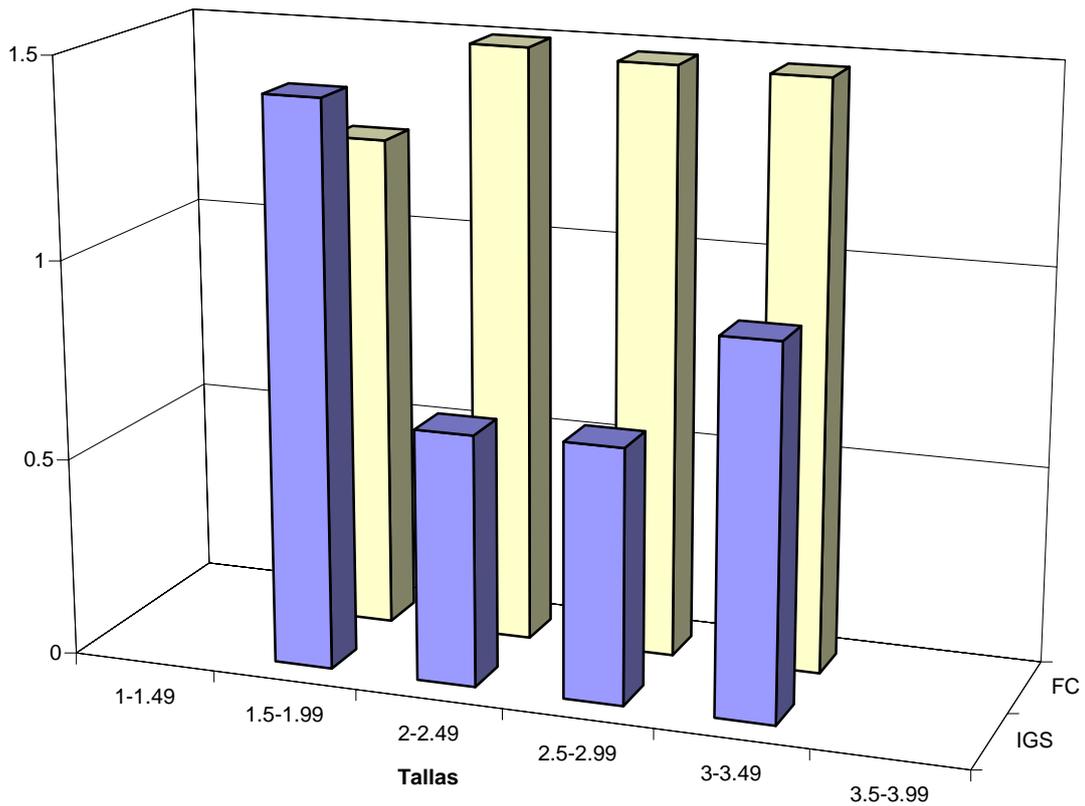


Fig. 24. Valores del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante febrero del 2004.

En el mes de marzo los valores de FC superan a los de IGS en todas las tallas, aunque se advierte que guardan cierta relación, pues se observa que el FC se eleva al incrementarse el IGS y disminuye al bajar también este último. El IGS máximo (1.21) se obtiene en la talla de 2-2.49 cm, mientras que el FC máximo (1.58) se presenta en la talla de 3-3.49 cm (Fig. 25).

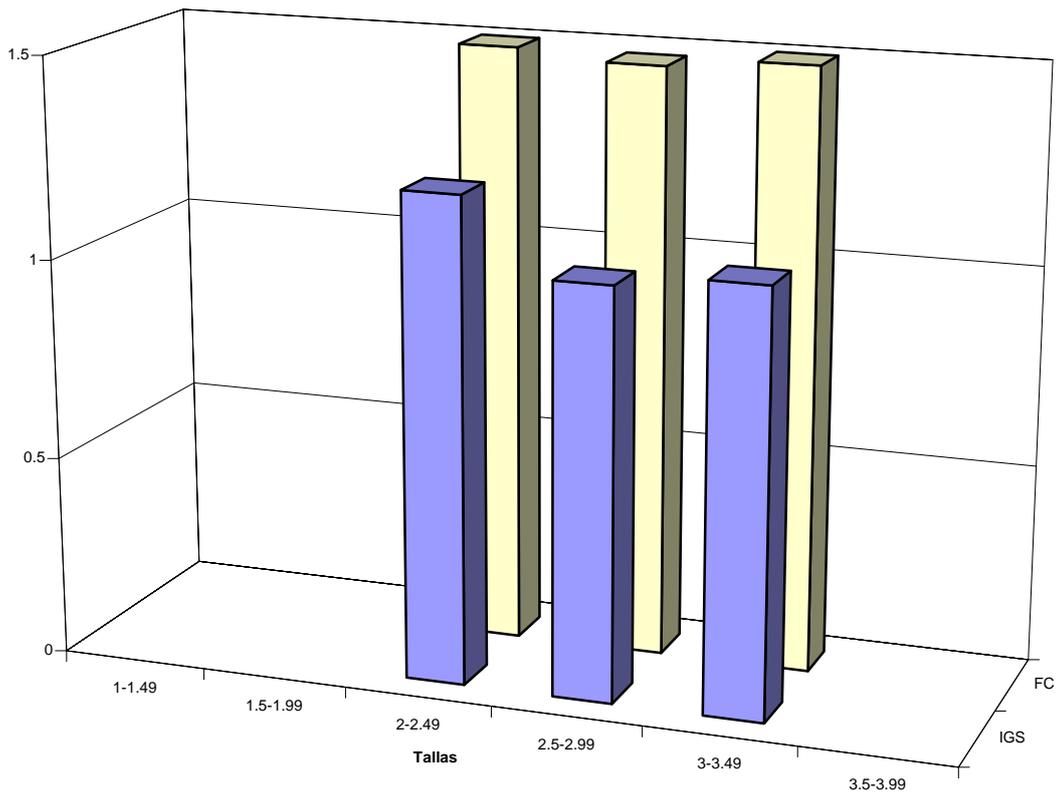


Fig. 25. Valores del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante marzo del 2004.

Abril presenta valores bajos de IGS (1.27 y 1.81) que corresponden a las tallas de 2-2.49 cm y 2.5-2.99 cm respectivamente, en lo que sus valores de FC son más elevados, siendo el máximo de 3.46 en la talla de 2.5-2.99 cm (Fig. 26).

