

00322



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

20

VARIACION EN ALGUNOS ATRIBUTOS DE LA HISTORIA DE VIDA DE *Xiphophorus birchmanni* (PISCES: POECILIIDAE) EN LA SIERRA NORTE DEL ESTADO DE HIDALGO, CONFLUENCIA DE LAS HUASTECAS, HIDALGO, MEXICO.

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**B I O L O G O**  
**P R E S E N T A :**  
**DAVID BRAILOVSKY SIGNORET**

DIRECTOR DE TRABAJOS DE INVESTIGACIONES PROFESIONALES EDUARDO SOTO GALERA



FACULTAD DE CIENCIAS 2003  
SECCION DE TRABAJOS DE INVESTIGACIONES PROFESIONALES

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



l.a



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**DRA. MARÍA DE LOURDES ESTEVA PERALTA**  
**Jefa de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito: "Variación en algunos atributos de la historia de vida de Xhiphophorus birchmanni (PISCES:POECILIIDAE) en la sierra norte del estado de Hidalgo, Confluencia de las Huastecas, Hidalgo, México."

realizado por

BRAILOVSKY SIGNORET DAVID

con número de cuenta 9650389-4 , quien cubrió los créditos de la carrera de: **BIOLOGIA**

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

**A t e n t a m e n t e**

Director de Tesis	M. en C. Eduardo Soto Galera
Propietario	Dr. Guillermo Salgado Maldonado
Propietario	Dr. Luis Zambrano González
Propietario	Dr. Abraham Kobelkowsky Díaz
Suplente	M. en C. Jose Carlos Juárez López

*Guillermo Salgado Maldonado*  
*Abraham Kobelkowsky Díaz*  
*J. Carlos Juárez López*

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Consejo Departamental de **BIOLOGIA**

*Juan Manuel Rodríguez Chávez*  
M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez

FACULTAD DE CIENCIAS



UNIDA DE ENSEÑANZA  
DE BIOLOGIA

1

## DEDICATORIA

Dedico esta Tesis, con todo mi aprecio...

*A mis padres, Gisele y Kent*

Quienes siempre me han respaldado y motivado para seguir adelante.

*A mis hermanos, Sheila y Peter*

Porque aunque a veces puedan existir diferencias entre nosotros, siempre nos sabemos comprender y apoyar.

*A mis primos,*

Porque siempre han sido para mí, más que primos, hermanos.

*A toda mi familia,*

Por todo el apoyo y la unión que la caracteriza. Por ser tan maravillosos.

*A mi director, Eduardo*

Por toda la paciencia, comprensión y apoyo que ha tenido conmigo para sacar adelante este trabajo.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas, por su colaboración en el desarrollo de esta Tesis: Al M. en C. Eduardo Soto Galera por su dirección y apoyo para la realización del estudio, por facilitarme material e instrumentos para el desarrollo del trabajo en campo y laboratorio en la ENCB-IPN, así como por su orientación, comprensión y paciencia para la revisión del documento paso a paso; Al Dr. Guillermo Salgado Maldonado por su revisión del documento, por su orientación en el área de parasitología de peces y el equipo e instalaciones facilitadas en el Instituto de Biología de la UNAM, por todo su apoyo y confianza; A los doctores Luis Zambrano González (IB UNAM) y Abraham Kobelkowsky Díaz (UAM-I), y al M. en C. Jose Carlos Juárez López (FC UNAM), por su revisión del documento y sus siempre pertinentes comentarios en torno al mismo. Extiendo también mi agradecimiento a las biólogas Miriam Soria Barreto y Lilián Alcántara Soria (ENCB-IPN), por su ayuda y participación en la colecta de ejemplares y por su apoyo en la identificación de los mismos. También deseo agradecer la participación del Dr. Juan M. Caspeta Mandujano (IB UNAM) por la identificación taxonómica de los parásitos encontrados. Un especial agradecimiento a la Dra. Martha Signoret Poillon (UAM-X), al Dr. Harry Brailovsky Alperowitz (IB UNAM) y a la M. en C. Gisele Signoret Poillon (UAM-X) por su revisión inicial del documento y por todos sus comentarios, sugerencias y apoyo.

El presente estudio contó con el apoyo económico del proyecto CGPI 990401 (Coordinación General de Posgrado e Investigación - IPN), S115 (CONABIO).

## ABSTRACT

The present work was advocated to the study of the life history of *Xiphophorus birchmanni* (PISCES : POECILIIDAE), (Lechner & Radda, 1987) in several sites of different altitudes in the Sierra Norte de Hidalgo, Confluencia de las Huastecas region, Hidalgo, México. A characterisation of the life history of the POECILIIDAE and nearby species was performed in order to establish comparisons with the obtained results. Different hypothesis were tested concerning the altitudinal association and the presence of strategies of type r and k, while general observations were performed concerning the anthropogenic influences within the sites and their effects over the species. 789 specimens (570 females and 219 males) from seven selected sites within those that were sampled, were used to perform this study. The samples were taken during the dry and humid seasons of the year 2000, using electric fishing equipment and material facilitated by the National Mexican Freshwater Fish Collection (Colección Nacional de Peces Dulceacuicolas Mexicanos; CNP-ENCB-IPN), Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, and the Helminthological Laboratory of the Institute of Biology (Instituto de Biología), Universidad Nacional Autónoma de México. Specimens are stored at the first facility with the catalogue numbers: ENCB-IPN: P4958H, P4959H, P4960H, P4971H, P4972H, P4977H, P4980H, P4982H, P4984H, P4985H, P4960M, P4977M, P4971M, P4972M, P4980M, P4982M, P4983M, y P4985M. Superfetation and information concerning a certain level of matrotrophic viviparity were found that stand out from the usual situation in most POECILIIDAE species. Several ichthyological indexes were tested and some new ones were proposed and tested, from which two can be pointed out: secondary sexual maturity factor for males (MS) and the relative fecundity index for females (IFC). Basic embryonic development and its relation with gonadal development were reviewed. Several estimations were performed for the population parameters as a first approachment to the knowledge of the species populations. The altitudinal associations were different from those supposed in the hypothesis, though it was observed a considerable phenotypic plasticity of the species in order to adapt to a wide temperature range. Thus, the principal factors involved in the distribution and biology of the species are: food availability and related factors, basic survival conditions associated with the environment, and the seasonal changes, which show greater effects in the most unstable sites. It is important to encourage conservation efforts toward the sites with similar conditions of those at Río Calnalí or Metlatlan, and Río San Pedro, in the area immediately above the Orizatlán town.

## RESUMEN

En el presente trabajo se estudió la historia de vida de *Xiphophorus birchmanni* (PISCES : POECILIIDAE), (Lechner y Radda, 1987) en diversos sitios de diferentes altitudes en la Sierra Norte de Hidalgo, región de la Confluencia de las Huastecas, Hidalgo, México. Se revisaron las características de las historias de vida de los Poecílidos y especies afines, y se establecieron comparaciones con los resultados obtenidos. Se establecieron y probaron planteamientos hipotéticos sobre la agrupación altitudinal, así como sobre la ocurrencia de estrategias de tipo r y k, y se realizaron observaciones generales sobre las influencias antropogénicas en los diversos sitios y sus efectos sobre la especie. Se trabajó con 789 ejemplares (570 hembras y 219 machos) recolectados en siete sitios selectos de entre los sitios visitados durante la estación de secas y la estación de lluvias del año 2000. Las colectas se efectuaron con equipo de electropesca y material proporcionado por la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (CNP-ENCB-IPN), Instituto Politécnico Nacional, y por el Laboratorio de Helminología del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Los ejemplares se encuentran depositados en la CNP-ENCB-IPN con los números de catálogo: ENCB-IPN: P4958H, P4959H, P4960H, P4971H, P4972H, P4977H, P4980H, P4982H, P4984H, P4985H, P4960M, P4977M, P4971M, P4972M, P4980M, P4982M, P4983M, y P4985M. Se encontró presencia de superfecundación e información que sugiere un cierto grado de viviparidad matrotrofica para la especie, lo que la destaca de las características típicas registradas hasta ahora para la familia. Se calcularon y probaron diversos índices usados en la ictiología y se propusieron algunos nuevos, entre los que destacan: el factor de madurez sexual secundaria en los machos (MS), y el índice de fecundidad relativa calculada para las hembras (IFC). Se expone el desarrollo embrionario básico de la especie y su relación con el desarrollo gonadal. Se hacen estimaciones poblacionales básicas como un primer acercamiento al conocimiento de las poblaciones de la región. La agrupación altitudinal no ocurre precisamente en la forma esperada, pues se ha observado que para esta especie existe plasticidad fenotípica para adaptarse al gradiente de temperaturas. Los factores preponderantes que influyen la distribución y comportamiento de la especie resultaron ser: la disponibilidad de alimentos y factores que lo afectan, las condiciones básicas de supervivencia asociadas con las características ambientales, y los cambios estacionales que muestran mayores efectos en los sitios poco estables. Se sugiere orientar los planes de conservación hacia sitios de características similares al afluente del Río Calnali o Metlatlan, y al Río San Pedro, en la zona inmediatamente por encima del poblado de Orizatlán.

## INDICE

Relación de Cuadros, Tablas y Figuras	8
Introducción	10
Justificación e importancia del estudio	10
Objetivos del estudio	12
Descripción del área de estudio	13
La Confluencia de las Huastecas	13
Los sitios de muestreo	14
Posición taxonómica y descripción de la especie	20
Las historias de vida en los Poeciliidae	21
Planteamiento de hipótesis	23
Hipótesis de Trabajo: Estrategias r y k	24
Material y Método	28
Selección y manejo de los sitios de colecta	28
Métodos de captura	29
Manejo de los ejemplares en campo y laboratorio	30
Morfometría y manejo de datos	32
Métodos de análisis de información	34

<b>Resultados del estudio</b>	<b>40</b>
<b>Resultados generales por sitio de muestreo</b>	<b>40</b>
Datos ambientales generales	40
Características de las poblaciones	46
Estructura de edades	56
<b>Aspectos reproductivos</b>	<b>62</b>
Dimorfismo y madurez sexual	62
Desarrollo embrionario	65
<b>Resultados complementarios y comentarios generales</b>	<b>71</b>
Contenidos estomacales y dieta	71
Etología general	72
Parasitosis, enfermedades y deformaciones	74
Influencia antropogénica	75
<b>Análisis de resultados</b>	<b>77</b>
Estimaciones poblacionales	77
Pruebas estadísticas	81
Otras estadísticas no paramétricas	89
<b>Discusión y Conclusiones</b>	<b>92</b>
Sobre la biología de la especie	92
Sobre los planteamientos hipotéticos	99
<b>Recomendaciones para el estudio, uso y conservación de la especie</b>	<b>104</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>105</b>
<b>Anexo – Esquemas y fotografías</b>	<b>113</b>

## **RELACIÓN DE CUADROS, TABLAS Y FIGURAS**

Cuadro 1 – Ubicación geográfica y clasificación hidrológica de los sitios	16
Cuadro2 – Límites del área de estudio	17
Cuadro 3 – Resultados generales del estudio	46
Tabla 1 – Distancias directas y efectivas (kms) entre los sitios de muestreo	41
Tabla 2 – Resumen de las características ambientales de los sitios	42
Tabla 3 – Estructura general de tallas y edades probables, caso hembras	56
Tabla 4 – Estructura de tallas de las hembras en los diversos sitios	57
Tabla 5 – Estructura de tallas de los machos en los diversos sitios	57
Tabla 6 – Tallas de reclutamiento reproductivo en las hembras	57
Tabla 7 – Tallas de reclutamiento reproductivo en los machos	58
Tabla 8 – Proporción sexual (ratio) de las poblaciones estudiadas	63
Tabla 9 – Índice Gonadosomático de las hembras estudiadas	63
Tabla 10 – Índice de Fecundidad Calculada de las hembras estudiadas	64
Tabla 11 – Promedios del factor de madurez secundaria en los machos (MS)	65
Tabla 12 – Estadios empíricos de maduración sexual y desarrollo gonadal	66
Tabla 13 – Estadios empíricos del desarrollo embrionario	67
Tabla 14 – Desarrollo gonadal y presencia de superfecundación	69
Tabla 15 – Estimación del número de crías anuales de las hembras maduras	70
Tabla 16 – Estimaciones de parámetros poblacionales	79
Tabla 17 – Presiones de selección y estado de las poblaciones	80
Tabla 18 – Resultados de las pruebas t-student aplicadas al factor k	82
Tabla 19 – Correlaciones encontradas entre los sitios para el factor ka	90
Tabla 20 – Condensado general de tendencias. Estrategias r y k.	91

## FIGURAS:

Figura 1 – Sitio 6, se observa un remanso y parte de la zona de rápidos	18
Figura 2 – Mapa de la zona de estudio y ubicación geográfica de los sitios	19
Figura 3 – Análisis de distancias Euclidianas para los sitios	44
Figura 4 – Mapa general de la zona del Río Calnali o Metlatial	45
Figura 5 – Relación Longitud patrón (LP) vs. Peso total (Wt), caso: hembras	52
Figura 6 – Relación Altura (A) vs. Peso total (Wt), caso: hembras	53
Figura 7 – Relación Longitud patrón (LP) vs. Peso total (Wt), caso: machos	54
Figura 8 – Relación Altura (A) vs. Peso total (Wt), caso: machos	55
Figura 9 – Esquema de una escama típica de <i>Xiphophorus birchmanni</i>	60
Figura 10 – Esquemas generales del desarrollo gonadal	67
Figura 11 – Esquemas generales del desarrollo embrionario	68
Figura 12 – Dispersión residual para el análisis de condición k	84
Figura 13 – Diagrama de cajas para el factor de condición k	84
Figura 14 – Dispersión residual para el análisis de condición ka	86
Figura 15 – Diagrama de cajas para el factor de condición ka	86
Figura 16 – Dispersión residual para el análisis del factor de relación AL	88
Figura 17 – Diagrama de cajas para el factor de relación AL	88
Figura 18 – Esquema de un macho adulto	113
Figura 19 – Esquema de las estructuras del gonopodio del macho	113
Figura 20 – Cladograma de especies cercanas a <i>Xiphophorus birchmanni</i>	114
Figura 21 – Ejemplar macho de <i>Xiphophorus birchmanni</i>	114
Figura 22 – Ejemplar hembra de <i>Xiphophorus birchmanni</i>	115
Figura 23 – Ejemplar hembra de <i>Xiphophorus birchmanni</i>	115
Figura 24 – Ovocito desarrollado	116
Figura 25 – Embrión en estadio ii (4)	116
Figura 26 – Embriones en estadio iii (5)	116
Figura 27 – Embriones en estadio iv (6)	116
Figura 28 – Algunos contenidos estomacales comunes	117
Figura 29 – Algunos parásitos encontrados en los ejemplares	117

