



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**BIOLOGÍA REPRODUCTIVA DE *Girardinichthys viviparus*
EN EL LAGO ARTIFICIAL DE LA ALAMEDA ORIENTE, D.F.**

T E S I S
QUE PARA OBTEBER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A :
CASTILLO OLIVARES BLANCA

DIRECTORA: DRA. BERTHA PEÑA MENDOZA



México, D.F. Septiembre 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

INDICE

	PÁGINA
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
ANTECEDENTES	7
UBICACIÓN TAXONÓMICA	11
DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE	12
JUSTIFICACION	14
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS PARTICULARES	15
AREA DE ESTUDIO	16
MAPA DE UBICACIÓN	17
MATERIAL Y METODOS	18
RESULTADOS	25
DISCUSION	52
CONCLUSIONES	73
ANEXO 1	74
ANEXO 2	75
LITERATURA CITADA	77

AGRADECIMIENTOS

A la máxima casa de estudios: A la única y excelente UNAM, a la FES Zaragoza; que me dio la oportunidad de pertenecer y crecer en ella. Por darme la formación profesional como Bióloga.

A mis maestros y guías: La Doctora Berta Peña Mendoza y el Doctor José Luis Gómez Márquez; que me han impulsado a seguir adelante. Gracias por confiar en mí y compartir conmigo su valioso tiempo e interés en la realización de mi tesis profesional.

A mis sinodales: Biól. José Luis Guzmán Santiago, Dra. María Elena Ayala Escobar y Biól. Angélica Elaine González Schaff por sus valiosas aportaciones y conocimientos que enriquecieron este trabajo.

A Dios: que siempre me acompaña y me guía, dándome la alegría y la fuerza para vivir. Por haberme permitido finalizar una etapa más de mi carrera como profesional, con salud y rodeada de la gente que quiero.

DEDICATORIAS:

A mis padres: que sin su apoyo incondicional y único no estaría hasta donde estoy, nunca me cansare de darles las gracias por darme la vida, ayudarme a crecer y estar siempre cuando más los necesito. Los quiero mucho, los admiro y son mi ejemplo a seguir.

A mis hermanas: gracias por formar parte de mi vida, las quiero mucho, aunque sea poco expresiva, muchas gracias por su confianza y lealtad. De verdad las quiero y sin cada una de ustedes nuestra familia no sería la misma.

A mis sobrinos y sobrinitas: que aunque son muchos (y todavía los que faltan) no importa porque han dado demasiadas alegrías y experiencias de vida a la familia aun siendo pequeñitos. Los quiero mucho.

A mis mejores amigos: a todos y cada uno de ustedes, amigos de la Preparatoria, de la Universidad y del Trabajo, gracias por aceptarme como soy, por todos estos años en los cuales hemos vivido juntos experiencias inolvidables. Son un gran ser humano. Gracias por dejarme ser parte de su vida y por todo el apoyo otorgado hacia mi persona.

El día que me quieras

*El día que me quieras tendrá más luz que junio;
la noche que me quieras será de plenilunio,
con notas de Beethoven vibrando en cada rayo
sus inefables cosas, y habrá juntas más rosas
que en todo el mes de mayo.*

*Las fuentes cristalinas irán por las laderas
saltando cristalinas el día que me quieras.*

*Al reventar el alba del día que me quieras,
tendrán todos los tréboles cuatro hojas agoreras,
y en el estanque, nido de gérmenes ignotos,
florecerán las místicas corolas de los lotos.*

*El día que me quieras será cada celaje
ala maravillosa; cada arrebol, miraje
de "Las Mil y una Noches"; cada brisa un cantar,
cada árbol una lira, cada monte un altar.*

*El día que me quieras, para nosotros dos
cabrá en un solo beso la beatitud de Dios.*

Amado Nervo



RESUMEN

Se analizó el ciclo reproductivo de *Girardinichtys viviparus* (Bustamante, 1837) y su posible relación con algunos factores ambientales en el Lago artificial de la Alameda Oriente, D.F., con el fin de reconocer el potencial reproductivo, así como la época de reproducción de la especie.

Se realizaron muestreos mensuales de marzo 2008 a marzo 2009, con ayuda de un chinchorro de 10 m de largo, 1 m de ancho y 0.01 m de luz de malla. Posteriormente se llevó a cabo el análisis de los siguientes parámetros físico-químicos: temperatura ambiente, del agua, concentración de oxígeno disuelto, pH, dureza total y alcalinidad por medio de las técnicas convencionales.

Se capturaron 1501 organismos, de los cuales el 47.10% (707) fueron hembras, 36.64% (550) machos y 16.25 % (244) indeterminados. La proporción sexual fue de 1.28:1 ($\chi^2 = 18.42$; $p < 0.05$). La talla de primera madurez sexual para hembras fue de 38 mm y en machos de 29 mm. De acuerdo a la relación peso-longitud patrón las hembras presentaron un crecimiento de tipo alométrico positivo, es decir que, hay un incremento mayor en peso que en longitud, mientras que los machos presentaron un crecimiento de tipo alométrico negativo, mayor incremento en longitud que en peso. El Factor de Condición de Clark mostró incrementos de marzo a junio y de diciembre a febrero, periodos en los cual las hembras se encuentran más activas sexualmente.

Con respecto al Índice Gonadosomático de la especie, ésta se reproduce en mayor proporción en el mes de marzo y abril y en menor intensidad de agosto a diciembre. No se encontró relación estadísticamente entre la longitud y la fecundidad ($r^2 = 0.019$; $p < 0.05$) y un valor bajo de correlación entre la talla y fertilidad ($r^2 = 0.42$; $p < 0.05$). Con lo que respecta a las condiciones ambientales y del agua se tiene que: la temperatura ambiente osciló entre 20.6 y 28°C, la temperatura del agua osciló entre 18.8 y 26.3°C, con buena concentración de oxígeno disuelto (de 4 a 16 mg/L), pH básico (entre 9.4 y 10.5), la dureza total fluctuó entre 90 y 142 mg/L y la alcalinidad de 260 y 870 mg/L de CaCO_3 , por lo que la especie se encuentra en condiciones adecuadas para su desarrollo.



INTRODUCCIÓN

Los peces son el grupo más numeroso y diverso dentro de los vertebrados. Nelson (1994) estima que hay alrededor de 24,618 especies de peces en el mundo. Por otra parte, Moyle y Cech (2000) mencionan que existen alrededor de 23,250 especies, describiéndose cerca de 200 especies nuevas por año.

Castro-Aguirre y Balart (1993) mencionan que en México no hay una cifra exacta del número total de especies de peces; sin embargo, a partir de las consideraciones de diversos autores es posible señalar la existencia de alrededor de 1,500 especies en la porción de plataforma continental del Pacífico, cerca de 2,000 especies en las costas del Golfo de México y Caribe Mexicano y un poco más de 500 especies en ambientes dulceacuícolas. Los peces dulceacuícolas presentan una alta riqueza específica y un alto grado de endemismo, donde destacan las familias *Goodeidae*, *Cyprinidae*, *Poeciliidae*, *Atherinopsidae*, *Cyprinodontidae* y *Cichlidae* (Gaspar-Dillanes, 2005).

La riqueza biológica de México no solo radica en su diversidad sino también en el elevado número de especies de peces que son endémicos. Se tiene un estimado de la ictiofauna dulceacuícola en México con alrededor de 506 especies de peces distribuidas en 47 familias. Esto representa 6% de las especies conocidas en el planeta (Lyderad y Mayden, 1995; CONABIO, 2002).

Cerca de 117 (24%) de todas las especies de peces de agua dulce mexicanas son primarias, 217 (44%) son secundarias y las restantes 161 especies (32%) son periféricas (Miller *et al.*, 2005).

La Cuenca del Valle de México se ha caracterizado por una gran explotación de recursos naturales, situación que ha sido favorecida por los grandes asentamientos urbanos, constituyendo a esta región en una de las más densamente pobladas de la República Mexicana, y también la más contaminada por actividades agrícolas, pecuarias e industriales de gran importancia económica. Vázquez-Gutiérrez (1993)



menciona que todo esto ha contribuido a que los cuerpos de agua de las cuencas del Lerma-Chapala-Santiago, Balsas, figuren como los más contaminados del país. Esta situación ha provocado la desaparición de la fauna y flora de sus aguas en algunas de sus porciones, y donde se distribuyen más del 75% de las especies de Goodeidos, taxones, que además presentan características fisiológicas que posiblemente pueden poner en peligro su supervivencia por bioacumulación de contaminantes (De la Vega-Salazar *et al.* 1997; De la Vega-Salazar, 2006).

La familia Goodeidae está constituida por peces vivíparos que generalmente habitan en ríos, canales y lagos de aguas templadas o semicálidas poco oxigenadas, donde la vegetación (algas verdes, *Potamogeton*, *Lemna* y *Chara*) es abundante; en aguas turbias; tienen predilección por las zonas poco profundas de entre 0.3 y 0.6 m; con fondos lodosos donde hay maleza acuática (Díaz-Pardo y Ortiz Jiménez, 1986; Miller *et al.*, 2005).

La mayoría de los goodeidos se reproducen todo el año, pero con más intensidad en los meses cálidos (abril-junio); sus ciclos reproductivos son cortos, durante la época reproductiva la hembra puede ser receptiva aún estando grávida, es decir, el esperma puede estar siempre presente (Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez, 1986).

G. viviparus es conocido comúnmente como "mexclapique" o "mexcalpique". Los mexicas utilizaban sólo una especie *G. viviparus* (Bustamante, 1837) conocida como cuitlapétotl o "pescado de vientre grande" (Terrón, 1994).



Además se vende con frecuencia en las plazas y mercados; aunque su consumo es principalmente entre la gente pobre, suele comerse todo entero cuando son pequeños, y despojados de la cabeza y cola cuando son grandes; se preparan de varias maneras incluyéndolos en los tamales, fritos o simplemente en tacos, ya que no es desagradable su sabor (Bustamante y Septién, 1837 citado en Díaz-Pardo, 2002). El consumo alimenticio de esta especie se debe en gran parte al fácil acceso que se tiene a los lagos en que habita.

Actualmente, los lagos urbanos son de gran interés y de importancia relevante para las grandes ciudades, por su contribución estética, recreativa, cultural y biológica, al albergar organismos generalmente alóctonos. Estos sistemas, presentan características particulares. Se definen considerando su tamaño (superficie menor a 2.6 km²), profundidad (promedio de 6 m), origen del agua (residual), tipo de cuenca de depósito y normalmente sus usos: recreativo, abastecimiento de agua, contenedores de lluvia o cualquier otro relacionado con actividades antropogénicas (Schueler y Simpson, 2003).

En estos sistemas acuáticos se encuentran elementos naturales e inducidos que permiten el seguimiento de hábitats en medio de la ciudad, para aquellas especies que se logran adaptar, sean acuáticas, terrestres, migratorias o residentes (Fernández *et al.*, 2006). Sin embargo, en la ciudad de México la carencia y problemática del recurso agua ha ocasionado que los lagos urbanos sean llenados con agua tratada, por lo que, propicia las condiciones ecológicas especiales que permiten el desarrollo de algunas especies, tal es el caso de *Girardinichthys viviparus*, especie que ha resultado ser muy tolerante a las condiciones de calidad del agua, logrando su reproducción (Godínez, 2001).



Aunque Espinosa *et al.* (1993a) la citan como endémica del Valle de México, existen registros que señalan su presencia también en los siguientes sitios (Tabla 1):

Tabla 1. Distribución de *Girardinichthys viviparus*.

ENTIDAD FEDERATIVA	LOCALIDAD/CUERPO DE AGUA
Estado de México	Cuenca alta del Pánuco
	El Río Tula
	Lago de Chalco
	Lago de Texcoco
	Presa El Derramadero
	Canal de Xico
	Atlatongo
	San Juan Teotihuacan
	Estanque San Diego
	Estanque San Francisco
	Lagunas de Tepexpan
Laguna de Zumpango	
Distrito Federal	Canales de San Gregorio Atlapulco
	Canal de San Cristobal
	Canales de Tláhuac
	Santa Martha Iztapalapa
	Lago de Chapultepec
Estado de Hidalgo	Presa Endhó
	Presa Requena
	Corrientes de Tepeji del Río
	Laguna de la Tocha
	Laguna de Apan
	Achichilco (Díaz-Pardo, 2002).



Es una especie que de manera natural se adapta a diferentes condiciones ambientales y que en cautiverio ha mostrado las mismas características; es omnívora y entre los goodeidos resalta por su alta tasa de fecundidad (natalidad). Por otra parte, su dispersión obligada a otra cuenca y su supervivencia en la misma, aunada a su presencia en áreas protegidas, como el lago Nabor Carrillo, que forma parte de la recuperación del lago de Texcoco, son indicios que permiten suponer que puede superar las presiones ambientales, siempre y cuando se mantenga la diversidad genética (Díaz-Pardo, 2002).

Alcocer y Flores (1993), establecen que *G. viviparus* se adapta fácilmente a las condiciones ambientales prevalecientes a un cuerpo acuático. Afirman que el *G. viviparus* es muy difícil de mantener en cautiverio, ya que necesita agua a temperaturas de 21-23° C, aunque puede soportar temperatura a partir de 19°C pero no inferiores (Godínez, 2001).

Así mismo, la temperatura es un parámetro fundamental para el exitoso mantenimiento de *G. viviparus* en cautiverio, ya que nunca deberá ser inferior a 21°C, si se tiene como objetivo reproducirlos, a una temperatura de 24.5°C en promedio para lograr una exitosa reproducción (Godínez 2001; Díaz-Pardo y Ortiz Jiménez 1986).

Otro facto fundamental es la alimentación de la especie, la cual es muy vareada, consiste principalmente en pulga de agua, algas, larvas de insectos acuáticos y algunos crustáceos y es considerándose como un organismo omnívoro debido a las preferencias alimentarias durante su estudio (Godínez, 2001).

Debido a que *G. viviparus*, especie endémica de México se encuentra actualmente en peligro de extinción (NOM-059-SEMARNAT-2010), es de gran importancia realizar estudios sobre su reproducción y los sitios donde habita, además de que ha sido poco estudiada.



ANTECEDENTES

Dentro de los peces dulceacuícolas mexicanos más importantes se encuentra la familia Goodeidae. Se agrupa en peces exclusivamente mexicanos, los cuales se caracterizan por presentar marcado dimorfismo sexual, cortejo prenupcial y viviparidad, características que conllevan a una serie de adaptaciones morfológicas, anatómicas y fisiológicas propias del grupo (Soto, 1953; Díaz-Pardo y Ortiz Jiménez, 1986).

La familia Goodeidae actualmente está constituida por aproximadamente 40 especies que incluye 36 especies vivíparas confinadas a la cuenca del Río Lerma en las tierras altas de la Meseta Central representando aproximadamente el 32% de las especies endémicas del Valle de México. Esta familia tiene gran diversidad de nichos y estrecha distribución geográfica. Además comparte su hábitat con otros peces como las carpas, charales, mojarra y tilapias (Moyle y Cech, 2000, Miller *et al.*, 2005).

Los goodeidos tienen una área de distribución que incluye la Cuenca de México, la región de Lerma y sus afluentes, el Lago de Chapala, las cuencas endorreicas de Pátzcuaro, Zirahuén y Cuitzeo, además de las cuencas del Pánuco y del Balsas, aunque en esta última localidad no estén representados ampliamente (Salazar, 1981).

La primera descripción de *G. viviparus* fue llevada a cabo por Bustamante y Septiem en 1837 (Álvarez, 1950) denominándola *G. innominatus*, que posteriormente paso a ser *G. viviparus* (Hubbs y Turner, 1939 citado en De la Luz, 1990).

Algunos de los estudios particularmente sobre el *G. viviparus* y enfocados principalmente al aspecto reproductivo y ecológico son:



Salazar (1981) estudió su biología, tomó en cuenta solo a las hembras, ya que los machos no fueron bien representados. Contribuye al conocimiento de la biología reproductiva de *Girardinichthys innominatus*, en cuanto a los aspectos de: edad, crecimiento, mortalidad, supervivencia y fecundidad relativa, y la relación que hay con las condiciones ambientales en las que se desarrolla la especie en el embalse “Requena”.

Flores (1981) reportó en los Lagos de Chapultepec, tres especies pertenecientes a tres familias y tres géneros. El estudio se llevó a cabo exclusivamente con los godeidos, permitiendo conocer varios aspectos sobre su alimentación, reproducción y crecimiento.

Ojendis (1985) estudió hábitos alimenticios, reproducción, proporción sexual, edad y crecimiento, en la parte norte del Ex-Lago de Texcoco, “El Caracol”; donde llevó a cabo muestreos hidrológicos, ictiológicos y bentónicos para la determinación de los parámetros físico-químicos, así como los hábitos alimenticios, comunidad bentónica, proporción de sexos, fecundidad, edad y crecimiento.

Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez (1986) realizaron estudios sobre la reproducción y ontogenia de la especie, es decir, establecen estudios de desarrollo ovárico: la relación entre la talla de la madre y el número de crías, así como el desarrollo embrionario y describen en forma somera los eventos del cortejo prenupcial.

Terrón (1994) llevó a cabo el estudio biológico en el embalse “La Goleta” Estado de México, presentó estudios detallados sobre los hábitos alimenticios, así como parámetros abióticos y madurez gonádica.



Cedillo (1997) aborda aspectos de crecimiento, reproducción, supervivencia y ontogenia, retomando algunos aspectos de los estudios realizados por Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez (1986), en cuanto a los estadios de madurez gonádica y embrionaria, la superfetación, la relación que hay entre la condición y talla del organismo y su metabolismo.

Por su parte Godínez (2001) realizó el mantenimiento y la reproducción de *G. viviparus* bajo condiciones ambientales controladas y las compara con las condiciones naturales del Lago de Xochimilco. Hace mención de la temperatura óptima y alimentación adecuada en la cual la especie es capaz de reproducirse en cautiverio.

Méndez-Sánchez *et al.* (2002) contribuyen al estado de conservación actual de *G. viviparus* al analizar su situación actual en las cuencas de los ríos Lerma, Balsas y Pánuco. Señalan que el estado de conservación de la especie es crítico, colocándola en amenazada (NOM-059) y en peligro de extinción (UICN), al estar presente sólo en la Cuenca del Pánuco.

Navarrete-Salgado *et al.* (2003) mencionan la presencia, abundancia y estado sanitario de *Girardinichthys viviparus* (Bustamante, 1837) en el embalse Requena, Laguna de Zumpango y los tres Lagos de Chapultepec, en la ciudad de México. *Girardinichthys viviparus* sólo se registró en el Lago Menor y Mayor de Chapultepec, en el primero se presentó la mayor abundancia del pez.

Salgado *et al.* (2004) llevaron a cabo estudios sobre la situación actual de la especie, al realizar nuevamente muestreos en sistemas donde ya se tienen registros del pez, estos sitios de muestreo fueron: los tres Lagos de Chapultepec, Laguna de Zumpango y el embalse Requena, desapareciendo en los dos últimos, los cuales reciben aguas negras e industriales.

Domínguez y Pérez (2007) mencionan que uno de los grupos de peces más representativos es la familia Goodeidae, conformada aproximadamente por 21 géneros



y 45 especies. Esta relacionada evolutivamente con el género *Profundulus*, un grupo de peces que habitan las zonas altas del sur de México y de América Central. Se les considera un tesoro natural porque tienen adaptaciones únicas asociadas con sus peculiares estrategias de reproducción y de desarrollo embrionario.

Vega-López *et al.* (2007) realizaron estudios sobre la identificación y cuantificación de la Vitelogeniana (VTG) en *G. viviparus* y *Ameca splendens* dos Goodeidos con viviparidad matotrófica durante la gestación de los peces. Encontraron para *G. viviparus* que la mayor concentración de VTG se detectó al principio de la gestación intraluminal, correspondiendo a la máxima cantidad de VTG en el músculo materno, sugiriendo que un suministro temprano de VTG ocurre al inicio de la gestación.

Miranda *et al.* (2008) citan que una significativa población de *G. viviparus* fue reportada en el lago Tecocomulco, México, presentan medidas de los machos y las hembras, además de que comentan sobre la necesidad de conservación de la especie en esta localidad.



UBICACIÓN TAXONÓMICA

La clasificación taxonómica de la especie corresponde a nivel supragenérico de acuerdo con Nelson (1994) y a nivel infragenérico con base en Álvarez del Villar (1970).

Reino:	Animalia
Phylum:	Chordata
Subphylum:	Vertebrata
Superclase:	Gnathostomata
Grado:	Teleostomi
Clase:	Actinopterygii
Subclase:	Neopterygii
División:	Teleostei
Subdivisión:	Euteleostei
Superorden:	Actinopterygii
Serie:	Atherinomorpha
Orden:	Cyprinodontiformes
Suborden:	Cyprinodontoidei
Familia:	Goodeidae
Subfamilia:	Goodeinae
Género:	<i>Girardinichthys</i> (Bleeker, 1860).
Especie:	<i>G. viviparus</i> (Bustamante, 1837).
Nombre común:	mexcalpique o mexclapique



Figura 1. Dimorfismo sexual de *G. viviparus*.

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE:

Tiene un cuerpo alto, comprimido, boca pequeña, cabeza dorsalmente aplanada, generalmente presenta un ángulo a nivel de la nuca, el dorso no está muy elevado, aplanado, anteriormente arqueado desde el occipucio a la aleta caudal, los machos se caracterizan por presentar modificada la parte anterior de la aleta anal, incluyendo los primeros 5 a 6 radios para constituir a la trofotenia, la cual consistentemente tiene cuatro procesos, dos pequeños anteriores y dos mayores posteriores. Los dientes que en general se encuentran truncados y no bífidos, pueden presentar ligeros indicios de bifurcación. El origen de la aleta dorsal se encuentra en la mitad anterior de la longitud total (Álvarez, 1970; Terrón, 1994).

Tiene de 40 a 45 escamas en una serie longitudinal, de 14 a 16 branquiespinas. La aleta dorsal de 18 a 26 radios y la anal con 20 a 27, altura máxima del cuerpo de 3 a 3.5 veces y longitud cefálica más o menos 4 veces en la longitud patrón (Álvarez, 1970).