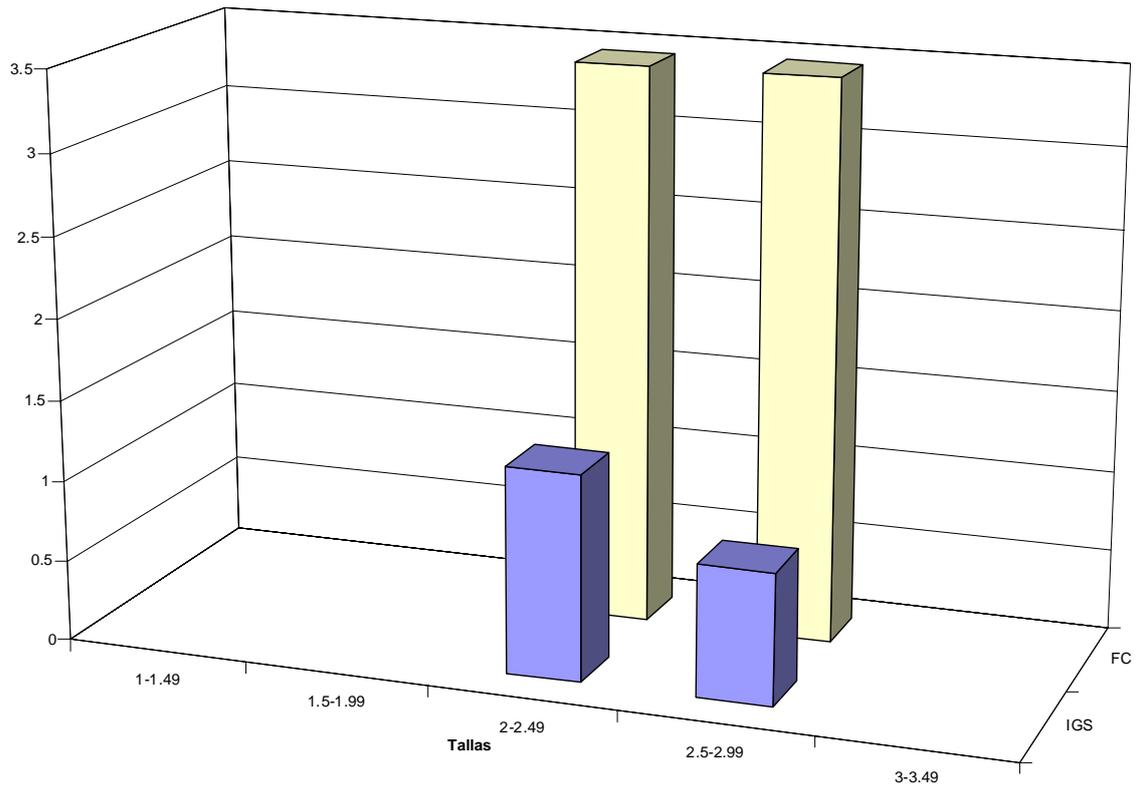


Fig. 26. Valores del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante abril del 2004.

En el mes de mayo los valores de IGS son más bajos que los de FC, y no se nota que guarden una relación, pues el FC se incrementa ligeramente, mientras que el IGS disminuye un poco. El valor más alto de FC (1.896) se presentó en la talla de 2.5-2.99 cm, mientras que para el IGS el valor más elevado (0.7272) se obtuvo en la talla de 2-2.49 cm (Fig. 27).

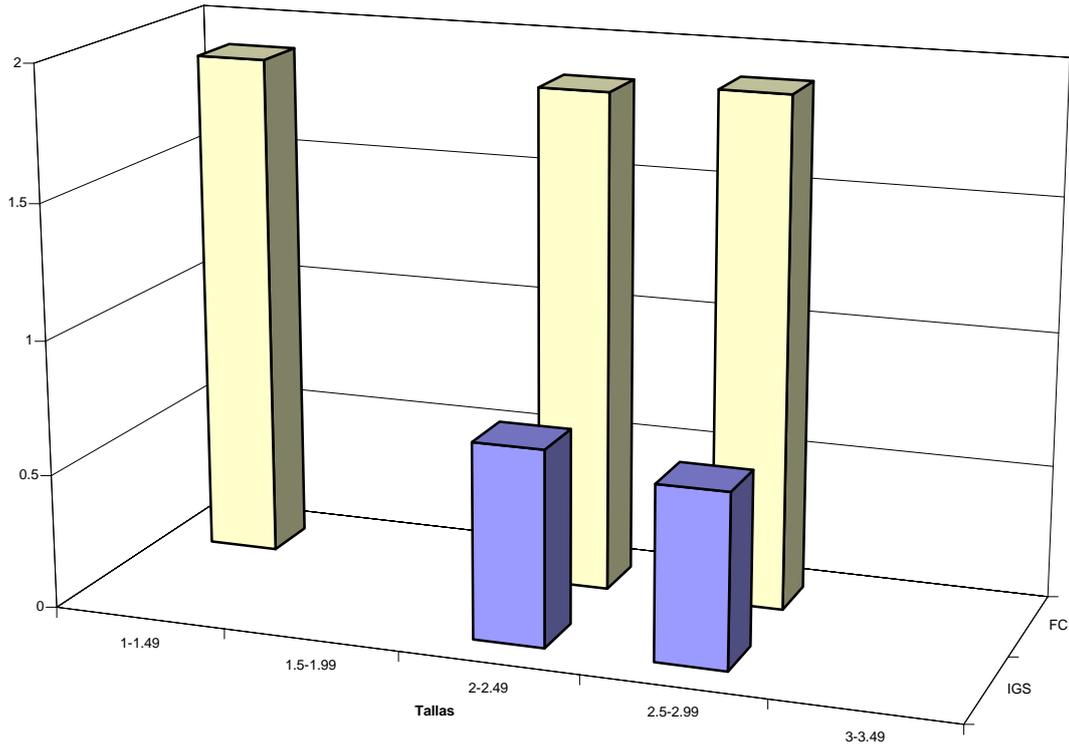


Fig. 27. Valores del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante mayo del 2004.

Durante Junio y Julio el FC resultó ser más elevado que el IGS, aunque ambos parecen guardar cierta relación pues al incrementarse uno ligeramente el otro también tiende a hacerlo; siendo sus valores más altos de IGS (1.418) y (1.961) en las tallas de 3-3.49 cm y 2-2.49 cm respectivamente, mientras que los valores del FC permanecen entre 2 y 2.5 (Fig. 28 y 29).

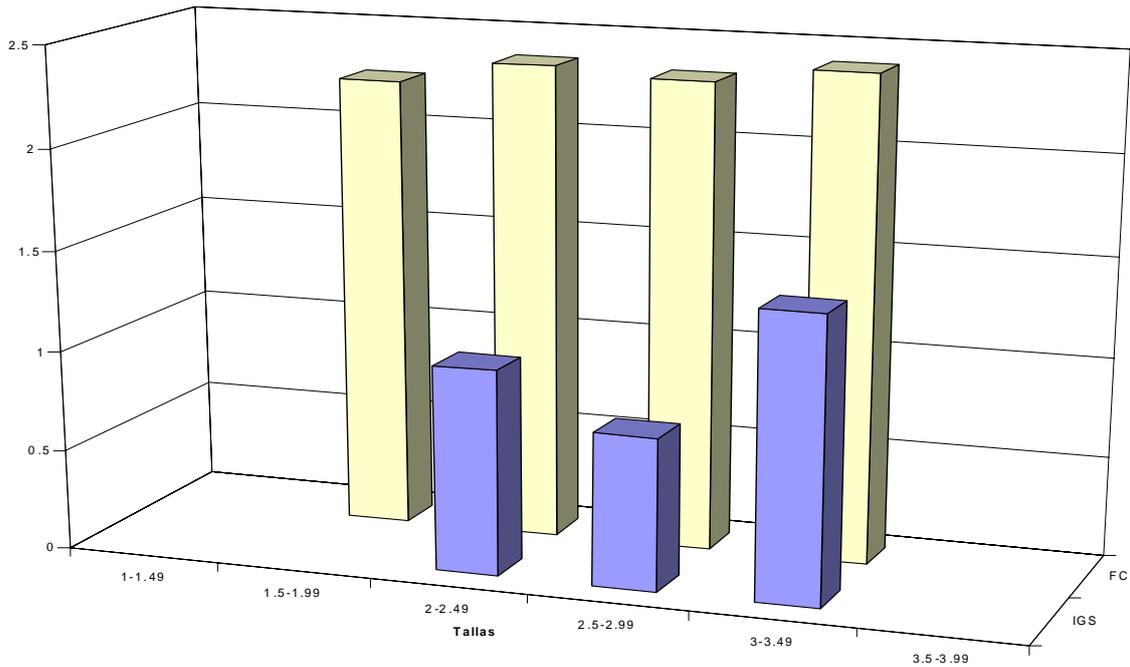


Fig. 28. Valores del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante junio del 2004.

