



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“Conducta social de *Xiphophorus
montezumae* (Pisces:Poeciliidae) en
diferentes ambientes sociales”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

B I O L O G A

P R E S E N T A:

MARÍA DEL CARMEN PICHARDO JUÁREZ.



Directora de Tesis.
Doctora Guillermina Alcaraz Zubeldía

2004



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR



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.



Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Richardo Juárez

María del Carmen

FECHA: 12 Noviembre 2004

FIRMA: [Signature]

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

"Conducta social de *Xiphophorus montezumae* (Pisces: Poeciliidae) en diferentes ambientes sociales."

realizado por RICHARDO JUAREZ MARIA DEL CARMEN

con número de cuenta 09615078-0 , quien cubrió los créditos de la carrera de: BIOLOGIA

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis Propietario Dra. Guillermina Alcaraz Zubeldía

Propietario Dr. Fernando Alvarez Noguera

Propietario M. en C. Maribel Badillo Alemán

Suplente M. en C. Sebastian Ricardo Zuñiga Lagunes

Suplente Biol. Karla Kruesi Cortés

[Signatures: Fernando Alvarez, Sebastian Ricardo Zuñiga Lagunes, Karla Kruesi Cortés]

Consejo Departamental de Biología

M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

[Signature of Juan Manuel Rodríguez Chávez]





DEDICATORIAS

A mi Mamá y a mi Papá

Gracias por haberme dado la vida, por haberme enseñado a ser una gran mujer que ha salido airosa en cada meta que se propone, por que ustedes son un gran ejemplo para mí, por su apoyo incondicional, ayuda, entendimiento, amor, espero que estén orgullosos de mí como siempre lo esteré yo de ustedes. *Los Amo.*

A mi Hermano

Por aquellos momentos en los que gozamos el ser hermanos con risas, enojos, y gritos pero al fin siendo los hermanos más unidos, por que nunca te dejaré caer, espero que tu nunca me abandones.

A ti Paloma

Por que en tampoco tiempo de conocernos me has brindado la confianza, y apoyo en situaciones tanto buenas como malas "gracias".

A usted Maestra Cris

Por el apoyo que me ha brindado siempre, por haber encontrado en usted alguien más que una buena amiga, y por que nunca perdamos contacto, *la quiero mucho.*

A ti Manolo

Por ser el padre de mi hijo, mi compañero y para que pronto realices tu tesis.

A ti Hijo

Por ser mi razón de existir, por haberme convertido en la mujer más dichosa del mundo, por que gracias a ti aprendí a sacar fuerzas de la nada para enfrentar todo lo que se interpusiera en mi camino, con el afán de que algún día que estés más grandecito y que aprendas a leer entiendas lo que te escribí aquí y te des cuenta que a tu madre no hay barrera que la detenga esperando que te sientas orgulloso de mí por siempre. *Te amo mucho.*

AGRADECIMIENTOS

A la directora de tesis, Dra. Guillermina Alcaraz Zubeldía, por el apoyo y la asesoría en la realización del presente estudio así como también por haber sido la persona que me mostrara el camino de la tolerancia.

A los miembros del sínodo, Dr. Fernando Alvarez Noguera, M. en C. Maribel Badillo Alemán, M. en C. Sebastián Ricardo Zúñiga Lagunes y Biol. Karla Kruesi Cortés por sus comentarios y consejos para mejorar este trabajo.

A M. en C. Maribel Badillo por el apoyo brindado a lo largo de la espera para mi titulación, así como por haberme escuchado en aquellos momentos en los que la desesperación era mi compañera.

A Biol. Karla Kruesi por el apoyo para el manejo de con los equipos de video y computo y por los ánimos brindados durante el tiempo de realización del trabajo.

A M. en C. Julio Prieto por el apoyo en el análisis y procesamiento de los resultados.

A los Sres. Jesús Sáenz, Coordinador de Servicios del taller mecánico de la Facultad de Ciencias, y Benjamín Díaz por su apoyo en la construcción de los tanques experimentales.

A la Facultad de Ciencias por el haber sido parte de mi vida y más aún por haber incrementado mi interés hacia la Ciencia.

A mis compañeros del taller Ecología de organismos acuáticos, Alfredo, Jenny, Alejandra, Tulio, Laura, Laurita, Juan Carlos y Lilia por los momentos de sonrisas y diversión durante las prácticas de campo así como en clases.

A ti Alma Mendoza Ponce por que sin tus consejos, apoyo y cariño nunca hubiera conocido la verdadera amistad espero que la conservemos por siempre.

A mis amigos Marce, Lupe, Olga, Cesiah, Monica, Teco, Charcho, Julián, Logan, Roberto por los momentos inolvidables llenos de dicha que con risas y entusiasmo me ayudaron a estar donde me encuentro ahora llena de nuevas metas.

A los Profesores con los que tome clases por dejar huella en mí dados sus amplios conocimientos ¡ Gracias ¡.

A todas las personas que de alguna manera estuvieron apoyándome e incitándome a terminar la carrera para tener un mejor futuro, se los agradezco de corazón.

INDICE

RESUMEN . . . 6

INTRODUCCIÓN . . . 7

Ubicación taxonómica . . . 16

Características generales de la familia Poeciliidae . . . 16

Características generales del género *Xiphophorus* . . . 18

OBJETIVOS . . . 25

METODOLOGÍA . . . 26

Colecta . . . 26

Mantenimiento y aclimatación . . . 27

DESARROLLO DEL EXPERIMENTO . . . 27

Descripción del sistema experimental . . . 27

Tratamiento previo de los organismos al experimento . . . 28

Fase experimental . . . 31

Registro y descripción de conductas . . . 31

RESULTADOS . . . 34

DISCUSIÓN . . . 46

CONCLUSIONES . . . 57

LITERATURA CITADA . . . 59

RESUMEN.

Una gran variedad de estudios se han enfocado a describir la conducta de los individuos para obtener pareja. Sin embargo, solo algunos de estos consideran el efecto de las interacciones sociales en la conducta. Ante la presencia de dos o más machos la hembra tiende a seleccionar pareja de acuerdo a los atributos de los individuos. Así en presencia de dos o más machos la competencia intrasexual juega un papel preponderante, disminuyendo la importancia de la selección de las hembras.

Por ello el presente trabajo tuvo como objetivo conocer la conducta social de hembras y machos de *Xiphophorus montezumae* en un ciclo de 24 horas, en diferentes ámbitos sociales: hembra/macho (AS1) y macho/hembra/macho (AS2).

Los experimentos se realizaron en un acuario dividido en dos o tres compartimientos iguales, de acuerdo al ámbito social, con ayuda de placas polarizadas de acrílico. Los peces permanecieron por 24 horas en estos compartimientos (tiempo de aclimatación). Se retiraron las placas y se filmaron las conductas de los peces por periodos de 10 minutos durante 24 horas. En la actividad videograbada de los organismos se analizó la variación en la frecuencia de la expresión de las conductas sociales en 24 horas con ayuda del programa Cosinor. Este programa permitió determinar los puntos de mayor y menor actividad de la conducta de los peces, tanto de hembras como de machos.

Las conductas de los organismos se agruparon en diferentes categorías. En los machos se registraron conductas reproductivas, las cuales incluyen conductas de acoso y cortejo. En cuanto a las conductas de las hembras éstas se agruparon como conductas de rechazo y aceptación, mientras que en AS2 se cuantificaron las conductas antagónicas de los machos.

Los resultados reflejaron que en AS1 la frecuencia las conductas reproductivas del macho fueron menores que en AS2 pero más exitosas, aunque los rechazos de las hembras fueron constantes. En AS2 primero se estableció una jerarquía de dominancia entre los machos y posteriormente se dieron las conductas reproductivas al igual que los rechazos de la hembra. En cuanto a la alimentación en los dos ámbitos sociales es variable, ya que depende de la actividad conductual de los peces en cuanto a actividades de rechazo, reproductivas y antagónicas se refiere.

Por lo tanto, en este estudio se describieron comportamientos sociales de la especie, lo que amplía el conocimiento acerca de la Etología (estudio de la conducta) de machos y hembras de *Xiphophorus montezumae* y proporciona una base para nuevas preguntas acerca de este tema.

INTRODUCCIÓN.

El comportamiento de los animales es un tema que siempre ha resultado fascinante para el hombre. Los animales han despertado interés tanto por las llamativas manifestaciones que se pueden observar en la naturaleza, como por la necesidad de comprender y controlar sus conductas. El estudio científico del comportamiento animal es relativamente reciente; como muchos otros temas en el campo de la Biología, recibió su principal impulso con la obra de Charles Darwin. En "El Origen de las Especies", Darwin incluyó un capítulo sobre el "instinto", término utilizado en su tiempo para hacer referencia a la conducta natural de los animales. Escribió también un libro dedicado específicamente a la conducta titulado "*La expresión de las emociones en el hombre y los animales*" (*The expression of the emotions in man and in animals*). A pesar de esto, durante los siguientes cincuenta años después de la publicación del libro de Darwin se investigó poco en este terreno, mientras los zoólogos pugnaban por comprender los principios fundamentales de la sistemática, la fisiología y la biología del desarrollo.

Se sabe, que cuando a partir de que se llama Etología al estudio de la conducta animal, cada especie tiene una serie de patrones de conducta estereotipados, algunos de los cuales puede compartir con otras especies relacionadas, sin dejar por eso de poseer otros que le son únicos. Sin

embargo, describirlos y reconocerlos cada vez que aparecen no es tan difícil como podría parecer a primera vista (Slater, 2000).

La conducta varía por muchos factores, uno de ellos es la iluminación ambiental que no sólo permite a los organismos reconocer las formas que lo rodean, sino también influye en el desempeño fisiológico y conductual, así como en el mantenimiento de ritmos biológicos con diferentes periodicidades, como son los diurnos y anuales (Brady, 1979).

En este sentido es de crucial importancia el sistema fotoneuroendocrino concepto propuesto por Scharrer (el descubridor de la neurosecreción) en 1964. Este sistema se encarga de integrar información intrínseca y extrínseca para el control de las funciones autónomas en organismos invertebrados y vertebrados. Dicho control está mediado por una parte del sistema óptico diferente del de la visión y los reflejos ópticos. Se puede considerar, en cuanto a vertebrados se refiere, que el sistema fotoneuroendocrino se conforma por tres niveles: uno que comprende conexiones desde la retina que van hacia áreas concretas del hipotálamo (retino-hipotalámicas); otro localizado en regiones del diencefalo y por último el órgano pineal. Cada uno de tales niveles posee células que llevan a cabo una fotorrecepción no visual; cuya ubicación se da en la retina para el primer nivel nombrado; esparcidas en el diencefalo para el segundo y dentro de la glándula pineal en el tercero. En cuanto al órgano pineal, en vertebrados no mamíferos contiene células

directamente fotorreceptoras, llamadas pinealocitos que son parecidas a los conos de la retina, pero con la capacidad adicional de secretar una hormona a la sangre, llamada melatonina, en respuesta a la luminosidad ambiental (Brady, 1979).