El ovario tiene septo completo, recto y carente de tejido ovígero; éste se encuentra restringido por un par de procesos, uno en cada cámara, adherido a la pared



laterodorsal de la pared ovárica. Son de color gris muy variable, las hembras se presentan con bandas transversales oscuras de color café en los costados, más o menos definidas; los machos a veces llegan a ser de color negro intenso, algunas veces los jóvenes presentan manchas oscuras sobre la aleta anal, el color de los juveniles es variable y las hembras predominan en número sobre los machos (Terrón, 1994).

En lo que se refiere al ciclo reproductivo de *G. viviparus* es múltiple y los jóvenes nacen continuamente de marzo a octubre, aunque se intensifica en mayo y junio y se interrumpe por efecto ambiental de noviembre a febrero, relacionado con una temperatura menor a 19°C, además presentan ocasionalmente superfetación. Esta especie madura aproximadamente en un año cuando las hembras alcanzan tallas promedio de 30 mm como sucede en especies pequeñas (Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez 1986).

En cuanto a la fecundidad, es el número de crías por avivada, la cual tiene una clara relación con la talla de las madres, en hembras entre 30 y 45 mm de longitud patrón es de 8 a 32 crías (promedio 17); por encima de esta talla el número de crías se eleva hasta 114 (promedio 48) (Díaz-Pardo *et al.*, 1986). Miller *et al.* (2005) reporta tallas para las crías de 8.0-14 mm y Díaz-Pardo (1986) en su estudio de reproducción y ontogenia de *G. viviparus* da una talla máxima de 16.5 mm en crías.

No se observa la presencia de un macho dominante, todos los adultos participan en la reproducción, sin embargo, se observa un comportamiento agonístico y como consecuencia, los de mayor actitud reproductiva. La especie no cuida de las crías, e incluso se ha observado cierto grado de canibalismo (Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez 1986).

Es un pez eurifágo, su dieta se compone de algas, insectos acuáticos como la pulga de agua (*Daphnia pulex*) y crustáceos (Soto, 1953).



JUSTIFICACIÓN:

La construcción de lagos artificiales como el caso del Lago de la Alameda Oriente y su posterior llenado con aguas residuales tratadas, son aspectos que se deben evaluar debido a que es importante saber a que grado se están afectando a las especies introducidas en él, como es el caso del pez mexcalpique (*G. viviparus*) que se ha adaptado a las condiciones alcalinas del sistema, además de que Históricamente es el primer pez nativo descrito por un investigador mexicano y se encuentra en peligro de extinción de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (D.O.F., 2010). Por ello es de gran interés emprender estudios sobre la biología reproductiva de los Goodeidos, la cual ha sido poco estudiada y la investigación permitirá el enriquecimiento y posible aprovechamiento adecuado de *G. viviparus*, especie endémica del Valle de México que tiene un papel muy importante en su hábitat natural ayudando a controlar diversas poblaciones de insectos que podrían ser una plaga en el ecosistema.



OBJETIVO GENERAL

Reconocer el ciclo reproductivo de *Girardinichtys viviparus* y su relación con las características físico-químicas del lago artificial del Parque de la Alameda Oriente.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- Obtener la relación peso-longitud y la condición de la especie bajo las condiciones de agua residual tratada.
- Analizar la variación de la madurez gonádica, el índice Gonadosomático y Hepatosomático como indicadores del ciclo de la reproducción de *G. viviparus*.
- Determinar las características físico-químicas del agua y su posible relación con las características reproductivas de *G. viviparus*.



ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se llevó a cabo en el lago artificial del Parque de la Alameda Oriente, localizado en la parte nor-oriente de la ciudad de México, D.F.

El Parque Ecológico Alameda Oriente se ubica en Av. Bordo de Xochiaca s/n, esq. Prolongación Periférico, Col. Arenal 4ª sección, Delegación Venustiano Carranza, D.F. entre los $19^{\circ}26'04.8''$ latitud Norte y $99^{\circ}03'14.3''$ longitud Oeste (<http://www.alamedaorientе.df>; García, 2004).

El parque tiene una superficie total de 82.9 ha, el cual está dividido en nueve zonas con instalaciones deportivas, recreativas y administrativas, áreas verdes y de jardín, que poseen diferentes especies de árboles y setos, un vivero y un lago artificial (<http://www.alamedaorientе.df>).

El Proyecto Xochiaca adquirió el nombre de "Alameda Oriente", cuando se integró al Programa de Dotación de Áreas Verdes establecido por el Gobierno de la Ciudad de México y pretendió sanear y rehabilitar 90 ha, donde se propicio el establecimiento y desarrollo de flora y fauna en forma inducida o natural, compatible con las necesidades de los habitantes del entorno. El Bordo Xochiaca oficialmente fue clausurado como tiradero clandestino por las autoridades del Departamento del Distrito federal el 24 de agosto de 1987 (<http://www.alamedaorientе.df>).

El lago artificial cuenta con una superficie de 9.61 ha. Se localiza entre los $19^{\circ}26'05.1''$ latitud Norte y $99^{\circ}03'18.3''$ longitud Oeste a 2234 m.s.n.m. Tiene forma de caracol dividido en 5 esclusas (Figura 2), cada una interconectada por tuberías de 5.5 cm de diámetro aproximadamente El agua con la cual se llena el Lago proviene de la planta tratadora de aguas residuales de San Juan de Aragón, D.F (<http://www.alamedaorientе.df>). El clima presente en el área de estudio es semiseco templado con lluvias en verano BS1kw (w)(i)g. La temperatura promedio anual es de 16°C , con precipitación media anual de 600 mm (García, 2004). El tipo de suelo es Solonchak de textura fina.

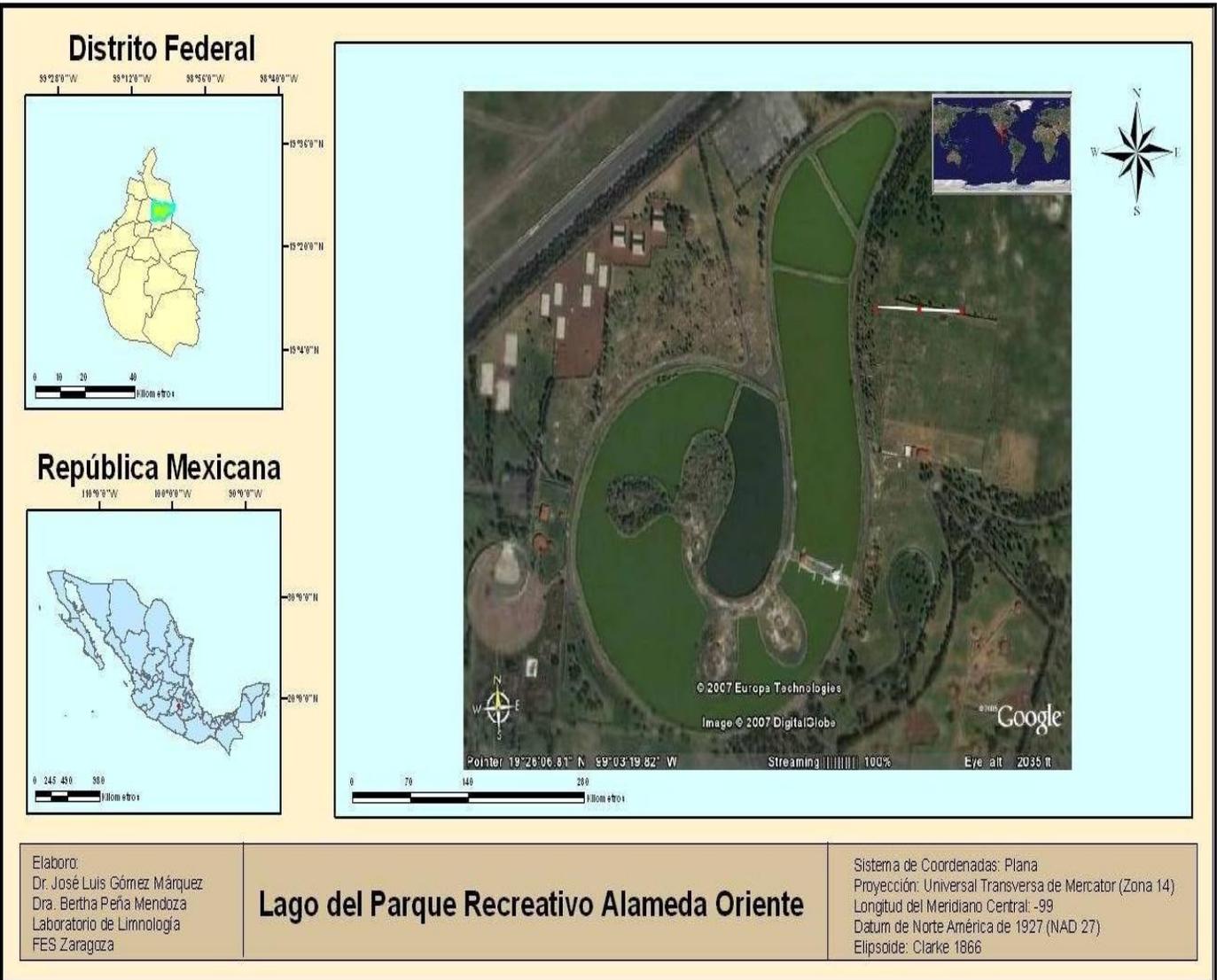


Figura 2. Ubicación del área de estudio.



MATERIAL Y METODOS

FASE DE CAMPO

Se realizaron muestreos mensuales de marzo 2008 a marzo 2009. Se obtuvieron las coordenadas geográficas mediante el uso del geoposicionador geográfico (GPS). Se anotó la hora del día, la nubosidad y en la parte central de la esclusa con apoyo de una balsa de nylon para dos personas, con una botella Van Dorn de dos litros de capacidad se tomó una muestra de 1L de agua en una botella de polietileno. En una botella tipo DBO de 300 ml de capacidad se tomó otra muestra para realizar la determinación oxígeno disuelto. Se obtuvo la transparencia por medio del disco de Secchi. Posteriormente se determinaron los siguientes parámetros físico-químicos:

- La Temperatura ambiente y del agua de la esclusa con un termómetro de -20 a 50°C marca Widder.
- pH, sólidos disueltos totales y conductividad eléctrica con un multiparámetros marca Hanna, modelo HI991300.
- Oxígeno disuelto por el método de Winkler (modificación por la azida de sodio). (Arredondo y Ponce, 1998).
- Alcalinidad total, Método volumétrico (Arredondo y Ponce, 1998).
- Dureza total por el Método Complejométrico (Arredondo y Ponce, 1998).

Se llevó a cabo el muestreo de *Girardinichtys viviparus* durante el periodo ya mencionado. Se colectaron mensualmente 100 organismos aproximadamente de *G. viviparus* al azar que se encontraban en la orilla, con ayuda de un chinchorro de 10 m de largo, 2 m de ancho y 0.01 m de luz de malla. Los peces fueron colocados en un frasco y se fijaron con formalina comercial al 4% neutralizada con borato de sodio.



FASE DE LABORATORIO

A cada uno de los peces se le realizó la siguiente biometría: longitud total (Lt), longitud patrón (Lp), altura (A) con la ayuda de un ictiomómetro convencional y el peso total (Pt) con una balanza analítica Ohaus Triple Beam de 0.0001 g de precisión.

Posteriormente se llevó a cabo el sexado de los peces realizando una disección por medio de una incisión en la parte ventral del organismo, a partir del ano hasta los radios branquiostegos permitiendo remover y obtener las gónadas, pesarlas, observar su tamaño, color y con ayuda de la escala de Mendoza (1962) se les asignó el estado de madurez gonádica. Después se retiraron las vísceras para obtener el hígado, pesarlo y de igual manera, se registró el peso eviscerado y el peso del tracto digestivo con una balanza analítica.

Las gónadas femeninas se extrajeron y lavaron con agua corriente conservándolas en formol al 10% y posteriormente se tomaron medidas de su longitud y diámetro. Por último se llevó a cabo el conteo de ovocitos maduros, huevos y embriones con ayuda de un estereoscopio, para analizar y estimar el potencial reproductivo de la población.

TRABAJO DE GABINETE

Se realizó el análisis exploratorio de datos (Salgado, 1992) para obtener y comparar los valores obtenidos de talla y peso total de los organismos, realizando el análisis confirmatorio mediante estadística paramétrica o no paramétrica. Se aplicó el análisis de covarianza (ANDECOVA) para determinar si existen diferencias en cuanto a las tallas y pesos entre ambos sexos ($p < 0.05$) (Marques, 1991) y se obtuvo la siguiente información de manera poblacional y/o por sexo.



RELACIÓN PESO-LONGITUD:

Con los datos obtenidos de la biometría se estableció la relación peso-longitud por medio de la siguiente expresión:

$$P = a Lp^b$$

Donde:

P = peso total (g)

L = longitud patrón de los organismos (cm)

a y b = constantes

Esta expresión se linealizó por medio de la transformación de las variables mediante el uso de logaritmos, obteniendo:

$$\log P = \log a + b \log L$$

Donde:

$\log a$ = ordenada en el origen.

b = pendiente de la recta.

Los valores de las constantes se obtuvieron por medio del método de mínimos cuadrados. Debido a que la talla es de una magnitud lineal y el peso proporcional al cubo de la talla, si el pez al crecer mantiene la forma, se dice que el crecimiento es isométrico y $b=3$. Cuando esto no ocurre, se dice que el crecimiento es alométrico y el valor es distinto de 3 (Pauly, 1984), por lo cual se le aplicó una prueba t-student para comprobar el valor que resultó.



FACTOR DE CONDICIÓN (C)

Se obtuvo la relación peso-longitud por sexo y de manera conjunta para después usar el valor de la pendiente y así calcular el factor de condición, con el fin de comparar las variaciones de este parámetro en función del peso del pez eviscerado. Por esta razón la ecuación que se utilizó es la de Clark (1928; citado en Nikolsky, 1963):

$$C=Pe/Lp^b$$

Donde:

C = Coeficiente de condición

Pe = Peso del pez eviscerado

Lp = Longitud patrón

b = Pendiente de la relación peso-longitud.

Para reconocer el potencial reproductivo de la especie en estudio, se llevó a cabo la cuantificación del producto sexual de las hembras de la siguiente manera:

INDICE GONADOSÓMATICO (IGS)

Constituye la expresión más utilizada en el estudio de las gónadas para describir el ciclo reproductivo de los peces. La expresión se basa en el incremento del tamaño de la gónada a medida que se acerca la época reproductiva. Se determinó mediante la siguiente expresión (de Vlaming *et al*, 1982):

$$IGS = \frac{Pg}{Pe} 100$$

Donde:

Pg = peso de la gónada

Pe = peso del pez eviscerado



INDICE HEPATOSÓMATICO (IHS)

Es la relación que existe entre el peso del hígado y el peso del pez y es directamente proporcional al ciclo reproductivo (Granado, 1996). Su expresión es:

$$IHS = \frac{Ph}{Pe} 100$$

Donde:

Ph = peso del hígado

Pe = peso del pez eviscerado.

LONGITUD DE PRIMERA MADURACIÓN SEXUAL (P)

Por medio del modelo logístico (King, 1995) se obtuvo la longitud media para la primera reproducción o bien longitud media de maduración sexual (L_m), la cual se define como la longitud a la cual el 50% de todos los individuos son sexualmente maduros.

$$P = \frac{1}{[1 + e^{(-b*(L-Lm))}]}$$

P = Longitud de Primera Maduración Sexual.

b = pendiente de la recta.

L = Longitud o Talla del pez.

Lm = Longitud media.

PROPORCIÓN SEXUAL

Para determinar la proporción sexual mensual y total para la especie en estudio, se aplicó el estadígrafo de chi cuadrada (χ^2 ; $p < 0.05$) (Marques, 1991).



FERTILIDAD

La fertilidad es expresada como el número de huevos y embriones producido por unidad de biomasa o talla de la hembra. Para su determinación se llevó a cabo una regresión lineal entre los datos de longitud patrón, peso y número de huevos y embriones.

$$F=aX^b$$

Donde:

F = Fertilidad

X = Longitud patrón (cm) o peso total (g)

a y b = constantes

FECUNDIDAD RELATIVA

La fecundidad relativa es expresada como el número de óvulos producido por unidad de biomasa o talla de la hembra, es un parámetro de gran interés no sólo característico de la población, sino también como término fundamental en los modelos de dinámica poblacional (Granado, 1996). Para su determinación se llevó a cabo una regresión lineal entre los datos de longitud patrón, peso y número de óvulos.

$$F=aX^b$$

Donde:

F = Fecundidad relativa

X = Longitud patrón (cm) o peso total (g)

a y b = constantes



FECUNDIDAD MEDIA (Φ_{DS})

Es el número promedio de óvulos en el ovario antes del desove y se determinó con la siguiente fórmula (Shoosmith, 1990).

$$\Phi_{DS} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n AL_j^b$$

Donde:

Φ_{DS} = Fecundidad media

n = Número de peces involucrados en el análisis,

A y b = Parámetros estimados de la regresión lineal de mínimos cuadrados del log del no. de folículos y el log de longitud

L = Longitud patrón

Posteriormente se graficó la temperatura del agua con el Factor de Condición para analizar la variación de manera temporal y así poder determinar la influencia que tiene en el proceso reproductivo. Asimismo, se realizó el análisis de correlación de Pearson o Spearman (dependiendo del comportamiento de los datos) entre las variables ambientales y los indicadores biológicos de la reproducción.



RESULTADOS

De marzo del 2008 a marzo del 2009, se capturaron un total de 1501 organismos de *Girardinichthys viviparus* (Bustamante, 1837), con intervalo de tallas para indeterminados de 0.9 a 2.1 cm de longitud patrón (peso total de 0.0215 a 0.235 g); en las hembras de 1.5 a 5.9 cm (peso total de 0.065 a 5.626 g) y los machos de 1.6 a 3.0 cm (peso total de 0.095 a 0.756 g) (Tabla 2; Figura 3).

Tabla 2. Intervalos de longitud patrón y peso total de indeterminados, hembras y machos.

Sexo	Longitud Patrón (cm)			Peso (g)		
	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio
Indeterminados	0.9	2.1	1.5	0.0215	0.235	0.074
Hembras	1.5	5.9	2.9	0.065	5.626	0.706
Machos	1.6	3.0	2.1	0.095	0.756	0.259

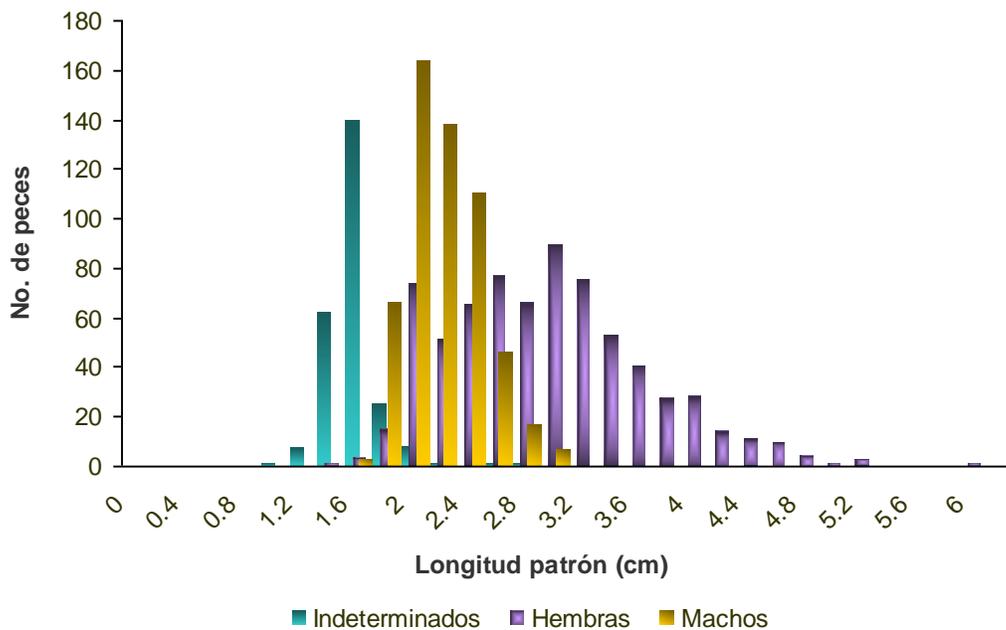


Figura 3. Distribución de frecuencias de talla para hembras, machos e indeterminados de *G. viviparus*.

De los 1501 organismos capturados el 47.10% (707) corresponde a hembras, el 36.64% (550) a machos y 16.25% (244) a crías cuyo sexo no pudo ser determinado. La proporción sexual fue 1.28:1 hembra: macho ($\chi^2=18.42$; $p<0.05$).

La variación mensual de dicha proporción (Figura 4) mostró que las hembras dominaron durante el periodo de muestreo excepto de abril a junio. El mayor número de hembras fue registrada en julio (1.39:1).

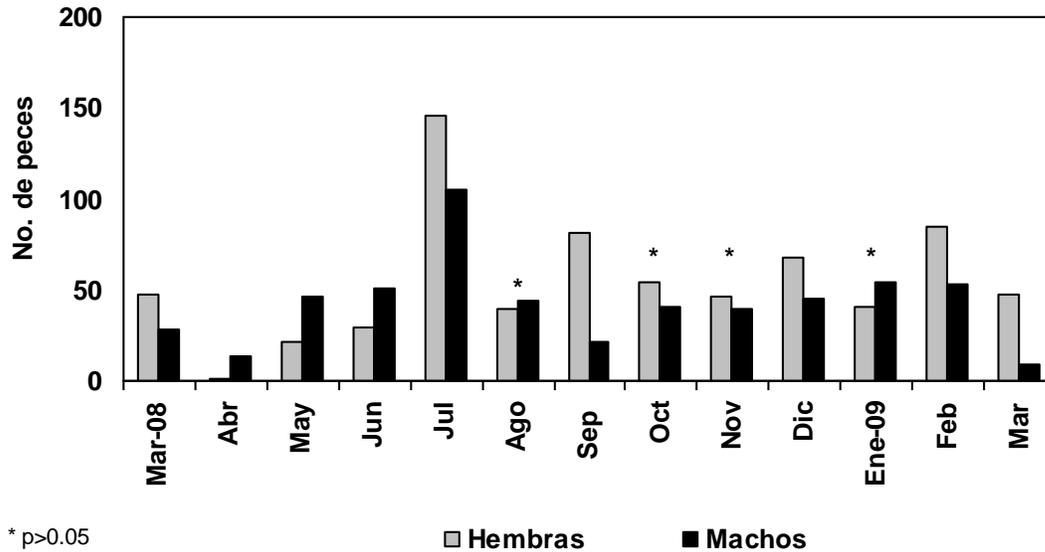


Figura 4. Variación de la proporción sexual para *G. viviparus*.