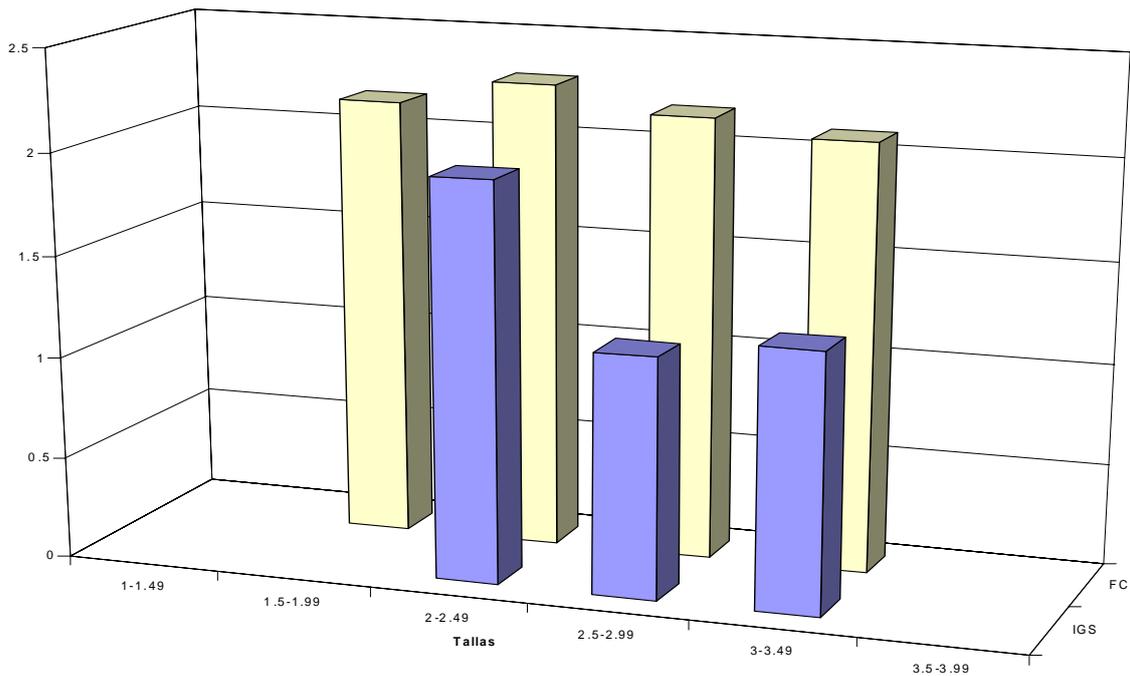


Fig. 29. Valores del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante julio del 2004.

Agosto presentó el IGS más elevado (1.4) en la talla de 3-3.49 cm, el FC permanece más alto que el IGS y su valor más elevado (1.641) se obtuvo en la talla de 2.5-2.99 cm, misma donde está el valor más bajo de IGS (0.917) (Fig. 30).

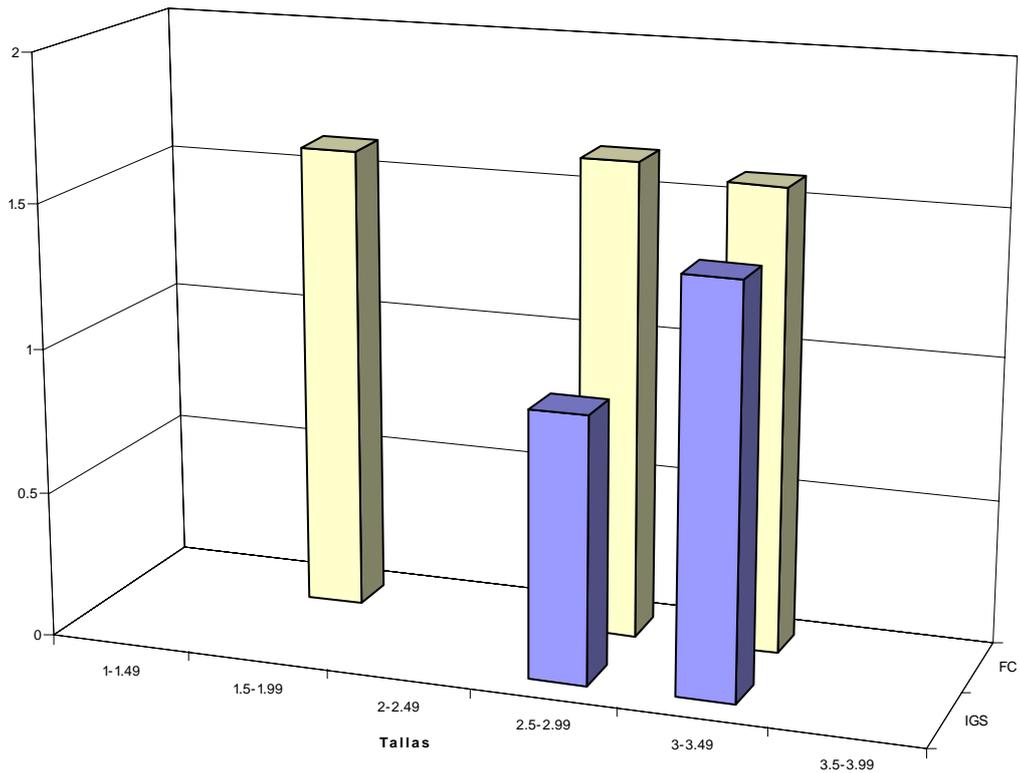


Fig. 30. Valores del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante agosto del 2004.

Durante septiembre el FC presenta valores por arriba de 2 y es mayor que el IGS en todas las tallas. Tras una pequeña disminución en las primeras tallas, el IGS se incrementa en las 2 últimas tallas, su valor más alto (1.41) se presentó en la talla de 3.5-3.99 cm (Fig. 31).

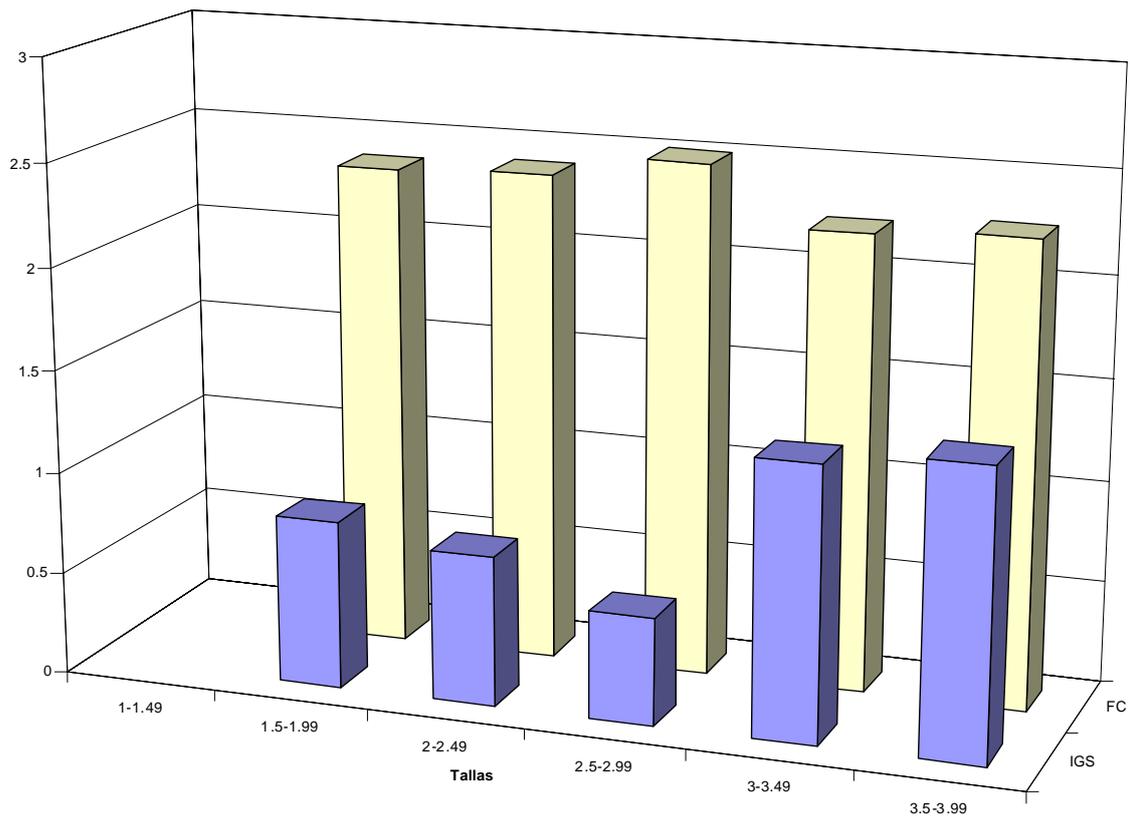


Fig. 31. Valores del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante septiembre del 2004.