La sincronización fisiológica y de comportamiento en relación con la luminosidad ambiental se estableció pronto y perduró en la evolución del sistema nervioso central. Aún sin conocer las bases funcionales, es probable que el concepto de la periodicidad funcional dependiente de los fenómenos naturales y ambientales haya sido comprendido ya desde la época primitiva. El calendario egipcio se inventó hacia el 4200 a. C. y el tiempo y la variación periódica de los fenómenos biológicos en la salud y la enfermedad ocupaban un lugar muy importante en las doctrinas de los médicos de la antigüedad. Estos conceptos fueron recogidos y ampliados con observaciones propias por los naturalistas griegos. Así, por ejemplo, Aristóteles y más tarde Galeno escribieron sobre la periodicidad del sueño y la vigilia, centrándola en el primero en el corazón y luego en el cerebro. Diversas situaciones nos recuerdan periódicamente la importancia de nuestros relojes biológicos internos. Los cambios de horario que tienen lugar en otoño y primavera son una muestra de ello (Alcock, 1998).

No obstante a lo largo de la historia, la aproximación científica a la naturaleza de los ritmos biológicos ha dependido de la disponibilidad de instrumentos de medición como el reloj, el electroencefalograma, etc. Los ritmos biológicos no constituyen un fenómeno casual ni un seguimiento pasivo de las condiciones ambientales, sino que forman parte de una respuesta al entorno que es fundamental para la supervivencia de las especies. Debe diferenciarse el concepto de ritmo del de ciclo. Este último consiste en la sucesión de acontecimientos que tienen lugar de forma repetitiva siempre en el mismo orden sin tener en cuenta el tiempo en que tienen lugar. Cuando un ciclo ocurre en un intervalo de tiempo constante y previsible se habla de ritmo. La frecuencia nos indica el número de ciclos que tienen lugar por unidad de tiempo, y el período es el tiempo que tarda en repetirse un ciclo (Tista, 1993). Frecuentemente, el comportamiento es una reacción frente a los estímulos externos procedentes del medio ambiente. Sin embargo existe un grupo de patrones de comportamiento que aparentemente están bajo control de la condición interna, como el cuidado parental (Carthy, 1974). Una observación importante es que los organismos vivientes manifiestan un comportamiento tal que semejan relojes capaces de medir los periodos del día solar, del día terrestre o de las mareas y aún del año; a estos aspectos importantes se les

ha denominado también ritmos biológicos de periodicidad regular (Tista, 1993).

El término ritmo circadiano significa "acerca del día" y este es dependiente del ambiente, y su periodo es de 24 horas (Alcock, 1998).

Los factores que intervienen en la regulación de ritmos biológicos circadianos pueden ser exógenos y endógenos. Los factores exógenos están constituidos por estímulos externos procedentes del medio ambiente tales como:

- a) El día y la noche: la duración de estos factores cambia con la latitud de la Tierra. Consecuentemente un cambio en la latitud va acompañado de una modificación en la temperatura, en la humedad relativa y en la intensidad luminosa.
- b) Los ciclos lunares: estos ciclos corresponden a variaciones de luminosidad nocturna, por lo cual influyen en la alimentación y en la reproducción de algunas especies animales.
- c) Las estaciones del año: la secuencia anual de las estaciones van acompañadas de variaciones en la duración del día, cambios de temperatura, humedad, periodo de lluvias y en algunas altitudes caída de nieve y congelación de los cuerpos de agua.

Los factores endógenos que intervienen en la regulación de los ritmos biológicos y que constituyen mecanismos independientes o parcialmente ligados al ambiente son los siguientes:

-
- a) Fenómenos fisiometabólicos: son aquellos principalmente relacionados con la alimentación y el consumo de sustancias energéticas, cambios de temperatura corporal, el tiempo de sueño de los organismos entre otros.
- b) Mecanismos de regulación hormonal: son los que probablemente tienen un papel preponderante en aspectos de desarrollo y reproducción.

Por ello los ritmos circadianos son ejemplos de ritmos biológicos que están supeditados a su duración o periodo y directamente relacionados con horas luz-oscuridad. Por otra parte, estos factores geofísicos (el día y la noche, los ciclos lunares y las estaciones del año) están interrelacionados con los ritmos biológicos de metabolismo, reproducción, comportamiento, muchos de estos comprendidos dentro de los ritmos circadianos (Tista, 1993).

Así la conducta de los animales está mediada tanto por factores ambientales como por control interno, lo cual establece patrones conductuales que se repiten en el tiempo. El análisis de esta información requiere de procedimientos que permitan explicar los datos en funciones repetitivas relacionadas con el tiempo.

El Método Cosinor que consiste en ajustar los datos experimentales (respuestas conductuales) a una función sinusoidal (coseno) con los cuales se realiza posteriormente una representación gráfica. Es importante señalar

que cuando se analiza un ritmo circadiano del que no se conoce su naturaleza, el modelo matemático más adecuado es el correspondiente a una función sinusoidal.

En el análisis matemático de los ritmos se utiliza una serie de parámetros que es necesario conocer como el mesor o media ajustada al ritmo que representa el valor intermedio entre el valor más alto y el más bajo del ritmo ajustado a una función matemática, generalmente sinusoidal.

Este estimador se utiliza debido a que la media aritmética simple no representa la media del ritmo ya que puede estar sesgada por la diferente densidad de muestreo. En el modelo sinusoidal, el mesor será igual a la media aritmética de los datos sólo si éstos se han registrado a intervalos regulares a lo largo de todo el ciclo del ritmo (Reebs, 2003).

La amplitud de un ritmo en su expresión gráfica se define como la mitad de la diferencia entre el punto más alto y el más bajo del modelo matemático. Una vez aplicado el modelo matemático apropiado, el comportamiento del ritmo en el tiempo define como "acrofase" el punto más alto y "batifase" el punto más bajo en relación a una referencia escogida por el investigador. El tiempo transcurrido entre la referencia y la fase se conoce como "ángulo de fase" y se expresa en unidades de tiempo o en grados angulares (un período = 360°) en sentido horario. Así, se pueden observar avances o retrasos de fase en un ciclo de diferentes parámetros medidos en diferentes circunstancias (Fig. 1).

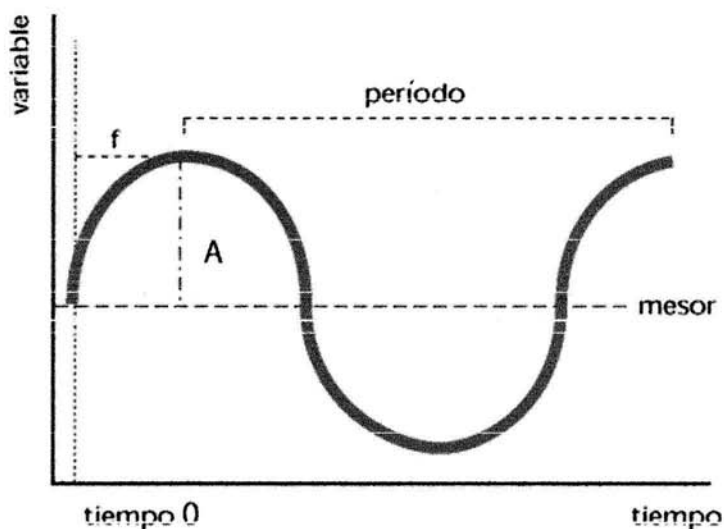


Figura 1. Representación gráfica de un ritmo circadiano.

El ajuste de datos a una función sinusoidal se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$Y(t) = M + A \cos (f + t)$$

donde $Y(t)$ es el valor de la variable en el tiempo, M es el valor medio de la función (mesor), A es la amplitud de la oscilación, f representa la acrofase y es la velocidad angular y t es la variable tiempo . En este método, M recibe el nombre de Mesor (mean estimated statistic over rhythm) y f recibe el nombre de acrofase (fase más alta). El procedimiento matemático consiste en hallar

los valores de M , A y f que hacen que la función cosenoidal se ajuste lo máximo posible a los valores experimentales de la variable $Y(t)$. Al igual que en las rectas de regresión, el cálculo se realiza mediante el método de los mínimos cuadrados con una versión linearizada de la ecuación anterior. Se puede aplicar a cualquier serie de datos siempre y cuando se conozca el período del ritmo que se está analizando. Para aplicar este método no es necesario que el muestreo sea regular, aunque es recomendable que se obtengan datos a lo largo de todo el ciclo. Los valores de amplitud y acrofase se representan en forma de vector sobre un círculo horario en el que una vuelta representa un intervalo de tiempo equivalente al período de ajuste de la función, generalmente 24 horas (Reebs, 2003).

Ubicación taxonómica de la especie.

Orden: Cyprinodontiformes

Familia: Poeciliidae

Subfamilia: Poeciliinae

Supertribu: Poeciliini

Tribu: Poeciliini

Género: *Xiphophorus* (Heckei, 1848)

Especie: *Xiphophorus montezumae*

(Jordan y Snyder, 1899).

Características generales de la familia Poeciliidae.

Los poecílicos constituyen un familia de peces perteneciente al orden Cyprinodontiformes. Se distribuyen en algunos cuerpos de agua dulce y salobre de las regiones de clima templado o tropical en el sur de los Estados Unidos, América Central, el Caribe y Norte de Argentina (Rosen y Bailey, 1963).

Entre el Istmo de Tehuantepec y el Canal de Panamá, los poecílicos son abundantes y diversos. Miembros de los géneros *Poecilia*, *Cnesterodon*, *Phalloceros*, *Phalloptychus* y *Phallotrynus* se distribuyen en el este de

Colombia y en los Andes de Ecuador, siendo en estas regiones totalmente conocida su distribución. Las especies del género *Priapichthys* se encuentran en América Central y noreste de Colombia y Ecuador. Los análisis de los patrones biogeográficos están detallados y basados en Sudamérica con peces de agua dulce. Aunque son pocos en número van incrementando (Weitzman y Weitzman, 1982; Parenti, 1984).

Los Poecilidos no suelen alcanzar grandes dimensiones, en promedio la talla de las hembras va de 3 a 6 cm. y la de los machos de 9 a 15 cm. con todo y espada. Poseen grandes ojos y la boca está orientada hacia arriba. Tienen una única aleta dorsal con los radios generalmente blandos. Salvo excepciones, la aleta caudal es redondeada en las formas silvestres (Rosen y Bailey, 1963).

Otra de las características peculiares en esta familia es la presencia en los machos de un órgano copulador que recibe el nombre de gonopodio y que se forma por modificación y soldadura de los radios 3º, 4º y 5º de la aleta anal para formar una especie de canal (Fig. 2). Mediante el gonopodio, los machos de esta familia son fácilmente diferenciables en comparación con las hembras. El gonopodio se desarrolla cuando el pez alcanza la madurez sexual (Curtis, 2000).