Para *G. viviparus* se presentó dimorfismo sexual en cuanto a características morfológicas secundarias, ya que la aleta anal de los machos se encuentra modificada para las funciones de fecundación, en los primeros cinco o siete radios son de menor longitud que los demás de la misma aleta y actúan como un órgano conductor del esperma, cuya formación completa determina el grado de madurez sexual para el macho.

RELACIÓN LONGITUD TOTAL-LONGITUD PATRÓN

En la figura 5 se muestra la relación gráfica y estadísticamente entre las variables longitud patrón y total para toda la población, la cual mostró una relación lineal, esto permite poder transformar una variable en otra para fines comparativos con otros trabajos.

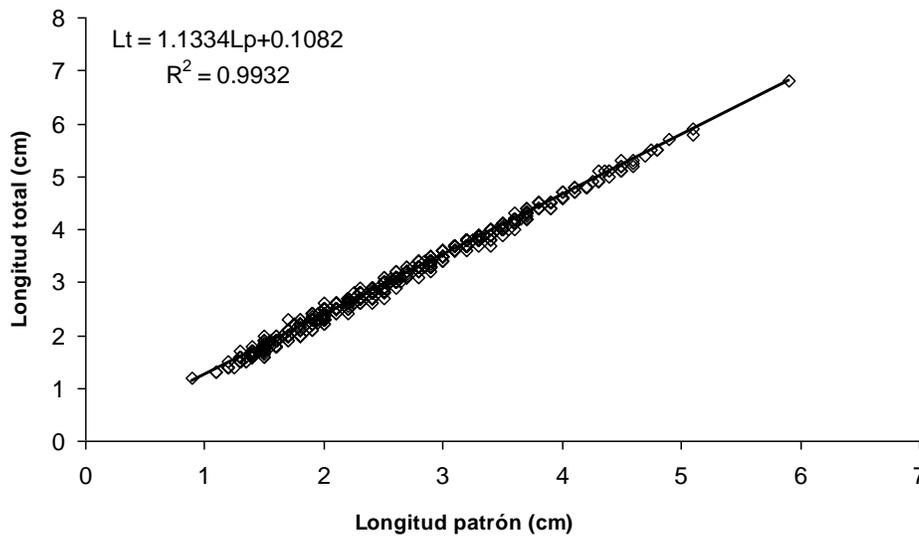


Figura 5. Relación longitud total y longitud patrón para la población de *G. viviparus*.

Para determinar que variable entre la longitud total ó patrón se debería de utilizar en relación con el peso total, se aplicó el análisis de correlación entre estas variables (Tabla 3) y se encontró que existe un mayor grado de asociación relación entre el peso total (PT) con la longitud patrón (LP), al presentar una relación altamente significativa ($p < 0.05$).

Tabla 3. Correlaciones entre los datos biométricos de *G. viviparus*.

		LONT	LONP	PESO
LONT	Correlación	1	.995**	.897**
	Signif icancia	.	.000	.000
	N	1501	1501	1501
LONP	Correlación	.995**	1	.902**
	Signif icancia	.000	.	.000
	N	1501	1501	1501
PESO	Correlación	.897**	.902**	1
	Signif icancia	.000	.000	.
	N	1501	1501	1501

** . Correlación es significativ a al nivel de 0.01 (2-colas).



Asimismo, cuando se aplicó el análisis de covarianza (ANDECOVA) entre la longitud patrón y el peso total considerando el sexo, se encontró que existían diferencias estadísticas entre los sexos (Tabla 4), por lo que el análisis de la relación entre el peso y la longitud se realizó por separado ($F= 82.74$; $p<0.05$).

Tabla 4. Análisis de covarianza para la longitud patrón (LP) y el peso para ambos sexos.

Número de obs =		1501	R-cuad =	0.8588	
Raíz ECM =		.182081	R-cuad Adj =	0.8584	
Fuente	SC Parcial	gl	CM	F	Prob > F

Modelo	301.533641	5	60.3067281	1819.02	0.0000
lp	29.5221657	1	29.5221657	890.47	0.0000
sexo	5.48592729	2	2.74296364	82.74	0.0000
lp*sexo	2.57280479	2	1.2864024	38.80	0.0000
Residuos	49.5643149	1495	.033153388		

Total	351.097955	1500	.234065304		

RELACIÓN PESO TOTAL-LONGITUD PATRÓN

A partir de los datos de peso total y longitud patrón se realizó el análisis de regresión para obtener los valores de las constantes “a” y “b” de la relación peso–longitud para cada sexo y para la población total, donde a partir de “b” se determinó el tipo de crecimiento.

Tabla5. Valores para la relación peso-longitud patrón para la población de *G viviparus*.

Fuente	SC	gl	CM	Número de obs = 1501		
Modelo	236.025625	1	236.025625	F(1, 1499)	=41903.90	
Residuos	8.4431848	1499	.005632545	Prob > F	= 0.0000	
				R-cuadrad	= 0.9655	
				R-cuadrad Adj	= 0.9654	
Total	244.468809	1500	.162979206	Raíz ECM	= .07505	

logpeso	Coef.	Err. Est.	t	P> t	[95% Interval. Conf.]	
Pendiente	3.152004	.0153978	204.70	0.000	3.1218	3.182207
Log inter	-1.674889	.0058606	-285.79	0.000	-1.686385	-1.663393

La relación peso total-longitud patrón para la población mostró una tendencia de tipo potencial con crecimiento alométrico positivo (t-student = 9.877; $p < 0.05$) (Figura 6), esto es, mayor crecimiento en peso que en longitud y los datos del análisis de regresión se observan en la tabla 5. El modelo que describe este comportamiento es altamente significativo ($p < 0.05$) y con alto nivel de asociación entre las variables ($r^2 = 0.965$).

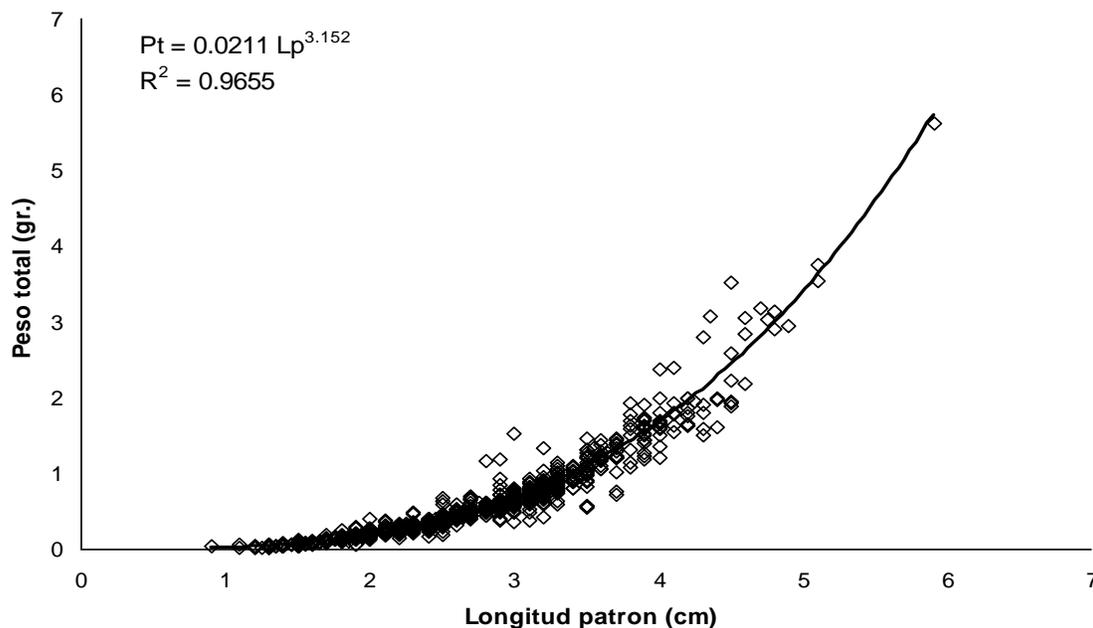


Figura 6. Relación peso total-longitud patrón para la población de *G. viviparus*.



Para el caso de las hembras la relación peso total-longitud patrón presentó crecimiento tipo potencial, alométrico positivo similar a la población total (Figura 7). Sin embargo, por la prueba de *t-student* ($t = 1.629$; $p < 0.05$) aplicada al valor de la pendiente, se puede considerar que el crecimiento de este grupo tiende a la isometría.

Tabla 6. Valores para la relación peso-longitud patrón para las hembras de *G viviparus*.

Fuente	SC	gl	CM	Número de obs = 704		
Modelo	70.5831235	1	70.5831235	F(1, 702)	=14012.32	
Residuos	3.5361284	702	.00503722	Prob > F	= 0.0000	
				R-cuadrad	= 0.9523	
				R-cuadrad adj	= 0.9522	
Total	74.1192519	703	.105432791	Raíz ECM	= 0.0709	
logpeso	Coef.	Err. Est.	t	P> t	[95% Interval. Conf.]	
Pendiente	3.042234	.0257003	118.37	0.000	2.991775	3.092692
Log inter	-1.630849	.0117899	-138.33	0.000	-1.653997	-1.607701

Aún así se puede decir que dicha entre relación hembras y machos muestra que las hembras crecerán más en peso que en longitud (Tabla 6) con un modelo altamente significativo ($p < 0.05$) y con alto coeficiente de asociación entre las variables ($r^2 = 0.952$).

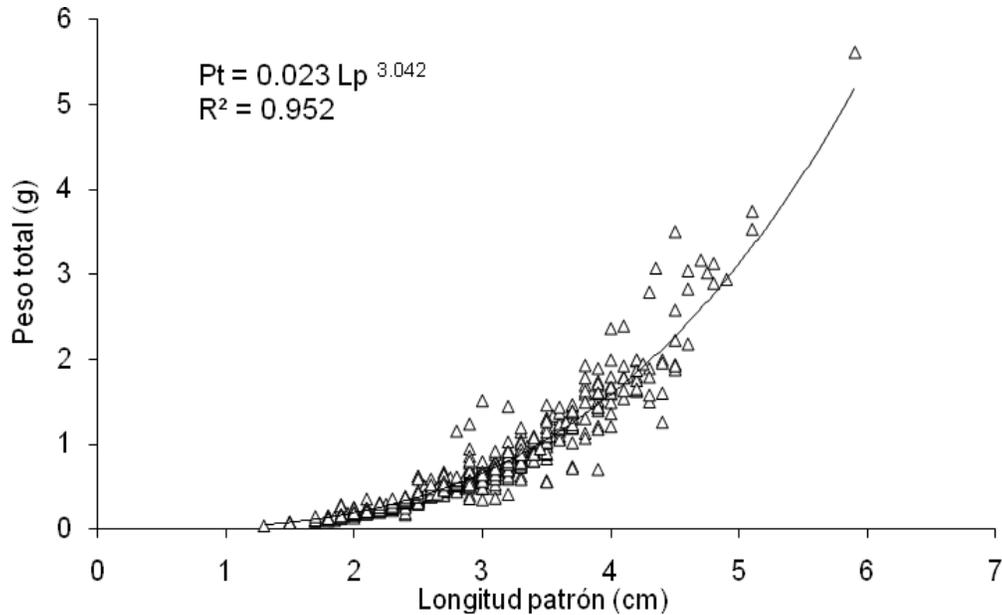


Figura 7. Relación peso total-longitud patrón para hembras de *G. viviparus*.

En cuanto al comportamiento del crecimiento de los machos, los datos de la relación muestran que el tipo de crecimiento es de tipo alométrico negativo (Tabla 7, Figura 8), pero por la prueba de t-student ($t = 1.134$; $p < 0.05$) aplicada al valor de la pendiente, también este grupo tiende a la isometría.



Tabla 7. Valores para la relación peso-longitud para los machos de *G viviparus*.

Fuente	SC	gl	CM			
-----+-----				Número de obs =	550	
Model	12.7284751	1	12.7284751	F(1, 548) =	3580.03	
Residual	1.94836578	548	.003555412	Prob > F	= 0.0000	
-----+-----				R-cuadrad	= 0.8672	
-----+-----				R-cuadrad Adj	= 0.8670	
Total	14.6768409	549	.026733772	Raíz ECM	= 0.0596	
-----+-----						
logpeso	Coef.	Err. Est.	t	P> t	[95% Interval. Conf.]	
-----+-----						
Pendiente	2.946715	.0492487	59.83	0.000	2.849976	3.043454
Log inter	-1.581945	.0163354	-96.84	0.000	-1.614033	-1.549857
-----+-----						

En el caso de los machos, la tendencia del crecimiento parece indicar que aumentan más en longitud que en peso a diferencia de las hembras, cuyas longitudes y pesos fueron mayores para estas últimas, lo que hace una diferencia bastante notable del crecimiento. La representación gráfica de ésta relación para los machos, muestra una mayor dispersión de datos en comparación de las hembras, cuyo coeficiente de asociación fue menor y mayor variabilidad de información.

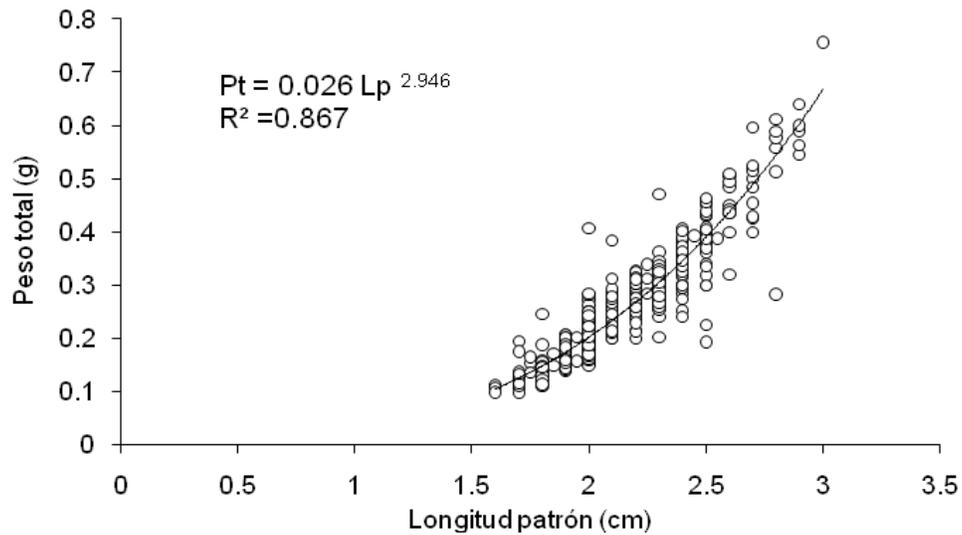


Figura 8. Relación peso total-longitud patrón para machos de *G. viviparus*.

En cuanto al comportamiento del crecimiento de los indeterminados, los datos de la relación muestran que el tipo de crecimiento es de tipo alométrico positivo (Tabla 8, Figura 9). Igualmente que para los dos sexos anteriores, al aplicar la prueba de t-student ($t = 1.379$; $p < 0.05$) se obtuvo que el crecimiento tiende a la isometría.

Tabla 8. Valores para la relación peso-longitud para los indeterminados de *G. viviparus*.

Fuente	SC	gl	CM	Número de obs = 247		
Modelo	6.14847588	1	6.14847588	F(1, 244)	=	766.41
Residuos	1.957476	244	.008022443	Prob > F	=	0.0000
Total	8.10595188	245	.033085518	R-cuadrad	=	0.7585
				R-cuadrad Adj	=	0.7575
				Raíz ECM	=	0.0895
logpeso	Coef.	Err. Est	t	P> t	[95% Interval. Conf.]	
Pendiente	3.084887	.1114317	27.68	0.000	2.865396	3.304377
Log inter	-1.706224	.0206893	-82.47	0.000	-1.746977	-1.665472

Sin embargo, dicha relación muestra que los indeterminados crecerán más en peso que en longitud (Tabla 7) con un modelo altamente significativo ($p < 0.05$) y con alto coeficiente de asociación entre las variables ($r^2 = 0.7165$).

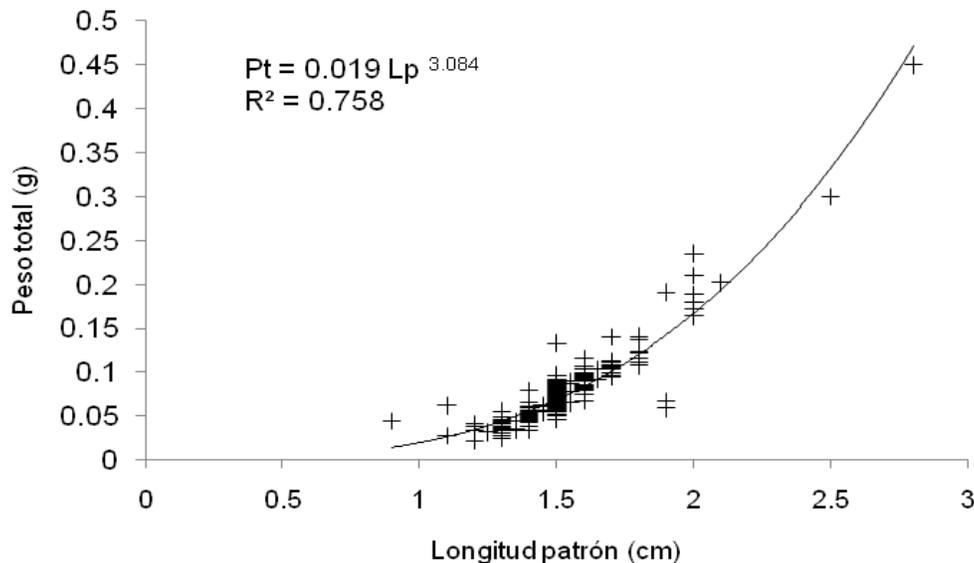


Figura 9. Relación Longitud patrón-Peso total para indeterminados de la especie *G. viviparus*.

Todos los organismos de *G. viviparus*, de este estudio, (machos, hembras e indeterminados ó crías) siguen un comportamiento de tipo potencial, es decir, sólo para la población, sin embargo, sólo en las hembras e indeterminados se presentó un crecimiento de tipo alométrico positivo (mayor crecimiento en peso que en longitud), mientras que para los machos el crecimiento es alométrico negativo (mayor crecimiento en longitud que en peso) (Figuras 6, 7 y 8).

El Factor de Condición de Clark (FC) en el caso de las hembras mostró incrementos de marzo a junio, periodo en el cual las hembras se encuentran más activas; sin embargo, los valores máximos fueron en junio, septiembre y febrero, lo que, coincide con el inicio de la época reproductiva de la especie. Cabe señalar que, se observa nuevamente un incremento de diciembre a febrero y disminuye en marzo, lo que se relaciona con el inicio nuevamente de la época de reproductiva de la especie y probablemente también se debe a la presencia de nuevos individuos de menor talla (Figura 10).

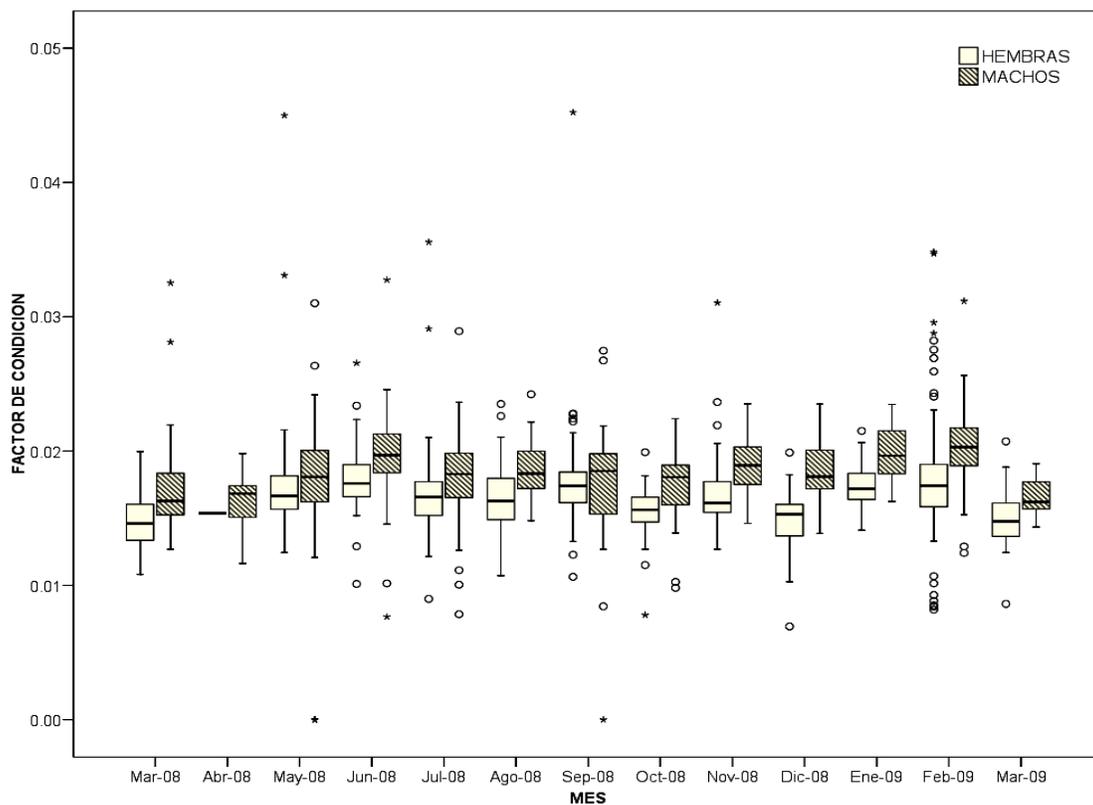


Figura 10. Variación del FC para hembras y machos de *G. viviparus*.