# **INTRODUCCIÓN**

## **JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

Dentro del vasto campo que abarca la Ictiología, resulta de gran importancia la elaboración de estudios sobre la biología y ecología de los peces dulceacuicolas mexicanos, la mayoría de los cuales permanece en un estado poco conocido o en un conocimiento superficial. Los peces son parte integral de los ecosistemas acuáticos y constituyen un recurso alimentario de gran importancia para el ser humano. Como es natural, el enfoque más auspiciado alrededor del tema ha sido esencialmente taxonómico y sistemático, debido tanto a la falta de recursos, como a las necesidades primarias de conocer la ictiofauna existente, clasificarla, sistematizarla y llevar un registro de los cambios que experimenta la diversidad ictica en los sistemas hidrológicos a través del tiempo. La conservación y manejo de las especies ha cobrado cada vez mayor importancia a raíz del crecimiento de las poblaciones humanas, del aumento de sus necesidades y de la alteración y explotación del medio ambiente para los fines del desarrollo económico y social; muchos sitios en ríos del centro de México han desaparecido por completo (Soto-Galera et al, 1998 y 1999). De esta forma resulta evidente la importancia de conocer con más detalle las características biológicas y ecológicas de las especies, así como la forma y grado en que pudiesen verse afectadas por las actividades humanas y los fenómenos derivados de las mismas. Estos conocimientos contribuyen a la comprensión de las especies dentro de sus comunidades y su relación con el medio, así como la forma en que se comportan sus poblaciones, cómo pueden ser explotadas y el manejo integral de éstas como recurso.

Por otro lado, resultan importantes para poder aplicar metodologías de índices de integridad biótica (IIB) y desarrollar programas de conservación (Lyons et al, 1995). Pueden asimismo aportar datos sobre otros grupos de organismos, incluyendo parásitos que pueden ser perjudiciales para el ser humano de forma directa o indirecta. Los peces son buenos indicadores de la salud relativa de los ecosistemas acuáticos y sus mantos acuíferos (Fausch et al, 1990; McCauley, 1990). Además, proporcionan una amplia fuente de información para las ciencias biológicas, y en el caso especial de los estudios de historias de vida, permiten avanzar dentro del conocimiento de la evolución de las especies y los fenómenos de selección natural.

## OBJETIVO GENERAL

- Describir algunos atributos reproductivos (índice gonadosomático, índice propuesto de madurez sexual secundaria en machos, fecundidad relativa, estadios y características del desarrollo embrionario y gonadal), así como atributos de crecimiento (robustez, estructura de edades, características de las escamas típicas, alteraciones en el crecimiento y presencia de parasitosis) que resultan de importancia en la historia de vida de poblaciones de *Xiphophorus birchmanni* (PISCES : POECILIIDAE) encontradas en la parte alta, media y baja de algunos ríos y arroyos de montaña de la sierra norte de Hidalgo y establecer la presencia de posibles diferencias entre dichas poblaciones.

## OBJETIVOS PARTICULARES

- Describir las características fisicoquímicas y bióticas generales, así como la configuración general de los sitios de muestreo comprendidos en la zona estudiada. Efectuar observaciones generales sobre la presencia y los posibles efectos de la contaminación y alteraciones en la calidad del agua, la competencia interespecífica, así como la disponibilidad de recursos y alteraciones antropogénicas al ambiente.
- Realizar una descripción de algunas características de la historia de vida de *X. birchmanni* con especial énfasis en la biología reproductiva y detectar las tendencias generales en cuanto a estrategias de historia de vida para poblaciones de dicha especie con base en los atributos revisados y las características ambientales de los sitios.
- Correlacionar las diferencias entre las poblaciones de *X. birchmanni* con los parámetros ambientales que ocurren a las diversas altitudes y zonas de los diversos escurrimientos: ríos y arroyos, estudiados en la región de la confluencia de las Huastecas.

## DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### LA CONFLUENCIA DE LAS HUASTECAS

La región conocida como la "Confluencia de las Huastecas" comprende una amplia zona de los estados de Veracruz, San Luis Potosí, Hidalgo y Querétaro, con una extensión de 27,404.85 km<sup>2</sup> y una forma poligonal limitada por las coordenadas de latitud 22°16'48" - 20°19'48" N, y las coordenadas de longitud 101°21'00" - 98°01'12" O. Dicha región es de características montañosas, rodeada por las sierras: Alaquines, Jalpan, Tanchipa, Huayacocotla, Zimapán, los Mármoles y Pachuca. Zona característica por su origen kárstico y su inaccesibilidad, donde existen una gran variedad de suelos tipo Regosol, Vertisol, Litosol, Rendzina y Cambisol (CONABIO, 2003).

La región cuenta con diversos recursos hidrológicos, entre los que destacan: la presa de Zimapán, los lagos de Meztlán y Molango, así como los ríos: Santa María, Bagres, Jalpan, de las Albergas, Naranja, Mesillas, Tamuín o Pánuco, Grande de Meztlán, San Pedro, Gallinas, Tampaón, Choy, Moctezuma, Ojo Frio, Tempoal o Calabozo, Tulancingo, Hondo, Amajac, del Hule, Axtla y Matlapa, arroyos, manantiales, cascadas y aguas hidrotermales. El clima varía según la altitud, por lo que puede ser desde semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, hasta templado subhúmedo y cálido subhúmedo con lluvias en verano y principios de otoño.

La temperatura media anual va de 12 a 26 °C y la precipitación total anual de 700 a 3000 mm, siendo mayor en las zonas cercanas al Golfo de México, donde el efecto de norte produce lluvias que se extienden durante el otoño e invierno (INEGI, 1992 y 1995 citados en CONABIO 2003; INEGI, 2002; CONABIO, 2003). Aunque las precipitaciones pueden ser abundantes en las zonas elevadas, éstas tienden a fluir rápidamente hacia las regiones bajas, de tal forma que aún con los vientos húmedos del Golfo de México, que proporcionan abundantes lluvias, lo abrupto de la sierra madre oriental impide el aprovechamiento de los escurrimientos (Soria-Barreto et al, 1996).

## LOS SITIOS DE MUESTREO

La selección de sitios y manejo de las colectas en los mismos se tratan con mayor detalle en la sección de metodología. Es necesario aclarar que se trabajó en siete sitios diferentes, todos comprendidos dentro de la cuenca del río Moctezuma (Afluente principal del río Pánuco, que desemboca en el Golfo de México), abarcando zonas de arroyos y ríos dentro de tres rangos de altitud, a saber: sitios bajos (250-270 msnmm, sitios 1, 2 y 3), sitios medios (440-510 msnmm, sitios 4 y 5), y sitios altos (1000-1150 msnmm, sitios 6 y 7). En el Cuadro 1 se puede apreciar la clasificación hidrológica de los escurrimientos, así como sus coordenadas geográficas, mientras que en la Figura 2 se presenta el mapa de ubicación de los mismos. Los sitios más bajos se caracterizan esencialmente por su mayor flujo y volumen, menor velocidad de la corriente, menor oxigenación, mayor riqueza de especies y abundancia, mayor eutrofización y concentración de diversos nutrientes, temperaturas más elevadas y constantes y mayores modificaciones antropogénicas al medio.

Por su parte, los sitios más elevados se caracterizan esencialmente por su menor flujo y volumen, mayor velocidad de la corriente, mayor oxigenación, menor riqueza de especies y menor abundancia, menor eutrofización, aguas cristalinas con bajas concentraciones de nutrientes, temperaturas más bajas y cambiantes, flujo de agua intermitente y menores modificaciones relacionadas con las actividades humanas. Sin embargo, la ubicación de los escurrimientos, la constitución geográfica del medio que los rodea, así como su proximidad a las poblaciones humanas y a zonas en diverso grado de conservación, dan por resultado una gama más amplia de características ambientales. Cabe destacar que el sitio 3 es un sitio de poco caudal, y relativamente poca estabilidad, a diferencia de los otros sitios bajos (1 y 2). Mientras que los sitios bajos (1, 2 y 3) se encuentran rodeados de colinas y montañas de pendiente ligera, los sitios medios (4 y 5) y los sitios altos (6 y 7) se encuentran rodeados de montañas más escarpadas, con pendientes pronunciadas y terrenos irregulares que generan mayor proporción de zonas de rápidos, lo cual los distingue de los sitios bajos en donde abundan los remansos y las zonas de baja corriente. Los sitios altos se ubican en zonas con menor incidencia de deforestación, pero resultan más afectados por las inundaciones repentinas y asolvamientos estacionales cuando se presenta algún grado de deforestación en las inmediaciones. Los sitios bajos y medios presentan un clima cálido a semicálido subhúmedo con lluvias en verano y principios de otoño, con temperatura media anual de 20 a 26 °C y precipitación total anual de 1800 a 3000 mm; mientras que los sitios altos presentan un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y principios de otoño, con temperatura media anual de 12 a 18 °C y precipitación total anual de 1300 a 2500 mm (INEGI, 2002).

### **Cuadro 1 – Ubicación geográfica y clasificación hidrológica de los sitios de muestreo**

#### **Sitio No 1- Río San Pedro, cerca de Orizatlán**

**Corriente de tercer grado, afluente del río Tempoal, que se une al río Moctezuma, que a su vez desemboca en el río Pánuco.**

**21° 10' 54" N 98° 35' 23" O**

#### **Sitio No 2- Río Talol, Afluente del San Pedro**

**Corriente de cuarto grado, afluente del río San Pedro, afluente del río Tempoal, que se une al río Moctezuma, que a su vez desemboca en el río Pánuco.**

**21° 06' 41" N 98° 37' 17" O**

#### **Sitio No 3- Arroyo en Vinazco, Jaltocan**

**Corriente de cuarto grado, afluente del río San Pedro, afluente del río Tempoal, que se une al río Moctezuma, que a su vez desemboca en el río Pánuco.**

**21° 09' 16" N 98° 30' 44" O**

#### **Sitio No 4- Vado de Coacuilco**

**Corriente de cuarto grado, afluente del río San Pedro, afluente del río Tempoal, que se une al río Moctezuma, que a su vez desemboca en el río Pánuco.**

**21° 06' 40" N 98° 35' 23" O**

**Sitio No 5- Vado a 2 kms de Coacuilco**

Corriente de cuarto grado, afluente del río San Pedro, afluente del río Tempoal, que se une al río Moctezuma, que a su vez desemboca en el río Pánuco.

21° 05' 19" N 98° 35' 23" O

**Sitio No 6- Río Calnali o Metlatial**

Corriente de cuarto grado, afluente del río Atlapexco, afluente del río Tempoal, que se une al río Moctezuma, que a su vez desemboca en el río Pánuco.

20° 53' 12" N 98° 36' 44" O

**Sitio No 7- Afluente del Río Calnali o Metlatial**

Corriente de quinto grado, afluente del río Calnali, afluente del río Atlapexco, afluente del río Tempoal, que se une al río Moctezuma, que a su vez desemboca en el río Pánuco.

20° 53' 12" N 98° 36' 43" O

**Cuadro 2 – Límites del área de estudio**

Al norte	21° 10' 54" N
Al sur	20° 53' 12" N
Al este	98° 30' 44" O
Al oeste	98° 37' 17" O

Los arroyos y ríos de menor flujo, como aquellos considerados dentro del ámbito del presente estudio, tienden a zonificarse de forma alternada, y siguiendo la pendiente del terreno que erosionan, dando las siguientes zonas básicas, que resulta necesario considerar en el muestreo:

#### Zona de corriente fuerte o rápidos y cascadas

Ocurren cuando el escurrimiento se encuentra con materiales duros y de difícil erosión como las rocas, especialmente en pendientes pronunciadas. Se caracteriza por la alta velocidad de la corriente, la elevada oxigenación del agua, y la presencia de remolinos, corrientes y flujo irregular o caótico del agua.



Figura 1 – Sitio 6, se observa un remanso y parte de la zona de rápidos

#### Zona de corriente media a baja

Ocurren en lugares de pendiente media a baja, cuando el afluente lleva suficiente agua. Pueden variar en profundidad pero en general son someros.

#### Zona de corriente baja o nula, remansos y pozas

Ocurren en lugares con pendiente baja o nula, o en sitios donde existe alguna barrera física natural o artificial, frente al cauce del escurrimiento. Son zonas de menor oxigenación, baja o nula velocidad de la corriente, mayor profundidad y depositación de sedimentos. Pueden incluirse oquedades en las orillas del escurrimiento formadas por erosión del material, caída de material desde las laderas o por crecimiento de las raíces de algunos árboles.