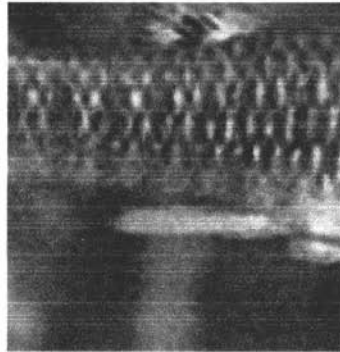


Figura 2. Gonopodio característico de los machos Poecílicos.

Los poecílicos son definidos como un grupo monofilético, en particular por los caracteres derivados del gonopodio y otras modificaciones anatómicas para la viviparidad (Rosen y Bailey, 1963; Chambers, 1987 y Constantz, 1974).

Los caracteres derivados adicionales de los poecílicos son (Parenti, 1981):

- ✓ Expansión de las cuatro epibranquias para llegar a ser el soporte de la porción dorsal de las branquias.
- ✓ Cóndilo exocipital ausente
- ✓ Arcos neurales de la primera vertebra abierta
- ✓ Modificación de los rayos de la aleta pélvica en machos (espada) encontrados solo en el género *Poecilia* y *Xiphophorus*.

Además de su uso como peces de ornato, algunos miembros de esta familia juegan un papel importante en el control contra las epidemias; especialmente

en la lucha biológica contra los mosquitos, puesto que estos animales son voraces depredadores de sus larvas (Rosen y Bailey,1963).

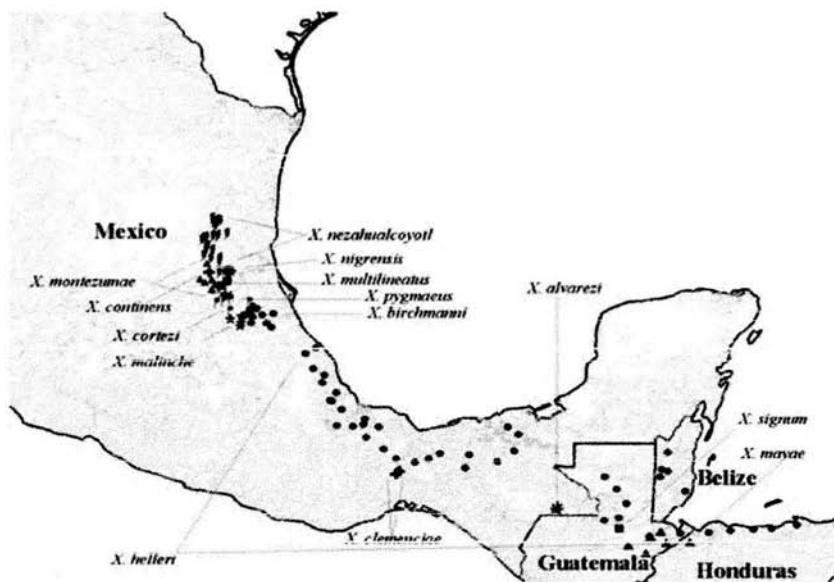
Características generales del género Xiphophorus.

El género *Xiphophorus* agrupa a peces vivíparos cuya distribución natural es en cuerpos de agua dulce y zonas tropicales (Rosen,1973).

La reproducción de los poecílidos ha sido ampliamente estudiada, y hasta no hace mucho aún existían dudas sobre determinados puntos del proceso. En este género, los machos son especialmente insistentes, acosan y cortejan a las hembras de manera constante hasta lograr su objetivo (Mogens, 1988).

Una gran diversidad de *Xiphophorus* es encontrada en una amplia franja comprendida por México, Honduras, Guatemala, Costa Rica y América Central (Rosen,1973).

Este género cuenta con 23 especies descritas; sin embargo, se han encontrado algunas subespecies, todas ellas se encuentran en los afluentes de ríos poco profundos o arroyos que vierten sus aguas al océano Atlántico, Golfo de México y el Caribe (Rosen y Bailey,1963) (Fig. 3).



www.xiphophorus.org

Figura 3. Se muestran algunas de las especies pertenecientes al género *Xiphophorus*.

Xiphophorus montezumae un representante del género *Xiphophorus* es también conocido como “pez cola de espada” y se encuentra en cuerpos de agua al noreste de México, en las cuencas del río Tamesí en Tamaulipas, al norte de Veracruz y en los afluentes del Río Panuco en San Luis Potosí, México (Rauchenberger et. al., 1990). Su período de vida es de aproximadamente tres años y el número de crías depende de la talla de la hembra y su alimentación (Piña, 1985).

Es muy notorio el dimorfismo sexual en estos peces dados los ornamentos que tienen los machos, como el desarrollo de la cola de espada, al igual que la presencia de gonopodio, así como el hecho de que las hembras presentan una talla mayor a la de los machos. Esto hace que se puedan diferenciar con mucha facilidad los sexos de *Xiphophorus* cuando los organismos alcanzan su edad adulta (Fig.4).

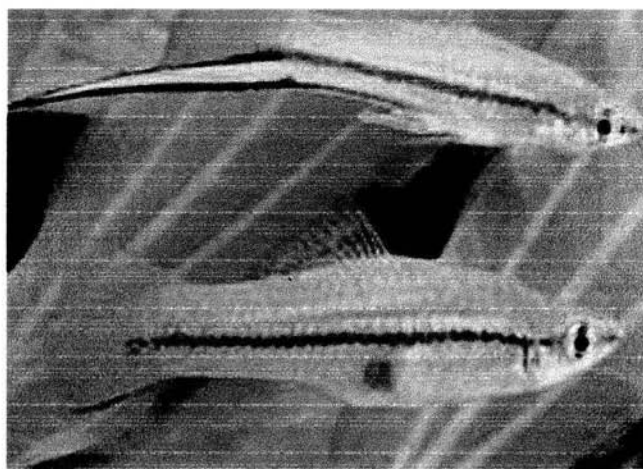


Figura 4. Dimorfismo sexual de *Xiphophorus montezumae*, en la parte superior se encuentra el macho portando la espada característica del género y en la inferior a la hembra .

Durante el cortejo, los machos incitan a la hembra nadando a su alrededor, parándose delante de ella, cuando consigue que la hembra suspenda el nado, se sitúa a su lado y con un impulso de su cuerpo dirige su gonopodio a la

abertura genital de ésta. Durante mucho tiempo se dudó si existía fecundación interna en el caso de estos peces; hoy, mediante el uso de cámaras de alta velocidad, se sabe que es necesario que el gonopodio del macho establezca contacto con el gonoporo de la hembra aunque sea durante un muy corto periodo de tiempo para que exista dicha fecundación (Curtis, 2000).

El macho deposita mediante su gonopodio un paquete de espermatozoides que es visible a simple vista como un pequeño copo blanquecino y que recibe el nombre de espermatóforo. Una única fecundación es suficiente para obtener hasta 11 partos (Morris, *et.al.* 1992).

Esto se debe a que los espermatozoides pueden sobrevivir durante un periodo de tiempo bastante largo en el tracto reproductor de la hembra. Los huevos son fecundados sin que lleguen a separarse del ovario. La hembra no llega nunca a poner huevos, estos permanecen en el interior de su organismo y se desarrollan en éste. La duración de la gestación es variable, según sea la especie y la temperatura del agua, pero en general se puede decir que va de unos 23 días a seis semanas desde la fecundación. La única manera de saber cuando una hembra está gestante es por el aumento de su volumen abdominal, y se puede observar una mancha oscura en el abdomen de las hembras preñadas la cual se denomina mancha de la gestación (Macías, 1994).

En peces en general, el peso del huevo se reduce 30% durante el desarrollo de las crías. Esta diferencia de peso se debe a la energía que es consumida durante su desarrollo. Sin embargo en el caso de los poecílidos, el huevo mantiene su peso, lo cual sugiere que las crías no utilizan energía del vitelo para crecer, sugiriendo esto que obtienen sustento por otra vía (Piña, 1985).

Sin embargo hasta ahora los estudios realizados no han podido demostrar la existencia de ninguna estructura anatómica que permita el paso de nutrientes entre madre y crías en el caso de los poecílidos (Macías, 1994).

Cuando nacen las crías se encuentran rodeados por la envoltura del huevo de la que se liberan rápidamente. Las crías son capaces de valerse por sí mismas a los pocos minutos de haber nacido, lo que les es muy ventajoso puesto que en esta familia los depredadores importantes de las crías son los adultos de la misma especie, en especial su propia madre (Magurran y Macías, 2000). Se ha comprobado que estas tendencias caníbales son tanto más intensas cuanto mayor es el estrés al que se ve sometida la madre (Magurran y Seghers, 1990).

Como lo comprendió Darwin, muchas de las adaptaciones conspicuas de los animales tienen poca relación con la supervivencia sobre la base cotidiana, pero son en cambio el resultado de la selección sexual, "la lucha entre los miembros de un sexo" La selección sexual generalmente adopta una de las dos formas: la selección intrasexual, que es la competencia entre los

miembros de un mismo sexo para aparearse con el sexo opuesto, y la selección intersexual, en la cual los miembros de cada sexo ejercen fuertes presiones selectivas sobre las características del sexo opuesto mediante la elección de sus parejas (Bates *et. al.*, 1956).

Las intensidades relativas de la selección intrasexual e intersexual sobre los machos versus las hembras depende del sistema de apareamiento de la especie en particular. La reproducción sexual requiere de una inversión considerable de energía, que se distribuye por lo menos entre tres componentes diferentes: la competencia por las parejas, el propio proceso de apareamiento (que incluye la producción de gametos), y el cuidado parental. El modo en que se utiliza la energía tiene una relación directa con la naturaleza del proceso de selección sexual (Alcock, 1989). Se piensa que la selección sexual es la causa principal del dimorfismo sexual y que aquellas diferencias entre los machos y las hembras no tiene relación con el acto de la reproducción en sí, sino con la obtención de una pareja (Futuyma, 1983).

OBJETIVOS

Objetivo General

Conocer la conducta social de hembras y machos de *X. montezumae* en un ciclo de 24 horas, en diferentes ámbitos sociales (hembra/macho y hembra/macho/macho).

Objetivos Particulares

- a) Conocer a lo largo de un ciclo de 24 horas el punto de mayor actividad en cuanto a conductas reproductivas de hembras adultas de *X. montezumae* se refiere, en dos ámbitos sociales.

- b) Conocer a lo largo de un ciclo de 24 horas el punto de mayor actividad en cuanto a conductas reproductivas de machos adultos de *X. montezumae* se refiere, en dos ámbitos sociales.

- c) Conocer y comparar el periodo de mayor frecuencia de alimentación de hembras y machos a lo largo de un ciclo de 24 horas en dos ámbitos sociales.

- d) Estimar las diferencias en la frecuencia de expresión de conductas reproductivas entre el macho dominante y el subordinado en un ciclo de 24 horas.

METODOLOGÍA

COLECTA

Los peces fueron colectados en Marzo del 2003 en el Río Capuchinas (Fig. 5). Localizado a 50 kilómetros en dirección oeste de Ciudad Valles en la Huasteca Potosina. Este Río se ubica a los 21° 46'30.5'' latitud N y 99° 18'13.32'' longitud oeste a una altitud de 296 msnm. La profundidad promedio del Río fue de 31.6 centímetros. El Río Capuchinas presenta en una parte de su superficie vegetación acuática, principalmente compuesta de lirios, tiene un pH de 7 unidades y una temperatura promedio de 25.4° C, la velocidad de su corriente es muy variable y osciló entre 2.3 y 9 cm s⁻¹.