Tanto en octubre como en noviembre los valores de FC tienden, como en los meses anteriores, a ser más elevados que los de IGS. En ambos meses el valor más alto de FC (2.01) y (1.925) respectivamente, se presentan en la talla de 2-2.49 cm, mientras que el IGS presenta valores entre 0.5 y 1, con una ligera tendencia a disminuir (Fig. 32 y 33).

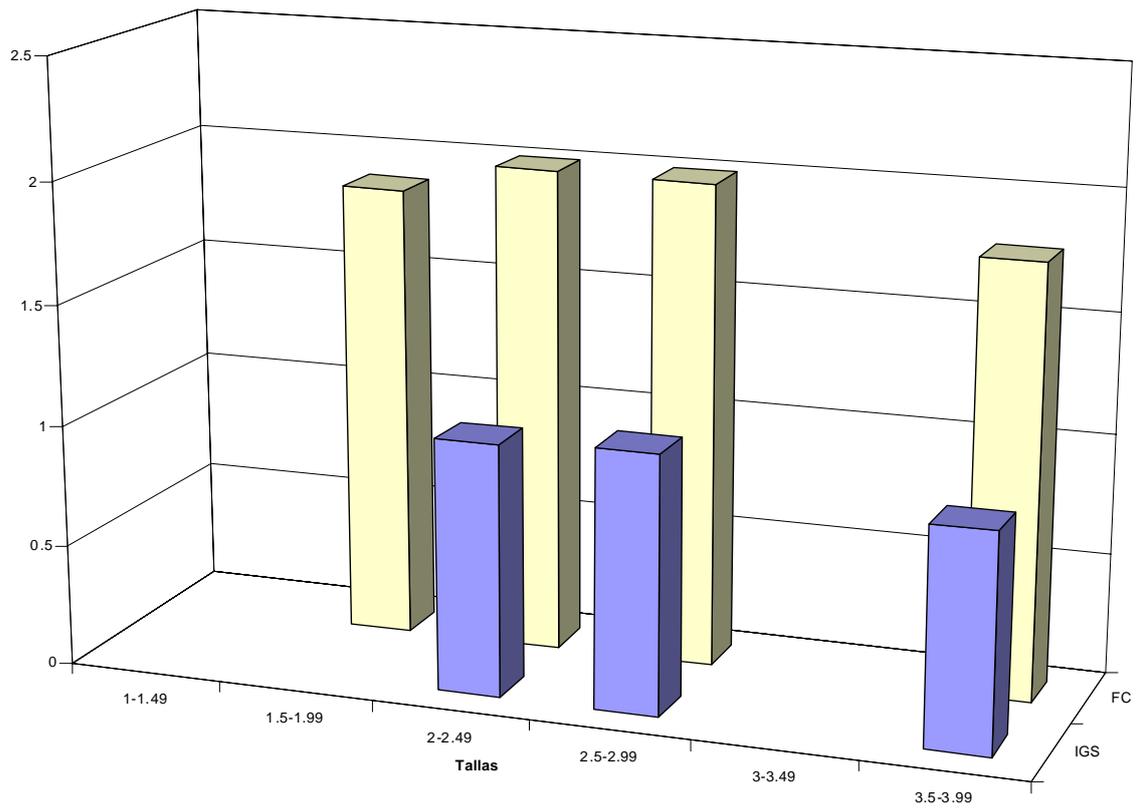


Fig. 32. Valores del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante octubre del 2004.

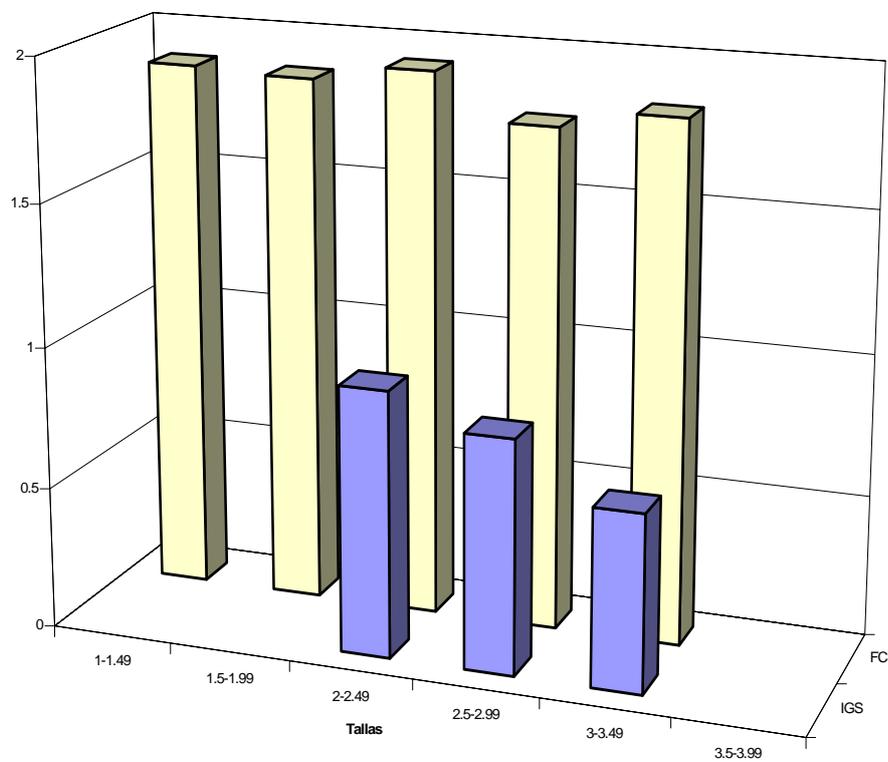


Fig. 33. Valores del índice gonadosomático (IGS) y del factor de condición (FC) presentados por talla durante noviembre del 2004.

En la figura 34 se muestran los valores del IGS durante todos los meses, donde diciembre presentó el valor más alto (2.525) en la talla de 2-2.49 cm, comparativamente al mes de septiembre que en la talla de 2.5-2.99 cm tiene el valor más bajo (0.52); pero de manera general se aprecia una cierta constancia en los valores de IGS.