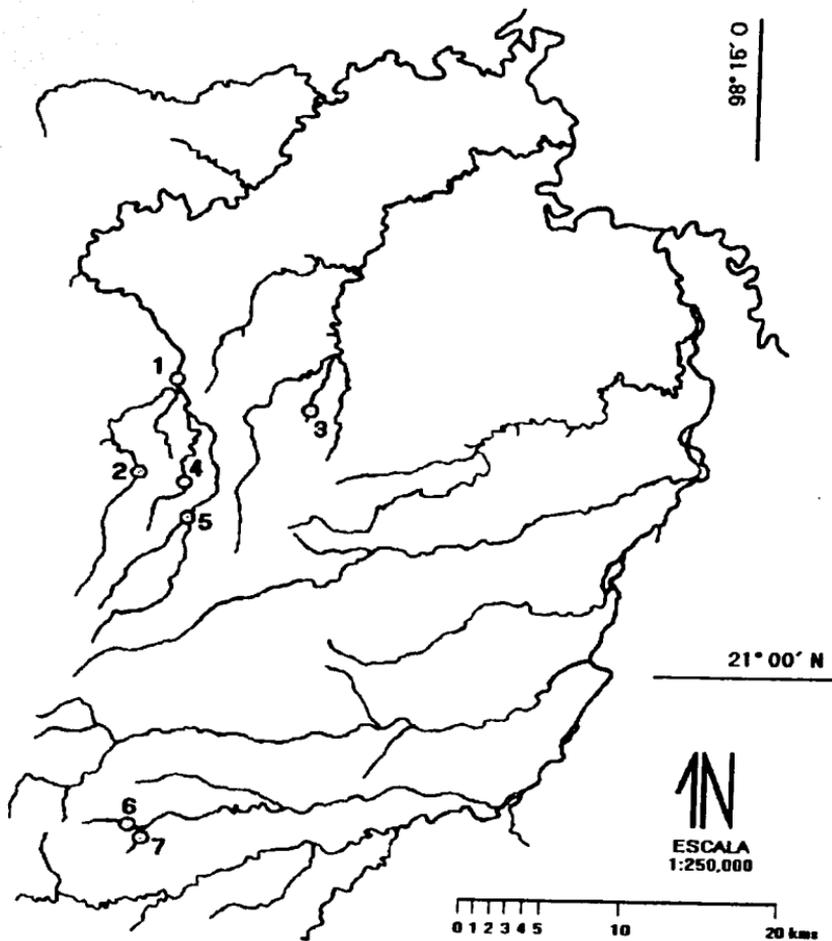


Figura 2 - Mapa de la zona de estudio y ubicación geográfica de los sitios

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## POSICIÓN TAXONÓMICA Y DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

*Xiphophorus birchmanni* – cuyo nombre común o vicario es “Espada de Tempoal” – fue descrita por Lechner y Radda en 1987, siendo la localidad típica reportada el Río Talol / Río Tempoal, subsistema del río Pánuco, en Hidalgo, México (Espinosa et al, 1993). Su distribución abarca parte de los escurrimientos de los estados de Hidalgo y Veracruz. Se incluyen los ríos La Candelaria y Atlapexco, excepto en las mayores elevaciones, el sistema del río Los Hules, cuenca del río Pánuco, y la cuenca del río Tuxpan en cabeceras del río Vinazco (Rauchenberger et al, 1990). *X. birchmanni* fue inicialmente reportada como subespecie de *Xiphophorus montezumae* (*Xiphophorus montezumae birchmanni*), de la cual se puede distinguir por la presencia de una raya sencilla en zig-zag en vez de múltiples rayas zigzagueantes, y por el bajo o nulo desarrollo de la espada en los machos, aún siendo el patrón de pigmentación algo similar en las hembras. Los ejemplares presentan, además de las características anteriores, los siguientes caracteres: patrones macromelanóforos (mancha caudal y carbomaculatus presentes), reticulum bien desarrollado, machos con protuberancia prominente en la región frontal de la cabeza, radios ramificados de la aleta caudal alcanzan el máximo descrito para el género (14-17 con una moda de 15), patrón de barras verticales distintivo, manchas mediodorsales localizadas en los nudos del reticulum, barras ovales en las hembras. Adicionalmente, se tiene la presencia de un gancho bien formado en el radio 5A del gonopodio, no existe patrón de manchado de la aleta caudal y resulta polimórfica para patrones xanthóforos (Rauchenberger op.cit.). La especie pertenece al género *Xiphophorus*, que está comprendido dentro de la familia POECILIIDAE, orden CYPRINODONTIFORMES (según Rodríguez, 1997), la cual comprende especies de peces pequeños de reproducción primordialmente vivipara.

Los machos desarrollan un órgano intromitente denominado gonopodio, el cual se forma a partir de modificaciones en la aleta anal. La fertilización es interna y la hembra lleva los huevos en desarrollo hasta su completa maduración, pariendo pequeñas crías bien desarrolladas (Eddy y Underhill, 1979).

## LAS HISTORIAS DE VIDA EN LOS POECILIIDAE

Aunque no existen trabajos previos sobre la historia de vida de *Xiphophorus birchmanni*, y son escasos los trabajos que abordan las historias de vida de las especies de este género, se cuenta con estudios que comprenden algunos aspectos de la historia de vida de especies dentro de la familia POECILIIDAE, así como en otros peces vivíparos y ovovivíparos. Morris y Ryan (1990) estudiaron la maduración sexual de *X. nigrensis* y notaron cambios en el ritmo de crecimiento y el polimorfismo en relación a la misma; posteriormente (1992) estudiaron los ciclos reproductivos de poblaciones naturales de *X. nigrensis*, *X. multilineatus*, y *X. pygmaeus*. Yan (1987) estudió el tamaño a la madurez para ejemplares machos de *Gambusia heterochir*. Crapon de Crapona y Ryan (1990) estudiaron la etología reproductiva para *X. nigrensis* y *X. pygmaeus*, incluyendo aspectos olfatorios y visuales. La etología y construcción de jerarquías de dominio han sido estudiados para *Poecilia picta* (Warburton y Lees, 1996) y *Xiphophorus helleri* (Beaugrand et al, 1991; Franck y Ribowski, 1993), mientras que Basolo (1990) y Rosenthal et al (1996) estudiaron la etología involucrada en la preferencia de las hembras por el tipo y longitud de la espada para la misma especie, tanto en laboratorio como en campo. *X. helleri*, una de las especies

más difundidas en el acuarismo dulceacuicola de ornato, ha sido de gran utilidad también en estudios diversos, incluyendo pruebas fisiológicas para el estudio del cáncer (Setlow et al, 1993; Nainn et al, 1996), y análisis filogenéticos (Borowsky et al, 1995; Lockhart et al, 1995; Rodríguez, 1997); mientras que otros autores han abordado estudios de caracterización, selección sexual y evolución en los peces espada (Wiens y Morris, 1996), así como estudios en torno a la resistencia y efectos de parasitosis en los poecílicos (Clayton y Price, 1992). En otros casos, los autores citan ejemplos de poecílicos en libros especializados o en artículos específicos que versan sobre temas más generales o sobre otros grupos de peces, sin detallar a profundidad o sin centrar sus estudios en alguna especie en particular. Algunas de las especies del género han sido usadas con éxito en la industria del acuarismo de ornato y se han prestado a la investigación de los efectos de la calidad del agua sobre el desarrollo de los peces en condiciones de cautiverio (Ng et al, 1992). Dentro de los estudios de historia de vida se pueden considerar características morfométricas de los ejemplares en los diversos estadios de desarrollo, características de pigmentación y modificación del cuerpo, dimorfismo sexual, reproducción y desarrollo embrionario, adaptaciones diversas, ecología, alimentación, etología, parasitología y condición de robustez de los peces, entre otras características que pueden ayudar a definir las tendencias en los organismos de una especie. En última instancia, el objetivo de los estudios sobre historias de vida, es entender cómo la selección natural moldea las características del ciclo de vida de los organismos que influyen directamente en su supervivencia y reproducción, y por tanto en su adecuación. El fenotipo de una historia de vida es un conjunto de características coadaptadas que han evolucionado a ciertas presiones de selección (Benabib, 1993). Al conjunto de características de historias de vida que posee una población de organismos se le ha llamado "estrategia" de historia de vida. Según

Williams (1966), los organismos deben maximizar sus estrategias de historia de vida para hacer máxima su adecuación, de lo que resulta importante la identificación de los factores selectivos responsables de la gran diversidad de historias de vida (Benabib,1993). Es menester del presente estudio abordar la búsqueda del conocimiento en torno a la biología y a los principales caracteres de la especie que puedan resultar de utilidad para el entendimiento de su historia de vida y la comparación de los fenómenos inducidos por las diversas presiones de selección en los diferentes ambientes estudiados.

## **PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS**

En el presente estudio se abordaron los objetivos expuestos con anterioridad, poniendo especial énfasis en las diferencias y semejanzas entre las características poblacionales de los ejemplares en los diversos sitios de colecta. Dicha información ha servido para evaluar una serie de planteamientos hipotéticos construidos en la fase inicial del estudio con base en las características biológicas reportadas por diversos autores para la familia POECILIIDAE, así como a teorías y conceptos dentro del marco de la ecología. Se pensó que la distribución de características biológicas de la especie podría presentar un arreglo altitudinal claramente marcado, dada la importancia de este factor sobre el ambiente, tanto en su aspecto físico, como biótico. Con el fin de probar dicho planteamiento se compararon, por un lado, las características del medio acuático y sus inmediaciones para los diferentes sitios estudiados, y por otro lado, se utilizaron los resultados sobre la biología de la especie para detectar las divergencias significativas entre las poblaciones de los diversos sitios. Los parámetros físicos y bióticos considerados, así

como las características biológicas de la especie e índices relacionados se explican con amplitud en la sección sobre metodología y desarrollo. Al avanzar en el desarrollo de este proyecto, y abordar las características principales del desarrollo embrionario de la especie, se pensó en evaluar el grado de matrotrofia según el sistema de Wourms (1981). Dicho aspecto no se ha podido corroborar con gran detalle dadas las limitaciones metodológicas del estudio, más ha aportado información relevante que se presenta en la sección de discusiones y conclusiones. Asimismo, se discuten posteriormente los resultados y las implicaciones del planteamiento hipotético sobre estrategias r y k en el que se centra el enfoque del presente estudio y que se presenta a continuación.

## **HIPÓTESIS DE TRABAJO: ESTRATEGIAS R Y K**

Muchas especies de peces dulceacuicolas muestran una plasticidad fenotípica notable, pues son capaces de modificar sus características fenotípicas hasta ciertos niveles para obtener un mejor éxito reproductivo y lograr su supervivencia (Wootton, 1991). Dadas condiciones diferentes, es posible que una misma especie muestre diferencias fenotípicas notorias y que siga una estrategia de historia de vida en cada ubicación. En general, se puede abordar este problema con el enfoque de dos estrategias básicas: las historias de vida tipo r y las historias de vida tipo k, también conocidas como selección r y k. Dicho modelo fue propuesto originalmente por MacArthur y Wilson (1967; MacArthur, 1962; citados en Begon et al, 1996) a partir de una variación del modelo de Lotka y Volterra (Margalef 1974; Benabib, 1993) y fue desarrollado a profundidad por Pianka (1970; Citado en Begon, 1996).

Las historias de vida de tipo  $k$  ocurren en medios estables donde los números poblacionales son controlados por factores dependientes de la densidad. En este caso se favorece la maduración tardía, bajos esfuerzos reproductivos, menor descendencia pero de mayores dimensiones y camadas múltiples (iteroparidad). En la selección  $k$  la población se mantiene siempre cerca de la capacidad de carga ( $k$ ) del nicho ecológico que ocupa. Un medio estable con una población establecida que ocupa los recursos disponibles es un medio de alto costo reproductivo por competencia intraespecífica y en ocasiones interespecífica (Begon, 1996). Dicha competencia puede estar centrada en cierta parte de la historia de vida de la especie, en especial en lo referente a la supervivencia, crecimiento y desarrollo de los alevines, así como al apareamiento y éxito reproductivo. Las reducidas dimensiones de los ejemplares y la existencia de otras especies ícticas permite señalar a la depredación como posible presión de selección.

Por otro lado, en el caso de las historias de vida de tipo  $r$ , se desarrollan poblaciones en ambientes menos predecibles, más cambiantes. En estos casos se presenta madurez temprana, alto esfuerzo reproductivo, alta fecundidad y camadas sencillas (semelparidad). Los medios inestables que presentan determinados periodos de estabilidad son medios de bajo costo reproductivo, en donde los factores explicados anteriormente no tienen un efecto significativo y el éxito reproductivo está determinado por la reproducción actual y es independiente del grado de crecimiento alcanzado (Begon, 1996). La  $r$  representa la tasa de crecimiento de la población.

Considerando las características generales del medio típico para las poblaciones de *Xiphophorus birchmanni* de la zona alta y de la zona baja, se aprecian diferencias notables que hacen suponer la probable existencia de al menos dos tácticas de historia de vida para la especie:

En la porción alta, los arroyos tienden a ser rápidos y bien oxigenados (Lagler, 1975), poco expuestos a contaminantes (con algunas excepciones), pero, sin embargo, de condiciones cambiantes: Esto es, con notables cambios en el nivel del agua (llegando incluso a la desecación parcial o total), y por lo tanto, cambiantes en cuanto a temperatura, condiciones fisicoquímicas y disponibilidad de alimento. En uno de los arroyos, adicionalmente se presenta contaminación por manganeso de forma periódica. Todo ello sugiere un caso de historias de vida de tipo r, en donde sería dado encontrar ejemplares en grandes números de forma periódica, pero de tamaño reducido, madurez temprana, menor robustez o robustez variable y alta fecundidad. Además se supone una baja incidencia de superfecundación y un periodo reproductivo más restringido.

En las zonas bajas, el agua fluye con mayor lentitud pero aún conserva buenos niveles de oxigenación. Lleva adicionada una mayor cantidad de materia orgánica, la productividad primaria es mayor y la disponibilidad de alimento probablemente más amplia. Los peces que habitan esta zona posiblemente alcanzan mayores tallas y presentan madurez tardía, menor esfuerzo reproductivo distribuido en periodos más largos, menor descendencia pero de mayores dimensiones, así como presencia frecuente de superfecundación.