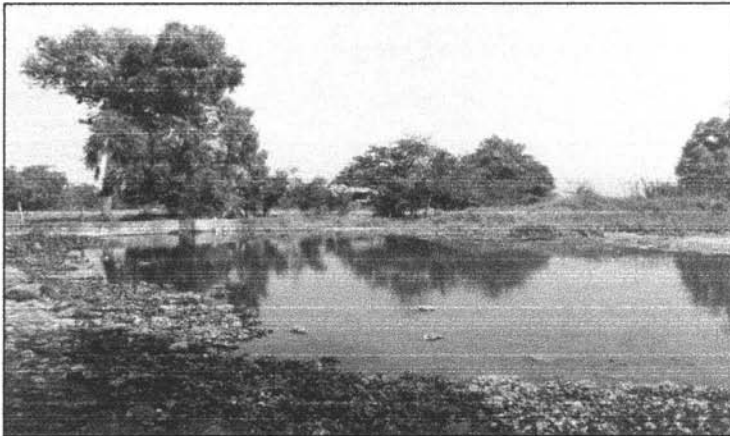


Figura 5. Río Capuchinas, sitio de colecta de *Xiphophorus montezumae*.

Los organismos fueron capturados con una red tipo jábega y transportados en contenedores de plástico, con agua del sitio de colecta a la Ciudad de México para su destino final el Laboratorio de Ecofisiología de la Facultad de Ciencias (Universidad Nacional Autónoma de México).

MANTENIMIENTO Y ACLIMATACIÓN

Los peces utilizados en el experimento fueron 12 machos y 8 hembras. En el laboratorio, los organismos se aclimataron por dos semanas en tanques de 20x40x25 centímetros (volumen de 20 litros) a temperatura ambiente de $25^{\circ}\pm 3^{\circ}$ C y a una salinidad de 1ups. Los peces permanecieron por seis meses en estas condiciones después de la colecta. Los organismos se alimentaron dos veces al día, por la mañana con hojuelas (Tetramin tropical) y por las tardes con *Tubifex* (alimento vivo). El fotoperiodo se fijó en 12h luz - 12h oscuridad. Los tanques se mantuvieron con aereación constante y con sistema de filtro biológico. Se realizaron recambios de agua total del mismo una vez cada quince días.

DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA EXPERIMENTAL

El sistema experimental consistió en un acuario de 20x40x25 centímetros con una capacidad de 20 litros de agua. Se colocó una monocapa de grava en el

fondo. El acuario fue provisto de sistema de aereación y de una o dos placas de acrílico polarizadas removibles que dividían al tanque en dos o tres secciones de igual tamaño según fuera el caso. Es decir, se utilizó una placa en el primer experimento donde se monitoreó la actividad de un macho y una hembra, mientras que en el segundo se usaron dos placas para dividir el tanque en tres compartimientos (dos machos y una hembra) colocando a la hembra en la parte central y los machos a los extremos. Estas placas se utilizaron durante el periodo de aclimatación de los peces al sistema experimental para mantener a los organismos en distintos compartimientos. Esto permitió el aislamiento visual y físico entre los organismos. Así el periodo de aclimatación al sistema experimental fue de 24 horas.

El fotoperiodo se controló utilizando un foco de luz blanca de 60 watts por el día y un foco de luz roja de 60 watts por la noche los cuales fueron activados y desactivados por medio de un timer.

TRATAMIENTO PREVIO DE LOS ORGANISMOS AL EXPERIMENTO

Primer ámbito social (AS1) "Macho – Hembra".

Los organismos utilizados en esta parte del experimento fueron 5 machos y 5 hembras. Los peces se midieron y pesaron 24 horas antes de iniciar el periodo de aclimatación. Las medidas consideradas fueron longitud total, longitud estándar, altura y área corporal. El acuario se dividió por la mitad con

ayuda de una placa de acrílico polarizada para evitar el contacto físico y visual de los peces (Fig. 6). Veinticuatro horas antes de iniciar el experimento se colocó a la hembra y al macho en cada uno de los compartimientos. Se les proporcionó alimento (*Tubifex*) utilizando comederos. Se mantuvo el fotoperiodo con luz blanca durante el día y luz roja durante la noche. El tanque experimental se mantuvo totalmente aislado en una cámara de unicel de 60x65x70 centímetros para evitar interferencias visuales y de sonido que pudieran alterar la conducta de los organismos.

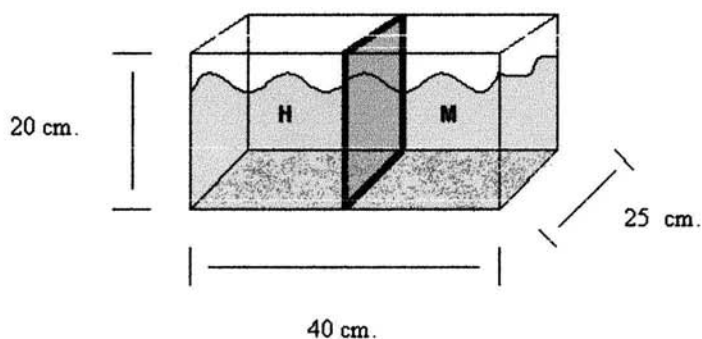


Figura 6. Tanque utilizado en el experimento durante el AS1. Se muestra la barrera de acrílico polarizado utilizada durante el periodo de aclimatación.

Segundo ámbito social (AS2) "Macho- Hembra- Macho".

Los organismos utilizados en esta parte del experimento fueron 10 machos y 5 hembras. Los peces se midieron y pesaron 24 horas antes de empezar el periodo de aclimatación. De acuerdo al peso y tamaño de los machos se

formaron cinco parejas de talla similar. El peso y tamaño de las hembras no se tomó en cuenta de manera estricta, sin embargo la talla de estas fue similar. El acuario se dividió en tres partes iguales con ayuda de placas de acrílico polarizado para evitar el contacto físico y visual de los peces (Fig. 7). La colocación de los machos fue en los extremos del tanque y la de hembra en el espacio central. Se colocaron comederos con *Tubifex* y se dejaron aclimatando en estas condiciones por 24 horas, manteniendo luz blanca por el día y luz roja por la noche de acuerdo a su fotoperiodo. El lugar donde se colocó el tanque experimental se aisló utilizando una cámara de unicel para evitar el estrés de los peces por movimiento o cambios de iluminación.

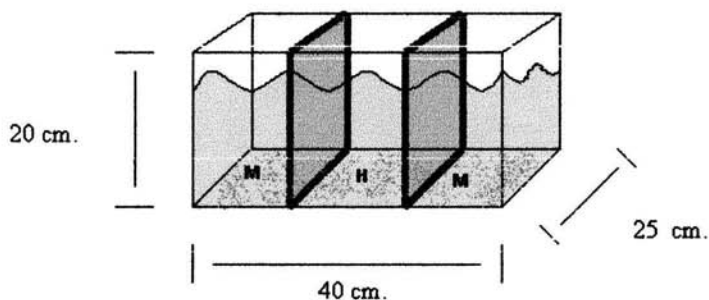


Figura 7. Tanque utilizado en el experimento durante el AS2. Se muestran las barreras de acrílico polarizado utilizadas durante el período de aclimatación.

FASE EXPERIMENTAL

Una vez concluido el tiempo de aclimatación se retiraron las placas de acrílico polarizadas (una o dos según el caso). Se colocó en el centro del acuario un comedero provisto con *Tubifex*. La conducta de los peces se videofilmó durante 24 horas. La filmación se realizó utilizando una cámara de video DSP 128x color CCD, la cámara de video se conectó a una videocasetera VHS 6 cabezas SONY Hi-Fi Stereo SLV-LX 700S con posibilidad de programación y a un televisor Majestic de 12 pulgadas. Los organismos se filmaron por diez minutos cada dos horas, esto a lo largo de 24 horas, dando como resultado 240 minutos de filmación por cada pareja o triada. Los experimentos se realizaron en cinco parejas de peces (macho-hembra) y en cinco triadas (macho-hembra-macho).

REGISTRO Y DESCRIPCIÓN DE CONDUCTAS.

Se realizó una revisión previa de las cintas videograbadas para identificar y definir las conductas que debían registrarse durante el experimento. Las conductas se separaron como: 1) conductas de acoso y cortejo del macho, 2) conductas de aceptación de la hembra, 3) conductas de rechazo de la hembra, 4) conductas antagónicas entre machos y 5) conductas de alimentación (Tabla 1A y 1B).

Tabla 1A. Conductas registradas durante la filmación.

CONDUCTAS DE CORTEJO.	DESCRIPCION
❖ <i>Acercamiento.</i>	Nado lento cerca o frente de la hembra de manera constante pero a una velocidad relativamente baja cuando ésta no está en movimiento mostrando sus características.
❖ <i>Arco.</i>	Cuerpo rígido y arqueado (cóncavo o convexo) que exhibe el macho a la hembra.
❖ <i>Curva en forma de "S".</i>	Despliegue corporal en forma de S.
❖ <i>Despliegue de aletas.</i>	Aleta dorsal y caudal extendidas por más de un segundo, cuando el macho se encuentra cercano a la hembra.
❖ <i>Nado en 8.</i>	Nado del macho cerca de la hembra describiendo una trayectoria en 8.
CONDUCTAS DE ACOSO.	DESCRIPCION
❖ <i>Acorralamiento.</i>	Nado hacia la hembra hasta llevarla a una esquina del acuario, limitando los movimientos de la misma.
❖ <i>Persecución.</i>	Nado del macho detrás de la hembra por más de dos segundos, sin limitar el movimiento de ésta.
CONDUCTAS DE ACEPTACIÓN DE LA HEMBRA.	DESCRIPCION
❖ <i>Nado sincronizado.</i>	La hembra nada con el macho de lado a lado (cerca) en la misma dirección por un mínimo de tres segundos.
❖ <i>Orientación en paralelo dirección contraria.</i>	Cuerpo rígido presentándose paralelo al macho (boca de un pez orientado hacia la aleta caudal del otro y viceversa).
❖ <i>Orientación en paralelo misma dirección.</i>	Cuerpo rígido presentándose paralelo o cercanamente paralelo al macho.

Tabla 1B. Conductas registradas durante la filmación.