En el caso de los machos se muestra un incremento de marzo a junio, posteriormente disminuye y vuelve a incrementar de diciembre a febrero, los valores más elevados se presentan en junio y febrero. Como se observa en la figura 10, tanto hembras como machos siguen la misma tendencia y muestran buena condición durante la época de

reproducción y durante la época fría disminuye este aspecto debido a una baja en el metabolismo.

Al analizar la variación del FC promedio para las hembras y los machos con la temperatura del agua, se puede observar para el caso de las hembras que existe relación directa entre estas variables de manera gráfica; sin embargo, presenta moderada correlación desde el punto de vista estadístico aunque el modelo es altamente significativo, lo que indica que la temperatura del agua puede ser un factor importante para la reproducción de la especie ($r^2=0.54$; $p<0.05$) (Figura11). De hecho, el proceso reproductivo de la especie tiene gran relación con las altas temperaturas que se observan en el periodo de primavera-verano.

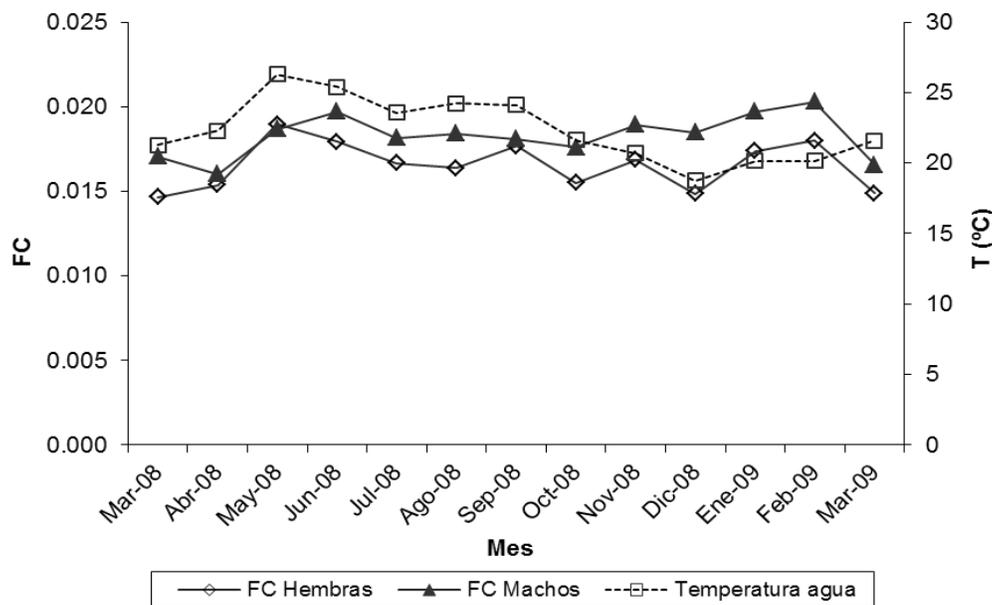


Figura 11. Variación mensual del FC con la temperatura del agua en el sistema acuático para *G. viviparus*.

En cuanto a la condición de los machos la tendencia es incrementar paulatinamente durante todo el estudio y se registraron los máximos valores hacia el final del periodo evaluado, manteniéndose constante entre verano y otoño y, aunque se observa una

relación directa gráficamente, no existe correlación entre estas variables ($r^2=-0.013$; $p<0.05$) (Figura11).

Al relacionar el FC de ambos sexos con la concentración de oxígeno disuelto, no se observó una relación de manera gráfica entre estas variables, sin embargo, presentó una correlación directa estadísticamente, aunque esta fue baja ($r^2 =0.283$; $p<0.05$) (Figura 12).

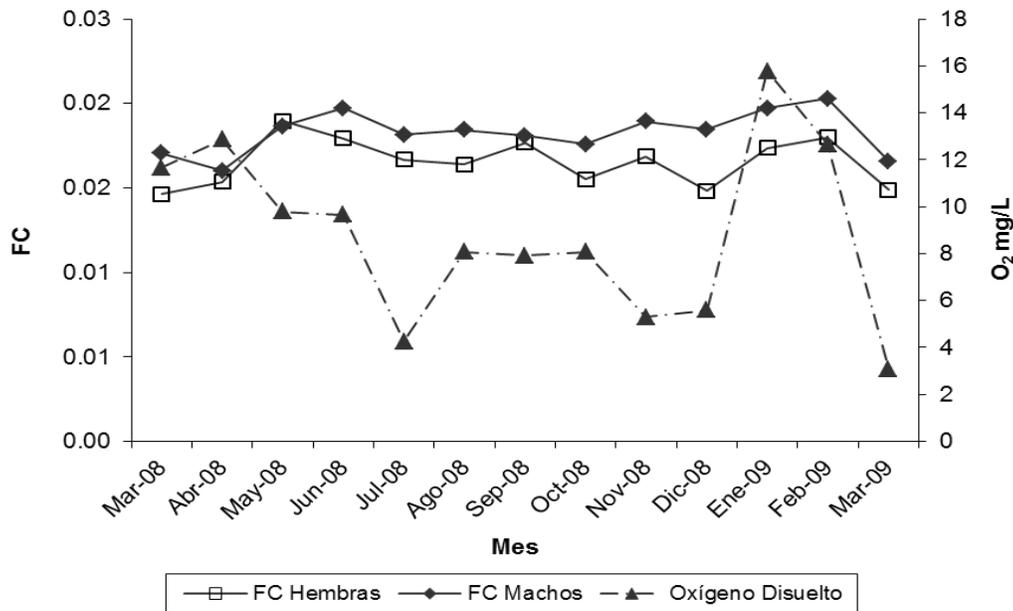


Figura 12. Variación del FC y la concentración de oxígeno disuelto.

Al analizar el FC de hembras y machos con el pH, se observa una relación gráfica y la misma tendencia entre las variables en la mayor parte del estudio; sin embargo, estadísticamente para el caso de las hembras presentó una correlación muy baja ($r^2= 0.29$; $p<0.05$). En el caso de los machos, no existe correlación entre las variables (Figura 13).

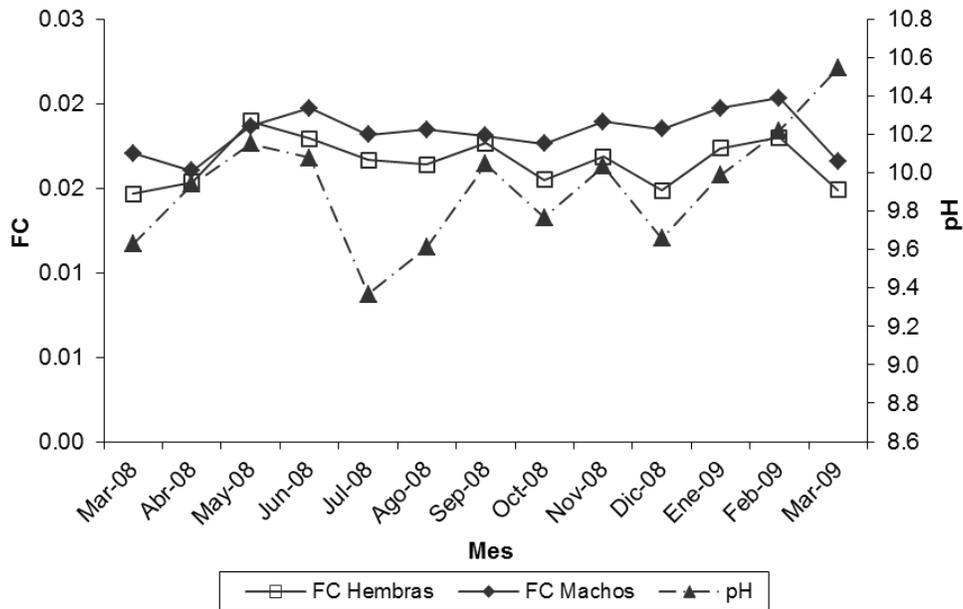


Figura 13. Variación de la relación del FC de ambos sexos con el pH

Respecto al FC de las hembras como los machos con la alcalinidad total, se observó una relación directa gráficamente en la mayor parte del estudio, aunque para el caso de las hembras se tiene una correlación directa muy baja estadísticamente ($r^2=0.103$; $p<0.05$) (Figura 14) no así para los machos.

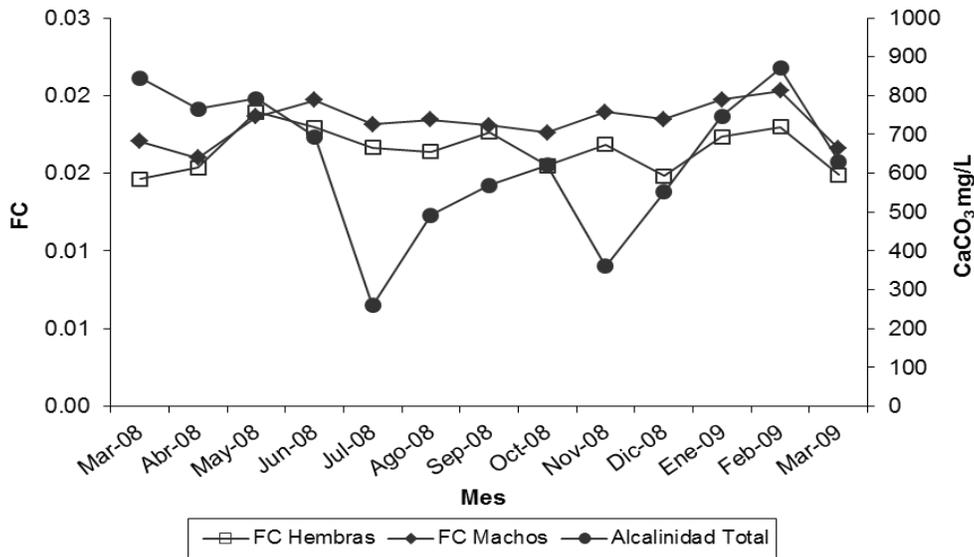


Figura 14. Variación del FC de hembras y machos con la alcalinidad total.

El análisis del FC con la dureza total con ambos sexos mostró una relación indirecta gráficamente, en la mayor parte del estudio, existió una correlación inversa estadísticamente entre las variables ($r^2 = -0.421$; $p < 0.05$) (Figura 15).

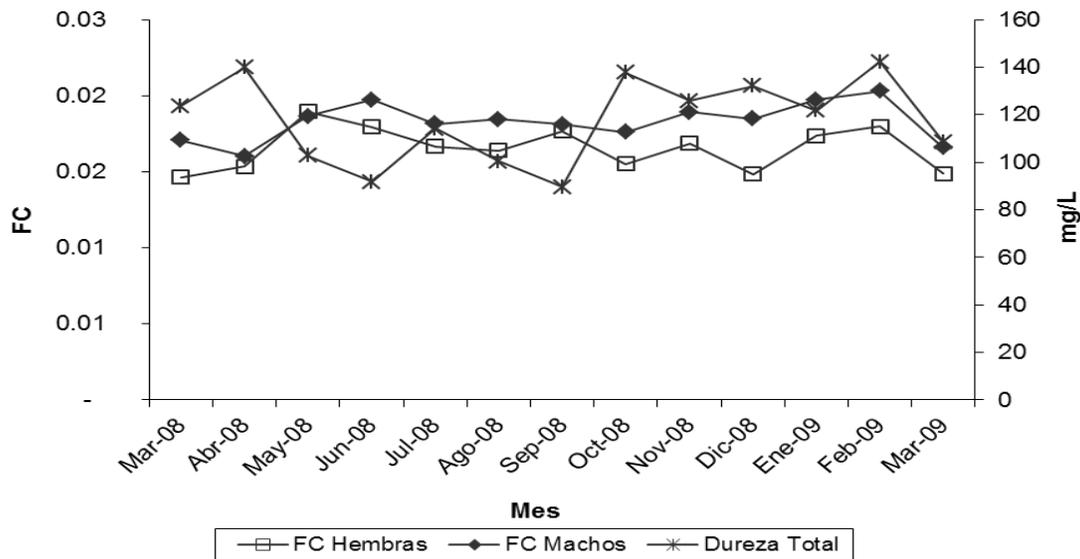


Figura 15. Variación del FC con la dureza total.

Para conocer la época de reproducción de la especie en el lago artificial de la Alameda Oriente, se utilizó la variación del Índice Gonadosomático (IGS) para ambos sexos. De acuerdo a lo observado, se tiene que el Índice Gonadosomático (IGS) en las hembras presentó valores máximos de la mediana de marzo (2008) a abril, disminuyó en los siguientes meses y aumentó nuevamente en el mes de marzo (2009) (Figura 16; se utilizó la función logarítmica ya que los datos presentaron gran variación).

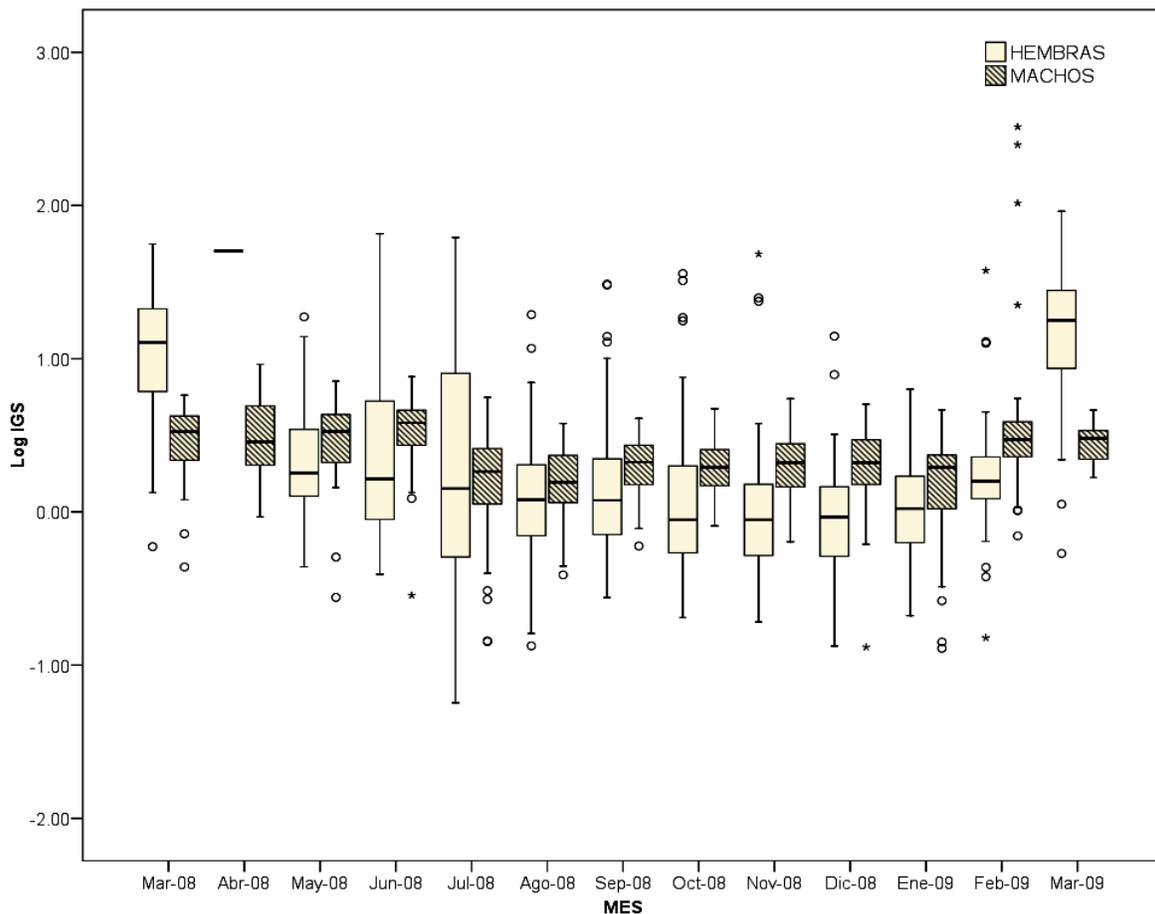


Figura 16. Variación del Índice Gonadosomático en hembras y machos de *G. viviparus*.

En cuanto a los machos presentaron un IGS con valores máximos de mediana en marzo, abril y mayo decreciendo los siguientes meses para incrementarse en el mes de febrero y marzo (Figura 16).

Respecto al IHS (Índice Hepatosomático) las hembras presentaron el valor máximo de mediana en marzo, abril y mayo, disminuyó en los meses siguientes y se incrementó nuevamente en febrero, antes que suceda la eclosión (Figura 17).

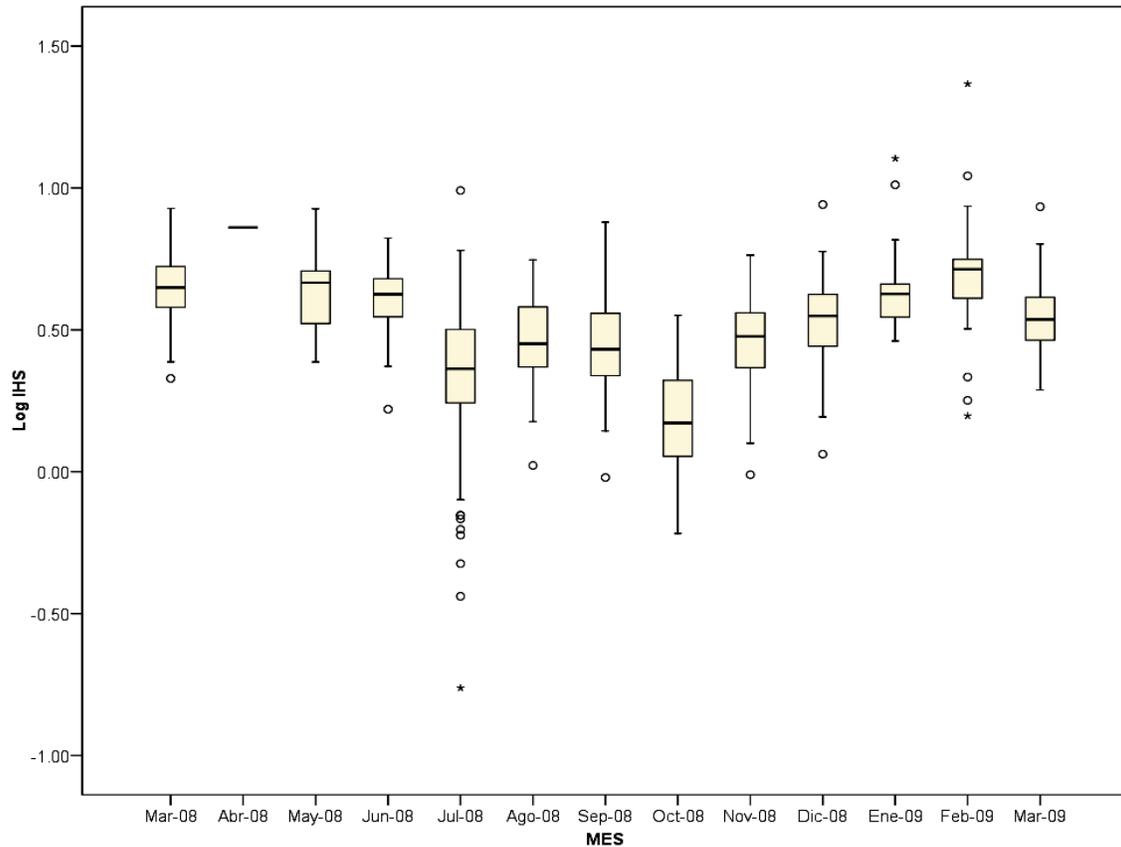


Figura 17. Variación del Índice Hepatosomático en las hembras de *G. viviparus*.

La talla de inicio de madurez sexual, es decir, la longitud a la cual el 50% de las hembras de *G. viviparus* son sexualmente maduras, se obtuvo a través del modelo logístico y con el criterio de la variable empleada (longitud patrón), por lo que tiene que la talla para las hembras de *G. viviparus* es de 38 mm (Figura 18).

En el caso de los machos, el individuo con la talla más pequeña y el gonopodio totalmente formado fue de 29 mm.

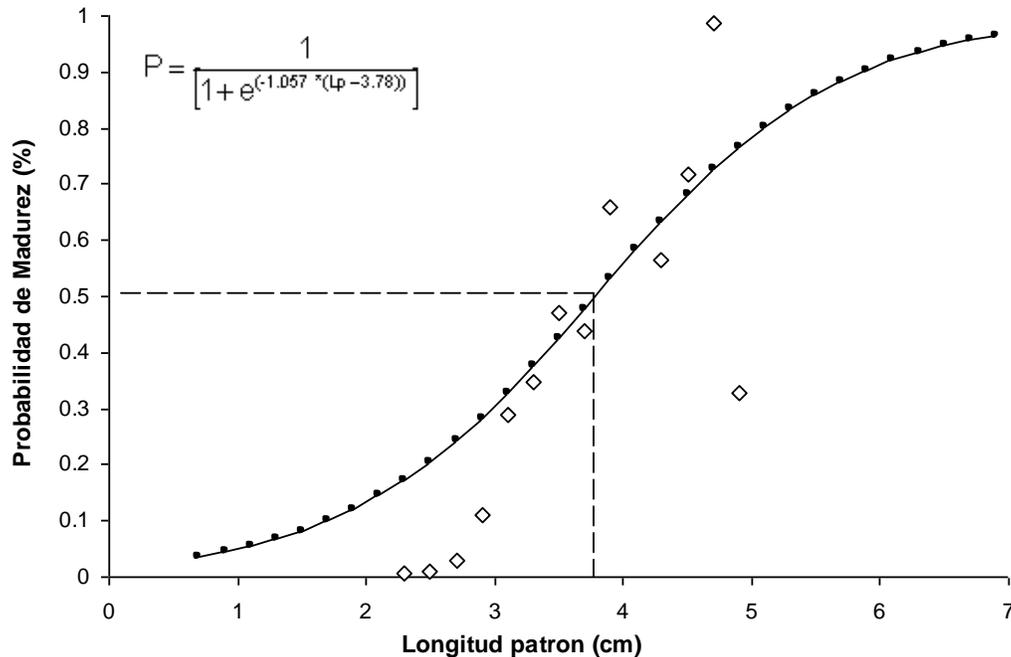


Figura 18. Longitud de primera maduración sexual para hembras de *G. viviparus*.