Condensando, se tiene lo siguiente:

H central: *"A mayor gradiente altitudinal se esperaría encontrar medios más inestables, en donde se favorezca el desarrollo de una estrategia de historia de vida de tipo r; mientras que a menor gradiente altitudinal se esperaría encontrar medios más estables, en donde se favorezca el desarrollo de una estrategia de historia de vida de tipo k."*

Los diversos datos morfométricos, alimentarios, reproductivos, cronológicos y aquellos concernientes al crecimiento aportan la información esencial para poder evaluar tal modelo hipotético, proponer nuevas comparaciones y conocer las historias de vida de la especie.

## MATERIAL Y MÉTODO

### SELECCIÓN Y MANEJO DE LOS SITIOS DE COLECTA

La especie se encuentra restringida en cuanto a su distribución (Rauchenberger et al, 1990), por lo que se intentó maximizar el uso de los sitios potenciales para el desarrollo del estudio. Se efectuó una revisión de las colectas previas en la zona depositadas en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (CNP-ENCB-IPN), correspondientes a los años de 1998 y 1999, y se efectuaron colectas en los meses de marzo y junio del año 2000. Las colectas se extendieron también a otros sitios en los que no se detectó la presencia de *Xiphophorus birchmanni*, y abarcaron la totalidad de las especies icticas presentes. En algunos de los sitios en donde se encontró la especie, el reducido tamaño de las muestras implicó la necesidad de descartar los datos. En esta forma se trabajó con 789 ejemplares (570 hembras y 219 machos) recolectados en los siete sitios expuestos en el Cuadro 1 (sección introductoria, sobre los sitios de muestreo).

En todos los sitios de muestreo se realizaron observaciones generales sobre la configuración del escurriente y su zonificación, se midieron los siguientes parámetros físicos: la altitud en metros (msnmm), la temperatura ambiental y la temperatura del agua (°Celsius), se midió o se estimó el ancho y la profundidad (cm), la velocidad de la corriente ( $m\text{ seg}^{-1}$ ), y se realizó una evaluación general sobre la presencia de alteraciones por actividades humanas, presencia de sedimentos, incidencia de deforestación, así como observación de la vegetación riparia y los bordes de los escurrimientos.

Se efectuaron mediciones del oxígeno disuelto en superficie y , para los sitios profundos, a profundidad; se midió el pH y la turbidez por medio del disco de Secchi, y se tomaron muestras de agua. Dichas muestras se procesaron con posterioridad en el Laboratorio de Ictiología y Limnología de la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (CNP-ENCB-IPN), Instituto Politécnico Nacional. Se realizaron pruebas para determinar las concentraciones de nitratos, fosfatos y sulfatos, además de determinar la salinidad y dureza del agua. Adicionalmente, se efectuó una revisión bibliográfica en relación a las actividades humanas en la zona, el desarrollo poblacional y las descargas de desechos urbanos, la clasificación de los escurrientes, así como una revisión de cartas geográficas.

## **MÉTODOS DE CAPTURA**

Las colectas iniciales fueron aleatorias, centradas en las zonas de corriente media, en donde se esperaba encontrar mayor número de ejemplares de la especie. Se realizaron muestreos en todas las zonas posibles, incluyendo zona de rápidos, corrientes medias y bajas, pozas y remansos. Algunas colectas se efectuaron con red de cuchara, sin embargo, la mayor parte de las mismas incluyeron el uso de un sistema de electropesca portátil recargable y otro sistema de electropesca portátil con motor generador, ambos equipados con electrodo con red romboidal. Dichos sistemas se utilizaron junto con una red de cuchara para mejorar la eficiencia de la captura, la cual incluyó a la mayoría de los ejemplares de las especies icticas presentes en un tramo de 100 metros para los arroyos y ríos de bajo caudal.

En el caso de los ríos voluminosos se recurrió al chinchorro y a la red de cuchara, dada la menor eficiencia del sistema de electropesca en lugares profundos, y se capturó una porción indeterminada de ejemplares de las especies presentes. En los ríos de bajo caudal la metodología empleada se presta a estimaciones del tamaño poblacional, constituyendo un método de captura por unidad de esfuerzo (Lobón-Cerviá, 1991), (En este caso, esfuerzo máximo o captura casi total en 100 metros del curso del escurriente), caso que no se presenta en los ríos de mayor caudal, en los que no se cuenta con información concreta que pudiera permitir este tipo de enfoque. Existen, sin embargo, factores intrínsecos a la población de peces y a las características operativas de los sistemas de electropesca que pueden afectar la tasa de captura de los peces. En especial, se tiene que aclarar que los peces de menores dimensiones resultan más difíciles de capturar, pues el efecto de las descargas es más reducido, se requiere una menor distancia de los ejemplares potenciales al electrodo, y los peces afectados pueden quedar escondidos entre las rocas, pueden ser llevados fácilmente por la corriente o pueden ser pasados por alto por el colector (Lobón-Cerviá, 1991).

## **MANEJO DE LOS EJEMPLARES EN CAMPO Y LABORATORIO**

Los ejemplares colectados en campo se separaron de forma provisional y se guardaron en bolsas de polietileno, dentro de una solución al 10% de formaldehído en agua. Las bolsas con los ejemplares se guardaron en cubas de 20 l para su transporte al laboratorio, en donde los ejemplares fueron lavados y colocados en frascos específicos según su localidad o sitio de muestreo. Posteriormente se procedió a la identificación y separación de los ejemplares, a los cuales les fue asignado un número de catálogo para su ingreso en la CNP-ENCB-IPN.

Los ejemplares correspondientes a los sitios seleccionados fueron revisados a detalle, para su separación de otras especies del género, así como para su medición y estudio. Dichos ejemplares se encuentran catalogados en la CNP-ENCB-IPN con los números siguientes: Hembras: ENCB-IPN-P4958, ENCB-IPN-P4959, ENCB-IPN-P4960, ENCB-IPN-P4971, ENCB-IPN-P4972, ENCB-IPN-P4977, ENCB-IPN-P4980, ENCB-IPN-P4982, ENCB-IPN-P4984, ENCB-IPN-P4985; Machos: ENCB-IPN-P4960, ENCB-IPN-P4977, ENCB-IPN-P4971, ENCB-IPN-P4972, ENCB-IPN-P4980, ENCB-IPN-P4982, ENCB-IPN-P4983, ENCB-IPN-P4985.

Se disectaron 211 hembras bien diferenciadas con objeto de separar el aparato digestivo y el sistema reproductor, para proceder a la adquisición de las medidas y observaciones que se discuten en la siguiente sección. Solamente se disectaron 4 machos, con objeto de realizar un reconocimiento del sistema reproductivo y de la configuración interna de los ejemplares. Las disecciones se efectuaron por medio de un corte longitudinal desde la abertura anal hasta el cierre inferior del opérculo, y efectuando los cortes necesarios de las membranas internas. Las gónadas y los segmentos de intestino fueron conservados en viales tipo Eppendorf de plástico (10 ml), en una solución de formol al 10% en agua. En los casos en que el tamaño de las gónadas así lo exigió, se emplearon dos viales o bien un frasco plástico para almacenar las muestras de los ejemplares. Los viales y los frascos fueron almacenados en cajas, en plataformas de unícel perforado con cautín, para su revisión posterior. No se guardaron muestras de los ejemplares sin desarrollo gonadal apreciable.

## MORFOMETRÍA Y MANEJO DE DATOS

Los ejemplares en revisión se lavaron en agua para eliminar la solución de formaldehído, y se extendieron en una charola de disección con agua para su observación y estudio. Se realizó una revisión de la identificación, así como una separación por sexo y grado de desarrollo aparente. El análisis morfométrico de los ejemplares incluyó la medición del peso total (Wt), la longitud patrón (LP) y la altura (A) de los mismos (Álvarez, 1970; Lagler, 1975). El peso total (Wt) fue determinado en gramos, hasta centésimas de gramo, por medio de una balanza electrónica con un error menor al 0.1%, utilizando un lienzo absorbente para eliminar el exceso de agua de los ejemplares. La longitud patrón (LP) – correspondiente a la distancia existente entre la porción central del labio superior de la boca y la base de la aleta caudal – así como la altura (A) – correspondiente a la mayor distancia entre el perfil dorsal y el perfil ventral del cuerpo, sin incluir aletas – se midieron en milímetros, hasta centésimas de milímetro, con un vernier electrónico Mitsubishi, con un grado de error menor al 0.1%, que podría resultar incrementado debido a las características inherentes a la medición. Adicionalmente, para el caso de los ejemplares del sexo masculino, se midieron tres propuestas originales: La longitud de la protuberancia del macho (LPM), la altura de la protuberancia del macho (APM), y la longitud del gonopodio del macho (LGM). La protuberancia del macho es una estructura alargada que se forma sobre la región cefálica al alcanzar la madurez sexual y constituye un claro rasgo de dimorfismo sexual. El gonopodio, como se ha mencionado anteriormente, es una estructura reproductiva derivada de una serie de modificaciones de la aleta anal, entre las que se incluyen alteraciones de los radios, curvamiento de la aleta, y formación de un gancho (Rauchenberger et al, 1990), (Anexo). Dichas longitudes fueron

tomadas en cuenta con base en las observaciones efectuadas de las características morfométricas de la especie y con el objetivo de utilizarlas en el cálculo y evaluación de índices originales específicos a la biología de estos peces, índices que se abordan con detalle más adelante. Es necesario denotar que los machos correspondientes al sitio 7 (catálogo P4977) se encontraban eviscerados.

En el caso de las hembras, después de realizar las mediciones expuestas en cada ejemplar, se procedió a la disección del mismo, conservando el material extraído en la forma en que se ha descrito. Los ejemplares de tamaño muy por debajo de las hembras en que se detectó algún desarrollo gonadal no fueron disectados y se consideraron como hembras juveniles o individuos sexualmente indiferenciados. Los intestinos fueron revisados de forma general para la identificación del tipo de dieta con base en los contenidos estomacales, y para la detección de posibles parásitos intestinales. Las gónadas extraídas fueron pesadas en una balanza analítica hasta centésimas de gramo (Wg). Posteriormente fueron medidas con la ayuda del vernier electrónico Mitsubishi para determinar su longitud (Lg) y su altura o anchura (Ag). Según su nivel de desarrollo y su tamaño, se montaron las gónadas o fragmentos de las mismas en un microscopio estereoscópico y se midieron los diámetros de cinco ovocitos con la ayuda de un ocular con escala para obtener un promedio del diámetro del ovocito para la gónada en cuestión. Se contaron los números de ovocitos identificables para los estadios diferenciados, esto es: el número de ovocitos bien formados, o bien, el número de ovocitos bien formados y de embriones en desarrollo para las hembras en gestación. Asimismo, se observó la presencia de superfetación (ocurrencia de crías en diferente estadio de desarrollo como resultado de una fecundación no simultánea o múltiple) y de parasitosis en las gónadas revisadas. Se

describieron y verificaron los estadios empíricos de maduración sexual y desarrollo gonadal, y los estadios empíricos del desarrollo embrionario, aspectos expuestos y comentados en las secciones de resultados, así como en la discusión y conclusiones. Adicionalmente se efectuaron observaciones básicas sobre la etología de los organismos, los efectos de las alteraciones al ambiente y las interacciones bióticas y abióticas. La información recabada fue ingresada a una base de datos construida en Microsoft Access 2000, donde se organizó y se inició el análisis de la misma.

## **MÉTODOS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN**

Se construyeron tablas y gráficas de las estadísticas básicas de la base de datos utilizando la paquetería de Microsoft Access 2000 y Microsoft Excel 2000. Posteriormente se realizaron pruebas estadísticas y análisis de varianza en Microsoft Excel 2000, y Statistica 3.0, y se construyeron gráficas y diagramas de cajas de tipo Kruskal-Wallis utilizando Statistica 3.0 y Statgraphics 7.0. Asimismo, se compararon los sitios de estudio, para lo cual se construyó un condensado de información ambiental y se elaboraron gráficas de distancias Euclidianas. En el sentido de obtener información respecto a las diferencias y semejanzas de las poblaciones de la especie en los diversos sitios, se manejaron análisis de varianza para las principales características biológicas estudiadas y en especial, en relación a los índices propuestos, que se denotan a continuación.

Los índices calculados para evaluar las diferencias entre las poblaciones incluyen al factor de condición (K), que es una medida de la robustez o fortaleza de un pez, y surge a partir de la relación entre la longitud y el peso del pez, siendo calculado según Tesch (Rodríguez-Gutiérrez, 1992), como:

(1)

$$K = W / L^3 \text{ ó bien: } K = (W / L^3) * 100$$

$$\text{que se puede exponer como: } K = (Wt / LP^3) * 100$$

Donde: Wt es el peso total y LP es la longitud patrón

En términos generales, los peces con un elevado valor de K son pesados para su longitud, mientras que aquéllos con un valor bajo de K son ligeros para su longitud. El valor K de un cierto pez mide la desviación que existe entre los ejemplares y un pez hipotético de crecimiento totalmente isométrico. El factor de condición o índice ponderal es susceptible de ser comparado entre los peces de una misma especie que pertenecen a diferentes poblaciones (Weatherley, 1972). Dicho factor, además de indicar los cambios morfológicos asociados a la reproducción, puede indicar fluctuaciones estacionales en los balances metabólicos de los peces condicionados por la disponibilidad de alimento (Weatherley, 1972).