CONDUCTAS DE RECHAZO DE LA HEMBRA.	DESCRIPCION
❖ <i>Alejamiento lento.</i>	Nado lento de la hembra alejándose del macho.
❖ <i>Escape.</i>	Nado rápido de la hembra alejándose del macho.
CONDUCTAS ANTAGÓNICAS.	DESCRIPCION
❖ <i>Ataque.</i>	Acercamiento de un macho dando mordidas en los flancos del otro macho sin que este responda.
❖ <i>Bloqueo a un macho.</i>	Un macho impide la visión y acceso de otro macho hacia la hembra o a una región del tanque por la posición de su cuerpo entre el competidor y la hembra.
❖ <i>Desafío.</i>	Se considera si el pez se aproxima al otro individuo (macho) exhibiéndole todos sus patrones físicos (aletas desplegadas, barras, talla) y levantado la espada 45° aproximadamente.
❖ <i>Despliegue.</i>	Presentación de la aleta dorsal y caudal extendidas al otro macho por más de un segundo.
❖ <i>Combate.</i>	Dos machos toman posición uno enfrente del otro a una distancia de 0.5 a 1 centímetro de lejanía; nadan lentamente, arquean sus cuerpos, despliegan sus aletas y se muerden sin que esta interacción sea interrumpida por varios segundos.
❖ <i>Escape.</i>	Nado rápido de un macho por la cercanía del otro.
CONDUCTA DE ALIMENTACIÓN.	DESCRIPCION
❖ Alimentación	Eventos de captura de alimento (ingestión) durante el experimento.

RESULTADOS

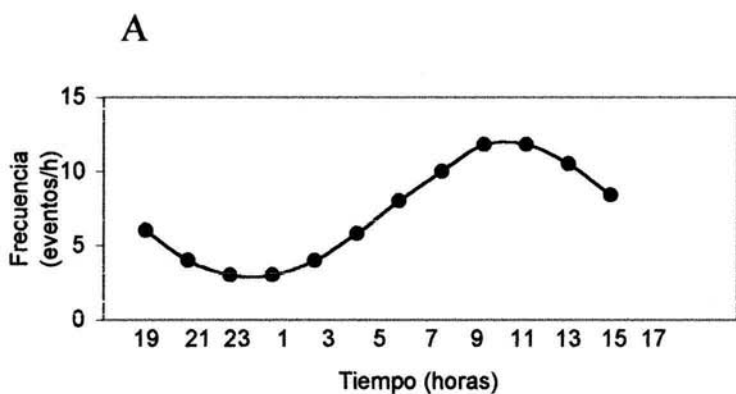
AMBITO SOCIAL 1.

CONDUCTAS DEL MACHO

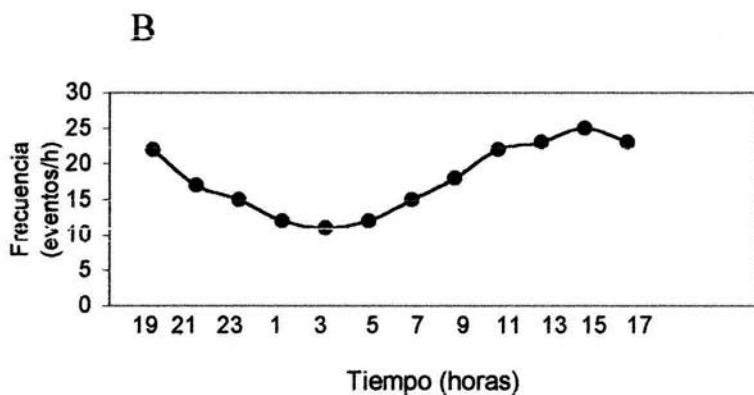
En el ámbito social 1 donde una hembra y un macho se encontraban presentes (AS1), la frecuencia de expresión de la conducta de acoso (que incluye la persecución y el acorralamiento) presentó de acuerdo al Método Cosinor un máximo a las 12:10 h y un mínimo a las 1:00 h (Fig. 8A). La frecuencia de expresión de las conductas de cortejo que agrupan el despliegue, el nado en forma de ocho y el arqueo del cuerpo del macho mostró su máximo a las 15:02 h y mínimo a las 3:00 h (Fig. 8B).

CONDUCTAS DE LA HEMBRA.

En cuanto a las conductas de la hembra, la frecuencia de rechazo de estas a los machos, estimada a partir de la conducta de escape y alejamiento lento, mostró su máximo a las 11:41 h y su mínimo a las 23:00 h (Fig. 9A). Asimismo la respuesta de aceptación de las hembras a los machos, estimada a partir de las conductas de nado sincronizado y paralelo al macho, tuvo su máximo a las 5:57 h y su mínimo a las 19:00 h (Fig. 9B).



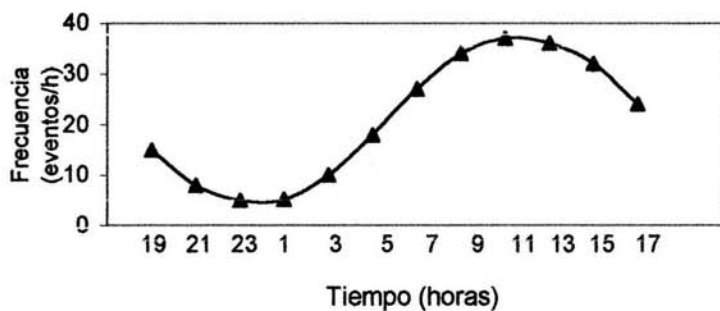
Máximo 12:10h
Mínimo 1:00h



Máximo 15:02h
Mínimo 3:00h

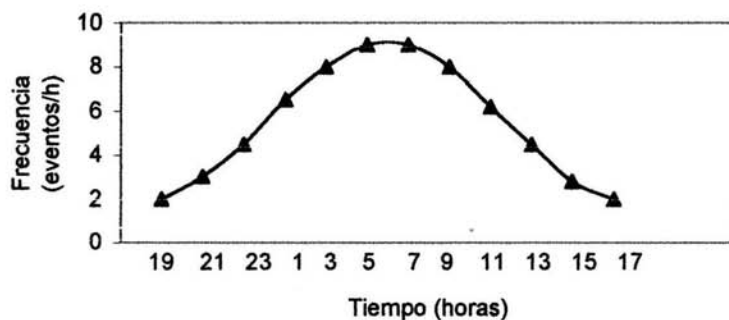
Figura 8. Frecuencia de expresión de las conductas de los machos a lo largo del ciclo diario en el AS1 A: acoso y B: cortejo.

A



Máximo 11:41h
Mínimo 23:00h

B

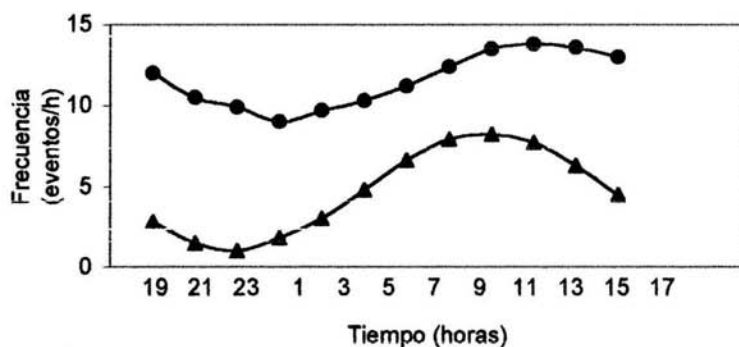


Máximo 5:57h
Mínimo 19:00h

Figura 9. Frecuencia de expresión de las conductas de las hembras a lo largo del ciclo diurno en el AS1 A: conductas de rechazo y B: conductas de aceptación.

ALIMENTACIÓN DE LA HEMBRA Y MACHO.

La frecuencia de expresión de la conducta de alimentación en el caso de las hembras tuvo un máximo a las 10:49 h y un mínimo a las 21:00 h. En cuanto a los machos su máxima actividad de ingestión se presentó a las 13:23 h y el mínimo a la 1:00 h (Fig. 10).



Machos
Máximo 10:49h
Mínimo 21:00h
Hembras
Máximo 13:23h
Mínimo 1:00h

Figura 10. Frecuencia de expresión de la conducta de alimentación a lo largo del ciclo diurno. Hembras (triángulos) y los machos (círculos).

AMBITO SOCIAL 2.

CONDUCTAS DEL MACHO.

En el ámbito social 2 donde una hembra y dos machos se encontraban presentes (AS2), la frecuencia de expresión de la conducta de acoso (que incluye la persecución y el acorralamiento), en el caso de los machos 1 reconocidos como dominantes presentó su máximo de acuerdo al Método Cosinor a las 8:43 h y su mínimo a las 21:00 h; mientras que en los machos 2 reconocidos como subordinados no se presentó esta conducta en el ciclo diurno (Fig. 11A). La frecuencia de expresión de las conductas de cortejo de los machos dominantes presentó su punto máximo de actividad a las 12:22 h y su mínimo a las 1:00 h, mientras que en el caso de los machos subordinados se presentó su máximo a las 19:58 h y su mínimo a las 7:00 h (Fig. 11B). La frecuencia de acoso y cortejo, así como la sumatoria de estas conductas fueron mayores en el macho 1 que en el macho 2 (Tabla 2).

CONDUCTAS DE LA HEMBRA.

La frecuencia de expresión de las respuestas de rechazo (alejamiento lento y escape) de las hembras a los machos presentó un máximo a las 6:13 h y un mínimo a las 19:00 h (Fig. 12). El valor medio de las respuestas de expresión de las conductas de aceptación fue de cero en todos los periodos de tiempo (ciclo diurno).