La proporción de estadios de madurez gonádica en las hembras, (estadios de desarrollo III, IV y V) se registró durante todo el año con un elevado porcentaje del estadio III de abril a febrero, lo cual coincide con la época reproductiva de *G. viviparus*, así como con la época de lluvias. Para el estadio IV los máximos valores se observaron de marzo a septiembre (lluvias) para nuevamente incrementar de febrero a marzo (2009). No estuvo presente de diciembre a enero (secas); mientras que el estadio V presentó porcentajes bajos de marzo a octubre, para luego incrementar de agosto a noviembre (Figura 19) (Anexo 1).

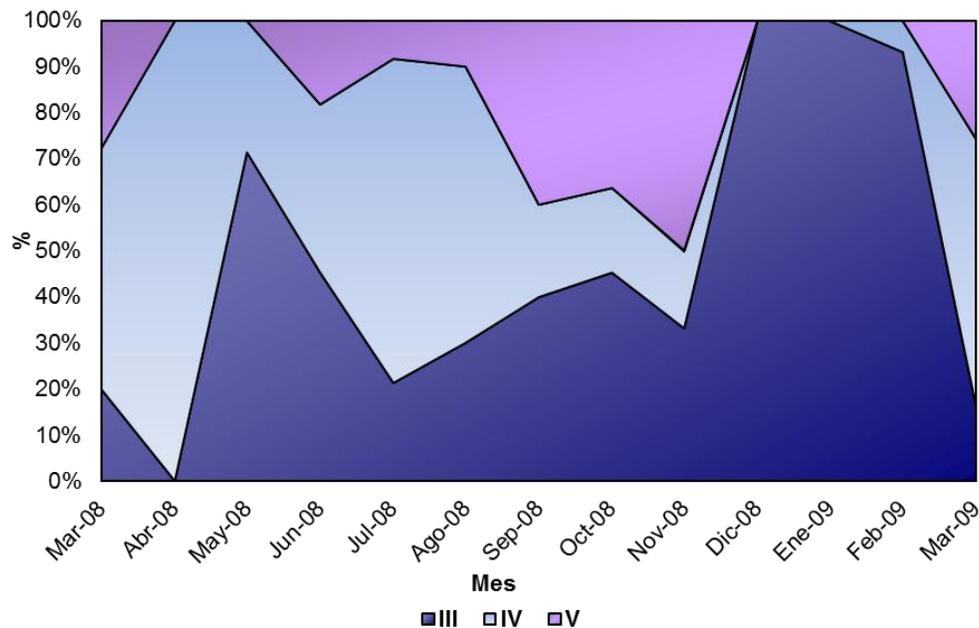


Figura 19. Estadios Gonádicos para las hembras de *G. viviparus*.

Con respecto a la proporción de estadios embrionarios para la especie, durante el desarrollo de la investigación, en la figura 20 se observa que existe un predominio del estadio IV de acuerdo al criterio de Mendoza (1962) (Anexo 2), al presentar mayor porcentaje de marzo a octubre, debido a la época de reproducción de la especie, posteriormente disminuye de noviembre a febrero, para nuevamente incrementar en marzo (2009); en cuanto al estadio III, se observó un alto porcentaje en marzo (2008), con bajos porcentajes de abril a octubre. El estadio V, registró un bajo porcentaje de mayo a diciembre; para el estadio VI se presentó en marzo (2008), julio y nuevamente en marzo (2009) con muy bajo porcentaje; sin embargo, se registra un mayor porcentaje de octubre a noviembre. El estadio I se presentó en marzo, mayo, julio, octubre y con mayor intensidad en febrero y para concluir, el estadio II se observa en marzo (2008) y nuevamente de mayo a octubre.

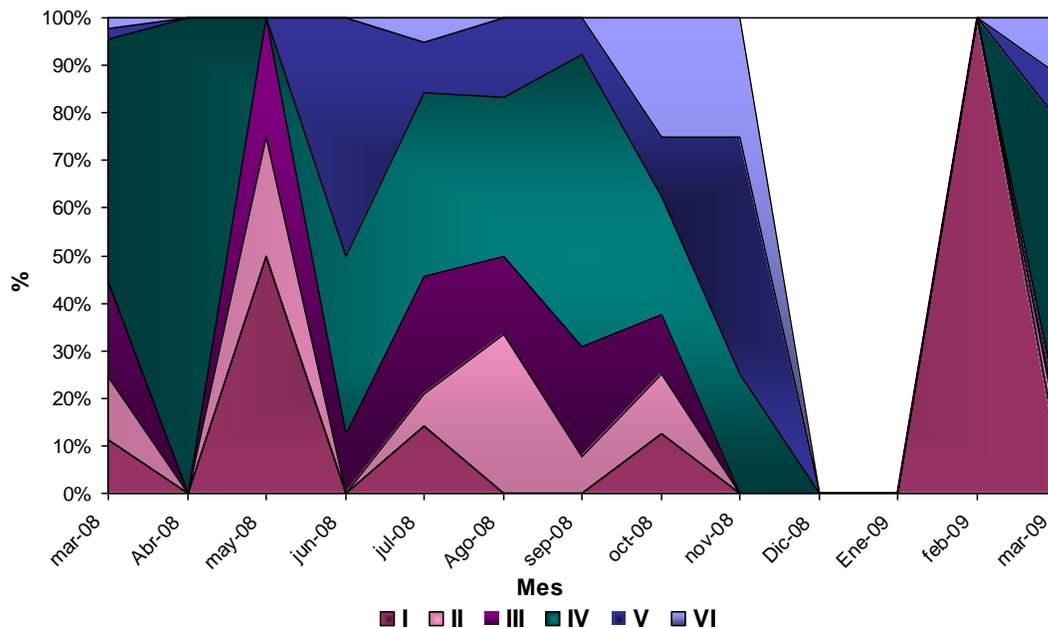


Figura 20. Estadios Embrionarios en *G. viviparus*.

PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

La temperatura del agua en el sistema reportó un valor mínimo en el mes de diciembre (18.8°C), mientras que el valor máximo fue en mayo (26.3°C). Con respecto a la temperatura ambiente, el valor mínimo se registró en octubre (20°C), mientras que el valor máximo en mayo (28°C) (Figura 21).

En la figura 21, se observa que tanto la temperatura del agua como del ambiente presentan una relación de forma general (continuas); se tiene una fluctuación elevada en ambas temperaturas en mayo, siendo la mayor temperatura durante el periodo del estudio. Esto está en función de la hora a la cual fue tomada la lectura de la variable.

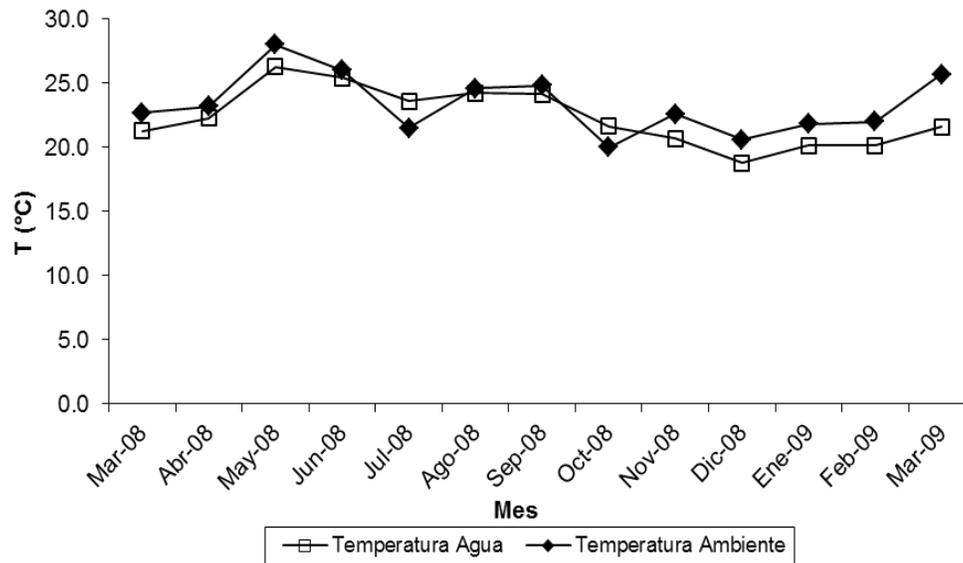


Figura 21. Variación de la temperatura ambiente y del agua en el lago artificial de la Alameda Oriente.

En la figura 22 se observa para el oxígeno disuelto presentó su valor máximo en julio y el valor mínimo en enero. A medida que aumenta la temperatura del agua de marzo (2008) a septiembre y nuevamente incrementar en marzo (2009), la concentración de oxígeno disuelto disminuye. Sin embargo no se muestra esta tendencia en la mayor parte del estudio.

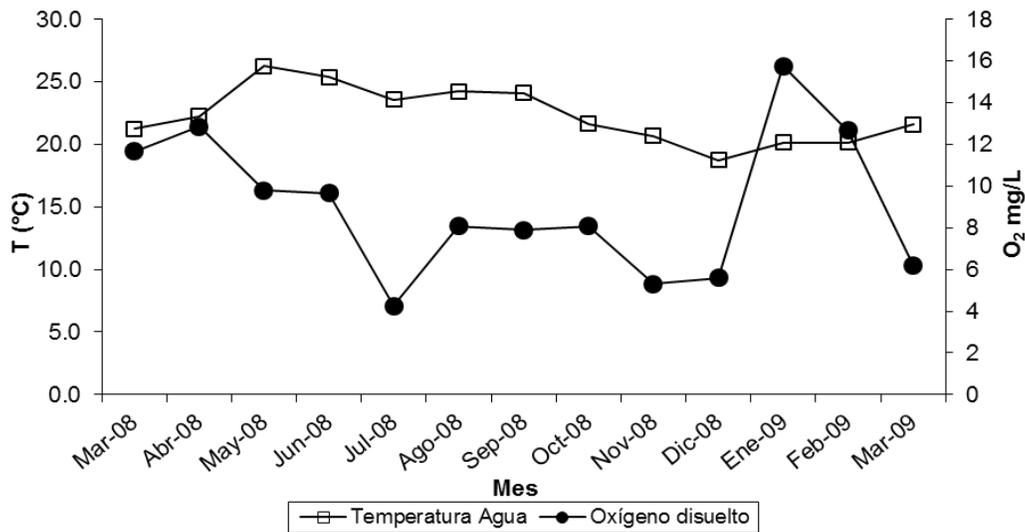


Figura 22. Variación mensual del oxígeno disuelto en comparación con la temperatura del agua en el lago artificial de la Alameda Oriente.

La figura 23 muestra la relación que existe entre las variables de pH-Temperatura, donde el valor máximo de pH se registró en marzo-09 (10.5) y el valor mínimo en julio (9.4), siendo el agua del sistema considerado como alcalino. En cuanto a la alcalinidad, el valor mínimo registrado fue en julio y el valor máximo en febrero.

Dichos valores tienden a incrementarse en los primeros meses de muestreo de abril a junio, de igual manera al final del estudio de enero a marzo (2009), mientras que los valores mínimos se presentan de julio a diciembre (Figura 23).

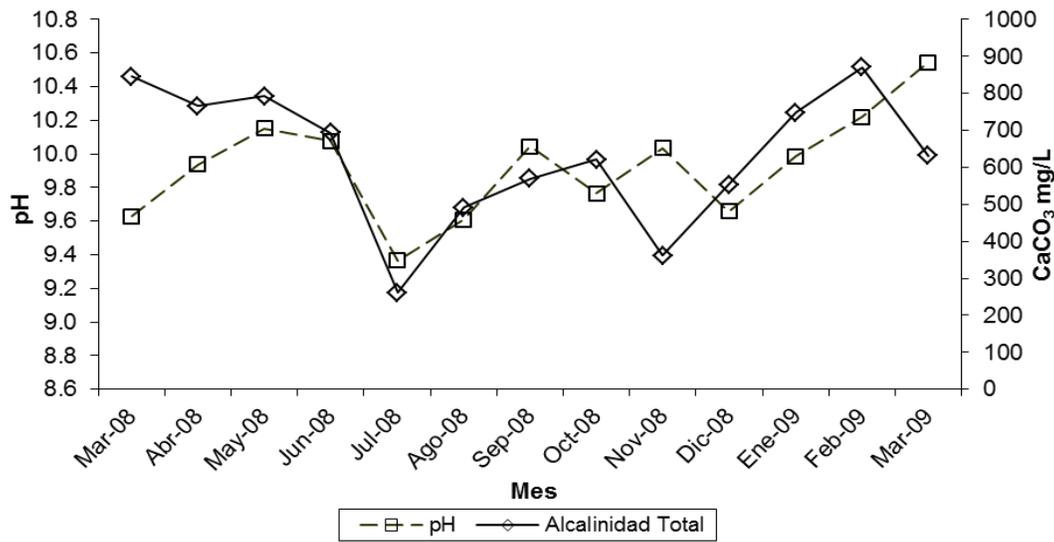


Figura 23. Variación del pH con relación a la alcalinidad total en el lago artificial de la Alameda Oriente.

En la figura 24 se observa, que a medida que aumenta la dureza total aumenta la alcalinidad total y viceversa de mayo a junio, septiembre y de noviembre a marzo (2009) casi de manera coordinada (gráficamente). Por los valores de dureza del agua esta se puede clasificar como agua extremadamente dura y de acuerdo a la alcalinidad con buena productividad.

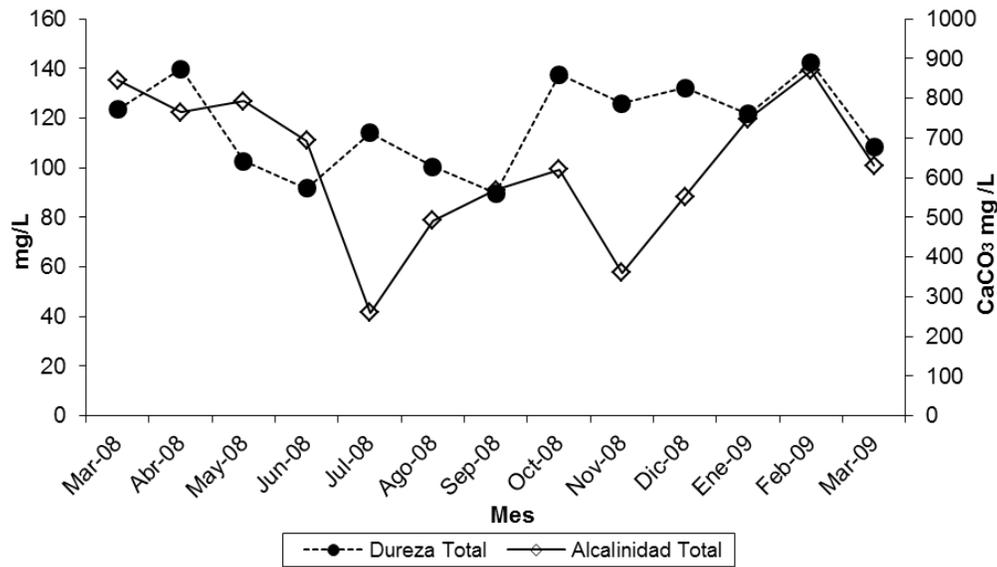


Figura 24. Variación de la dureza total y la alcalinidad total en el lago artificial de la Alameda Oriente.

Para determinar el grado de correlación entre las variables físico-químicas, se aplicó el análisis de correlación entre estas (Tabla 9) y se encontró que existe un mayor grado de asociación entre la temperatura del agua con la temperatura ambiente, así también ambas temperaturas con la dureza total, en cuanto el oxígeno presenta asociación con la alcalinidad total, aunque con menor grado de asociación.

Tabla 9. Valores de correlación entre las variables Físico- Químicas en el Lago Artificial de la Alameda Oriente.

	Temperatura Agua	Temperatura Ambiente	Oxígeno	Ph	Alcalinidad Total	Dureza Total	Conductividad Eléctrica
Temp. Agua		0.7626	-0.1034	0.0487	-0.0594	0.7598	0.5123
		0.0024	0.7367	0.8745	0.8471	0.0026	0.0734
Temp. Ambiente	0.7626		0.0260	0.5324	0.2189	0.7410	0.4024
	0.0024		0.9327	0.0611	0.4725	0.0038	0.1728
Oxígeno	-0.1034	0.0260		0.2057	0.8317	0.2439	-0.4147
	0.7367	0.9327		0.5002	0.0004	0.4219	0.1588
pH	0.0487	0.5324	0.2057		0.4386	0.1335	-0.2106
	0.8745	0.0611	0.5002		0.1338	0.6636	0.4898
Alc. Total	-0.0594	0.2189	0.8317	0.4386		0.2186	-0.3055
	0.8471	0.4725	0.0004	0.1338		0.4731	0.3101
Dureza Total	-0.7598	-0.7410	0.2439	0.1335	0.2186		-0.4570
	0.0026	0.0038	0.4219	0.6636	0.4731		0.1165
Cond. Eléctrica	0.5123	0.4024	-0.4147	0.2106	-0.3055	0.4570	
	0.0734	0.1728	0.1588	0.4898	0.3101	0.1165	

Para determinar la fertilidad de la especie enfocada a las hembras, se trabajo con 184 organismos, las cuales presentaron gónadas con estadios III, IV y V, al realizar el análisis de correlación se obtuvo que la longitud patrón presenta mayor relación con la fertilidad ($r^2 = 0.42$; $p < 0.05$), en comparación con el peso total de los organismos.

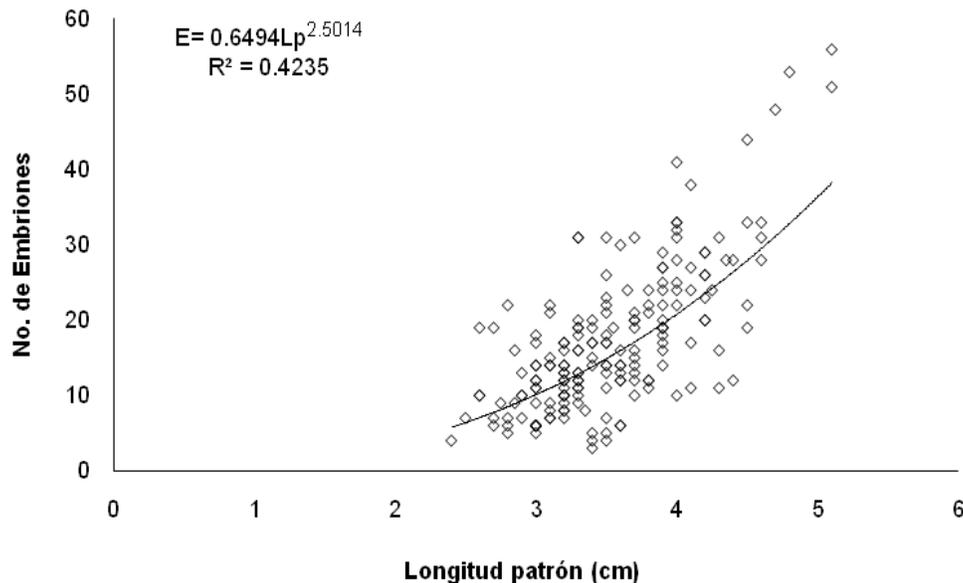


Figura 25. Valores para la relación longitud patrón y número de embriones en las hembras de *G. viviparus*.

El valor mínimo de los embriones cuantificados fue de 4 y el máximo de 56, con un promedio de 17, siendo en ejemplares de mayor talla donde se registró el mayor número de embriones.

Se observa que existe poca correlación entre la longitud patrón de las hembras con respecto al número de embriones (fertilidad), esto es debido a que la especie es vivípara con tendencia a la superfetación, sin embargo, esta fue significativa.

En cuanto a la fecundidad se trabajó con 244 hembras, las cuales presentaban estadios gonádicos III, IV y V, (Anexo 1) en este caso se tomó en cuenta el número de embriones y óvulos presentes en el ovario (ya que la especie es vivípara) y se observó que el modelo es altamente significativo; sin embargo, hay una correlación baja entre las variables longitud patrón y fecundidad ($r^2 = 0.019$; $p < 0.05$), de igual manera para el peso total de los organismos ($r^2 = 0.014$; $p < 0.05$), debido a la gran dispersión de los datos y que la especie tiende a la superfetación (15%).



DISCUSIÓN

Durante el estudio se confirmó que *Girardinichthys viviparus* es una especie dimórfica, con marcadas diferencias sexuales secundarias, en cuanto a la morfología las hembras son más grandes y robustas en comparación con los machos y la presencia del espermatopodio en machos, puesto que presentan aleta anal modificada en los primeros radios, con la finalidad de conducir el esperma al poro genital de la hembra, lo cual es una de las distinciones en la especie. Esta característica es compartida en forma similar por la familia Poeciliidae (al presentar similares características con la familia Goodeidae) (Navarrete *et al.* 2003; 2004).

Por otra parte, Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez (1986) mencionan que otra característica del dimorfismo sexual de esta especie, sumada a las características relacionadas con la viviparidad (modificación de la aleta anal de los machos y mayor tamaño de las hembras), se encuentra la coloración sexual, ya que en ambos sexos el color es verde olivo brillante, con algunas franjas oscuras en los costados, pero cuando las hembras son receptivas se vuelven opacas, aparecen líneas negras en las aletas impares y una mancha genital oscura; en cambio, los machos viran el color olivo por un negro azabache intenso que incluye a esas mismas aletas.

El mayor número de ejemplares capturados de *Girardinichthys viviparus*, se registró de julio a septiembre (época de lluvias), diciembre y febrero (temporada de secas), mientras que el menor registro se obtuvo de marzo (2008) a junio y nuevamente en marzo (2009) durante la temporada de secas. Posiblemente esto se debe al efecto de la disminución de la temperatura durante la temporada de invierno y a la carga de materia orgánica, ya que el agua con la cual se llena el lago proviene de la Planta tratadora de aguas residuales de San Juan de Aragón, siendo éste un factor de contaminación. Otro factor que pudo haber influido en la abundancia del recurso alimento, fue la presencia de las aves migratorias durante esta época, ya que algunas además de utilizar el lago como hábitat temporal, también utilizan los recursos



presentes (alimento) en el sistema acuático, tal es el caso de *G. viviparus* y de ahí la baja densidad de organismos obtenidos.