Con la finalidad de evaluar otras características morfológicas que pudiesen resultar relevantes en la posible diferenciación entre las poblaciones, se planteó un Factor de condición según la altura (Ka), en el que se reemplaza la longitud patrón (LP):

(2)

$$K_a = (W_t / A^3) * 100$$

Donde: A es la altura

El factor Ka que se presenta resulta de utilidad dados los cambios en la relación altura-longitud a lo largo del desarrollo de estos peces, especialmente notorios en los machos de la especie y que se reflejan directamente en el dimorfismo sexual (observaciones personales), y dado que el factor de condición K no contempla el factor altura del pez. El uso del factor de condición Ka propuesto se puede equiparar con el factor de condición múltiple expuesto por Medina (1980, citado en Rodríguez-Gutiérrez, 1992), que considera tanto a la longitud patrón como a la altura del ejemplar, con lo que se mezclan ambos componentes y se confunde, de esta forma, la participación del factor altura.

Adicionalmente se propuso y evaluó un tercer índice original, en el que se relaciona la altura (A) y la longitud patrón (LP) de los ejemplares:

(3)

$$AL = (A / LP) * 100$$

En referencia al dimorfismo sexual y a las características propias de cada sexo, además de calcular las proporciones sexuales, se evaluaron diversos índices. En el caso de los machos, se propuso y evaluó un índice original: el índice de Madurez Secundaria (MS), que se plantea en la forma siguiente:

(4)

$$MS = ((LPM + APM + LGM) / LP) * 100$$

Donde: LPM y APM son la longitud y la altura de la protuberancia cefálica, respectivamente; mientras que LGM es la longitud del gonopodio.

En este índice, propuesto con base en las observaciones sobre las características morfométricas y la biología general de la especie, se incluyen varias medidas de los caracteres sexuales primarios y secundarios del macho, con lo que se buscó evaluar el grado de desarrollo y madurez de los mismos. Por lo general, los índices empleados con frecuencia en la ictiología se centran en la biología reproductiva de las hembras, dejando a un lado las características morfométricas y biológicas de los machos de las especies estudiadas. Esto se puede comprender dado el bajo dimorfismo sexual presente en muchas especies de peces, en especial concentrado en el desarrollo de protuberancias, patrones de manchado y pigmentación, siendo las hembras las que aportan mayores detalles sobre la maduración sexual y el proceso reproductivo. Sin embargo, la adopción de medidas e índices concernientes a la biología de los machos puede aportar información valiosa en muchos casos específicos, como sucede con claridad en el presente estudio.

Por otro lado, para el caso de las hembras estudiadas, se utilizó el índice gonadosomático (IGS), el cual se calcula según la fórmula de Rossemblum et al (Citado por Rodríguez-Gutiérrez, 1992):

(5)

$$IGS = ( Wg / Wt ) * 100$$

Donde: Wg es el peso total de la gónada

Dicho índice permite precisar la época en que ocurre la reproducción y proporciona información sobre el desarrollo de la gónada. Adicionalmente, se manejaron dos índices propuestos con la finalidad de contemplar la fecundidad y el uso relativo de la gónada y que se exponen a continuación.

El primero de ellos es el índice de fecundidad relativa calculada (IFC), índice original propuesto en base a los datos recabados en el presente estudio como medio indirecto de obtener una estimación de la fecundidad en las poblaciones; a ser considerada para un primer acercamiento cuantitativo y para la detección de tendencias en las mismas. Dicho índice se obtiene de esta forma:

(6)

$$IFC = (\text{número de ovocitos}) / (\text{número de ovocitos calculados}) * 100$$

Con el objeto de evaluar la ecuación 6, el número de ovocitos calculados (NOC) se obtuvo con la siguiente fórmula:

(7)

$$\text{NOC} = \text{volumen Gónada} / \text{volumen Ovocito}$$

Esto es:

$$\text{NOC} = (\text{Lg} * \text{Ag}^2) / (\text{diámetro del ovocito})^3$$

Donde: Lg es el largo de la gónada y Ag es la altura o anchura de la misma.

Por último, tenemos el porcentaje de uso de la gónada (%UG), que refleja la eficiencia relativa con el que las reservas acumuladas, como resultado del esfuerzo reproductivo, tienden a ser empleadas con éxito para la formación de las crías:

(8)

$$\%UG = (\text{Volumen Ovocitos o embriones} / \text{Volumen Gónada}) * 100$$

O bien:

$$\%UG = ((\text{diámetro del ovocito})^3 * \text{numero de ovocitos}) / (\text{Lg} * \text{Ag}^2) * 100$$

# RESULTADOS DEL ESTUDIO

## RESULTADOS GENERALES POR SITIO DE MUESTREO

### DATOS AMBIENTALES GENERALES

Las colectas se efectuaron durante la época de secas (hacia el final del período de la época de nortes) y durante principios de la época de lluvias. En el periodo de sequía, los niveles de los arroyos fueron notablemente menores y las aguas de los ríos más caudalosos arrastraban menor cantidad de sedimento y presentaron menor turbidez. La velocidad de la corriente de los ríos de mayor caudal se redujo significativamente en las zonas de alta y media corriente, aunque en menor grado para los arroyos y escurrimientos de bajo caudal.

Los sitios de muestreo (Cuadro 1, sección introductoria) fueron visitados en las dos épocas del año, encontrando ejemplares de *Xiphophorus birchmanni* en todos ellos para la estación de lluvias. Sin embargo, para la estación de sequía, únicamente se colectaron ejemplares de la especie en los sitios 1 y 7. Los sitios 3 y 4 no presentaban escurrimiento de agua o éste se encontraba reducido significativamente, mientras que el sitio 5 presentó un nivel muy bajo y el sitio 6 no presentó ejemplares pues éstos se encontraban concentrados en el sitio 7. Éste último caso pudiera estar relacionado con el descenso del nivel del río Calnalf o Metlatial y al posible incremento en la concentración de manganeso en las aguas, por lo que los peces se refugiaron en los sitios sombreados y frescos del afluente en cuestión.

Las distancias directas (líneas rectas sobre el terreno) y efectivas (líneas curvas que siguen el cauce de los escurrientes o conexión real de los escurrientes) entre los sitios de muestreo se presentan en la Tabla 1, mientras que los datos ambientales se presentan de forma abreviada en la Tabla 2, en la cuál se incluyen observaciones concernientes a las actividades humanas y a las alteraciones antropogénicas en la zona de estudio.

Tabla 1 – Distancias directas y efectivas (km) entre los sitios de muestreo

Sitios	Distancia	1	2	3	4	5	6	7
1	Efectiva		11	105	12	12	167	168
	Directa		7.5	8.5	7	10	31	32
2	Efectiva	11		116	23	23	178	179
	Directa	7.5		12	4	4.5	25	26
3	Efectiva	105	116		117	117	127	128
	Directa	8.5	12		9.5	11	31	32
4	Efectiva	12	23	117		16	179	180
	Directa	7	4	9.5		3	24	25
5	Efectiva	12	23	117	16		179	180
	Directa	10	4.5	11	3		18.5	19.5
6	Efectiva	167	178	127	179	179		0.5
	Directa	31	25	31	24	18.5		1
7	Efectiva	168	179	128	180	180	0.5	
	Directa	32	26	32	25	19.5	1	

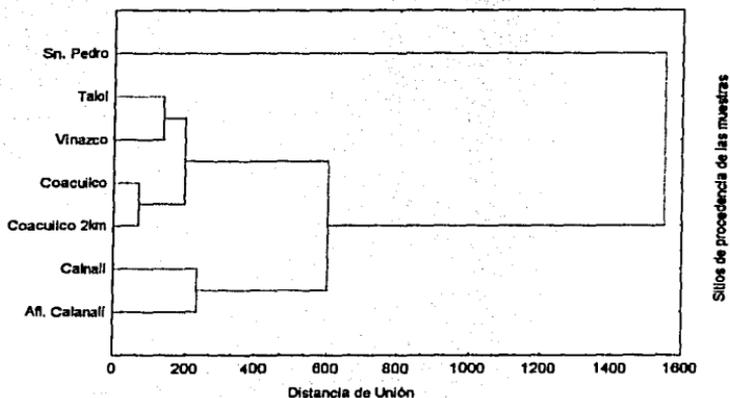
Tabla 2 – Resumen de las características ambientales de los sitios

Sitios	1	2	3	4	5	6	7
Catálogo ENCB-IPN-P49**	H: 58,71 M: 71	H: 72 M: 72	H: 82 M: 82	H: 80 M: 80	H: 85 M: 85	H: 84 M: 83	H: 59,60,77 M: 60,77
Tipo/sitio	bajo	bajo	bajo	medio	medio	alto	alto
Altitud(msnmm)	260	270	250	440	510	1100	1100
Ancho(cm)	3000	250	120	150	140	480	250
Prof.(cm)	50	50	25	30	30	40	30
Velocidad	baja/media	baja/media	media/alta	media	media	media/alta	media
Temperatura (°C)	27.4	23.9	30.1	26.7	-	20.5	20.5
pH	7.67	7.45	7.70	8.04	-	-	8.32
Fosfatos (mg l <sup>-1</sup> )	1.40	0.55	2.60	2.75	-	-	1.08
Nitratos (mg l <sup>-1</sup> )	-	0.00	0.00	0.00	-	-	0.05
Oxígeno	bajo	bajo	bajo	bajo	alto	alto	medio
Turbidez	alta	media	baja	baja	baja	baja	baja
Sustratos	arenoso limoso con gravas	arenoso limoso con gravas	gravas con rocas	arenoso limoso con rocas	gravas con rocas	arenoso limoso con rocas y gravas	arenoso limoso con rocas
Buffer ripario	alto	alto	bajo	bajo	bajo	bajo	alto
Veg/introducida	alto	alto	bajo	medio	bajo	bajo	bajo
Alteraciones	alto	medio	medio	bajo	bajo	bajo	bajo
Sedimentos	alto	alto	bajo	bajo	bajo	bajo	bajo
Competidores	alto	medio	bajo	bajo	bajo	bajo	bajo
Depredadores	medio	medio	bajo	bajo	bajo	bajo	bajo
Deforestación	alto	medio	medio	medio	medio	medio	bajo
Actividad humana	alta	media	baja	baja	baja	baja	baja
Vegetación/bordes	media	media	media	baja	baja	baja	media
%habitabilidad	10	30	70	60	70	80	80
%estabilidad	90	60	30	40	60	70	80
Longitud/escorrente(m)	6500	9500	5000	3500	8500	4500	3500
%pendientes	10	20	20	30	30	20	10

Los tipos de sitio que se presentan corresponden al agrupamiento altitudinal propuesto, y responden al gradiente de temperatura reportado para su respectiva climatología, siendo más estable la temperatura del agua de los sitios bajos y medios.

Las alteraciones se refieren a cambios en el medio de origen antropogénico (construcciones, alteraciones en la composición del agua o del cauce del escurrimiento) y no deben confundirse con las observaciones de actividad humana, que se refieren a movimiento, presencia de personas en el área y actividades de pesca tradicional. El porcentaje de habitabilidad es una medida propuesta en la que se estima el porcentaje del acuífero que presenta los tipos de ambientes en que se pueden hallar ejemplares de la especie de forma efectiva, mientras que el porcentaje de estabilidad es una medida propuesta en la que se estima el nivel de cambio constante y estacional de una localidad. Así tenemos que los sitios que ven decrecido su nivel o se desecan por completo son considerados menos estables que los sitios que se mantienen en condiciones aceptables para la ictiofauna. Dichos porcentajes han sido planteados con relación a las características biológicas y etología de *Xiphophorus birchmanni* observadas en la zona de estudio, por lo que no se extienden necesariamente a otras especies del género. Se aplicó un análisis de distancias euclidianas (Figura 3), en el que se consideraron las principales características fisicoquímicas encontradas y los parámetros geográficos principales, sin considerar las distancias efectivas para este fin. Las principales diferencias en el análisis de componentes principales fueron: la altitud de los sitios y el ancho de los escurrimientos. A este respecto, destaca por su ancho el Río San Pedro, que por sus características diverge de las condiciones ambientales del resto de los sitios, inclusive de los sitios de la misma altitud. Si se considera la separación entre los sitios, se obtiene la agrupación de los sitios del Calnali (Figura 3) por un lado y la de los sitios asociados al Río San Pedro por otro lado, destacando la asociación con el río Talol. La similitud climatológica y componentes fisicoquímicos de los sitios permiten equipararlos para abordar el presente trabajo.

Figura 3 – Análisis de distancias Euclidianas según factores fisicoquímicos y geográficos



La mayor parte de los escurrimientos fueron estudiados por arriba de la zona de descarga de las poblaciones cercanas, es decir, fuera de las zonas pobladas. Sin embargo, cabe destacar que el sitio 2, sobre el Río Talol, se encuentra anexo a un pequeño caserío del mismo nombre; asimismo, hay dos caseríos en las proximidades de Vinazco (sitio 3), y tres caseríos cercanos al cauce del arroyo Coacuilco por encima del sitio 5. En el Río Calnali o Metlatlal, se tiene la presencia de dos caseríos por encima del sitio 6, además de la influencia periódica de las descargas de manganeso de minas cercanas. El sitio 7, afluente del mismo río no se ve afectado por ninguna modificación al ambiente y se encuentra en óptimas condiciones de conservación (Figura 4). Por otra parte, el Río San Pedro fue muestreado cerca de la población de Orizatlán, en su parte más alta. En esta zona del río comienzan a ingresar aguas residuales provenientes de dicha población, que cuenta con más de 9,000 habitantes (INEGI, 1998).