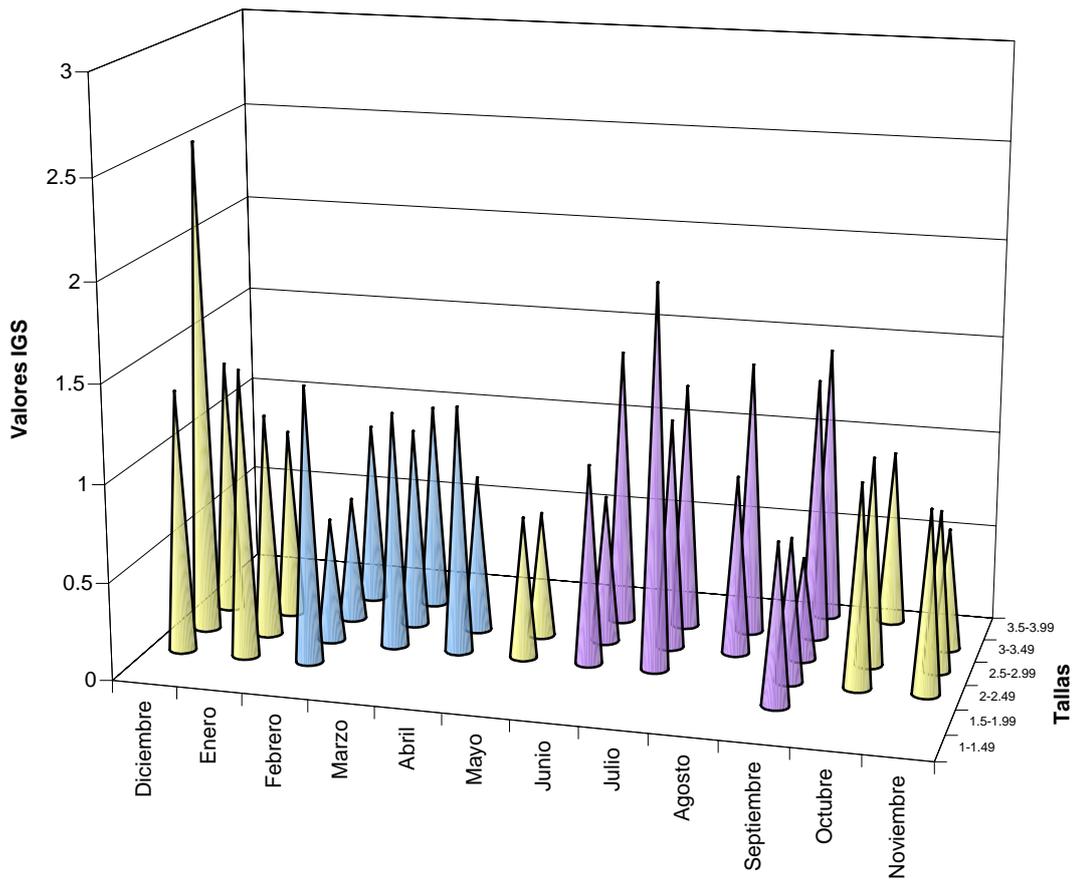


Fig. 34 Valores del índice gonadosomático (IGS) por mes y talla

La figura 35 muestra que septiembre presenta en promedio un mayor peso de gónada que el resto de los meses (0.014 g) en la talla de 3.5-3.99 cm, siendo 0.001 el valor más bajo y se presenta durante diciembre, enero y septiembre en la talla de 1.5-1.99 cm y en febrero en la talla de 2-2.49 cm. De manera general durante junio, julio, agosto, septiembre y octubre se mantienen pesos promedios elevados por arriba de 0.01 g.

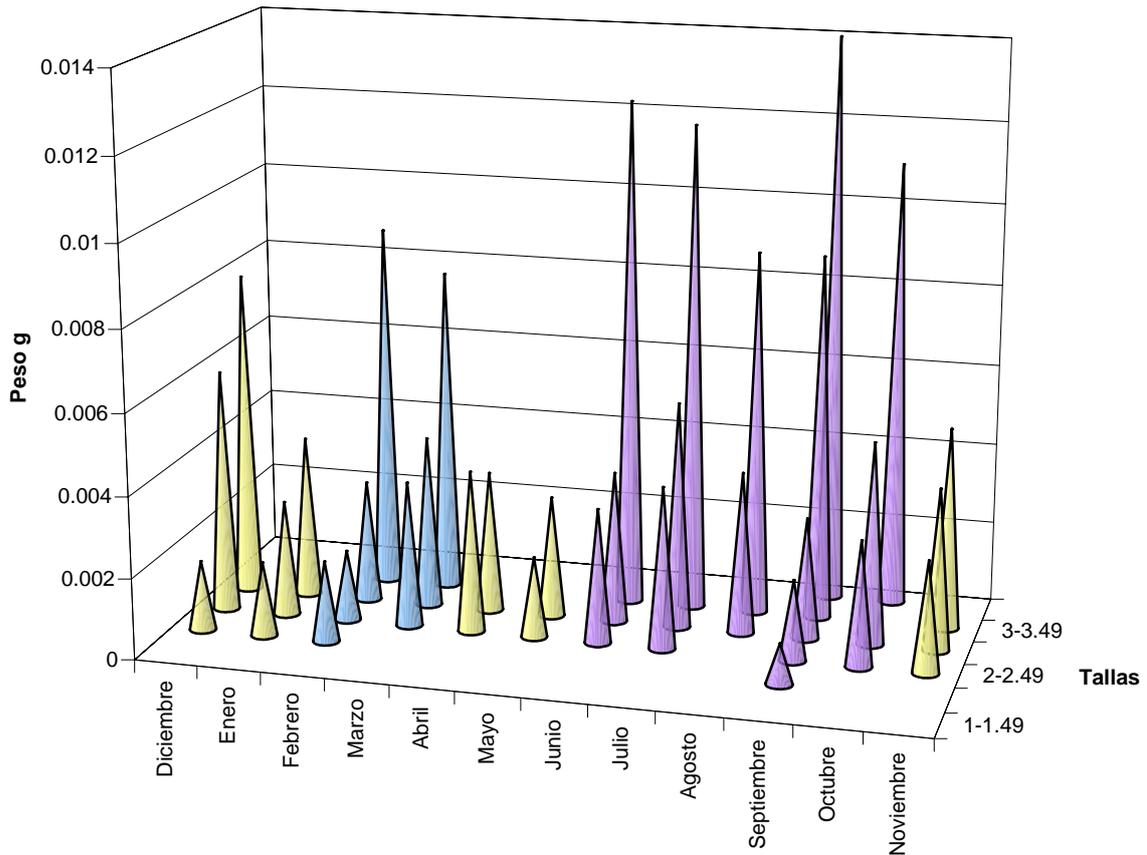


Fig. 35 Peso promedio de la gónada por mes y talla

Durante diciembre (77.77 %), enero (57.14 %), mayo (60 %), septiembre (44.44 %) y noviembre (36.84 %), las dos primeras tallas (1-1.49 cm y 1.5-1.99 cm) son más frecuentes que el resto, mientras que en febrero (44.44 %), marzo (66.67 %), junio (40 %), julio (50 %) y octubre (55 %) presentan mayor frecuencia las tallas comprendidas de los 2-2.49 cm y 2.5-2.99 cm. Los meses de abril (50 %) y agosto (33.33 %) presentan la misma proporción en las tallas presentes en cada uno de estos meses. Las tallas de 3 cm en adelante son las que en todos los meses presentan la más baja frecuencia de aparición (Fig. 36).