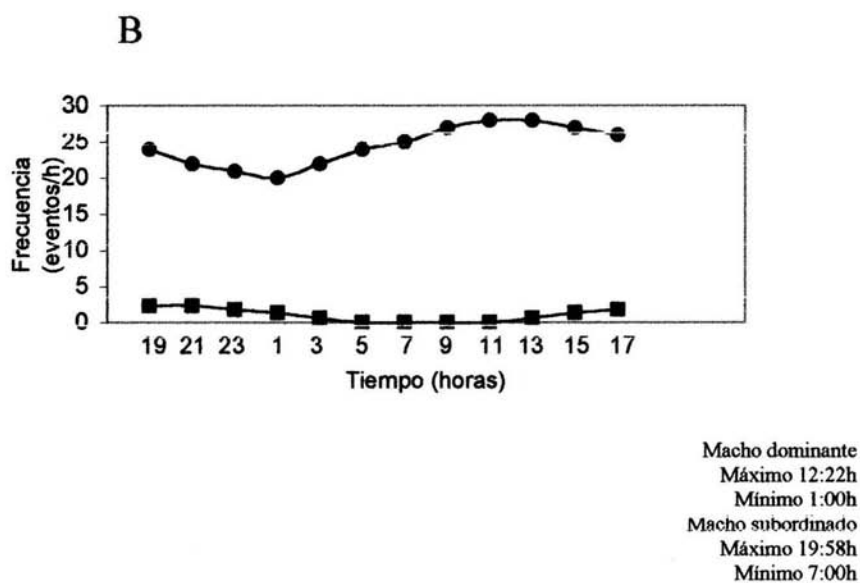
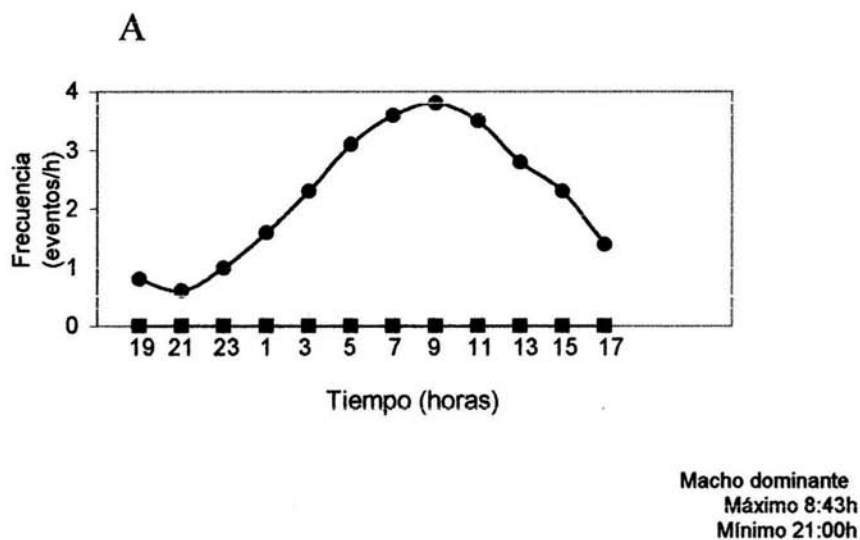
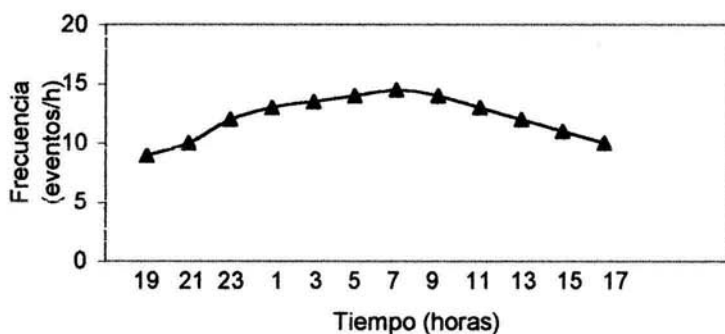


Figura 11. Frecuencia de expresión de las conductas de los machos a lo largo del ciclo diario en el AS2 A: acoso y B: cortejo. Macho dominante (círculos) y machos subordinados (cuadros).

Conducta	Macho 1	Macho 2	P
Acoso	27	0	0.0433
Cortejo	299	12	0.0002
Sumatoria	973	190	0.0010

Tabla 2. Frecuencia de conductas reproductivas de machos dominantes y subordinados en el AS2. Se presentan los resultados de la prueba de t que señalan las diferencias entre los machos con una $P < 0.05$.



Máximo 6:13h
Mínimo 19:00h

Figura 12. Frecuencia de expresión de las conductas de rechazo de las hembras a los machos a lo largo del ciclo diario.

ALIMENTACIÓN DE HEMBRAS, MACHOS DOMINANTES Y SUBORDINADOS.

La frecuencia de expresión de la conducta de alimentación en el caso de las hembras tuvo un máximo a las 18:37 h y un mínimo a las 7:00 h. En cuanto a

los machos dominantes su actividad de ingestión fue similar durante el ciclo de 24 horas. Mientras que la actividad alimentaria de los machos subordinados presentó su máximo a las 6:48 h y su mínimo a las 19:00 h (Fig. 13).

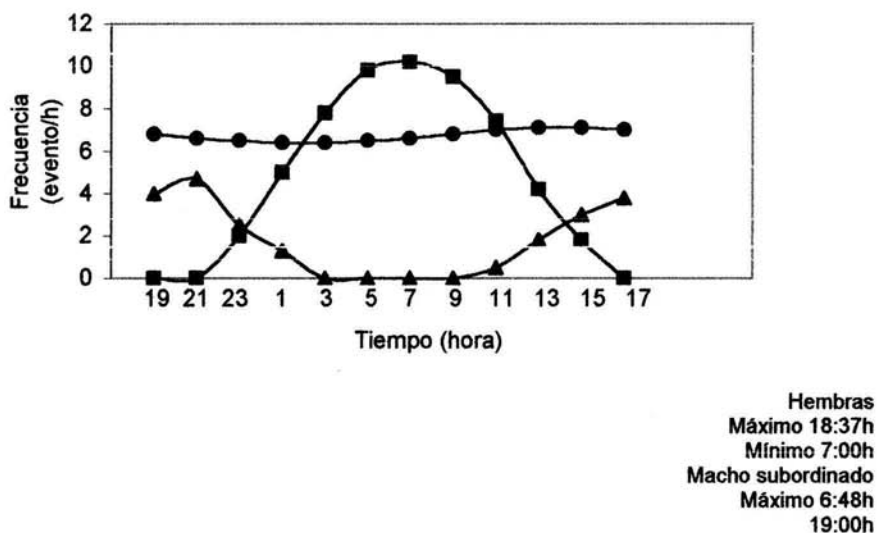
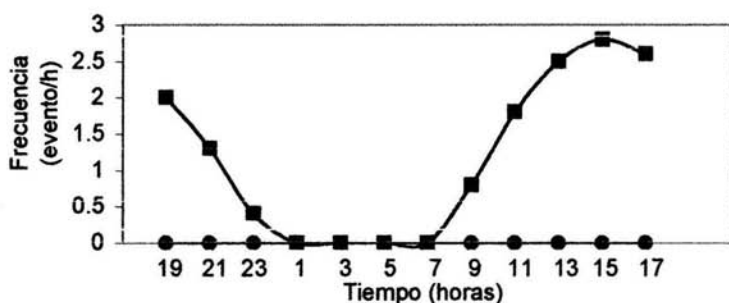


Figura 13. Frecuencia de alimentación a lo largo del ciclo diurno. Hembras (triángulos), machos dominantes (círculos) y machos subordinados (cuadros).

AGRESIÓN ENTRE MACHOS.

La frecuencia de expresión de las conductas antagónicas, donde el combate forma parte de una de ellas; solo se observó al inicio del experimento, a partir del segundo registro (20 minutos de filmación) no se expresó esta conducta. Por otra parte, no se observó escape de los machos dominantes, sin

embargo, en el caso de los machos subordinados su frecuencia máxima de escape fue a las 15:27 h. La expresión de esta conducta se utilizó como criterio para establecer la dominancia entre los machos, en particular se consideró el número de escapes y la permanencia en la parte inferior del tanque por periodos prolongados (Fig. 14).



Machos subordinados
Máximo 15:27h

Figura 14. Frecuencia de expresión de las conductas de escape de los machos 1 (círculos) y machos 2 (cuadros) a lo largo del ciclo diurno.

COMPARACIÓN ENTRE LOS DOS AMBIENTES SOCIALES.

La conducta de los machos hacia la hembra difirió considerablemente en ambos ámbitos sociales. La sumatoria de la frecuencia de las conductas de acoso, fue mayor en la condición AS1 que en la condición AS2 ($t_{(0.05, 19)} = .03$; $P < 0.00$; tabla 3; Fig. 15), asimismo la sumatoria de las frecuencias de las

conductas de cortejo fue también mayor en la condición AS1 que en AS2

($t_{(0.05, 19)} = 4.60, P < 0.00$; tabla 3; Fig. 15).

Conductas	Ambito Social 1	Ambito Social 2 Macho dominante (MD)	Ambito Social 2 Macho Subordinado (MS)	Sumatoria MD y MS	Promedio MD y MS	Prueba de t (α 0.05) AS1 vs. AS2
Acoso	86	27	0	27	14	0.00
Cortejo	219	299	12	311	156	0.00
Sumatoria	305	326	12		169	0.00

Tabla 3. Frecuencia de expresión de las diferentes conductas reproductivas que exhibieron los machos en los dos ámbitos sociales. Se presentan los resultados de la prueba de t que señalan las diferencias entre los machos del AS1 y del AS2 con una $P < 0.05$.

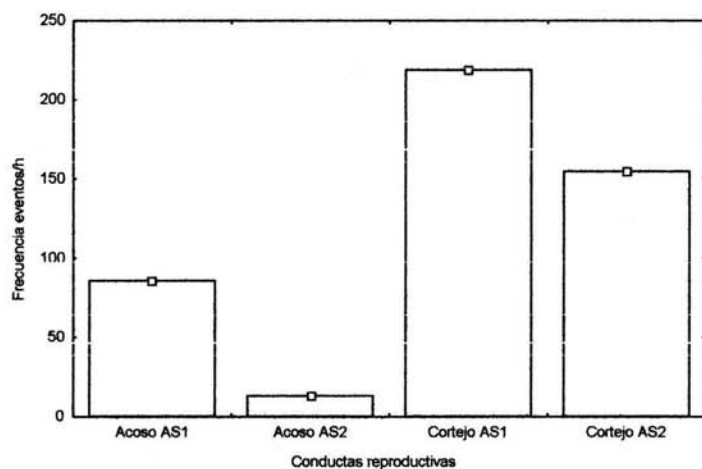


Figura 15. Frecuencia de expresión de las conductas reproductivas de los machos en el ámbito social 1 (AS1) y en el ámbito social 2 (AS2). Se presenta el promedio de las conductas reproductivas de los dos machos en el AS2.

La frecuencia de aceptación de la hembra fue mayor en AS1 que en AS2, cuyo valor promedio es cero. ($t_{(0.05, 19)} = 4.04, P < 0.00$; tabla 4). La frecuencia de rechazo de la hembra fue mayor en AS1 que en AS2 ($t_{(0.05, 19)} = 2.13, P = 0.03$; tabla 4).

Conducta	Hembras Ambito	Hembras Ambito	Prueba de t (α 0.05)
	Social 1	Social 2	
Aceptación	65	0	0.00
Rechazo	255	128	0.03

Tabla 4. Frecuencia de conductas de aceptación y rechazo de las hembras en ambos ámbitos sociales. Se presentan los resultados de la prueba de t que señalan las diferencias entre las hembras con una $P < 0.05$.

En cuanto al promedio de la frecuencia de alimentación no se encontraron diferencias entre la condición de AS1 (195 ± 1.5 eventos/h) y en la condición AS2 (187 ± 1.5 eventos/h) ($t_{(0.05, 19)} = 1.63$, $P = 0.34$).

DISCUSIÓN

El éxito reproductivo en los machos de la especie *X. montezumae*, como en muchas especies, depende del número de apareamientos. En machos de peces poecílidos se ha observado que el número de descendientes con una misma hembra se incrementa tanto con el tiempo de contacto del gonopodio con el gonoporo, como con el número de cópulas (Evans, 2002). En cambio, las hembras son selectivas en los hábitos de apareamiento, dado que su éxito reproductivo depende de aparearse con machos de buena calidad y no del número de apareamientos (Alcock, 1998). Bajo este fundamento se podría explicar la gran cantidad de rechazos de la hembra al macho durante el experimento, si consideramos como intentos reproductivos del macho la sumatoria de las conductas de cortejo y acoso, la intensidad del rechazo de las hembras se hace evidente. En particular, en este estudio la frecuencia promedio de conductas reproductivas del macho hacia la hembra (acoso y cortejo) fue de 285 eventos/hora, mientras que la frecuencia promedio de conductas de rechazo y aceptación fue de 65 eventos/h y 255 eventos/h respectivamente.