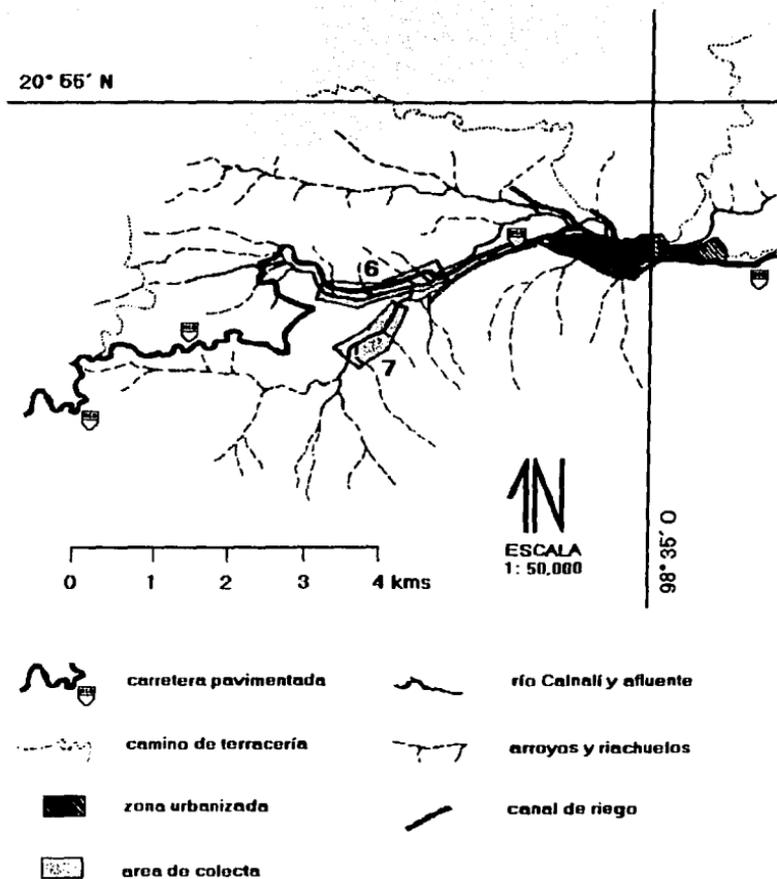


Figura 4 – Mapa general de la zona del Río Calnali o Metlatlal

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CARACTERÍSTICAS DE LAS POBLACIONES

Se presentan a continuación las estadísticas básicas de las variables y factores estudiados, y posteriormente se procede a la presentación de las relaciones entre el peso total y la longitud patrón y altura de los ejemplares (Figuras 5 a 8). Como puede apreciarse en los siguientes cuadros, la desviación estándar (SD) y componentes de variación o divergencia de las medidas de tendencia central varían considerablemente al comparar algunos de los sitios. Esto refleja una mayor variabilidad en dichas poblaciones, así como una estructura de edades intercaladas, siendo que la información que se muestra en dichos cuadros corresponde a la población total por sexos para cada sitio. La información fue analizada posteriormente para la elaboración de la estructura de edades, así como para la comparación de las características reproductivas de los ejemplares y su grado de desarrollo en cada población. Adicionalmente, se efectuó una serie de estimaciones sobre los parámetros poblacionales, que se discuten con mayor amplitud más adelante.

### Cuadro 3 – Resultados generales del estudio

Sitio No 1- Río San Pedro, cerca de Orizatlán

♀, catálogo P4958, época de estiaje (n=54)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	1.000	1.0054
LP (mm)	28.365	9.1232
A (mm)	8.823	3.1759
K	3.175	0.8453
Ka	109.077	16.117
AL	30.827	2.2589

♀, catálogo P4971, época de lluvias (n=35)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	0.495	0.2882
LP (mm)	24.258	4.574
A (mm)	7.667	1.7174
K	3.047	0.2769
Ka	99.269	13.4324
AL	31.412	1.8829

♂, catálogo P4971, época de lluvias (n=11)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	0.972	0.6909
LP (mm)	30.111	6.0606
A (mm)	10.058	2.4642
K	3.129	0.2087
Ka	86.471	12.6077
AL	33.204	1.7223

Sitio No 2- Río Talol, Afluente del San Pedro

♀, catálogo P4972, época de lluvias (n=56)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	1.021	0.9477
LP (mm)	29.002	8.2781
A (mm)	9.121	2.9321
K	3.191	0.3442
Ka	107.258	16.8829
AL	31.126	2.2491

♂, catálogo P4972, época de lluvias (n=26)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	1.657	1.1227
LP (mm)	35.149	7.6374
A (mm)	12.199	3.1571
K	3.257	0.2867
Ka	80.514	9.8901
AL	34.407	1.8629

Sitio No 3- Arroyo en Vinazco, Jaltocan

♀, catálogo P4982, época de lluvias (n=53)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	0.745	0.5104
LP (mm)	26.853	5.5508
A (mm)	8.922	2.1634
K	3.324	0.3235
Ka	93.303	12.9265
AL	33.023	2.1726

♂, catálogo P4982, época de lluvias (n=20)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	1.372	0.6730
LP (mm)	32.933	4.8384
A (mm)	11.700	2.2284
K	3.609	0.3259
Ka	82.451	10.8038
AL	35.3588	2.1010

Sitio No 4- Vado de Coacuilco

♀, catálogo P4980, época de lluvias (n=130)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	0.932	0.9421
LP (mm)	27.571	8.746
A (mm)	8.831	3.1379
K	3.035	0.6218
Ka	96.482	19.5521
AL	31.690	2.8773

♂, catálogo P4980, época de lluvias (n=39)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	2.172	1.2769
LP (mm)	38.909	8.5438
A (mm)	13.748	3.4942
K	3.248	0.4606
Ka	76.173	11.4442
AL	35.034	2.7145

Sitio No 5- Vado a 2 kms de Coacuilco

♀, catálogo P4985, época de lluvias (n=52)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	1.579	0.8851
LP (mm)	37.842	7.1130
A (mm)	11.678	2.5311
K	2.588	0.2690
Ka	90.758	15.6011
AL	30.736	2.3428

♂, catálogo P4985, época de lluvias (n=36)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	2.703	1.3869
LP (mm)	44.452	7.7294
A (mm)	15.833	3.5428
K	2.810	0.2793
Ka	65.403	15.3092
AL	35.337	2.5064

Sitio No 6- Río Calnali o Metlatial

♀, catálogo P4984, época de lluvias (n=72)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	2.474	1.7324
LP (mm)	41.971	9.0387
A (mm)	13.501	3.7825
K	2.806	0.3999
Ka	90.166	20.3391
AL	31.751	3.1334

♂, catálogo P4983, época de lluvias (n=30)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	3.719	2.4549
LP (mm)	46.108	10.1465
A (mm)	16.744	4.7271
K	3.239	0.3843
Ka	71.407	11.8998
AL	35.854	2.8136

Sitio No 7- Afluente del Río Calnali o Metlatial

♀, catálogo P4959, época de estiaje (n=16)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	2.865	1.6176
LP (mm)	42.197	7.4533
A (mm)	14.719	3.3485
K	3.404	0.4343
Ka	82.768	11.2694
AL	34.604	2.3467

♀, catálogo P4960, época de estiaje (n=13)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	4.109	2.1340
LP (mm)	47.704	7.0734
A (mm)	16.218	3.2351
K	3.461	0.4139
Ka	90.243	10.6473
AL	33.793	2.4009

♀, catálogo P4977, época de lluvias (n=89)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	1.846	1.1187
LP (mm)	40.644	8.0136
A (mm)	11.828	2.6763
K	2.408	0.4050
Ka	102.046	33.1076
AL	28.992	2.6873

♂, catálogo P4960, época de estiaje (n=20)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	3.466	1.6601
LP (mm)	46.454	6.4156
A (mm)	16.752	3.0743
K	3.225	0.2939
Ka	70.432	9.0836
AL	35.889	2.2849

♂, catálogo P4977, época de lluvias (n=38)

Variable/factor	Media	SD
Wt (g)	2.747	1.0965
LP (mm)	46.613	4.8113
A (mm)	15.710	2.6799
K	2.582	0.5512
Ka	69.961	20.0654
AL	33.592	3.3759

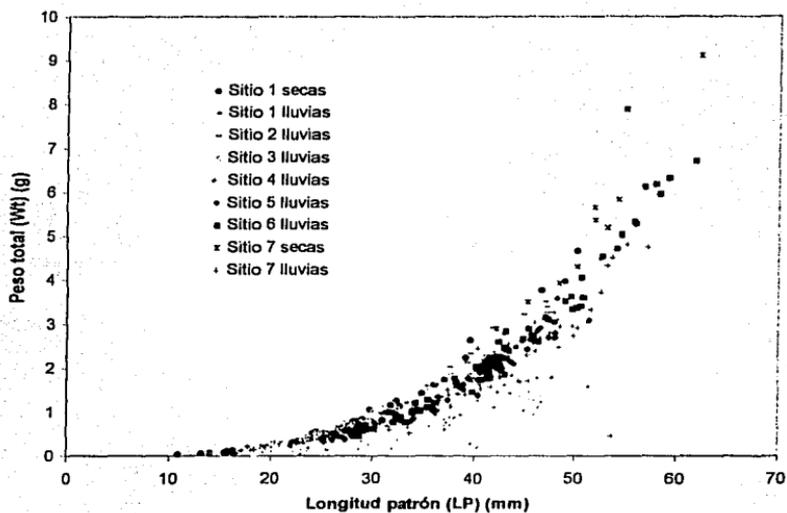


Figura 5 – Relación longitud patrón (LP) vs. peso total (Wt), caso: ♀

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

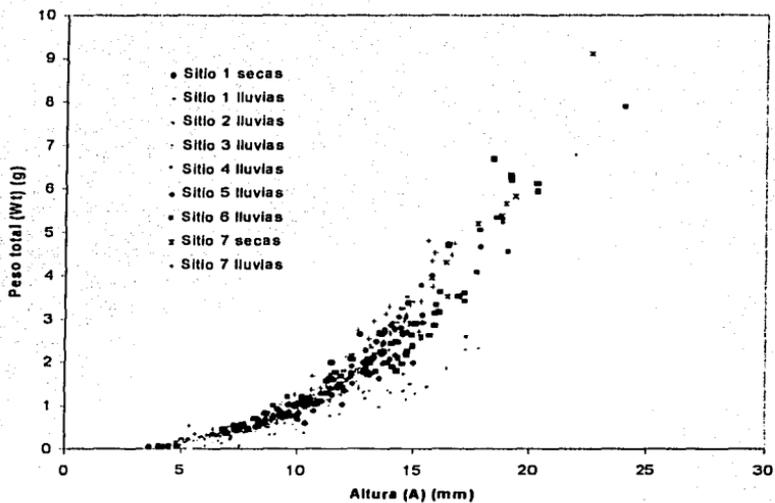


Figura 6 – Relación altura (A) vs. peso total (Wt), caso: ♀

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

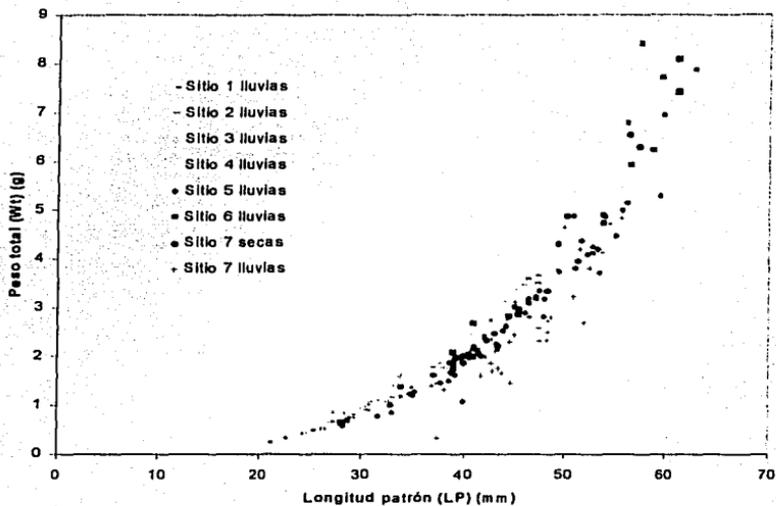


Figura 7 – Relación longitud patrón (LP) vs. peso total (Wt), caso: ♂

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

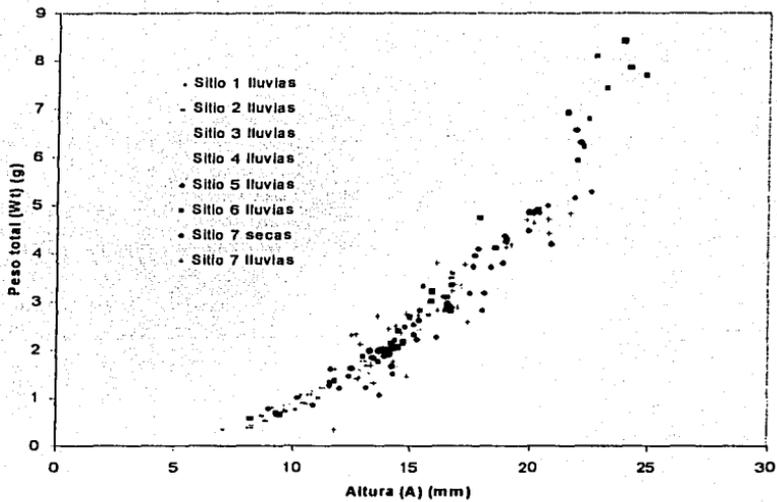


Figura 8 – Relación altura (A) vs. peso total (Wt), caso: ♂

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**

## ESTRUCTURA DE EDADES

El estudio de los datos morfométricos y reproductivos de la especie permitió detectar las tallas de reclutamiento reproductivo para las diversas poblaciones y estudiar las tallas y edades probables generales (Tablas 3 a 7). Asimismo, aunando a esta información algunas observaciones sobre la biología de otras especies de poecilidos reportadas en la literatura, y las observaciones etológicas efectuadas se proponen como altamente probables los siguientes planteamientos: Las poblaciones de la especie en la zona de estudio tienden a reproducirse de forma casi continua a lo largo del año, quedando limitadas por los cambios ambientales que se registran especialmente en la época de estiaje; se observan dos temporadas de parto concentradas en febrero, marzo y abril (temporada temprana), y en julio, agosto y septiembre (temporada tardía); y existen traslapes generacionales en los sitios más estables, los cuales pueden incluir hasta 2 o 3 generaciones y se originan por la supervivencia diferencial de los adultos, así como por la presencia de superfetación en el ciclo reproductivo.