La longitud patrón máxima registrada durante el estudio fue de 59 mm para hembras y de 30 mm para machos. Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez (1986), mencionan que las hembras de *G. viviparus* alcanzan los 55 mm de longitud patrón, sin embargo, en machos no la reporta. Miranda *et al.* (2008) indican intervalos menores de tallas en comparación a los registrados en este trabajo, ya que para hembras registró de 21.5 a 40.0 mm y para machos de 18 a 25.8 mm. Mientras que Sedeño-Díaz y López-López (2009) citan que los machos alcanzaron tallas de 27 mm y en las hembras de 30 mm.

Nikolsky (1963) menciona que las tallas mayores de las hembras resultan de una tasa de crecimiento diferencial con respecto a los machos. Asimismo, ésta diferencia de tallas en los respectivos estudios anteriormente mencionados puede deberse también a varios factores tales como disponibilidad de alimento, (calidad y cantidad), temperatura del agua, concentración de oxígeno disuelto, estado trófico del sistema, depredación, competencia, abertura de luz de malla y aspectos relacionados con la reproducción, en los sistemas donde se obtuvieron los organismos.

Por lo tanto, es muy probable que las hembras tengan altas tasas de supervivencia debido a su gran tamaño (factor que se debería de analizar a través de estudios de edad y crecimiento), son más longevas que los machos y son más resistentes al esfuerzo reproductivo. Asociado a esto, Conover (1984) señala que individuos con rápido crecimiento usualmente tienen altas tasas de fecundidad que aquellos que tienen lentas tasas de crecimiento aunque sean de la misma talla.

Por otra parte, del total de individuos obtenidos el 47.10% correspondió a hembras, el 36.64% a machos y el 16.25% a las crías, lo que permitió estimar una proporción sexual de 1.28:1 (hembra: macho). Sin embargo, esto no fue así durante todo el periodo de estudio, ya que los machos dominaron de abril a junio y en enero (2009) y el mayor número de hembras se registró en julio con una proporción de 1.39:1, solo en



agosto la proporción fue de 1:1. Además existen varios factores que influyen en la proporción sexual tales como las condiciones climáticas y el hecho de que las hembras presentan una tasa de desarrollo más rápida comparada con la de los machos.

El estudio realizado por Salazar (1981) indica una mayor proporción sexual de 3.6:1 también a favor de las hembras en el Embalse de “Requena”, Edo. Hidalgo. Mientras que Ojendis (1985) obtuvo una proporción sexual de 3:1 en el Ex-Lago de Texcoco “El Caracol”. Terrón (1994) se asemeja a los resultados obtenidos en el Embalse de “Requena” y el Ex-Lago de Texcoco “El Caracol”, al reportar una proporción sexual de 1.5:1 hasta 3:1 a favor de las hembras.

De acuerdo a los resultados obtenidos respecto a la proporción sexual en cada uno de los estudios realizados para *G. viviparus*, en general se puede decir que hay predominio de las hembras sobre los machos, lo cual probablemente se debe al tipo de reproducción vivípara que presenta la especie. Cuyo tipo de reproducción permite que exista un mayor número de hembras, además de que un macho tiene la capacidad de llegar a fecundar a más de una hembra y al haber mayor presencia de hembras fecundadas se garantiza que el número de progenie sea mayor (Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez, 1986).

De acuerdo con Guerrero-Estévez y Moreno-Mendoza (2010), la determinación sexual se ve influenciada por los procesos moleculares y fisiológicos de la especie. Además los factores del ambiente también marcan gran diferencia en los procesos de la determinación del sexo, tales como: temperatura, pH, densidad poblacional y las condiciones sociales (comportamiento de la especie), así también contaminantes y degradación del ambiente.

En la mayoría de las especies termosensitivas, cuando la temperatura aumenta, el número de machos en la población es mayor, cuando la temperatura disminuye los ovarios reducen su tamaño. En las primeras etapas de desarrollo de las crías la temperatura es crucial pues al disminuir la temperatura se obtiene mayor número de



hembras, por ello las variaciones de temperatura resultan de vital importancia dependiendo de la genética de la especie. Las hembras y en general los organismos responden de manera diferente a la influencia de la temperatura, tal es el caso que se presenta en las hembras de aterínidos como *Menidia Mendía*, que al exponerse a temperaturas bajas induce hacia un mayor número de éstas. En los poecilidos al estar expuestos a temperaturas elevadas se altera la proporción sexual del pez con la contribución de mayor número de machos (Guerrero-Estévez y Moreno-Mendoza, 2010).

De igual manera Strüssmann *et al.*, (1996) cita que las variaciones de temperaturas del agua que oscilaron de 18 a 21 °C en ambos sexos de *Odontesthes argentinensis*, desviaron significativamente la proporción sexual 1:1 y a los 25 °C no. Todas las desviaciones significativas dieron como resultado hembras. En contraste, la relación de sexos en todos los grupos de *Patagonina hatchery* no difirieron significativamente de 1:1. De la misma manera, ningunas diferencias fueron encontradas entre los grupos de la misma progenie cultivados a diferentes temperaturas, por lo que depende de cada especie la influencia de la temperatura.

La influencia del pH en la proporción sexual se ha registrado en varias especies entre las cuales se encuentra *P. reticulata*, la cual al presentarse en valores elevados de pH, tiende a reducir la proporción de machos en la población (Guerrero-Estévez y Moreno-Mendoza, 2010). Sin embargo, en general el efecto del pH en la proporción sexual es menos notorio que la temperatura. Muy probablemente este factor esté actuando en la proporción sexual en el lago de la Alameda Oriente, ya que los valores registrados de pH en este sistema fluctuaron entre 9.3 y 10.6 unidades.



Respecto a la distribución diferencial del sexo Van Aerle *et al.* (2004), Devlin y Nagahama (2002) y Guerrero-Estévez y Moreno-Mendoza (2010) mencionan que hay una gran variedad de mecanismos que determinan la proporción sexual. Estos pueden ser genéticos o dependen de condiciones ambientales tales como la temperatura, pH y factores de la comunidad los cuales pueden influenciar la proporción sexual en una población.

De acuerdo a Devlin y Nagahama (2002) las fluctuaciones de temperatura en diferentes hábitats donde el pez vive, pueden alterar las rutas bioquímicas de la determinación sexual y actuar sobre un individuo para inducir el desarrollo de machos o hembras. Conover y Kynard (1981) citan que la primera especie de teleósteo donde la determinación sexual fue descrita como dependiente de la temperatura fue *Menidia menidia*.

También, Van Aerle *et al.* (2004) mencionan que hay un amplio rango de descargas químicas en el ambiente que imitan a las hormonas, especialmente a los estrógenos y los esteroides sexuales juegan un papel importante en la regulación de la diferenciación sexual. Además, ellos mismos citan que en estudios de campo la exposición de peces en jaulas a efluentes de aguas de desecho tratadas ha mostrado que la exposición química puede reducir el crecimiento de la gónada, feminizar el desarrollo de los conductos en los machos y alterar el desarrollo de las células germinales y la asignación del sexo.

Por lo tanto, la determinación del sexo y el sesgo que se presenta en *G. viviparus*, probablemente es un fenómeno que se ha visto afectado por factores ambientales que imperan en el reservorio donde esta se encuentra, así como por las características de la calidad de agua que se vierte al cuerpo de agua al incluir entre sus factores físicos y químicos metales en distintas fases de solución.

Nikolsky (1963) señala que la proporción sexual varía considerablemente de especie a especie, pero en la mayoría de los casos es cercana a 1 y puede variar de año en año



en la misma población. Es importante considerar el hecho de que las capturas en algún tiempo suelen darse a favor de las hembras, lo cual puede beneficiar a la población para así asegurar la perpetuación de la especie en el sistema acuático, como un mecanismo de regulación de la proporción sexual.

En cuanto a la relación peso total-longitud patrón para la población de *G. viviparus* para este estudio, se obtuvo un crecimiento de tipo alométrico positivo, es decir que, hay mayor aumento en peso que en longitud. Sin embargo, Salazar (1981), Terrón (1994) y Cedillo (1997) no coinciden con lo reportado anteriormente, al mencionar de igual manera para la población, un crecimiento de tipo alométrico. Mientras que Flores (1981) indica para la especie un crecimiento de tipo isométrico ($b=3$) en el Bosque de Chapultepec.

Respecto a la relación que existe entre la longitud y el peso, Ricker (1979) menciona que cuando, los peces tienen un coeficiente de “b” significativamente diferente de 3, el crecimiento es alométrico. En este caso, el cuerpo crece más rápidamente en peso que en longitud y un exponente mayor de tres puede indicar que los peces llegan a ser más pesados conforme incrementan en talla. Además, esta relación provee un índice usado por los biólogos pesqueros para cuantificar el estado de bienestar de un pez (Wootton, 1990).

Esto implica para las hembras una vez llegada la etapa de primera madurez sexual, empiezan a crecer más en peso que en longitud con la finalidad de perpetuar la especie. Además al ser una especie vivípara, la biomasa de las hembras se incrementa conforme se desarrollan los ovarios y posteriormente los embriones hasta el proceso de su nacimiento, asociado a la mayor talla de este grupo con respecto a los machos.

En lo que respecta a los machos se observa un crecimiento alométrico negativo, es decir tienden a crecer más en longitud que en biomasa, lo cual les permite mayor agilidad y con ello evitar ser depredados.



En cuanto al Factor de Condición de Clark (FC) el máximo grado de robustez se dio en de marzo a junio para el caso de las hembras y en los machos se registró en junio, en la época de lluvias, coincidiendo con el periodo de reproducción para esta especie; lo cual indica que la condición de los organismos en el sistema acuático es adecuada, principalmente para el caso de las hembras, al mostrar gráfica y estadísticamente en la mayor parte del estudio una relación directamente proporcional entre el FC con la temperatura del agua. Esto se debe a la gran cantidad de energía lumínica que provoca el aumento de la temperatura del agua y a su vez al fotoperiodo puesto que es más largo en ésta época del año, lo que implica mayor producción de alimento. Por lo tanto, al presentar el sistema gran abundancia de alimento, *G. viviparus* ha logrado mantenerse en buenas condiciones.

Lo anterior coincide con Salazar (1981) al mencionar que el grado de robustez en cuanto al peso es mayor en hembras que en machos, aún a pesar, de que no lleva a cabo un análisis estadístico; de igual manera Flores (1991) reporta que el FC resultó más elevado en hembras que en machos especialmente durante el periodo de reproducción, donde las medianas obtenidas durante el estudio no fueron estadísticamente diferentes en los tres Lagos de Chapultepec. Terrón (1994) por su parte, reporta que en mayo se presentó el mayor grado de robustez en el Embalse la “Goleta”. Estos resultados concuerdan en la mayor parte de los estudios realizados para la especie, lo cual permite mencionar que la mejor época del año para la especie es al inicio de la época de lluvias.

Como ya se mencionó, el buen grado de robustez en el pez se debe al tipo de alimentación que se presenta en el sistema, puesto que, el sistema es rico en materia orgánica, presenta gran abundancia de organismos todo el año. De acuerdo con Terrón (1994), *G. viviparus* presenta una dieta compuesta y rica de tres grupos de organismos: zooplancton (Cladóceras y Copépodos), fitoplancton (algas) y zoobentos (Dípteros y Hemipteros), a los cuales, se tiene preferencia dependiendo de la época del año y grado de madurez. Sin embargo, Ojendis (1985) reporta que los ciclopoideos son la principal



dieta a lo largo del año, seguido de *Spirulina* y Chironomidae. Montaña (2010), por su parte reporta para el lago artificial de la Alameda Oriente (lugar donde se llevó a cabo el estudio), en lo que respecta fitoplancton en la esclusa 1 hay gran dominancia de clorofitas seguidas por las cianofitas y por último las bacilariofitas, mientras que en el zooplancton existe gran abundancia de rotíferos, copépodos, cladóceros y ostrácodos. Esto quiere decir que, en el sistema de encuentra todo tipo de dieta para la especie a lo largo de todo el año.

Así mismo, se puede decir que el Factor de Condición da una estimación de las modificaciones temporales del buen estado de los peces bajo las influencias de factores externos (ambientales) e internos (fisiológicos), independientemente de la longitud y varía además, de acuerdo a la especie, sexo, morfotipo, edad, estado de madurez reproductiva, época del año y ambiente acuático (Granado, 1996).

Gómez-Márquez *et al.* (2008) menciona que el periodo con altos valores del FC para los peces es también el tiempo de incremento en biomasa de fitoplancton en los cuerpos de agua. Este aumento en fitoplancton puede jugar un buen papel en el medio ambiente indicando un acercamiento favorable a la temporada para mejor crecimiento y supervivencia de los organismos, mientras que los otros factores del medio ambiente pueden tener efectos indirectos.

Otro aspecto que puede tener alguna influencia sobre la supervivencia del pez es la talla a la primera reproducción, porque los machos son precoces comparados con las hembras, las cuales tienen un rápido periodo de crecimiento antes de la maduración y por lo tanto, altas tasas de crecimiento. Esto significa que los machos toman la ventaja de ser precoces y tienen un periodo corto reproductivo de vida, mientras que las hembras retardan un poco más la maduración.

De acuerdo a la talla de primera madurez sexual *G. viviparus* inicia su etapa reproductiva a los 38 mm en hembras y 29 mm para machos. Ojendis (1985) sólo menciona que la talla menor para el caso de las hembras fue de 34 mm, mientras que



Flores (1981) y Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez (1986) coinciden con una talla de madurez sexual en hembras de 30 mm. Cedillo (1997) reporta de manera muy superficial que la talla mínima de reproducción se presentó en primavera con 23 mm para hembras y 17 mm en otoño para los machos. Esta diferencia de tamaños entre los sexos probablemente se debe a que las hembras presentan un largo periodo de crecimiento antes de llegar a la maduración, alta longevidad y altas tasas de crecimiento, comparado con los machos, ya que éstos alcanzan su talla de madurez sexual en menor tiempo y por ende su etapa reproductiva.

Nikolsky (1963) y Lagler *et al.* (1984) mencionan que la madurez sexual está en función de la longitud de los individuos, la cual puede estar influenciada por la abundancia y disponibilidad del alimento, la temperatura, el fotoperiodo y otros factores ambientales que se presentan en los cuerpos de agua (factores extrínsecos) así como aquellos que aparecen en el propio pez, tales como la especie y su juego cromosómico como el factor hereditario, los alimentos seleccionados y el todo fisiológico del individuo (intrínsecos).

Para el análisis de la determinación de la época reproductiva de la especie en el sistema se utilizó el Índice Gonadosomático (IGS) y el Índice Hepatosomático (IHS), siendo éste último realizado sólo a las hembras, ya que es en el hígado de las mismas es donde se producen las vitelogeninas, proteínas que son depositadas en el folículo ovárico durante la madurez gonadal, por lo que es directamente proporcional al ciclo reproductivo de *G. viviparus*, es decir, a medida que aumentan los niveles de vitelogeninas de manera inmediata se da el ciclo reproductivo en las hembras y disminuye justo antes de expulsar a las crías, siendo un indicador de la puesta. Además de que contiene compuestos de calcio, los cuales ayudan a prevenir descalcificación en las hembras gestantes (Rodríguez, 1992).

El IGS para el caso de las hembras mostró incrementos de sus valores de marzo a abril (2008) y de igual intensidad en marzo (2009), lo cual indica la presencia de dos picos



reproductivos para *G. viviparus*, ambos picos se encuentran asociados a la temporada de secas.

Es probable que en regiones tropicales y subtropicales donde la variación de la temperatura y el fotoperiodo pueden ser mínimas, el periodo de lluvias parece ser el factor ambiental que influye en el ciclo reproductivo (Trewavas, 1983; Peterson *et al.*, 2004). En estas áreas, el incremento del nivel del agua en el sistema prevé de mejores sitios para las crías, así como de un abundante suministro de alimento. Los resultados presentados aquí sugieren que puede existir una relación positiva entre las variables ambientales y el ciclo reproductivo, como ya ha sido analizado anteriormente.

En las zonas tropicales los individuos desarrollan estrategias reproductivas, donde inician su actividad sexual, cuando los factores ambientales son propicios. De acuerdo a los resultados obtenidos durante el periodo de estudio, es en la época de lluvias donde se presentan los mayores picos de reproducción. Además, Burns (1985) dice que las pequeñas diferencias en el fotoperiodo pudieran afectar las capacidades reproductivas de peces nativos de las latitudes tropicales.

Smith (1980) menciona que existen individuos que adoptan estrategias reproductivas, por lo que la especie en estudio ha adoptado una estrategia de tipo K, al ser una especie que compite con poblaciones estables de individuos de larga vida; relativamente grandes y producen relativamente pocos huevos o descendencia. Los estratega K existen en ambientes donde la mortalidad se relaciona más a causas de densidad que a lo impredecible de las condiciones. Son especialistas, usuarios eficientes de su ambiente particular, pero sus poblaciones están en o cerca de su capacidad de carga y sus recursos son limitados.

De manera general, el IHS presentó valores elevados de marzo a abril (2008) y de enero a febrero (2009), dichos incrementos son necesarios para poder abastecer las demandas de los costos reproductivos que se presentan en los siguientes meses, donde la maduración de las gónadas es mayor.



Respecto a la etapa reproductiva, se observó que aunque también se llevó a cabo en julio, éste proceso continua a lo largo del año (aunque en menor proporción) y en lo que respecta al reclutamiento de las crías, este se presentó en la mayor parte del año; sin embargo, no se observa la presencia de crías de octubre a noviembre y de enero a marzo (2009).

Es por esto que la tendencia de los valores medios del IGS pueden ser usado como un buen indicador de la temporada de nacimiento de las crías en la población. Con base en el IGS, el IHS y los estados de desarrollo gonádico, es evidente que la reproducción ocurre durante la temporada de lluvias principalmente.

Para el análisis de fertilidad se consideró el número de embriones en la gónada, obteniendo para *G. viviparus*, un promedio de 17 embriones por hembra, con un coeficiente bajo de correlación del 43.35% entre la longitud patrón de las hembras y la fertilidad.

Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez (1986) reportan para la especie un promedio de 27 embriones por hembra; sin embargo, no coinciden con lo reportado en este estudio, al mencionar que existe una relación directa entre el tamaño de la madre y el número de crías.

Con respecto a la fecundidad, la cual permite conocer el potencial reproductivo de la especie, ya que es el número de óvulos y embriones que se lograrán en la siguiente camada. De acuerdo a los resultados obtenidos durante el periodo de estudio, osciló de 4 a 112, con un promedio de 30. Al relacionar esta variable con la longitud patrón, no se encontró relación entre la talla y el número de óvulos y embriones presentes en la hembra.

Las definiciones tradicionales de fecundidad no pueden ser aplicadas a los peces vivíparos debido a que la maduración de los ovocitos, huevos y embriones no aparecen simultáneamente, por lo que la fecundidad en estos organismos debe ser referida a los



huevos y embriones, en sus diferentes estadios en desarrollo encontrados al momento de su captura y preservación (Schoenherr, 1977).

Donde generalmente la fecundidad se refiere al complejo de los óvulos que pueden ser fertilizados durante el año, en el caso de *Poeciliopsis occidentales* la cual, presenta características muy similares a *G. viviparus*, en ambas especies la fecundidad se refiere al número de óvulos y embriones presentes en toda la etapa de desarrollo de la especie, donde los resultados obtenidos para cada variable permite deducir que el pez presenta un elevado grado de viviparidad (Schoenherr, 1977).

Los peces más grandes producen considerablemente mayor número de huevos que los peces pequeños, tanto en términos absolutos como relativos al tamaño corporal (número de huevos por gramo de peso corporal). Esto significa que la inversión energética en la reproducción tiende a ser más alta en los miembros más grandes de una especie. Las hembras más pequeñas tienden a invertir más en el crecimiento (particularmente alrededor del primer año de vida). En contraste, en los machos el tamaño de los testículos tiende a incrementarse en una forma lineal a lo largo de su vida. Sargent y Gross (1986, citado en Moyle y Cech, 2000) mencionan que esta es una razón mayor debido a que los machos tienen más energía para invertir en el cuidado paternal en comparación de las hembras, donde la mayor parte de su energía la ocupan en la producción de huevos.

Lagler *et al.* (1984) citan que la fecundidad de una hembra varía de acuerdo a muchos factores entre los que se encuentran la edad, el tamaño, la especie y las condiciones ambientales (disponibilidad de alimento, la temperatura del agua, así como la temporada del año).

Se ha reportado que la actividad reproductiva para la mayoría de las especies de poecilidos aumentan durante periodos de intensa iluminación (amanecer) o en la temporada de lluvias (Gómez-Márquez *et al.*, 2008). En este estudio, un mayor pico



reproductivo de *G. viviparus* está asociado con temperaturas cálidas, temporada de lluvias y niveles altos de la temperatura en el agua.

Por su parte, la relación entre la fecundidad y fertilidad con respecto a la talla y al peso indican que no existe relación entre éstas variables por lo que, se considera que la especie sólo tiende a la superfetación.

De acuerdo a Gómez-Márquez *et al.* (2008), la relación entre la fecundidad con el tamaño corporal no demuestra significativamente una correlación. Burns (1985) y Contreras-MacBeath y Ramírez Espinoza (1996, citado en Gómez-Márquez, 2008) descubrieron resultados similares para la superfetación de poeciliidos, en la cual un incrementó en tamaño no está necesariamente asociado con un aumento en el número de embriones.

Miller (1975, citado en Burns, 1985), señaló que la superfetación es común en *Poeciliopsis gracilis*, y por lo tanto, los embriones incluidos en la fecundidad estimados para una hembra dada estuvieron en diferentes etapas de desarrollo. Donde, el 25% de las hembras tuvieron varias camadas en la misma temporada reproductiva, lo que significa que *P. gracilis* es uno de los poeciliidos que mostraron superfetación. Sin embargo, para el caso de *G. viviparus* el porcentaje que se obtuvo durante este periodo de estudio fue del 15% de hembras superfetantes y de acuerdo con Burns (1985) no se puede decir que la especie sea superfetante, ya que para que esto ocurra debería de presentar como mínimo el 50% o más para que la especie se considere como tal, por lo que se puede mencionar que *G. viviparus* sólo presenta indicios de superfetación.

Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez (1986) mencionan que la superfetación se puede definir como la presencia de embriones en diferentes estados de desarrollo dentro del ovario, como consecuencia de la fertilización de óvulos en diferentes tiempos, la cual es posible porque el tejido ovígero sigue un desarrollo independiente, aun cuando haya embriones presentes y además por que el ovario es capaz de almacenar esperma viable. Lo que permite indicar que *G. viviparus* es una especie con superfetación



ocasional, al observarse solo en tres ejemplares (2.35%). Sin embargo, Mendoza (1962) considera que esta especie presenta superfetación aberrante y no ocasional.

FACTORES AMBIENTALES

La temperatura ambiental registró en la mayor parte del estudio valores similares a la temperatura del agua en el sistema; sin embargo, ésta última mostró ser ligeramente menor en la mayor parte del estudio, esto se debe principalmente a la capacidad de absorción de calor del agua (Hawkins, 1981). Durante el periodo de estudio se presentaron intervalos de temperaturas entre los 18.8 °C y los 28 °C, con respecto a ambas temperaturas.

Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez (1986) mencionan que la temperatura del agua en la cual debe mantenerse a *G. viviparus* nunca debe ser inferior a 19 °C. Godínez (2001) reporta un valor mínimo de 22.3 °C y un valor máximo de 26.6 °C durante el muestreo en Xochimilco, donde recomienda para la especie una temperatura óptima para su reproducción de 25.5 °C.

La temperatura tiene una influencia tanto directa como indirecta en los sistemas acuáticos y por lo tanto en los organismos que en ellos habitan, además de que tiene un papel trascendente en el sistema. Tiende a modificar el comportamiento de los organismos, su metabolismo, el crecimiento y reproducción de la especie.

Schoenherr (1997) cita que la temperatura y la duración del día influyen en la reproducción de *P. occidentalis* (especie vivípara) donde probablemente muchos parámetros ejercen una influencia dependiendo de las circunstancias en las que se encuentren las diferentes poblaciones de peces. Tal vez la temperatura del agua no varía y por lo tanto los peces responden a un incremento en fotoperiodo, ya que los factores muestran su influencia no solo en términos de proporción de peces que dan camada, sino también en el tamaño de la camada.



Lewis (2000) menciona que entre los factores más importantes para la reproducción de la especie en el sistema acuático esta la temperatura, ya que afecta directamente los procesos anabólicos y catabólicos del sistema y sus variaciones se encuentran en relación con la presencia o ausencia de gases fundamentales para los organismos. Es el factor que más influye en el sistema acuático y puede determinar, la densidad, viscosidad y movimiento del agua y representa un aspecto fundamental en la distribución y reproducción de los organismos, debido a que el agua presenta ciertas propiedades térmicas que tienen efecto sobre la homeostasis.

En muchos de los casos el metabolismo cambia en función de la temperatura, siendo un estímulo natural que determina el comienzo de algunos procesos como el desove, migración y reproducción entre otros (Nikolsky, 1963). Por lo tanto, entre los parámetros más importantes relacionados con los cambios en la tasa metabólica de los peces, está sin duda la temperatura del agua.

Respecto a la concentración mínima de oxígeno disuelto durante el periodo de estudio fue de 4 mg/L en la época de secas (enero) y la máxima de 16 mg/L, en la época de lluvias (julio). Estos datos coinciden con los reportados por Salazar (1981) con valores que van de 4.5 mg/L a 15 mg/L, siendo de enero a marzo la menor concentración de oxígeno disuelto y de julio a septiembre las máximas concentraciones. Por su parte, Flores (1991) y Terrón (1994) reportaron valores muy similares. Godínez (2001) reporta bajo condiciones controladas un valor máximo de 8.2 mg/L; sin embargo, en el Lago de Xochimilco donde fue capturada la especie, se registraron valores con intervalos entre 4.8 mg/L hasta más de 14 mg/L, además reporta que la concentración optima para la especie va de 5 a 6 mg/L.

Se puede decir, que los valores de concentración de oxígeno disuelto están dentro del rango de tolerancia para la especie. Por lo tanto, el oxígeno disuelto en el agua es necesario para la respiración de los organismos acuáticos, así también para el desprendimiento de la energía producto de la alimentación (Lagler, 1984).



Mientras que el pH es el resultado de las interacciones de los procesos bióticos y abióticos y es una medida de acidez, alcalinidad o neutralidad del agua (Romero-Rojas, 1999). De acuerdo al valor promedio de pH reportado (9.9) en el Lago de la Alameda Oriente se considera altamente básico. Los valores máximos (abril a junio y de enero a febrero) coinciden con la época de estiaje en la mayor parte del estudio, tendiendo a la basicidad, mientras que los valores mínimos se registraron en épocas de lluvias (julio a octubre) tendiendo a la disminución. Godínez (2001) solo menciona que se obtuvieron valores que no sobrepasaron un pH de 8.68, en el Lago de Xochimilco.

De acuerdo a lo reportado por Arredondo (1986), las aguas que presentan un pH entre 6.5 y 9 son las más apropiadas para el desarrollo de los peces, en cuanto a la reproducción y el crecimiento disminuyen en valores inferiores a 6.5 o mayores de 9.5; por debajo de 4, se presenta la muerte ácida y por encima de 11 se produce muerte alcalina. Sin embargo, no siempre es así, ya que en el caso de *G. viviparus*, se presentaron valores de hasta 10.5 (marzo-2009), lo cual indica que es capaz de tolerar niveles elevados de pH.

Wetzel (2001) por su parte establece que los lagos que tienen cantidades elevadas de carbonatos y bicarbonatos derivados de la disolución de la calcita (CaCO_3) propician el incremento en la alcalinidad total y el pH de los sistemas.

La dureza y la alcalinidad son parámetros que se encuentran en estrecha relación proporcional. De acuerdo a los valores obtenidos de la dureza total (90mg/L a 142 mg/L) en el cuerpo de agua, esta se clasifica como agua extremadamente dura, las cuales tienden a ser más productivas, estimulan los procesos de eutrofización, así también contribuyen al florecimiento de microalgas. Mientras que la alcalinidad presentó niveles mínimos en julio (260 mg CaCO_3/L) y máximos en febrero (870 mg CaCO_3/L), por lo que no existe relación directa entre las variables para este estudio.



La alcalinidad existe de forma natural en los sistemas acuáticos debido a procesos naturales, tales como: las lluvias, la acidificación de suelos con sulfato ácido (Kund-Hansen y Batterson, 1994).

Margalef (1983) menciona que la profundidad del cuerpo influye en la dureza total como en la alcalinidad, puesto que al aumentar ésta, la concentración de iones y aniones se diluye, dando como resultado valores bajos de ambos parámetros y viceversa, cuando la profundidad disminuye en el sistema, la concentración aumenta y se incrementan los valores de dureza total y alcalinidad.

Arredondo y Ponce (1998) señalan que las aguas que contienen 40 mg/L o más de alcalinidad total son consideradas más productivas, también señalan que existen correspondencias entre la alcalinidad y la disponibilidad de fósforo y otros nutrimentos.

La conductividad del agua es una medida en el contenido de sales electrolizables disueltas, las cuales aumentan con el movimiento de los iones a medida que se eleva la temperatura. Además es un parámetro que permite saber la cantidad de sólidos totales disueltos en el sistema (Arredondo, 1986).

Por ello, es que la conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se realice la determinación (Romero-Rojas, 1999). Los valores reportados durante el estudio oscilan entre los 1877 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Febrero-09), hasta 2928 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Abril-08), lo cual indica una elevada concentración de iones en el sistema acuático, así también muestra la relación directa que tiene con la alcalinidad total. Puesto que, a mayor carga iónica, se incrementa la conductividad del agua. En el estudio que llevó a cabo Terrón (1994) señala que la conductividad presentó su máximo valor en agosto en el embalse “La Goleta”; Godínez (2001) por su parte, reporta como valor mínimo 905 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 984 $\mu\text{S}/\text{cm}$ como valor máximo bajo condiciones controladas, mientras que en el lago de Xochimilco se registró el máximo valor de 1440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (noviembre).



Navarrete *et al* (2004) mencionan que en el estudio realizado por ellos registraron que en el lago de Zumpango y embalse Requena, México se obtuvieron los valores más altos de conductividad en comparación con los lagos de Chapultepec, D.F. y que esto se debe a que los dos primeros embalses reciben aguas negras e industriales de la ciudad de México, Tlanepantla y Cuautitlán. Sin embargo, los valores citados anteriormente no son de extrañarse, ya que todos los lagos urbanos del Valle de México reciben aguas tratadas, con la finalidad de mantener el nivel de agua de los mismos, por lo cual se puede explicar este comportamiento.

La conductividad permite dar una estimación del grado de mineralización del sistema con base en los diferentes iones que se encuentran presentes en el agua del sistema (Arredondo y Ponce, 1998). Algunos sistemas acuáticos del país presentan conductividades que oscilan entre los 20 y los 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en zonas de elevados índices de contaminación a veces llegan a ser excesivamente altos (Gómez, 2002).

Por lo tanto, a mayor concentración de iones se incrementa la conductividad del agua por lo que es un parámetro importante, al permitir estimar el grado de mineralización que tiene el agua (Arredondo, 1986).

De manera general se puede decir que el conocer el ciclo reproductivo de *G. viviparus* en este cuerpo de agua, la cual fue introducida a través de las aguas residuales al sistema, permite el poder proponer un mejor manejo para ésta especie y lograr su reproducción y conservación, ya que tiene una gran importancia histórica, al ser el primer pez nativo descrito por un investigador mexicano.

Así también representa una gran diversidad y reserva genética de sus poblaciones, en relación con los diferentes ambientes en los que se habita, por lo que la hace una especie de gran importancia para la fauna íctica dulceacuícola. Además, desde el punto de vista ecológico, en su hábitat natural *G. viviparus* al ser una especie eurifágica (algas, insectos acuáticos y crustáceos) ayuda a controlar otras poblaciones de organismos que podrían ser una plaga en el ecosistema.



Con base en los registros obtenidos durante el período de estudio (2008-2009) en el Lago de la Alameda Oriente para *Girardinichtys viviparus*, de manera general se puede decir que existe gran similitud con los estudios realizados por Salazar (1981), Ojendis (1985), Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez (1986), Flores (1991), Terrón (1994), Cedillo (1997). Es decir que los registros ambientales en los sistemas acuáticos donde existe la especie son muy semejantes a excepción de lo reportado por Salgado *et al.* (2004), quién reporta valores mucho más elevados de conductividad; además, menciona que el mexcalpique ha desaparecido en el embalse Requena y Zumpango, sistemas que reciben aguas negras e industriales. Miranda *et al* (2008) y Sedeño-Díaz y López-López (2009) también marcan ciertas diferencias en la talla tanto de las hembras como de los machos, al ser estas de menor tamaño. Lo cual indica, que actualmente el hábitat de la especie está siendo sometido y mermado a un mayor impacto ambiental.

De acuerdo a lo reportado por el Ing. Octavio López Maya de Sistemas de Aguas de la Ciudad de México, en el Lago Artificial de la Alameda Oriente para el 2006, se presentaron valores de sodio total de 938 mg/L, lo cual indica gran concentración de sales, provocando que el sistema sea altamente alcalino (básico). Este factor va de la mano con el pH, el cual también es elevado, lo cual puede influenciar fuertemente en la fertilidad y fecundidad de la especie.

Es importante mencionar que en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza se está llevando a cabo el cultivo de *Girardinichtys viviparus*, con alrededor de (20 ejemplares), bajo condiciones controladas, para su posterior reproducción. Se ha logrado adaptar a los organismos, a través de la disminución del pH de forma gradual, siendo en un inicio de 10 unidades hasta 8.5.

Finalmente la existencia de *Girardinichthys viviparus* en otros sistemas acuáticos de mayor tamaño o viceversa, aparentemente sugieren que pueden existir pequeñas diferencias de adaptación y desarrollo y que a pesar de ellas la especie sigue prevaleciendo hoy en día aunque se encuentre en peligro de extinción en la NOM-059-SEMARNAT-2010.



La Biología reproductiva de los Goodeidos ha sido poco estudiada y esta investigación permitirá el enriquecimiento y aprovechamiento adecuado de *G. viviparus* especie endémica del Valle de México, ya que el lago artificial de la Alameda Oriente es realimentado por la planta tratadora de aguas residuales, la cuales incorpora al sistema gran cantidad de nutrientes y probablemente presenta desechos químicos que *G. viviparus* ha logrado adaptar a las condiciones físico-químicas para su reproducción y desarrollo.

Cruz y Rodríguez (2006) mencionan que en las últimas décadas, el aumento en la población humana ha traído como consecuencia el incremento en el uso del agua y del uso de suelo para vivienda, lo que se ha traducido en la modificación y alteración de los lagos urbanos, hogar de muchas especies que, de una u otra forma, dependen de estos cuerpos de agua y que están desapareciendo poco a poco; tal es el caso del mexcalpique, que antiguamente habitaba la región de la mesa central del Valle de México y cuya distribución y abundancia se ha visto mermada y restringida severamente.

G. viviparus está considerado ya en peligro de extinción en la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010); debido a que el hábitat en donde se encuentra ha sido deteriorado, además de que su distribución y abundancia son inciertas en los diferentes cuerpos de agua de la cuenca del Valle de México, por lo cual, dentro de los objetivos planteados, aparte de analizar su biología reproductiva en este sistema, se le dio primordial importancia a su mantenimiento y manejo en cautiverio, con la finalidad de lograr la reproducción bajo condiciones controladas.



Se puede decir que hasta el momento, la FES Iztacala de la UNAM es de las pocas instituciones en donde la reproducción y mantenimiento de *G. viviparus* ha tenido éxito, aún a pequeña escala, dadas las limitaciones de espacio. Esto mismo se pretende llevar a cabo en la FES Zaragoza con una pequeña población de peces provenientes del lago de la Alameda Oriente, además de tratar de conservar la población para futuros estudios.

Por último, Sedeño-Díaz y López-López (2009) mencionan que es urgente proteger a esta población viviente de la cuenca del lago de Texcoco para evitar su desaparición, así como mejorar la calidad del agua de los lagos mediante la restauración del hábitat, para permitir en lo futuro el repoblamiento de la especie.



CONCLUSIONES

Con base en los datos obtenidos, la proporción sexual se vio favorecida para las hembras (1.28:1).

Para la población de *Girardinichthys viviparus* se obtuvo un crecimiento de tipo alométrico positivo, es decir, crece más en peso que en talla.

La talla de madurez sexual para hembras fue mayor (38 mm) que para machos (29 mm).

El Factor de Condición de Clark para la especie coincide con la época de reproducción y se registró dos picos máximos, en la temporada de lluvias (junio y septiembre) y en la temporada de secas (febrero).

El índice gonadosomático indicó dos picos reproductivos de mayor intensidad, ambos en épocas de secas (marzo-abril), mientras que el índice hepatosomático tuvo su valor máximo en el período de reproducción.

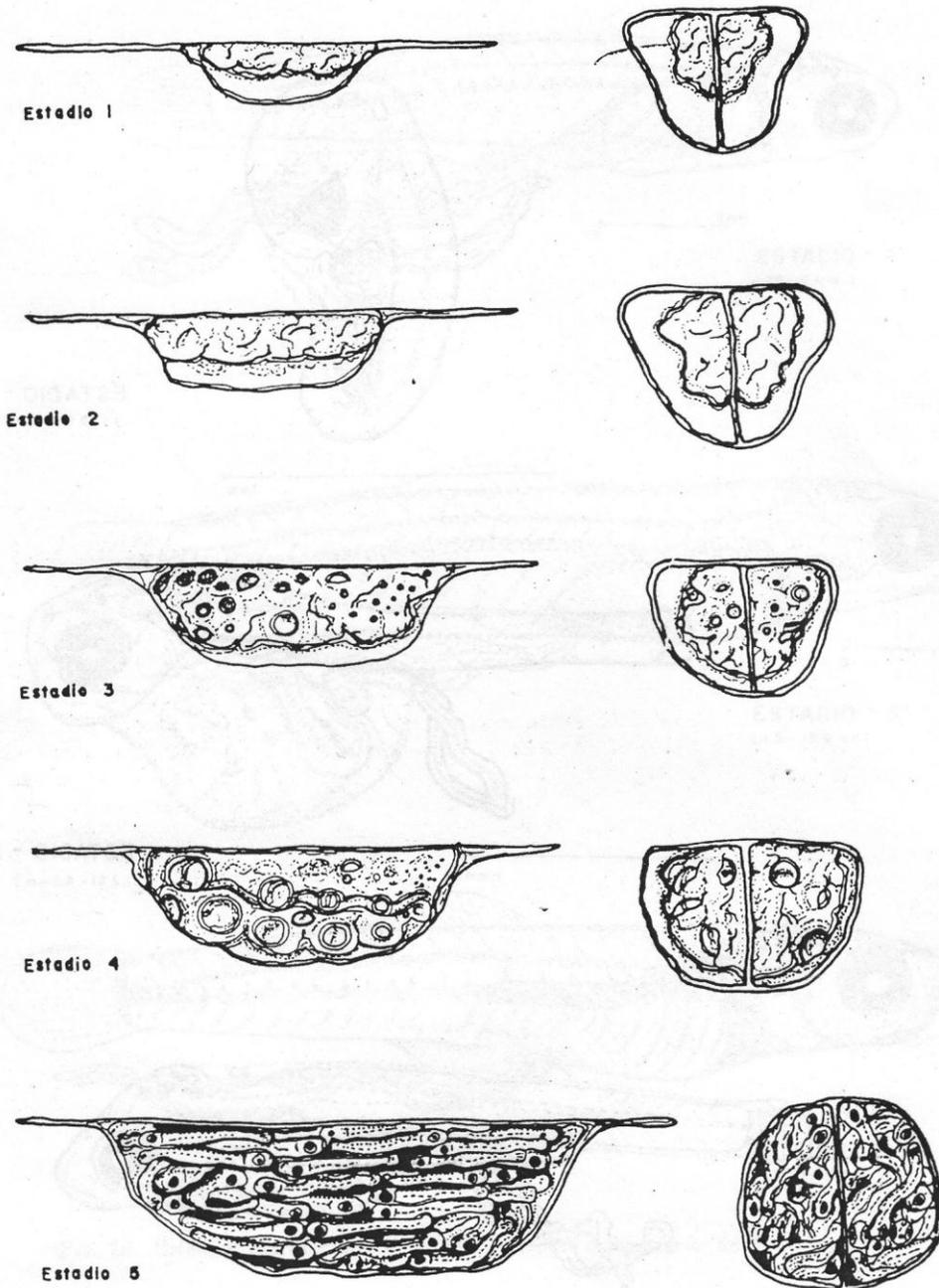
Con respecto a la fecundidad (No. de óvulos+ No. de embriones) se obtuvo un promedio de 30, cuyo coeficiente de correlación indica que no existe relación entre el tamaño del cuerpo y el No. de embriones.

La fertilidad para el mexcalpique fluctuó entre 3 y 56 embriones con un promedio de 17.

De acuerdo a la relación entre la fecundidad y fertilidad con la talla, se considera que la especie presenta indicios de superfetación.

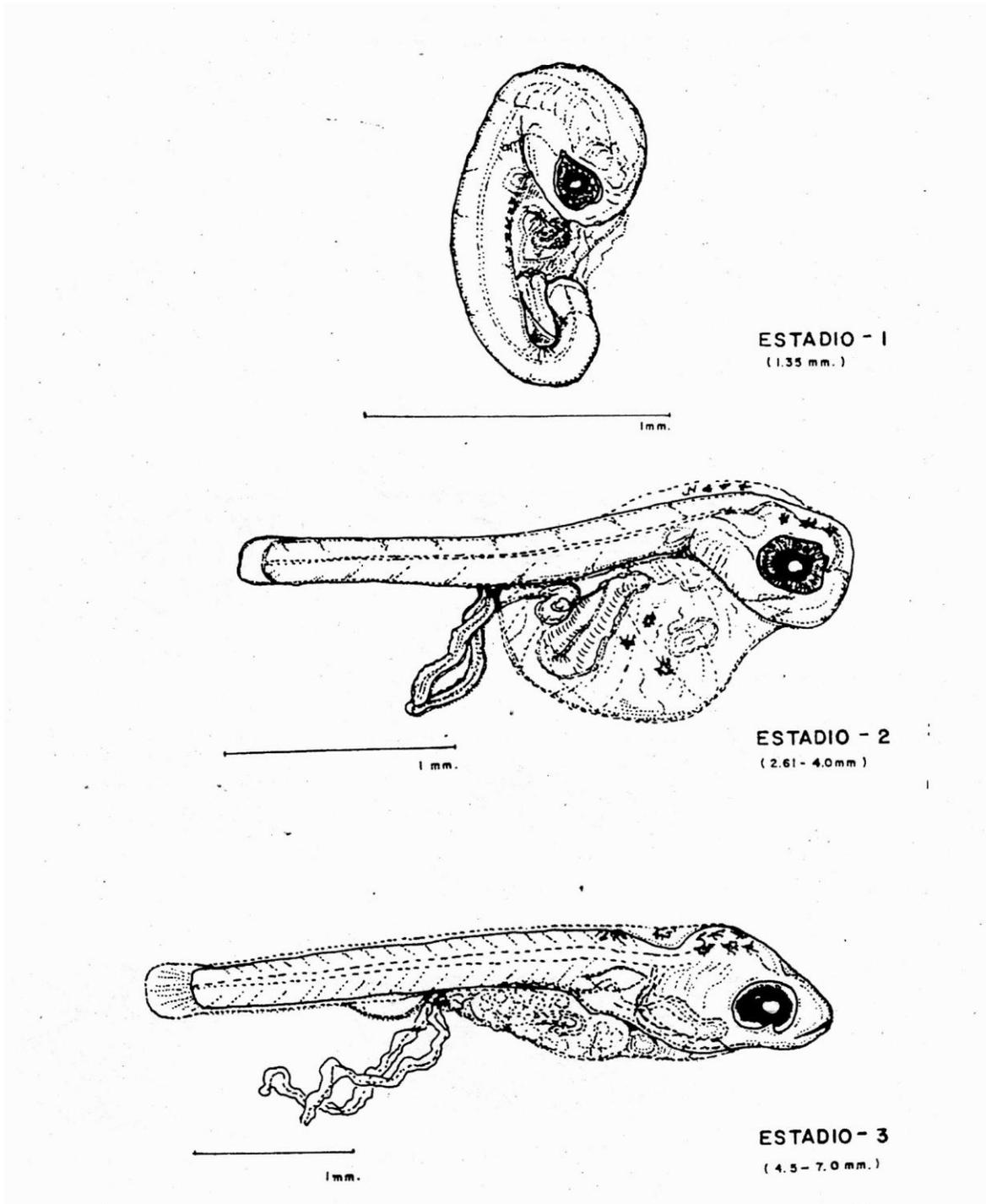
La calidad y condiciones del Lago Artificial de la Alameda Oriente son aptas para lograr la reproducción de la especie.