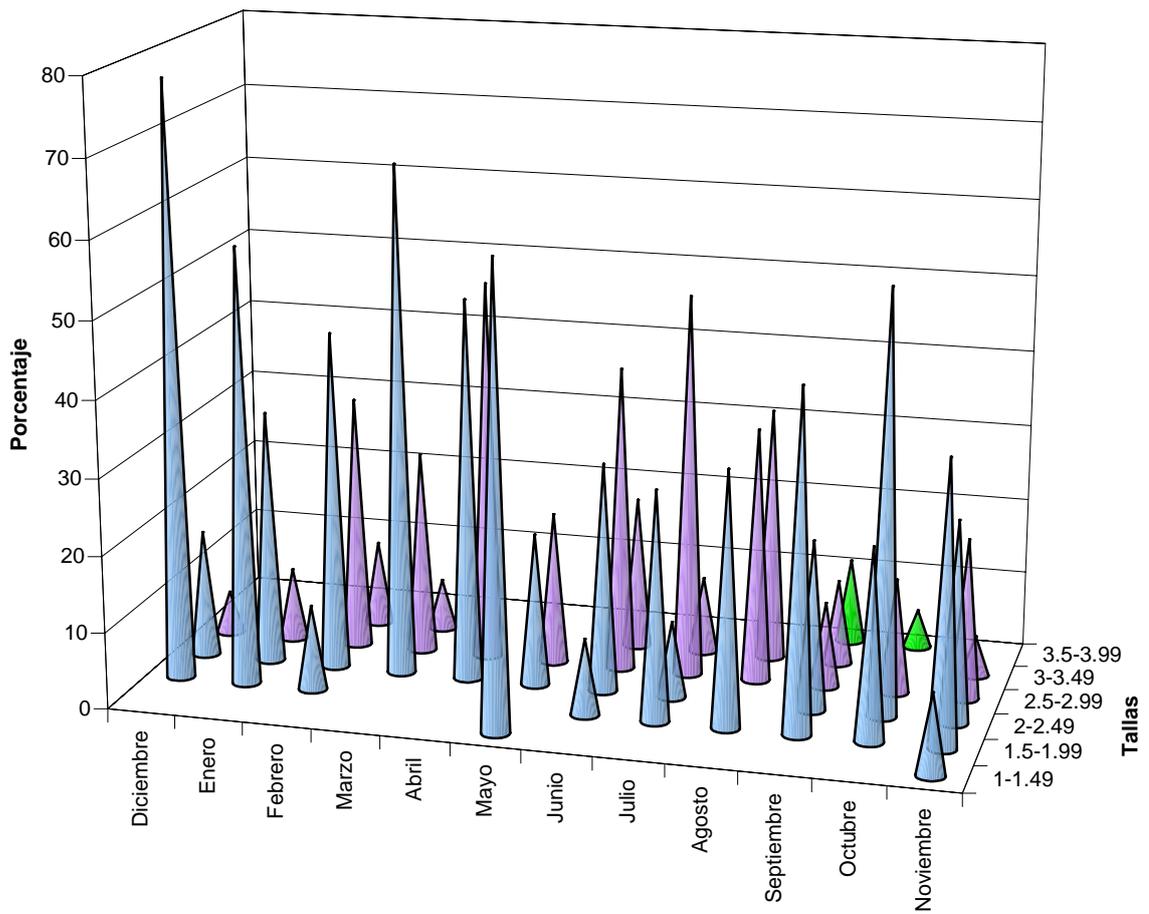


Fig. 36 Porcentaje de frecuencia de tallas por mes

## DISCUSIÓN

Se estableció que la época de reproducción del pez amarillo se presenta de febrero a septiembre, donde se representan dos temporadas reproductivas, una corta durante marzo-abril y otra más larga de junio a septiembre, y que puede considerarse como un periodo de reproducción continuo, solo interrumpido en mayo y de octubre a febrero, debido a su ciclo de vida y posiblemente a factores externos tales como la profundidad del embalse y la temperatura, siendo que esta última se ve incrementada durante los meses de reproducción continua (Tabla 1). Algo similar menciona García-Márquez *et al.* (1999), que relaciona el máximo periodo de reproducción de *Heterandria bimaculata* al incremento en el nivel de agua y la temperatura. Así como Díaz-Pardo & Ortiz-Jiménez (1986) mencionan la interrupción del ciclo reproductivo de *G. viviparus* de noviembre a febrero por efecto ambiental.

Aunque García-Trejo *et al.* (2001), reportan que existe un periodo de no crecimiento de la población de *G. multiradiatus* durante cinco meses repartidos en dos periodos: Enero-Marzo y Junio-Julio, los cuales corresponden al término del régimen hídrico y al principio de otro respectivamente. Nuestros resultados muestran que durante los mismos meses: Enero-Marzo y Junio-Julio, la población de San Martín sí podría presentar un incremento, pues Febrero, Marzo, Junio y Julio forman parte de la temporada reproductiva de *G. multiradiatus* (Tabla 3 Y 5, Fig. 18 y 36).

De acuerdo con lo observado, *G. multiradiatus* madura sexualmente en un periodo de cuatro a cinco meses. Esto podría deberse a las presiones ambientales, dado que factores como la temperatura y el pH aumentan de Abril a Mayo, siendo estos los meses en que el embalse es utilizado para riego y vaciado casi en un 90% por lo que su profundidad disminuye (Foto 13). Este fenómeno de presiones ambientales lo observó Blanco (2000) para *Characodon audax*, pez vivíparo perteneciente a la familia Goodeidae, cuyo hábitat se encuentra aislado en una zona semidesértica, distinguiéndose machos maduros sexualmente hacia los dos o tres meses de nacidos.

La edad de primera maduración se define como la edad a la cual un individuo se reproduce por primera vez. Muy asociado con este parámetro está la talla de primera maduración. En este trabajo, para *G. multiradiatus* la madurez sexual fue en individuos mayores de 2.5 cm con camadas de 18 embriones en promedio y máximas de hasta 47 individuos. Díaz-Pardo & Ortiz-Jiménez (1986), señalan que la especie cercana, *G. viviparus* madura sexualmente tras alcanzar tallas mayores a los 3 cm con camadas de 27 individuos en promedio, aunque puede presentar máximas de hasta 100 individuos; si bien mencionan, la bibliografía señala que los peces vivíparos tienen en promedio camadas menores a 50 individuos.

Saborido (2002), menciona que el IGS es un buen indicador del desarrollo gonadal en especies que muestran estacionalidad en sus ciclos reproductivos, de igual manera menciona que la estacionalidad se puede ver más marcada en medios con un ambiente más variable, tal como sucede en el sistema que habita *G. multiradiatus*, donde las condiciones ambientales son variables.

Podemos mencionar que de Diciembre a Abril se da un ciclo de madurez sexual en las hembras, debido a que el IGS se va incrementando hasta alcanzar su máximo punto en Abril, donde también se da el mayor porcentaje de huevos fecundados y embriones, aunque por los datos de maduración gonádica es probable que se registren embriones todo el año, pero en menor cantidad (Fig. 14). En cambio, los machos parecen madurar en un menor tiempo que va de Diciembre a Marzo, notándose más claramente un incremento en el peso de la gónada que en el IGS, dado que en machos el IGS varía muy poco (Fig. 34 y 35).

Por otra parte, el FC en hembras registró su máximo valor en Enero coincidiendo con el máximo valor de IHS, notándose que el FC parece guardar una relación más directa con el IHS que con el IGS, puesto que el FC muestra valores más elevados que el IGS en los meses de baja o nula reproducción (Fig. 2-13). Contrario al caso reportado por García-Márquez *et al.* (1999), para *H. bimaculata*, pez vivíparo perteneciente a la familia Poeciliidae, donde el FC coincidió con valores altos de temperatura y cuándo el periodo reproductivo fue más alto. En machos los dos valores de FC más elevados se presentaron durante Abril, y de manera general no parecen guardar una relación con el IGS ( Fig. 22-33).

En hembras se observó que existió una relación indirecta entre el peso de la gónada e hígado, dado que en el hígado se acumulan vitelogeninas precursoras del vitelo almacenado en los ovocitos durante la vitelogénesis, por lo que al madurar la gónada el hígado disminuye su peso, funcionando como índice indirecto del estado de madurez sexual e indicador del nivel de reservas del organismo al presentar una tendencia contraria a la del IGS (Saborido, 2002). Obviamente, este índice es útil sólo en aquellas especies en las que el hígado juega un papel importante en la acumulación de reservas alimenticias. Así, mientras la gónada madura el hígado va perdiendo peso.

Una característica importante fue determinada durante el análisis de las gónadas, se observó que los ovarios de las hembras inmaduras están totalmente separados por un septo ovárico teniendo total independencia un contenido ovárico del otro. Esta característica cambia en aquellas que ya presentan embriones, pues la parte posterior de este septo desaparece con lo que ambos ovarios quedan comunicados. Al respecto, Díaz-Pardo & Ortiz-Jiménez (1986), citan la reabsorción de la parte posterior del septo ovárico durante los últimos estadios de madurez en *G. viviparus*; mientras que Uribe-Aranzábal *et al.* (2004) mencionan en el caso de *Ilyodon whitei*, pez vivíparo perteneciente a la familia Goodeidae, que el ovario muestra un septo longitudinal a todo lo largo del lumen ovárico que lo separa en dos partes, sin mencionar absorción o ruptura alguna del mismo durante el desarrollo embrionario.