Tabla 3 – Estructura general de tallas y edades probables, caso ♀

Rangos de LP (mm)	ejemplar típico	estado de madurez	edad equivalente supuesta (meses)	
			min	max
[ 0 - 10 )	alevines recién nacidos	indeterminados	0	1
[ 10 - 25 )	alevines en crecimiento	indeterminados	1	2
[ 25 - 30 )	hembras juveniles	inmaduras	2	4
[ 30 - 45 )	hembras en reclutamiento reproductivo	madurando o maduras	4	8
[ 45 - 65 ]	hembras reproductivas	maduras	4 a 8	12 a 16+

Tabla 4 – Estructura de tallas de las hembras en los diversos sitios

Rangos de LP (mm)	Frecuencia por sitios							Frecuencias condensadas			Total
	1	2	3	4	5	6	7	Sitios bajos	sitios medios	sitios altos	
[ 0 - 10 )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[ 10 - 25 )	35	20	24	65	0	0	2	79	65	2	146
[ 25 - 30 )	30	19	14	8	9	11	8	63	17	19	99
[ 30 - 45 )	21	14	15	53	32	37	64	50	85	101	236
[ 45 - 65 ]	3	3	0	4	11	24	44	6	15	68	89
	89	56	53	130	52	72	118	198	182	190	570

Tabla 5 – Estructura de tallas de los machos en los diversos sitios

Rangos de LP (mm)	Frecuencia por sitios							Frecuencias condensadas			Total
	1	2	3	4	5	6	7	Sitios bajos	sitios medios	sitios altos	
[ 0 - 20 )	No se consideran, se incluyeron entre los indeterminados en las tablas sobre hembras										
[ 20 - 35 )	9	15	15	13	5	4	0	39	18	4	61
[ 35 - 65 ]	2	11	4	26	31	26	58	17	57	84	158
	11	26	19	39	36	30	58	56	75	88	219

Tabla 6 – Tallas de reclutamiento reproductivo en las hembras

Sitio	LP (mm)	LP Min (mm)	K	IGS
1	37.554	34.75	3.545	7.501
2	43.76	41.14	3.343	4.992
3	32.25	31.11	3.727	6.480
4	39.64	33.18	3.330	4.198
5	42.825	33.95	2.774	5.335
7 secas	34.685	30.45	3.298	14.111
7 lluvias	42.43	42.43	2.906	16.216

Obs. En el sitio 1 para la estación de lluvias sólo se encontraron hembras inmaduras, mientras que en el sitio 6 sólo se encontraron hembras en estadios 2 (inmaduras) y 6 (pre-parto).

Tabla 7 – Tallas de reclutamiento reproductivo en los machos

Sitio	LP Min (mm)	A Min (mm)	Wt Min (g)	K	MS
1	42.53	15.69	2.75	3.575	47
2	48.03	16.79	3.56	3.650	40
3	37.91	12.97	1.75	3.212	43
4	35.28	12.25	1.33	3.029	37
5	54.92	19.95	4.47	2.698	41
6	38.84	14.44	2.07	3.533	41
7 secas	36.92	12.44	1.61	3.199	42
7 lluvias	53.52	19.00	4.14	2.701	40

Las tallas mínimas de reclutamiento reproductivo que se muestran en las Tablas 6 y 7, corresponden a las hembras y machos que alcanzaron la madurez sexual, pero no implican tal madurez en todos los ejemplares del sitio en cuestión. En el caso de las hembras, la madurez sexual se alcanza durante el estadio 2 de maduración sexual y desarrollo gonadal, que se explica con mayor amplitud en la sección respectiva; mientras que la gestación se presenta desde el estadio 3. Dado el crecimiento de carácter lineal que se observa en las hembras, y el notable aumento de peso al momento de la gestación, el factor de condición (k) constituye un importante indicador del grado de desarrollo y madurez, sin embargo, su eficacia para la detección de tal madurez se encuentra limitada. Por su parte, en el caso de los machos, se observó que el crecimiento alométrico se extiende especialmente durante la fase de maduración sexual y aparición de los caracteres sexuales secundarios. En este sentido, el factor de condición resulta parcialmente útil, pues el crecimiento alométrico no implica grandes cambios en la relación entre el tamaño y la forma corporal. Dicho crecimiento se concentra en modificaciones de la altura del cuerpo y no se refleja significativamente en el peso de los ejemplares.

El índice MS (índice de maduración sexual; referirse a la ecuación 4, pág. 37) resultó ser de gran utilidad, ya que contempla directamente los caracteres merísticos del desarrollo sexual secundario en los machos. Dicho desarrollo incluye la aparición de la protuberancia del macho sobre la región cefálica y el crecimiento del gonopodio, además de cambios en la pigmentación y el tamaño de la aleta caudal que no han sido considerados.

Las edades fueron estimadas en relación a la literatura existente para otras especies de poecílidos cercanas, y a las observaciones efectuadas durante el estudio. Se estima que el tamaño de nacimiento de las crías es de entre 5 y 10 mm (LP). Mientras que los embriones de mayores dimensiones alcanzaron una LP de 4.8 mm, resulta posible que ésta se encuentre limitada por la torsión de la porción caudal de los embriones durante la gestación. Los alevines más pequeños encontrados en la zona tuvieron alrededor de 10 mm de LP.

Las escamas de algunos ejemplares adultos fueron observadas en un microscopio óptico y se presentan de forma complementaria al estudio (Figura 9). Las escamas típicas son cicloides (Lagler, 1975) y presentan un focus amplio, 12 radii principales y 2 secundarios. Son de forma poco elongada y comprimida. La presencia de annulus sólo ocurre en los ejemplares más grandes, con mayor edad, mientras que en los juveniles no se distinguen fácilmente o no se presentan. La presencia de tales estructuras podría marcar la división entre estaciones favorables y desfavorables para los ejemplares y estar relacionada con su migración.

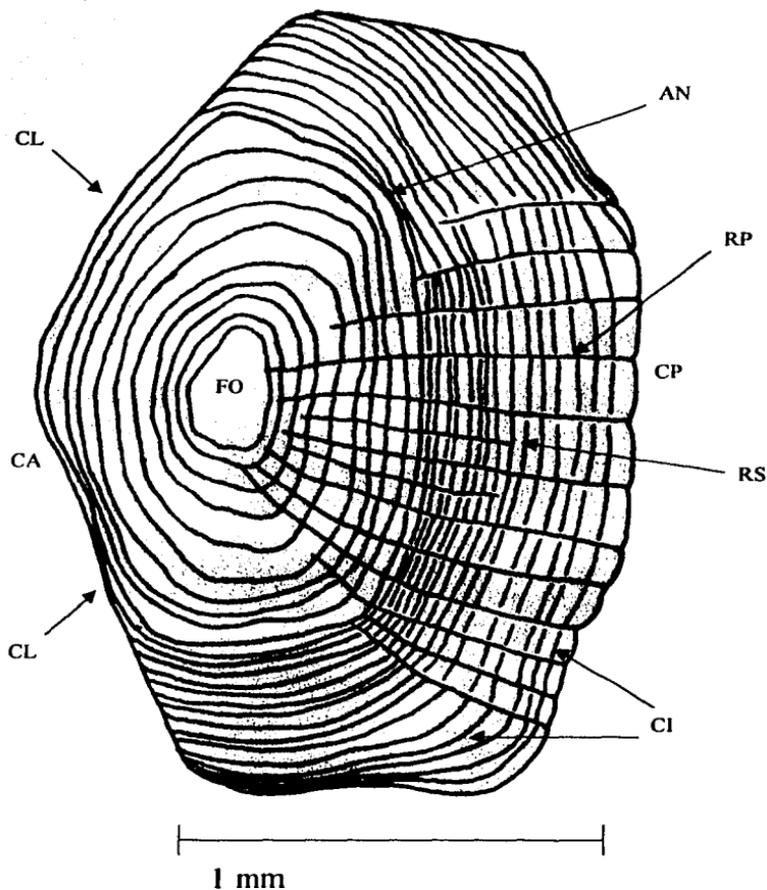


Figura 9 - Esquema de una escama típica de *Xiphophorus birchmanni* vista al microscopio óptico y anatomía de la misma según Lagler (1975). Escama cicloide: AN, anulus; CA, campo anterior; CI, circuli; CL, campos laterales; CP, campo posterior; FO, focus; RP, radii principales; RS, radii secundarios.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La vida reproductiva de las hembras puede tener más de un ciclo anual, y estar traslapado al presentarse casos de superfetación. Asimismo, es muy probable que las hembras no alcancen la madurez sexual sino hasta el segundo año, o segunda temporada para las nacidas en época desfavorable (estiaje). La vida reproductiva podría extenderse hasta por dos años, o verse cortada por cambios bruscos en el ambiente, como los procesos de desecación observados en los sitios 3 y 4.

## **ASPECTOS REPRODUCTIVOS**

### **DIMORFISMO Y MADUREZ SEXUAL**

Como se ha dicho, la madurez sexual en los machos está caracterizada por el desarrollo de la protuberancia sobre la región cefálica, el crecimiento del gonopodio y de la aleta caudal, un ligero incremento en la altura y cambios en la pigmentación del pez. En este último aspecto, cabe aclarar que aparecen manchas ovaladas bien definidas en los costados y aumenta la coloración y patrón de pigmentación de la aleta caudal, sin embargo, el desarrollo del apéndice caudal o espada es casi nulo para la mayoría de los ejemplares de la especie. En esta fase también se termina el desarrollo gonadal. En el caso de las hembras también existe cierto patrón de coloración, aunque es menos conspicuo. El cuerpo tiende a conservar las mismas proporciones, a excepción de las modificaciones relacionadas con el aumento de peso corporal durante la gestación. En la Tabla 8 se reporta la proporción sexual de las poblaciones estudiadas, mientras que los diversos índices obtenidos en relación a la maduración sexual y desarrollo gonadal se presentan posteriormente (Tablas 9 a 11).

Tabla 8 – Proporción sexual (ratio) de las poblaciones estudiadas (H : M)

Sitio	♀	♂	% H reproductivas
1	89	11	22
2	68	32	43
3	74	26	21
4	77	23	38
5	59	41	48
6	71	29	13
7	67	33	77

Tabla 9 – Índice gonadosomático de las hembras estudiadas

Sitio	IGS	SD	N
1 secas	10.862	5.7538	16
1 lluvias	0.871	0.5934	5
2	6.319	2.5468	15
3	4.041	3.0421	11
4	4.739	2.0656	22
5	4.512	4.0386	25
6	9.0610	9.6882	9
7a secas	20.204	4.4574	13
7b secas	17.015	5.312	9
7 lluvias	9.013	5.3018	36

Tabla 10 – Índice de fecundidad calculada de las hembras estudiadas

Sitio	IFC	SD	N
1 secas	151.634	78.3213	15
1 lluvias	nula	-	-
2	43.033	27.0253	15
3	57.991	34.1423	8
4	70.479	59.4360	20
5	74.843	59.2678	13
6	54.256	32.0418	4
7a secas	76.499	34.9865	13
7b secas	95.157	36.6114	9
7 lluvias	56.068	43.0747	24

El porcentaje de uso de la gónada resultó ser mayor en los sitios 1 y 7 para la época de secas ( $152.875 \pm 79.5989$  y  $95.381 \pm 37.0678$ , respectivamente), y menor para los sitios 2, 6 y 7 durante la época de lluvias ( $42.138 \pm 25.3435$ ,  $54.388 \pm 32.2510$  y  $57.444 \pm 46.8509$ , respectivamente), en la que se reducen las presiones de selección sobre los organismos. Sin embargo, los promedios de dichos porcentajes (%UG) llevan desviaciones estándar (SD) considerables (de hasta 90% del promedio) dada la gran variabilidad en el uso y desarrollo de la gónada en las hembras en gestación, por lo que no se presentan con mayor detalle. Respecto a los resultados que se muestran en la Tabla 11, se debe aclarar que se trata del promedio del índice en los diversos sitios, para cuyo cálculo se tomó en cuenta a todos los machos diferenciados: maduros e inmaduros. Por tal motivo los valores mostrados son menores a los MS de reclutamiento que se han expuesto, los cuales quedan incluidos dentro de los rangos de MS obtenidos. Los machos reproductivos se encuentran en MS entre 37 y 47 según la época y sitio de colecta, y corresponden a tallas de reclutamiento de entre 35 y 59 mm. Por tal motivo se consideran maduros a los ejemplares del tercer rango de la Tabla 5, y así se tiene que el 72.15% de los machos colectados eran reproductivos, mientras que el 22.85 % restante eran inmaduros.

Tabla 11 – Promedios del factor de madurez secundaria en los machos (MS)

Sitio	MS	SD	n
1 lluvias	32.761	14.1068	11
2	25.880	9.1442	26
3	30.330	10.9813	19
4	26.007	12.7903	39
5	24.394	12.6762	36
6	32.584	17.7808	30
7a secas	49.986	5.5099	58
7 lluvias	28.018	14.5963	26

## DESARROLLO EMBRIONARIO

Se encontró un total de 211 hembras en algún estadio de desarrollo gonadal, mientras que 359 ejemplares no presentaron desarrollo gonadal o se encontraban indiferenciados. Los estadios empíricos de maduración sexual y desarrollo gonadal, así como su equivalencia en los estadios del desarrollo embrionario, fueron planteados con base en la observaciones efectuadas del material extraído de las gónadas durante las disecciones y de la información proporcionada por la literatura (Lagler 1975; Rodríguez-Gutiérrez, 1992; Acosta-Santoscoy, 1997; Helfman et al, 1997 y otros). Dichos estadios se presentan en las tablas 12 y 13 que se muestran a continuación. A esta información se anexan los esquemas característicos del desarrollo embrionario y gonadal (Figuras 10 y 11), así como fotografías relevantes al final del trabajo (Anexo).