La frecuencia más alta de aceptación de la hembra se dio entre las 3 y 9 h, periodo que no coincide con el tiempo de actividad reproductiva más alta del macho en el primer ámbito social (11 a 15 h). Es probable que la mayor frecuencia de aceptación de la hembra se relacione con periodos de poca

iluminación. Es decir, se ha observado que la conducta reproductiva resulta un atractivo para los depredadores (Gross, 1984), en particular, el ritual de cortejo en peces es largo e involucra movimientos muy llamativos siendo los peces presas fáciles. En el caso de los guppies (*Poecilia reticulata*) se ha observado que en presencia de peces piscívoros los guppies machos disminuyen su tasa de cortejo como un mecanismo para disminuir el riesgo de ser depredados. Al mismo tiempo, los individuos durante el cortejo se vuelven más vulnerables a la depredación al disminuir la atención hacia los depredadores (Evans, 2002; Magurran, Seghers, 1990). En el caso particular de los peces del género *Xiphophorus* se ha demostrado que los ornamentos de los machos (elongación de la aleta caudal) resulta atractivo a los piscívoros, incrementando los riesgos de depredación (Morris, et. al. 1992). Sin embargo, si bien el periodo de mayor aceptación de la hembra puede explicarse en base a la baja frecuencia de los riesgos de depredación en horas de poca iluminación, esto no explica la respuesta de los machos. Es probable que la temperatura juegue un papel importante en la actividad del macho siendo esta mayor entre 11 y 15 h que entre 3 y 9 h, donde probablemente se observan los tiempos más bajos dado que los machos son más activos que las hembras y considerando la importancia de la temperatura en la eficiencia de los procesos metabólicos, es posible suponer que este factor sea de mayor importancia en las actividades de los machos que en las

hembras sin embargo a partir de los datos de este estudio no puede confirmarse lo anterior.

En cuanto a la conducta de los machos se observó que el horario en el que se presenta la mayor frecuencia de actividad de conductas reproductivas (acoso y cortejo) es entre 11 y 15 h. En este caso, los resultados muestran que se presenta un incremento consecutivo en la frecuencia máxima y mínima de expresión de estas dos conductas. Es decir, la frecuencia mas alta de acoso se presenta a las 12:10 h y la de cortejo a las 15:02 h. La secuencia de expresión en el tiempo y la frecuencia de estos eventos podría explicarse en términos de los costos energéticos que podrían asociarse a estas conductas.

De acuerdo a la literatura la secuencia de conductas y su frecuencia de expresión depende en gran manera de los costos asociados a cada una de ellas. Es decir, inicialmente se expresan las conductas de menor costo energético y posteriormente las de mayor costo (Basolo, Alcaraz. 2003). Sin embargo, los resultados en este estudio muestran que el cortejo a pesar de ser una conducta más costosa que el acoso tiene una frecuencia de expresión más alta. Ya que las sumatorias de los eventos de cortejo tanto en el AS1 y AS2 fueron de 219 y 156 respectivamente, mientras que la sumatoria del acoso fue de 86 y 27 en el AS1 y AS2 respectivamente. Esto puede deberse a los beneficios obtenidos al desplegar conductas de cortejo sean más eficientes en cuanto a la obtención de mayor número de apareamientos.

El incremento de la complejidad de movimiento implica mayores costos energéticos asociados a la locomoción (Basolo, Alcaraz, 2003). Por lo cual, es posible suponer que puede resultar más costoso energéticamente el despliegue de conductas de cortejo que incluyen acercamiento, arco, curva en forma de S, despliegue de aletas y nado en 8; que el acoso que implica la persecución y el acorralamiento a la hembra. La actividad de cortejo en *X. montezumae* es altamente compleja y energéticamente demandante, debido al grado de expresión de la espada y a la complejidad de los despliegues conductuales (Hass, 1993; Basolo, Alcaraz, 2003).

En cuanto a las relaciones antagónicas, en peces poecílicos se ha observado que se requieren diferentes periodos de tiempo para establecer la jerarquía de dominancia entre dos machos. Por ejemplo en los guppies (*Poecilia reticulata*) se ha determinado que existe un tiempo aproximado de 4 horas para que se establezca una dominancia entre dos machos que se enfrentan para poder cortejar y copular a las hembras, dejando ver su calidad y logrando con ello el mayor número de cópulas posibles (Dewsbury, 1982, Waner, *et. al.* 2000). En este trabajo, se pudo establecer cual era el macho dominante y el subordinado desde el inicio del experimento. Las respuestas conductuales más importantes que nos permitieron determinar la dominancia fueron el escape del organismo subordinado y la frecuencia de agresiones del macho dominante hacia el subordinado. Desde el inicio del experimento

(primera hora de observación) la frecuencia de escape del macho dominante fue de cero, valor que se mantuvo hasta el final del experimento. En estos peces, aunque la talla y el desarrollo de la espada fue similar, la resolución de la jerarquía fue muy rápida y no cambió durante el ciclo de 24 horas.

Los horarios en los que se expresaron las conductas reproductivas del macho, (acoso y cortejo) se modificaron en AS2. En todos los casos la expresión máxima de las conductas se presentó en horas mas tempranas, en el AS2. En particular, para el cortejo el ritmo no fue tan marcado como en AS1. Las conductas antagónicas del macho, sobre todo al inicio del experimento pudieron contribuir con el desfase de la actividad respecto al experimento anterior. Esto podría explicarse en base a que, aunque los machos en condiciones donde la competencia intrasexual es nula (AS1) prefieren expresar su máxima actividad reproductiva alrededor del medio día; que por otro lado en presencia de un competidor (AS2) la actividad reproductiva se adelanta y se vuelve constante en el tiempo, aunque menos intensa. Asimismo, la frecuencia de las conductas antagónicas es alta (260 eventos/h), respecto a la frecuencia de conductas reproductivas expresadas con la hembra en este ámbito (194 eventos/h), siendo evidente que la atención mutua entre los machos fue muy prolongada durante el experimento. Esto resultó en que la frecuencia de expresión de las conductas reproductivas

del macho dominante hacia la hembra, fuera menor en este caso, respecto a la condición AS1 donde había un solo macho presente.

Asimismo, se observaron diferencias claras en la expresión de conductas reproductivas hacia la hembra entre los machos dominantes y subordinados. Estas diferencias radican en la ausencia de acoso del macho hacia la hembra mientras que el macho dominante presentó 27 eventos/h. Por otro lado, el cortejo del macho dominante fue 25 veces mayor que el del subordinado (299 eventos/h del macho dominante vs 12 eventos/h del macho subordinado). Esto sugiere que el macho subordinado tiene menos oportunidades reproductivas que el dominante como se ha reportado para diversos grupos, por ejemplo en los guppies (*Poecilia reticulata*; Waner, 2000); en aves; en el pinzón zebra (*Taeniopygia guttata*; Dall, Witter. 1998) y en insectos como el gorgojo (*Brentus anchorago*; Jhonson, 1982).

El incremento en la frecuencia de expresión de la conducta de cortejo, así como la disminución en la frecuencia de expresión del acoso, sugieren que la importancia relativa del cortejo se incrementa. Es decir, en el caso de presencia de competidores (machos) el despliegue de actividades y la expresión de ornamentos incrementa su importancia para el éxito reproductivo (Johnson, 1981; Nicoletto, 1993). Esto mismo puede aplicarse a la modificación que sufre el ritmo de la expresión de la tasa de cortejo en

AS2, en donde al parecer el horario de expresión máxima de la conducta se hace menos evidente.

La frecuencia de rechazo de las hembras fue alta. En el AS1 la sumatoria de las conductas de acoso y cortejo fue de 305 eventos, mientras que los rechazos sumaron 255 eventos a lo largo del ciclo. En el AS2, la sumatoria de las conductas de acoso y cortejo del macho dominante fue de 326 eventos, mientras que los rechazos sumaron 128 eventos a lo largo del ciclo. Sin embargo en el AS2, la menor incidencia de rechazo no se manifestó en la aceptación dado que esta fue nula. Esto puede deberse a que el macho dominante suspendió las actividades de cortejo y acoso de manera frecuente para enfrentar y ahuyentar al macho subordinado, esto pudo resultar en una disminución de la atención y del interés de parte de la hembra ante los intentos del macho.

En el experimento donde se colocaron dos machos, la aceptación de la hembra fue nula, y la frecuencia de rechazos fue diferente entre los ámbitos sociales siendo mayor en AS1 que en AS2 (255 en AS1 vs 128 en AS2 eventos/h). En cuanto a la expresión de conductas reproductivas del macho a la hembra estas fueron mayores en AS1 que en AS2 (285 en AS1 vs 194 en AS2 eventos/h). Esto sugiere que en presencia de dos machos, la importancia de la selección de pareja toma mayor importancia requiriendo posiblemente más tiempo para expresarse claramente. En experimentos realizados con

peces poecílidos se señala que las hembras son capaces de seleccionar pareja en menos de 10 minutos (Farr,1989), sin embargo en los experimentos donde los machos se encuentran en tanques separados y la hembra no observa interacción, ni respuestas antagónicas entre ellos, es probable que ante la respuesta antagónica nula de los machos, la hembra requiera más tiempo para seleccionar pareja (Farr,1989).

En cuanto a la frecuencia de alimentación de los peces, se observa que la alimentación de los machos fue mayor que la de las hembras. Esto podría explicarse debido a que la actividad del macho fue mayor que la de la hembra, lo cual tiene consecuencias en términos energéticos. La expresión de las conductas del macho, especialmente el cortejo, requieren gran cantidad de energía para llevarse a cabo (Basolo, Alcaraz, 2003). Asimismo en diversas especies de peces se ha demostrado que las interacciones antagónicas son energéticamente demandantes (Bruce, White, 1995). Es decir en este trabajo los mayores requerimientos de energía por parte de los machos podrían asociarse a su mayor actividad respecto a las hembras, lo cual se manifiesta en mayores frecuencias de alimentación.

Por otro lado, la mayor frecuencia de alimentación en AS1 se presentó antes en las hembras (9 h) que en los machos (13 h). Asimismo la mayor frecuencia de alimentación de los machos coincide con los horarios en los que se expresa la mayor actividad de acoso este ámbito social. Lo mismo sucede

para las hembras, en donde la mayor frecuencia de alimentación coincide con la mayor frecuencia de expresión de conductas de rechazo. Esto sugiere que los horarios de mayor actividad reproductiva y alimentaria son similares para cada sexo.

Apoyando lo anterior se puede señalar que en el AS2 el macho dominante no presenta una variación en la frecuencia de alimentación; es decir, la frecuencia de alimentación tiende a mantenerse constante a lo largo del día. Esto coincide con lo que se observa en la tasa de cortejo, en donde la expresión de conductas de cortejo son similares a lo largo del ciclo. Esto último apoya la relación que existe entre el despliegue de actividades altamente costosas y la alimentación.