Saborido (2002), indica que la relación entre la longitud del pez y fecundidad es de tipo exponencial y suele incrementarse a mayor talla. Sin embargo, la fecundidad de *G. multiradiatus* es de tipo potencial, tal como propone Wootton (1992) y muestra una tendencia a disminuir en vez de ascender, conforme los

organismos aumentan de talla, esto puede ser explicado dada la naturaleza vivípara de la especie, pues el número de individuos que nacerán se reduce como parte de su estrategia de supervivencia. No se ajustó el modelo de fecundidad dadas estas características y a que como lo menciona Schoenherr (1977), las definiciones tradicionales de fertilidad y fecundidad no pueden ser aplicadas a los peces vivíparos debido a que la maduración de los ovocitos, huevos y los embriones no aparece simultáneamente y a que la fecundidad en estos organismos se refiere al complejo formado por huevos y embriones en sus diferentes estadios en desarrollo encontrados al momento de su captura y preservación.

## CONCLUSIONES

- ∞ *Girardinichthys multiradiatus* muestra un tiempo de maduración de 4 a 5 meses que va de Diciembre a Abril, presentando una época de reproducción de febrero a septiembre, donde existen dos temporadas reproductivas, una corta durante marzo-abril y otra más larga de junio a septiembre, y que puede considerarse como periodo de reproducción, interrumpido en mayo y de octubre a febrero.
- ∞ Los machos maduran en 3 o 4 meses en un periodo que va de Diciembre a Marzo, un tiempo menor que las hembras, notándose durante este tiempo más claramente un incremento en el peso de la gónada.
- ∞ El tamaño promedio de madurez sexual para *G. multiradiatus* es de 2.5 cm.
- ∞ Las hembras presentan mayores tallas que los machos, estos últimos mantienen a lo largo de todo el año longitudes de 2 cm en promedio, mientras que las hembras tienen durante los meses en que se interrumpe la reproducción tallas inferiores a los 2 cm.
- ∞ Se observó que la fecundidad presentada por *G. multiradiatus* es menor conforme aumenta la talla de los organismos, dada la característica vivípara de la especie, reduciéndose el número de huevos fecundados y de embriones presentes en las tallas más grandes a comparación del número de huevos no fecundados en las tallas más pequeñas.

**IMAGENES**



*Foto 1*



*Foto 2*



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6



Foto 7



Foto 8



Foto 9



Foto 10

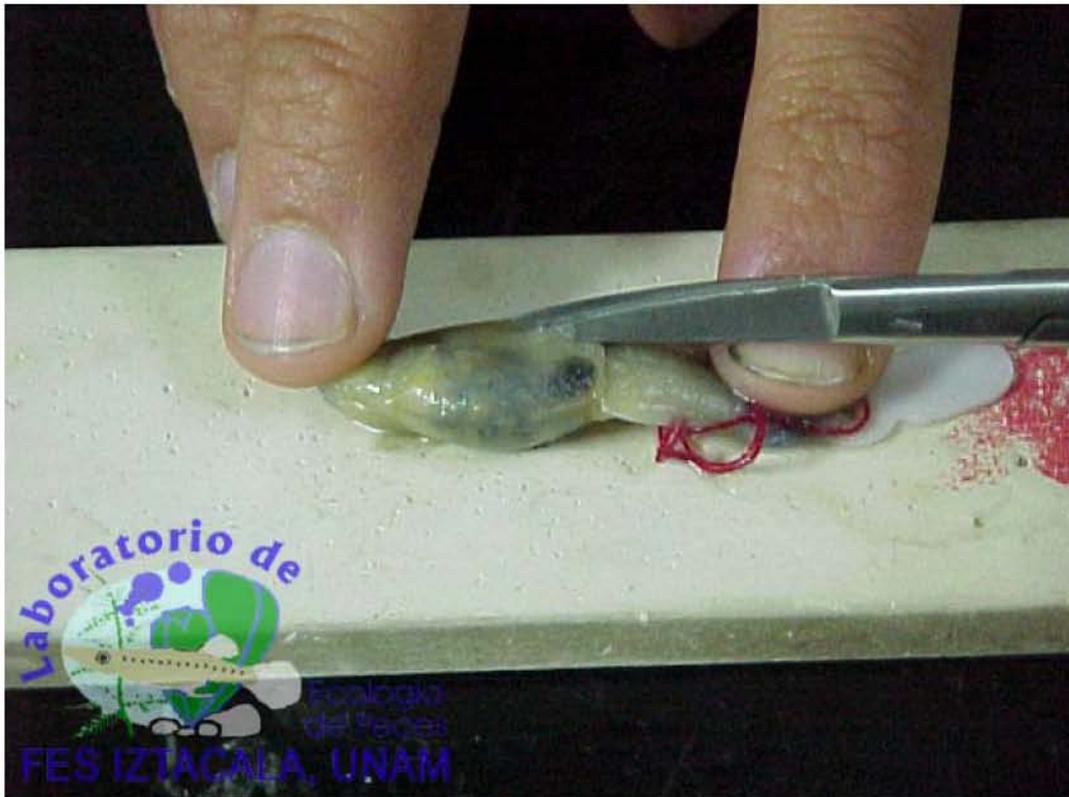


Foto 11



Foto 12



*Foto 13*

## **REFLEXIONES FINALES**

Finalmente, como mencione anteriormente, México cuenta con un importante número de cuencas hidrológicas, que han desarrollado a lo largo de miles de años características específicas y esenciales para la supervivencia de la ictiofauna dulceacuática del país.

Estos ecosistemas acuáticos no solo son importantes como parte del patrimonio nacional, sino que representan un gran centro de diversidad biológica, pues observando que Estados Unidos y Canadá con su gran extensión territorial tienen un total de 792 especies de peces, si tomamos en cuenta que la riqueza y diversidad de nuestros sistemas acuáticos se compone de aproximadamente 506 especies, podemos ver que este número representa el 60% de especies de peces en América del norte; esto nos habla de la gran riqueza producto de la intrincada orografía de nuestro país.

Si bien estas cifras son relevantes, México no es especial por su riqueza en sí, sino lo es principalmente por el gran número de endemismos que presenta.

Como mencioné en un principio la cuenca de Lerma-Chapala-Santiago sobresale debido a que por su situación geográfica, mantiene caracteres propios que dieron lugar a que de las 57 especies que posee, 33 (58%) son endémicas,

destacándose la presencia de un grupo autóctono representado por especies vivíparas característico de nuestra ictiofauna: la familia Goodeidae.

En México, existen alrededor de 40 especies de peces de la familia Goodeidae, de las que 12 (30%) se encuentran en alguna categoría de amenaza y 2 están probablemente extintas del medio silvestre, según datos de la NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT, 2002). Cabe destacar que de las especies citadas en la NOM-059-ECOL-2001, 5 se localizan en la cuenca del Lerma-Santiago.

Además, tomando en cuenta que la cuenca del Lerma-Santiago es una de las más contaminadas del país y según lo cita De la Vega (2003), estudios recientes reportan un gran número de localidades que no reúnen condiciones de calidad del agua para el sustento de poblaciones de peces en la cuenca del Lerma-Santiago como consecuencia de la desaparición de hábitats.

Resalto por tal motivo el caso del pez godeido *Girardinichthys multiradiatus* cuya distribución se reporta desde Laguna Superior, Mor., cuenca del Río Lerma y lagos de Zempoala, aunque no existe un verdadero conocimiento de sus poblaciones y su estado de conservación, siendo que aún sin ser una especie tomada en cuenta para la NOM-059-ECOL-2001, si se encuentra en el libro rojo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) bajo la categoría de amenazada.

Durante el desarrollo de esta investigación y tras leer bibliografía variada, he podido observar que el conocimiento no solo de esta, sino de muchas especies dulceacuícolas mexicanas es muy pobre y quizá la atención prestada a ellas insuficiente.