ANEXO 1

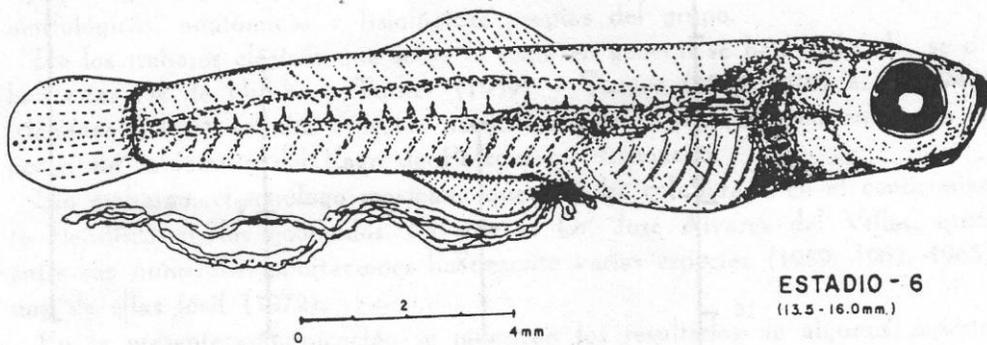
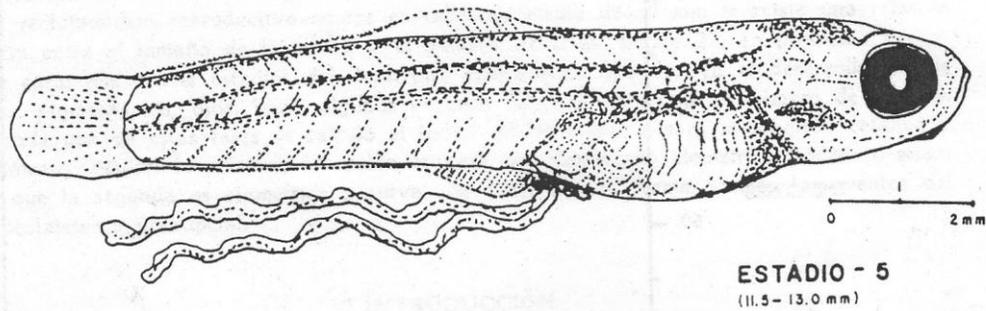
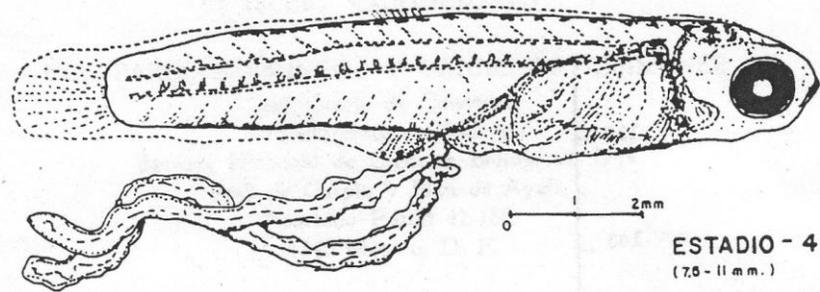


Corte sagital y transversal de los estadios de madurez ovárica en *Girardinichthys viviparus* (Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez, 1986).

ANEXO 2



Estadios representativos en el desarrollo embrionario de *Girardinichthys viviparus*
(Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez, 1986).



Estadios representativos en el desarrollo embrionario de *Girardinichthys viviparus*
(Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez, 1986).



LITERATURA CITADA:

- **Alcocer, D. J. y M. L. T. Flores. (1993).** Ictiofauna remanente del Lago de México. Actas del VI Congreso Español de Limnología. Granada. 315-321 p.
- **Álvarez, J. (1950).** Claves para la determinación de especies de peces de las aguas continentales mexicanas. Secretaría de Marina. Dirección General de Pesca Industria y Comercio, México, 144 p, 16 figuras.
- **Álvarez del Villar J. y L. Navarro. (1957).** Los Peces del Valle de México. Secretaría de Marina. Comisión para el fomento de la piscicultura rural. Dirección General de Pesca e Industrias Conexas, México. 62 p.
- **Álvarez, J. (1970).** Peces Mexicanos (Claves). Serie Investigación Pesquera, México. (1):1-166.
- **Arredondo, F. J. L. (1986).** Psicultura: Breve descripción de los criterios y técnicas para el manejo de calidad de agua en estanques de psicultura intensiva. Secretaría de Pesca. México. 182 p.
- **Arredondo, F. J. L y P. J. T. Ponce. (1998).** Calidad de agua en acuicultura conceptos y aplicaciones. Ed. AGT Editor. México. 120 p.
- **Burns, J. R. (1985).** The effect of low-latitude photoperiods on the reproduction of female and male *Poeciliopsis gracilis* and *Poecilia sphenops*. Copeia. 4: 961-965.
- **Castro-Aguirre, J. L. y E. F. Balart. (1993).** La ictiología en México: pasado presente y futuro. Rev. Soc. Méx. Hist. Nat. (Vol. especial): 327-343.
- **Cedillo, D. B. E. (1997).** Crecimiento, reproducción, supervivencia y ontogenia de *Girardinichthys viviparus*: Blecker, 1860 (Goodeidae), en el embalse de "Los Arcos". edo. de México. Tesis de Licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM. México. 6 5p.
- **Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO 2002).** Estrategia Nacional Sobre Biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. D. F. México 103 p. <http://www.conabio.gob.mx/>.
- **Conover, D. O. y B. E. Kynard. (1981).** Environmental sex determination: interaction of temperature and genotype in a fish. *Science* 213: 577-579.



- **Conover, D.O. (1984).** Adaptative significance of temperature-dependent sex determination in a fish. *The American Naturalist* 123(3): 297-313.
- **Contreras-Balderas, S. y P. Almada-Villela. (1996).** *Girardinichthys viviparus*. In: IUCN 2007. 2007 IUCN Red list of threatened species. Disponible en <http://www.iucnredlist.org>. Revisado 8 enero 2008.
- **Cruz, G. y A. V. Rodríguez. (2006).** El Mexcalpique, en peligro de extinción, se reproduce y mantiene en Iztacala. *Gaceta Iztacala, UNAM*, Núm. 287: 2.
- **De Buen, F. (1941).** Un Nuevo Género de la Familia Goodeidae Perteneiente a la Fauna Ictiológica Mexicana. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. ENCB-IPN. Vol. II* 133-141 p.
- **De la Luz, G. G. (1990).** Estudio poblacional de *Girardinichtys viviparus* (Bustamante, 1937) en el Lago Nabor Carrillo Texcoco, Edo. de México (Teleostei: Goodeidae). Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM, México. 65p.
- **De la Vega-Salazar, M.Y., L. Martínez-Tabche, y C. Macías-García. (1997).** Bioaccumulation of methyl parathion and its toxicology in several species of the freshwater community in Ignacio Ramirez dam in Mexico. *Ecotox. Environ. Safety* 38: 53-62.
- **De la Vega-Salazar, M. Y., E. Ávila-Luna y C. Macías-García. (2003a).** Ecological evaluation of local extinction: The case of two genera of endemic fish, *Zoogoneticus* and *Skiffia*. *Biod. and Conserv.* 12: 2043-2056.
- **De la Vega-Salazar, M. Y. (2006).** Estado de conservación de los peces de la familia Goodeidae (Cyprinodontiformes) en la mesa central de México. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.)* 54 (1): 163-177.
- **De Vlaming, V., G. Grossman y F. Chapman. (1982).** On the use of the Gonadosomatic Index. *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 73. A. 1:31-39.
- **Devlin, H. R. y Y. Nagahama. (2002).** Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. *Aquaculture* 208: 191–364.
- **Diario Oficial de la Federación. (2010).** NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión,



exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Jueves 30 de diciembre de 2010, Segunda Sección. 78 p.

- **Díaz-Pardo, E. y D. Ortiz-Jiménez. (1986).** Reproducción y ontogenia de *Girardinichthys viviparus* (Pisces:Goodeidae). An. Esc. Nal. de Cienc. Biol., IPN, México, D.F. 30(1-4): 45-66.
- **Díaz-Pardo, E. (2002).** *Girardinichthys viviparus*. Peces en riesgo de la Mesa Central de México. Laboratorio de Ictiología y Limnología, Departamento de Zoología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto W039. México. 2-6 p.
- **Domínguez, D. O. y G. P. de L. Pérez. (2007).** Los goodeidos, peces endémicos del centro de México. CONABIO. Biodiversitas 75: 12-15.
- **Eiggenmann, C. H. (1909).** The freshwater fishes of Patogenia and examination of the Archiplat-Archilensis theory. Rept. Princeton Univ. Exp. Patogenia. 1896-1899. 3 (3):227-274.
- **Espinosa, P. H., P. M. Fuentes y T. D. Gaspar. (1993a).** Notes on Mexican Ichthyofauna, Biological Diversity of México. 229-251. *En:* T. P., Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (Eds). Biological Diversity of Mexico. Origen and Distribution. Oxford University Press. New York. 812p.
- **Espinosa, P. H., P. M. Fuentes y T.D. Gaspar. (1993b).** Listados Faunísticos de México. III. Los peces dulceacuícolas mexicanos. Instituto de Biología, UNAM. México. 99 p.
- **Flores, T. M. L. (1981).** Contribución al conocimiento de la ictiofauna de los tres lagos de Chapultepec, México, D.F. Tesis Lic. UNAM. ENEP-Iztacala. 79 p.
- **Fernández, E. G., N. A. Navarrete-Salgado J.L. Fernández-Guzmán y G. R. Contreras. (2006).** Crecimiento, abundancia y biomasa de *Poecilia reticulata* en el Lago urbano del parque Tezozomoc en la Ciudad de México. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 12(2):155-159.
- **García, E. (2004).** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen. Instituto de Geografía. UNAM. México. Num.6.
- **Gaspar-Dillanes, M. T. (2005).** La Ictiología en México. Un punto de vista de la Sociedad Ictiológica Mexicana A.C. (SIMAC). ISSN: 1067-6079. 6(10): 2-6.



- **Godínez, T. F. (2001).** Estudio de las condiciones ambientales que favorezcan el mantenimiento y reproducción del mexclapique *Girardinichthys viviparus* (Goodeidae), en condiciones de laboratorio. Tesis de Licenciatura ENEP. Iztacala. UNAM. México. 50 p.
- **Gómez, M. J. L (2002).** Estudio limnológico-pesquero del Lago Coatetelco, Morelos, México. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. UNAM. 181 p.
- **Gómez-Márquez, J. L., B. Peña-Mendoza, I. H. Salgado-Ugarte, A. K. Sánchez-Herrera y L. Sastré-Baez. (2008).** Reproduction of the fish *Poeciliopsis gracilis* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae) in Coatetelco, a tropical shallow lake in Mexico. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol.)* 56 (4): 1801-1812.
- **Granado, L. C. (1996).** Ecología de Peces. Universidad de Sevilla. Secretariado de Publicaciones. España. 353 p.
- **Guerra, M. C. (2000).** RIP José Álvarez del Villar. *Soc. Ictiol. Mex. A.C. Publicaciones Ocasionales.* 3: 34-36.
- **Guerrero-Estévez, S. y N. Moreno-Mendoza. (2010).** Sexual determination and differentiation in teleost fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries.* doi 10.1007/s11160-009 -9123-4.
- **Howkins, A. D. (1981).** Aquarium system. Academic Press, London. 452 p.
- **Jordan, D. y C. Gilbert. (1883).** Synopsis of the fishes of North America. *Bull. U. S. Nat. Mus.* (16):1-1018.
- **Jordan, D. y B. Evermann. (1896-1900).** Checklist of the fishes and fishlike vertebrates of north and Middle America North of the Northern boundary of Venezuela and Colombia. *Rept. U. S. Comm. Fish.* 1928. (2):1-670.
- **King, M. (1995).** Fisheries Biology, Assessment and Management. Fishing News Books. Engalnd, 341 p.
- **Kund-Hansen, F. C. y T. R. Batterson. (1994).** Effect of fertilization frequency on the production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 123: 271-280.
- **Lagler, K. F., J. E. Bardach, R. R. Miller y D. R. M. Pasi6n. (1984).** Ictiología. A G T editor, S.A. 489 p.



- **Lewis, W. M. (2000).** Basis for the protection and management of tropical lakes. Lakes and Reservoirs: *Research and Management* 5:35-48.
- **Lyderad, C. y R. L. Mayden. (1995).** A diverse and endangered aquatic ecosystem of the Southeast United States. *Conserv. Biol.* 9: 800-805.
- **López-López, E. y J. Paulo-Maya. (2001).** Changes in the fish assemblage in the upper Río Ameca México. *J. Freshw. Ecol.* 16: 179-187.
- **Margalef, R. (1983).** Limnología. Ediciones Omega, Barcelona. España.
- **Marques, de C. M. J. (1991).** Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico-Biológicas. McGraw-Gill. Interamericana de México. 657 p.
- **Meek, S. E. (1902).** A Contribution to the Ichthyology of México. *Field. Columb. Museum of Chicago. Zool. University of Chicago* 3(6): 63-128.
- **Meek, S. E. (1904).** The freshwater fishes of México North of the Isthmus of Tehuantepec. *Field Col. Muse. Publ. Zool. Series, V. Situation of Girardinichthys viviparus.* 252 p.
- **Méndez-Sánchez, J. F., E. G. Soto, J. P. Maya y H. M. A. Hernández. (2002).** Ictiofauna del Estado de México. *Ciencia Ergo Sum. UAEM, Toluca, México* 9: 87-90.
- **Mendoza, G. (1962).** The reproductive cycles of three viviparous Teleosts *Allophorus robustus*, *Goodea huipoldiimand* and *Neophorus diazi*. *Biol. Bull.* 123(2): 361-365.
- **Miller, R. R. (1986).** Composition y derivation of the freshwater fauna of México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. ENCB-IPN* 30: 121-153.
- **Miller, R. R., W. L. Minckley y S. M. Norris. (2005).** Freshwater fishes of México. University of Chicago Press, Ltd., London 490p.
- **Miranda, R., D. Galicia, G. Pulido-Flores y S. Monks. (2008).** First record of *Girardinichthys viviparus* in Lake Tecocomulco, Mexico. *Journal of Fish Biology* 73; 317–322.
- **Montaño, S. I. (2010).** Aspectos Hidrobiológicos en dos esclusas del Lago Artificial de la Alameda Oriente. Tesis Licenciatura. UNAM. ENEP-Zaragoza. México, D. F. 92 p.



- **Moyle, P. B. y J. J. Cech. (2000).** Fishes an Introduction to Ichthyology. Department of wildlife, Fish, and Conservation Biology. University of California, Davis. Prentice-Hall Inc. Nueva Jersey 612 p.
- **Navarrete-Salgado, N. A., G. Contreras-Rivero y G. Elías-Fernández. (2003).** Abundancia y estado sanitario del mexclapique (*Girardinichthys viviparus* Bustamante) en cuerpos de agua del centro de México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(2): 143-146.
- **Navarrete, S. N., G. R. Contreras, G. F. Elías y M. L. B. Rojas. (2004).** Situación de *Girardinichthys viviparus* (especie amenazada) en los lagos de Chapultepec, Zumpango y Requena. Revista de Zoología, UNAM. No. 15: 1-6.
- **Nikolsky, D. V. (1963).** The ecology of fishes. Academic Press, New York. 532 p.
- **Nelson, J. S. (1994).** Fishes of the world. 3rd ed. John Wiley and Sons, Inc. New York. 587 p.
- **Ojendis, G. V. M. (1985).** Contribución al conocimiento de la biología del mexclapique (*Girardinichthys viviparus*) con algunos aspectos ecológicos de la parte norte del Ex -Lago de Texcoco. Tesis de Licenciatura. UNAM. ENEP-Iztacala. 55 p.
- **Pauly, D. (1984).** Fish population dynamics in tropical waters: A manual for use with programmable calculators. International Center for Living Aquatic Resources Management, Studies and Reviews 8, Manila, Philippines, 325 p.
- **Peterson, M.S., W.T. Slack, N.J. Brown-Peterson y J.L. McDonald. (2004).** Reproduction in Nonnative Environments: Establishment of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, in Coastal Mississippi Watersheds. Copeia 2004(4): 842-849. doi: 10.1643/CE-04-134R1.
- **Ricker, W. E. (1979).** Growth rates and models: 677-743. En: W.S. Hoar, D.J. Randall y J.R. Brett (eds.). Fish Physiology. VIII. Academic Press, London.
- **Rodríguez, G. M. (1992).** Técnicas de Evaluación Cuantitativa de la Madurez Gonádica en Peces. Ed. AGT, México. 79 p.
- **Romero, H. (1967).** Catálogo sistemático de los peces del Alto Lerma con descripción de una nueva especie. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. ENCB-IPN, México. 14: 47-80.



- **Romero-Rojas, J. A. (1999).** Calidad del agua. Escuela Colombiana de Ingeniería. 2ª Edición. Alfaomega Grupo Editor, México. 273 p.
- **Salazar, M. E. (1981).** Contribución al conocimiento de la biología de *Girardinichthys innominatus*, Bleckes, 1860 (Pisces:Goodeidae) del Embalse Requena, Edo, de Hidalgo. Tesis Licenciatura. FES-Iztacala. UNAM, México. 52 p.
- **Salgado, U. I. (1992).** El Análisis Exploratorio de Datos Biológicos, Ed. UNAM, México.
- **Salgado, N. N., R. G. Contreras y F. G. Elías. (2004).** Situación de *Girardinichthys viviparus* (especie amenazada) en los Lagos de Chapultepec, Zumpango y Requena. Revista de Zoología. UNAM. No. 015: 1-6 p.
- **Schueler, T. y J. Simpson. (2003).** Why urban Lakes are different. Watershed Protection Techniques 1 (2): 747–750.
- **Schoenherr, A. (1997).** Density dependet and density independt regulation of reproduction in the gila topminnow, *Poeciliopsis occidentalis* (Baird and Girard). Ecology. 58: 438-444.
- **Sedeño-Díaz, J. L. y E. López-López. (2009).** Threatened fishes of the world: *Girardinichthys viviparous* (Bustamante 1837) (Cyprinodontiformes: Goodeidae). Environ Biol Fish (2009) 84:11–12. DOI 10.1007/s10641-008-9380-4.
- **Shoemith, E. (1990).** A comparison of methods for estimating mean fecundy. Journal Fish Biology. 36:29-37.
- **Smith, R. L. (1980).** Ecology and field Biology. 3rd ed. Harper and Row, Publishers, New York, 473-474 p.
- **Soria-Barreto, M., Alcántara-Soria, L. y E. Soto-Galera. (1996).** Ictiofauna del estado de Hidalgo. Zoología Informa. (33): 55-78.
- **Soto, G. C. (1953).** Peces de la Cuenca de México. Tesis de Licenciatura. Instituto de Biología, UNAM. México. 44 p.
- **Soto-Galera, E., J. Paulo-Maya, E. López-López, J. A. Serna-Hernández y J. Lyon. (1999).** Changes of fish fauna as indicator of aquatic ecosystem condition in Río Grande de Morelia-Lago de Cuitzeo basin, Mexico. Environ. Management. 24: 133-140.



- **Strüssmann, A. C., J. C. C. Calsina, G. Phonlor, H. Higuchi y F. Takashima. (1996).** Temperature effects on sex differentiation of two South American atherinids, *Odontesthes argentinensis* and *Patagonina hatchery*. *Environmental Biology of Fishes*. 47:143-154.
- **Terrón, R. A. A. (1994).** Estudio Biológico de *Girardinichthys viviparus* (Pisces:Goodeidae) en el embalse “La Goleta” Estado de México. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala. UNAM. México. 125 p.
- **Trewavas, E. (1983).** A review of the Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. *Bulletin of the Britain Museum of Natural History Zoology*. Comstack Publishing Associates. New York. 536 p.
- **Turner, C. L. (1933).** Viviparity, superimposed upon ovoviviparity in the Goodeidae. A family of cyprinodont teleost fishes of the Mexican Plateau. *Jour. Morphology*. 55(2). 207-251 p.
- **Van Aerle R., T. J. Runnalls y C. R. Tyler. (2004).** Ontogeny of gonadal sex development relative to growth in fathead minnow. *Journal of Fish Biology* 64: 355–369.
- **Vázquez-Gutiérrez, F. (1993).** Desarrollo Industrial de las Cuencas en México. Curso de Limnología Aplicada. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. D.F. México. 34-39 p.
- **Vega-López, A., E. Ortiz-Ordoñez, E. Uría-Galicia, E. L. Mendoza-Santana, R. Hernández-Cornejo, R. Atondo-Mexia, A. García-Gasca, E. García-Latorre y M. L. Domínguez-López. (2007).** The role of vitellogenin during gestation of *Girardinichthys viviparus* and *Ameba splendens*; two goodeid fish with matrotrophic viviparity. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A* 147 (2007) 731–742.
- **Wetzel, R. G. (2001).** *Limnology: Lake and River Ecosystems*. Third Edition. Academia Press 187-204 p.
- **Wootton, J. R. (1990).** *Ecology of teleost fishes*. Fish and Fisheries Series 1. Chapman y Hall. New York. USA. 404 p.
- <http://www.alamedaoriental.df.gob.mx/historia/index.html> 12 de febrero 2009.