Este mismo patrón se observa en los machos subordinados donde, el horario de la máxima frecuencia de alimentación se presenta en los horarios de mayor actividad de expresión de conductas reproductivas hacia la hembra; tal como sucede con los machos del AS1. Es decir, en ambos casos la mayor frecuencia de alimentación coincide con la mayor expresión de conductas reproductivas. Por otro lado, la máxima frecuencia de alimentación y expresión de conductas reproductivas de los machos se expresan en el horario de menor frecuencia de interacciones antagónicas. Aunque en *X. montezumae*, las conductas antagónicas no terminan con la muerte de alguno de los organismos, los machos subordinados expresan conductas de evasión

al contrincante, disminuyendo su actividad y refugiándose en las orillas del tanque, lo cual podría explicar su baja frecuencia de alimentación en los periodos de mayor agresividad del oponente. Resultados similares han sido reportados para *Poecilia reticulata*, cuya alimentación disminuye en presencia de competidores del mismo sexo (Bildsoe, 1988).

En general, los resultados de este trabajo señalan que los periodos de máxima alimentación de los peces, tanto en el AS1 como en el AS2, se relacionan con los periodos de máxima actividad de las hembras, como de los machos.

Al igual que se ha observado en los guppies, en este estudio fue posible establecer los tiempos de mayor actividad para cada una de las conductas reproductivas. En *P. reticulata* se han estimado los periodos de mayor y menor actividad reproductiva (en el caso de los machos) (Bruce, White, 1995), mismos que se presentan con mayor frecuencia alrededor del medio día, lo cual coincide con la actividad reproductiva de los machos de *X. montezumae*.

Los resultados de este estudio muestran la actividad conductual de los peces (hembras y machos) que modifican su frecuencia de expresión a lo largo del ciclo diurno. Sin embargo, no siempre la mayor frecuencia de conductas reproductivas del macho coincidió con la aceptación de la hembra. En todos los casos, los periodos de mayor actividad fueron seguidos por periodos de

alimentación, lo cual podría explicarse en base a los costos energéticos asociados a la expresión de la conducta.

Finalmente, los resultados de este trabajo demuestran que la importancia del ámbito social es la estrategia conductual de obtención de pareja.

CONCLUSIONES

- En cuanto a la actividad reproductiva del macho, se observó que la conducta de acoso se expresó antes que la conducta de cortejo. Este patrón podría relacionarse con la tendencia de los organismos a expresar conductas menos elaboradas y energéticamente menos demandantes antes que las conductas complejas y más costosas.
- La frecuencia de rechazo de las hembras en AS1 fue mayor hacia medio día (periodo de mayor iluminación) coincidiendo con el periodo de mayor frecuencia de acoso del macho, mientras que el comportamiento de aceptación fue en la madrugada (periodo de baja iluminación) cuando la actividad reproductiva del macho es poco intensa.
- En el AS2, el establecimiento de una jerarquía entre los machos se dio desde la primera hora de observación, mostrando en los machos dominantes un ritmo de la actividad reproductiva a lo largo del día.
- Al igual que en AS1, la mayor frecuencia en la conducta de acoso se expresó antes que la conducta de cortejo, siendo poco evidente el ritmo de actividad diurna en estos peces.
- En los organismos subordinados solo se presentó la conducta de cortejo principalmente en la noche (periodo de poca iluminación).

-
- Las hembras mostraron un ritmo de la actividad de rechazo al macho a lo largo del día dos veces mayor en AS1 que en AS2, mientras que la conducta de aceptación a los dos machos (AS2) fue nula.
 - El ritmo de la actividad reproductiva de los machos a lo largo del día fue diferente entre el AS1 y el AS2, presentándose antes en el AS2 que en el AS1.
 - El acoso de la hembra por el macho dominante (AS2) fue 3.2 veces menor que la del macho del AS1, mientras que el cortejo del macho dominante fue similar a la del macho del AS1.
 - Los periodos de máxima alimentación de los machos, tanto en el AS1 como en el AS2, se relacionan con los periodos de máxima actividad reproductiva (acoso y cortejo), y en las hembras coincide con el periodo de máximo rechazo a los machos, interpretándose como resultado de los altos requerimientos energéticos asociados a la expresión de la conducta en ambos sexos.

LITERATURA CITADA

- ❖ Alcock, J. 1989. *An evolutionary approach*, 4° ed. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Mass.
- ❖ Alcock, J. 1998. *Animal behaviour an evolutionary approach*. Sinauer Associates, Inc. Publishers Sunderland, Massachusetts.
- ❖ Basolo, A., Alcaraz, G. 2003. *The turn of the sword: length increases the cost of courtship in swordtails*. Proc. Roy. Soc. London. 270:1631-1636.
- ❖ Bates, M., Humphrey, P. 1956. *The Darwin Reader*. Charles Scribner's Sons, New York.
- ❖ Bildsoe, M. 1988. *Aggressive, sexual, and foraging behaviour in Poecilia velifera (Pisces: Poeciliidae) during captivity*. Ethology, 79: 1-12.
- ❖ Brady, J. 1979. *Biological Clocks, studies in Biology*. No. 104, University Park Press Baltimore, Maryland, USA.
- ❖ Bruce, K., White, W. 1995. *Agonistic relationships and sexual behaviour patterns in male guppies, Poecilia reticulata*. Anim. Behav. 50:1009-1021.
- ❖ Carthy, J. 1974. *El estudio del comportamiento*. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España.
- ❖ Chambers, J. 1987. *The cyprinodontiform gonopodium, with an atlas of the gonopodia of the fishes of the genus Limia*. J. Fish. Biol. 30: 389-418.
- ❖ Constantz, G. 1974. *Reproductive effort in Poeciliopsis occidentalis (Poeciliidae)*. Southwest. Nat. 19: 47-52.

-
- ❖ Curtis, H., Barnes, N. 1993. *Biología*. Ed. Médica Panamericana. Bogotá, Colombia.
 - ❖ Dall S., Witter M. 1998. *Feeding interruptions, diurnal mass changes and daily routines of behaviour in zebra finch*. Anim. Behav. 55: 715-725.
 - ❖ Dewsbury, D. A. 1982. *Dominance rank, copulatory behaviour, and differential reproduction*. Q. Rev. Biol., 57: 135-159.
 - ❖ Evans, J., Kelley, J., Ramnarine, I., Pilastro, A. 2002. *Female behaviour mediates male courtship under predation risk in the guppy (*Poecilia reticulata*)*. Behav. Ecol. 52: 496-502.
 - ❖ Farr, J.A. 1989. *Sexual selection and secondary sexual differentiation in Poeciliidae: determinants of male mating success and the evolution of female choice*. Pp.91-123. *In: Ecology and Evolution of Livebearing Fishes (Poeciliidae)* Ed. by G. K. Meffe, F. F. Snelson. Prentice Hall, New York.
 - ❖ Futuyma, D. 1983. *Science on trial: the case for evolution*. Pantheon Books, New York.
 - ❖ Gross, M.R. 1984. *Sunfish, salmon, and evolution of alternative reproductive strategies and tactics in fishes*. Pp. 55-75. *In: Fish Reproduction: Strategies and tactics*. Ed. by G. W. Potts, P.J. Wootton. Academic Press. London.
 - ❖ Johnson, L. 1982. *Sexual selection in a brentid weevil*. Evolution. 36: (2) 251-262.

-
- ❖ Macías, C. 1994. *Social Behavior and Operational Sex Ratios in the Viviparous Fish Girardinichthys multiradiatus*. *Copeia* 4: 919-925.
 - ❖ Magurran, A., Macías, C. 2000. *Sex differences in behaviour as an indirect consequence of mating system*. *J. Fish Biol.* 57: 839-837.
 - ❖ Magurran, A., Seghers, B. 1990. *Risk sensitive courtship in the guppy (Poecilia Reticulata)*. *Behaviour* 112: (3-4) 194-201.
 - ❖ Mogens, B. 1988. *Agressive, sexual, and foraging behaviour in Poecilia velifera (Pisces: Poeciliidae) during Captivity*. *Ethology*. 79: 1-12.
 - ❖ Morris, M., Batra, P., Ryan, M. 1992. *Male-male competition and access to females in the swordtail Xiphophorus nigrensis*. *Copeia*. 4: 980-986.
 - ❖ Nicoletto, P. 1993. *Female sexual response to condition-dependent ornaments in the guppy, Poecilia reticulata*. *Anim. Behav.* 46: 441-450.
 - ❖ Nicoletto, P. 1993. *Female sexual response to condition-dependent ornaments in the guppy, Poecilia reticulata*. *Anim. Behav.* 46: 441-450.
 - ❖ Parenti, L. 1981. *A phylogenetic and biogeographic analysis of cyprinodontiform fishes (Teleostei, Atherinomorpha)*. *Bull. Amer. Mus. Natur. Hist.* 168: 335-557.
 - ❖ Parenti, L. 1984. *Biogeography of the Andean killifish genus Orestias with comments on the species flock concept*. Pp. 85-92 *In*: A. A. Echelle and I. Kornfield (eds.), *Evolution of Fish Species Flocks*. Univ. Maine at Orono Press, Orono, ME. USA.

-
- ❖ Piña, V. 1985. *Efecto del tratamiento de nucleótidos ciclidos y factores liberadores de cianodotrofinas sobre la maduración gonadal del pez Xiphophorus helleri*. Tesis grado Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
 - ❖ Rauchenberger, M., Kallman, K., Morizot, D. 1990. *Monophyly and new species*. Mus. Novit, 2974: 1-41.
 - ❖ Reeb, S. 2002. *Plasticity of diel and circadian activity rhythms in fishes*. Rev. Fish Biol. and Fisheries 12: 349-371.
 - ❖ Rosen, D. 1973. *Suborder Cyprinodontoide: Superfamily Cyprinodontoidea: Families Cyprinodontidae, Poeciliidae, and Anablepidae*. Mem. Sears Found. Mar. Res. 1(6): 229-62.
 - ❖ Rosen, D., Bailey, R. 1963. *The poeciliid fishes (Cyprinodontiformes), their structure, zoogeography and systematics*. Bull. Amer. Mus. Natur. Hist. 126: 1-176.
 - ❖ Slater, P. 2000. *El comportamiento animal*. Cambridge University Press. Traducción española.
 - ❖ Tista, C. 1993. *Bases de la Etología y algunas aplicaciones en animales productivos*. UNAM.
 - ❖ Warner, R., Dill, L. 2000. *Courtship displays and coloration as indicators of safety rather than of male quality: the safety assurance hypothesis*. Behav. Ecol. 11: 444-451.

-
- ❖ Weitzman, S., Weitzman, M. 1982. *Biogeography and evolutionary diversification in neotropical freshwater fishes*. Pp. 403-22 In: *Biological Diversification in the Tropics*. Columbia Univ. Press, New York, NY, USA.
 - ❖ Wourms, J. 1981. *Viviparity: the maternal-fetal relationship in fishes*. *Amer. Zool.* 21: 473-515.