Así, es importante destacar las características tan particulares del embalse San Martín y las presiones ambientales a las que se sujeta *G. multiradiatus*, pues dan cuenta de la adaptabilidad de la especie; si bien, es verdad que en este sistema la falta de competidores favorece el desarrollo de la población, las presiones ambientales y humanas toman parte en la supervivencia de la especie, resulta increíble ver como estos organismos sobreviven con agua apenas suficiente para nadar.

Aunque es digno de mención el hecho de que por lo menos la gente del lugar a pesar de no aprovecharlos, no explota el sistema más allá del límite que pondría en riesgo la permanencia del pez en el lugar.

Si consideramos que se desconoce la situación real de la pérdida de la diversidad en algunas regiones y que en muy pocas se considera la ictiofauna como prioritaria en su conservación. El presente estudio tiene gran significancia, pues el estudio de la biología reproductiva no solo es relevante científicamente, sino que puede sentar las bases para establecer las estrategias adecuadas para el aprovechamiento, protección y difusión de esta fauna tan desconocida fuera del ámbito científico a nivel nacional.

Esto se logrará si se toma el conocimiento generado para poder implementar planes de mantenimiento y reproducción *in situ* o *ex situ* de muchas de estas especies, que pueden tener un gran potencial de explotación comercial ya sea para consumo u ornamental dentro del mercado de la acuariofilia. Logrando un impacto positivo en las comunidades humanas que estén en contacto con ellas, pues serían una potencial entrada económica. Por lo cual el conocimiento, gusto y respeto por nuestra ictiofauna puede llegar a crecer, o por lo menos a frenar el ritmo de pérdida de biodiversidad en los sistemas acuáticos del país.

Es necesario por tanto que no solo se contemple a los cuerpos de agua y sus habitantes dentro de estrategias de conservación y se realicen tantos estudios se puedan, sino se involucre a las comunidades que están en contacto con ellos y se logre difundir la relevancia que estos peces poseen.

Recalco por ello, con base en mi experiencia, que el trabajar con *G. multiradiatus* ha sido un reto muy alentador y satisfactorio, debido a que este pequeño pez por sí solo se ha abierto las puertas ante muchas personas que lo han conocido por medio del presente estudio y la difusión realizada por un servidor; logrando ser quizá de manera indirecta y a pequeña escala todo un embajador de la ictiofauna mexicana.

## LITERATURA CITADA

- ✘ Aguilar, V. 2003. Aguas continentales y diversidad biológica de México: Un recuento actual. *Biodiversitas*. México. 48: 1-13.
- ✘ Álvarez, V.J. 1970. *Peces mexicanos (Claves)*. Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras. México, DF. p 98-99
- ✘ Carabias, L.J. 1988. Deterioro ambiental en México. *Ciencias*. México. p 13-19.
- ✘ Cetenal. 1977. Carta topográfica Amealco. F14C76. Esc. 1:50000
- ✘ Contreras, M.T. 2002. Análisis de la conservación de peces en México: Con énfasis en las especies vivíparas. *Centro de Investigaciones Biológicas UAEM*. México, Morelos.
- ✘ De la Vega, S.M.Y. 2003. Situación de los peces dulceacuícolas en México. *Ciencias*. México. 72: 22-23.
- ✘ Díaz-Pardo, E. & D. Ortiz-Jiménez. 1986. Reproducción y ontogenia de *Girardinichthys viviparus* (Pisces: Goodeidae). *Revista de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*. México. 30: 45-66.
- ✘ García-Trejo, F., S. Hurtado & P.J. Gutiérrez-Yurrita. 2001. Ecología poblacional de un pez vivíparo endémico de la parte alta de la cuenca del Río Lerma, *Girardinichthys multiradiatus* (Goodeidae). p 52. In: Galindo, M.N.E. 2001. Memorias XVI congreso nacional de zoología. Zacatecas, Zacatecas.
- ✘ Gómez-Márquez, J.L., J.L. Guzmán-Santiago & Olvera-Soto, A. 1999. Reproducción y crecimiento de *Heterandria bimaculata* (Ciprinodontiformes: Poeciliidae) en la Laguna "El Rodeo", Morelos, México. *Revista de Biología Tropical*. San José. Costa Rica. 47 (3): 581-592.
- ✘ Gutiérrez-Yurrita, P.J. & O.A. Morales. 2004. Síntesis y perspectivas del estatus ecológico de los peces del Estado de Querétaro (Centro de México). p 217-233. In: Lozano, V.M.L. & A. Contreras-Balderas. 2004. *Homenaje al Doctor Andrés Reséndez Medina. Un ictiólogo mexicano*. Universidad Autónoma Nuevo León. Monterrey. 319 p.
- ✘ Macías-García, C. & T. Perera. 2002. Ultraviolet-based female preferences in a viviparous fish. Springer-Verlag Heidelberg. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 52 (1): 1-6.
- ✘ Macías-García, C. & E. Saborio. 2004. Sperm competition in a viviparous fish. Kluwer Academic Publishers. *Environmental Biology of Fishes*. 70 (3): 211-217.
- ✘ Méndez-Sánchez, J.F., G.E. Soto, M.J. Paulo & H.M.A. Hernández. 2002. Ictiofauna del Estado de México. *Ciencia Ergo Sum*. 9 (1): 87-90.
- ✘ Ramírez, B.P., M.A.E. Sucre, E.A. Márquez, A.T.A. Altamirano, C.R. García, A.L.A. Espinosa & G.D.E. Varona. 2003. *Manual de Diversidad Animal II (Cordados)*. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. México. p 100.
- ✘ Rodríguez, G.M. 1992. *Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces*. AGT Editor S. A. México, DF. p 3-13

- ✘ Saborido, F. 2002. Ecología de la reproducción y potencial reproductivo en las poblaciones de peces marinos. Universidad de Vigo. España. p 14-15, 23-25 y 29-31.
- ✘ Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana (NOM-ECOL-059-2001). Diario Oficial de la Federación. México, D.F. Marzo 6: 71p.
- ✘ Schoenherr, A.A. 1977. Density dependent and density independent regulation of reproduction in the gila topminnow, *Poeciliopsis occidentalis* (Baird and girard). *Ecology*. 58: 438-444.
- ✘ Torres-Orozco, B.R.E. 1991. *Los peces de México*. AGT Editor S. A. México, DF. p 85.
- ✘ Turner, C.L. 2005a. Viviparity superimposed upon ovo-viviparity in the goodeidae, a family of cyprinodont teleost fishes of the Mexican Plateau. *Journal of Morphology*. 55 (2): 207-251.
- ✘ Turner, C.L. 2005b. The trophotaeniae of the goodeidae, a family of viviparous cyprinodont fishes. *Journal of Morphology*. 61 (3): 495-523.
- ✘ Uribe-Aranzábal, M., G. De la Rosa-Cruz, S.M. Guerrero-Estévez, A. García-Alarcón & M.E. Aguilar-Morales. 2004. Estructura del ovario de teleósteos vivíparos. Gestación intraovárica: Intraluminal en *Ilyodon whitei* (Goodeidae), e intrafolicular en *Poeciliopsis gracilis* (Poeciliidae). p 31-45. In: Lozano, V.M.L. & A. Contreras-Balderas. 2004. *Homenaje al Doctor Andrés Reséndez Medina. Un ictiólogo mexicano*. Universidad Autónoma Nuevo León. Monterrey. 319 p.
- ✘ Wootton, R.J. 1992. *Fish ecology*. Blackie and sond Ltd. Glasow London. 212 p.

## CITAS DE WWW

- ✘ Blanco, J.L. 2000. *Characodon audax*. Ciclidos-sp artículos. [www.ciclidos.org](http://www.ciclidos.org)
- ✘ Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2005. Corredor Biológico Chichinautzin. [www.chichinautzin.conanp.gob.mx](http://www.chichinautzin.conanp.gob.mx)
- ✘ Contreras, B.S. & V.P. Almada. 1996. *Girardinichthys multiradiatus*. In: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) 2004. *2004 IUCN Red List of Threatened Species*. [www.redlist.org](http://www.redlist.org)