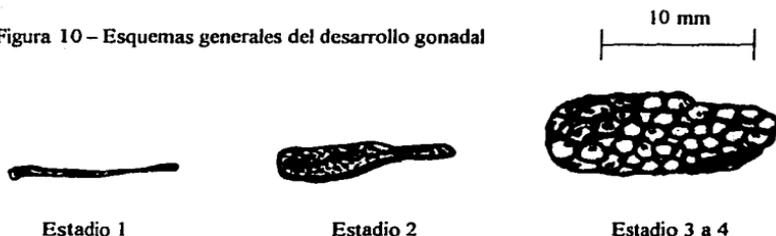
Tabla 12 – Estadios empíricos de maduración sexual y desarrollo gonadal propuestos y equivalencia con la clasificación de Nikolsky (1963; citado en Rodríguez-Gutiérrez, 1992). Se indica asimismo el estadio de desarrollo embrionario correspondiente (Ver la Tabla 13).

Estadio	Nombre	Características principales	Equivalente embrionario	Semejanza con Nikolsky 1963
0	Alevines	desarrollo gonadal nulo; continúa proceso de determinación sexual.	v+	nula
1	Inmaduros	desarrollo gonadal muy ligero, no especificado.	nulo	I N
2	Virgen en desarrollo	gónadas más diferenciadas, con mayor desarrollo estructural; aumento de peso.	nulo	II N
3	Virgen en maduración	gónadas bien diferenciadas, ovocitos notables, diferencias de tamaño, aún no inicia desarrollo embrionario pero ya puede ocurrir fecundación	i	III N
4	Gestación-primera fase (postfertilización)	gónadas grandes, a veces se aprecian paquetes; se aprecia el inicio de desarrollo embrionario, por tanto ya hubo fertilización de los ovocitos. (aunque la fecundación pudo ocurrir antes)	ii	IV N
5	Gestación-segunda fase (intermedio)	embriones muy desarrollados; se aprecia cauda; ojos muy notorios y desarrollados	iii	IV N
6	Gestación-tercera fase (pre-parto)	embriones bien formados; pigmentación avanzada; finaliza desarrollo de aletas, opérculo y estructuras	iv	IV N
7	Post-Parto	en el parto se liberan las crías o parte de éstas; en casos de superfetación pueden quedar crías en otros estadios, de lo contrario la gónada queda vacía; puede iniciarse otro periodo reproductivo o no	(v)	VI N

Tabla 13 – Estadios empíricos propuestos para el desarrollo embrionario con base en las características observadas en los embriones. Se denota el estadio de desarrollo gonadal propuesto en que tienen lugar (Referir a Tabla 12).

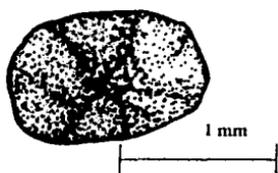
Estadio	Nombre	Características principales	Equivalente gonadal
i	huevo fertilizado	formas poligonales, aumento de opacidad, agrupación en paquetes DO $\leq$ 2 mm	3
ii	diferenciación celular	cierta organización de la columna vertebral, notocorda; inicio de formación ocular; segmentación, gastrulación y neurulación DO $\leq$ 3 mm	4
iii	diferenciación histológica	diferenciación de tejidos y formación de estructuras, vitelo algo reducido, ojos más desarrollados, inicio de formación de aletas y región caudal DO $\leq$ 4 mm	5
iv	diferenciación estructural	pigmentación, formación de aletas, opérculo, varias estructuras, ojos bien formados, línea lateral, vitelo prácticamente absorbido y aporte materno DO $\leq$ 5 mm	6
v	alevín	características generales del adulto bien desarrolladas en dimensiones reducidas, sin diferenciación sexual definida	7

Figura 10 – Esquemas generales del desarrollo gonadal

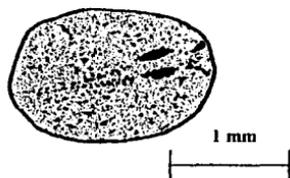


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

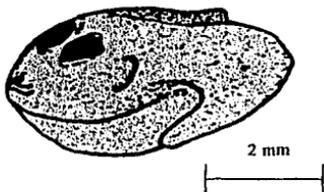
Figura 11 – Esquemas generales de los estadios empíricos propuestos para el desarrollo embrionario. Se resumen en dichas ilustraciones las observaciones efectuadas con lupa en microscopio óptico y en microscopio estereoscópico. (Se pueden observar algunas microfotografías selectas en las figuras 24-27, pág. 116).



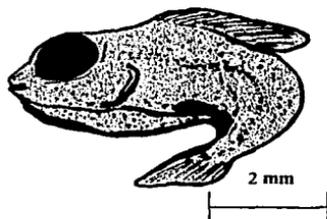
Estadio i (3), huevo recién fertilizado



Estadio ii (4), embrión en diferenciación



Estadio iii (5), embrión en diferenciación



Estadio iv (6), embrión diferenciado



Estadio v (7), alevín, etapa post-parto

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En el presente estudio, para el caso de las hembras que no presentaron superfetación, se contabilizaron 56 ejemplares en estadio 1, 42 ejemplares en estadio 2, 33 ejemplares en estadio 3, 8 ejemplares en estadio 4, 8 ejemplares en estadio 5 y 11 ejemplares en estadio 6. No se reportan hembras en estadio 7 o post-parto, lo cual podría estar determinado por el momento del muestreo y el ciclo reproductivo, así como por la posibilidad de una subvaloración de la superfetación total en las poblaciones (algunas hembras bien desarrolladas no mostraron superfetación, es posible que parte de las camadas ya hubieran sido dadas a luz). Respecto a las hembras en que se encontró superfetación, se contabilizaron 3 ejemplares para los estadios 2 y 3, 10 ejemplares para los estadios 2 al 5, 1 ejemplar en estadios 3 y 4, 21 ejemplares en estadios 3 al 5, 12 ejemplares en estadios 4 y 5, y 2 ejemplares en estadios 5 y 6. En total, se encontraron 158 hembras diferenciadas sin superfetación y 49 hembras gestantes con superfetación. En la tabla 14 se presentan los promedios de desarrollo de las hembras diferenciadas de cada sitio y se condensan los casos de superfetación correspondientes.

Tabla 14 – Desarrollo gonadal y presencia de superfetación en las hembras diferenciadas

Sitio	Estadio promedio	Máx. Estadio alcanzado	Casos con superfetación
1 secas	4.344	6	4
1 lluvias	1.200	2	0
2	2.104	4	5
3	3.336	5	5
4	2.000	6	2
5	2.928	6	5
6	3.289	6	4
7a secas	3.536	5	10
7b secas	2.833	4	6
7 lluvias	2.756	6	21

Tabla 15 – Estimación del número de crías anuales de las hembras maduras

Sitio	Crías/hembra	SD	Total/zona-colecta
I secas	14.938	12.7461	239
I lluvias	0	-	0
2	8.733	2.9873	131
3	6.182	6.8091	68
4	6.955	3.6577	153
5	4.92	5.4766	123
6	10.556	18.8090	95
7a secas	42.2308	21.1745	549
7b secas	51.111	27.4338	460
7 lluvias	8.722	8.1753	314

## RESULTADOS COMPLEMENTARIOS Y COMENTARIOS GENERALES

### CONTENIDOS ESTOMACALES Y DIETA

El estudio de los contenidos estomacales se efectuó seleccionando aleatoriamente muestras bien conservadas en los viales, las cuales fueron observadas al microscopio estereoscópico y al microscopio óptico. Se empleó una cámara digital y sistema de software, perteneciente al Laboratorio de Helminología del Instituto de Biología, UNAM, para obtener imágenes de los diversos contenidos, así como de los diferentes estadios de desarrollo embrionario y de los parásitos encontrados en las muestras. En el anexo se agregan las fotografías seleccionadas por su calidad y representatividad. La alimentación en los poecilidos del género *Xiphophorus* es de carácter omnívoro según la literatura reportada (British Livebearer Association, 1991; Espinosa et al, 1993), y aunque no se conoce a detalle, es probable que tenga un comportamiento oportunista, empleando los recursos disponibles en los diversos ambientes. Se consultaron los trabajos de Duarte-Sánchez (1981), Power (1990) y Gerking (1994), entre otros autores, para plantear el análisis de contenidos estomacales y establecer las comparaciones pertinentes. Los resultados mostraron un comportamiento omnívoro, en apariencia de carácter esencialmente detritívoro. Los ejemplares estudiados presentaron restos de algas filamentosas y diatomeas principalmente en las zonas bajas y eutroficadas, mientras que en las zonas más elevadas y de aguas cristalinas se encontraron también restos de otros peces, residuos de sedimento y algunos dípteros.

La presencia de restos de piel y tejido muscular con caracteres de pigmentación semejante a la de estos peces sugiere la existencia de cierta tasa de canibalismo, en especial en las zonas menos estables, donde los organismos alcanzan menor robustez y se ven expuestos a mayores presiones de selección.

Buena parte del material analizado se encontraba desmenuzado y resultó inidentificable, aunque es posible que incluya detritus o materia orgánica de los fondos y restos de hojas en putrefacción (En el sitio 7 la hojarasca fue muy abundante).

## ETOLOGÍA GENERAL

Durante la colecta se observó una preferencia de los especímenes por los ambientes de corrientes medias y medianamente rápidas, especialmente aquéllos en donde abunda el sustrato rocoso y las grietas y pozas pequeñas. Los peces se encontraban en lugares someros y se ocultaban en los intersticios del fondo al percibir movimientos en la superficie. En las zonas con vegetación riparia o acumulación de hojas, se encontraron peces también en situaciones de baja corriente y poca oxigenación, lo cual pudiera estar asociado a la presencia de abundante materia orgánica como fuente de alimento y protección (Sitio 7 y parte del 6). En observaciones de otras especies del género en cautiverio se notó la misma característica de sensibilidad a los cambios luminosos y a las pulsaciones y movimientos en el agua. Se aclimataron y mantuvieron peces espada (*Xiphophorus helleri*) en un estanque y se observó su comportamiento de forma alternada durante la época de lluvias, el otoño, invierno y primavera. Los peces tienden a ocultarse con cualquier perturbación del agua, por lo que es posible que su ritmo metabólico y

actividad descienda considerablemente durante la estación lluviosa. Las bajas temperaturas también inciden en una disminución del desplazamiento y el forrajeo, pero es posible que en el caso de *X. birchmanni* existe una buena adaptabilidad a los cambios, en especial en las poblaciones de las zonas elevadas de la región.

Bailey y Sanford, (1999) mencionan que los "platis" y "espadas" exhiben un comportamiento de exhibición constante frente a las hembras, mientras que existen enfrentamientos entre los machos cuando éstos se encuentran demasiado cerca. Dicho comportamiento diádico ha sido estudiado con mayor amplitud por Beaugrand et al (1991) y resulta de sumo interés en la explicación de la selección sexual de estos peces. En este sentido, el desarrollo de un comportamiento dinámico en el cortejo puede incidir en las preferencias de las hembras (Rosenthal et al, 1996). En el caso de *X. helleri* las hembras responden claramente a la longitud de la espada en los machos (Basolo, 1990), mientras que en el caso de *X. birchmanni*, dada la ausencia o cuasi ausencia de dicha estructura, la función de ésta podría estar siendo suplida por otras características (Rosenthal op.cit.), a saber: La dimensión de la aleta caudal, el patrón de coloración de la aleta caudal, las dimensiones y coloración de la protuberancia dorso-frontal, el tamaño del gonopodio y el patrón de coloración general. A estas características se pueden agregar la robustez general del macho y el comportamiento de cortejo.

## PARASITOSIS, ENFERMEDADES Y DEFORMACIONES

Las parasitosis en las especies del género *Xiphophorus* han sido poco estudiadas y son pocos los parásitos que se han detectado hasta la fecha. Aunque diversos parásitos trematodos y cestodos afectan a muchas especies de poecílicos, no se encuentran muchos ejemplos de parasitosis para las poblaciones naturales del género. Se tiene un reporte para *X. helleri* infectado por el parásito *Centrocestus formosanus* (TREMATODA : DIGENEA), (Pérez-Ponce et al, 1996). En los ejemplares de *X. birchmanni* revisados durante este estudio se hallaron varios casos de deformación corporal asociados al estrés ambiental y a las presiones de selección impuestas por el ambiente. Ocurren, sin embargo, algunos casos de parasitosis que sugieren la posibilidad de más descubrimientos en este sentido. Se encontraron dos ejemplares infectados con *Contracaecum* sp. (NEMATA:ASCAROIDEA) y uno con *Lernaea* sp. (CRUSTACEA:CYCLOPOIDA) para el sitio 1; un ejemplar del sitio 3 mostró *Contracaecum* sp. y un ejemplar del sitio 5 presentaba infección por protozoarios no identificados (Se muestran fotografías selectas en el anexo). *Contracaecum* sp. también se presentó en ejemplares de los sitios 2 (3 casos) y 7 (2 casos). Todas las infecciones corresponden a la época de lluvias.

## INFLUENCIA ANTROPOGÉNICA

Dada la importancia de los peces como grupo indicador de la salud de los ecosistemas acuáticos (Fausch et al 1990; McCauley, 1990), resulta evidente la necesidad de considerar los efectos que las alteraciones ambientales antropogénicas pudiesen tener en las poblaciones de *Xiphophorus birchmanni* aún aunque sea éste sólo un primer acercamiento al respecto. Los peces no solo integran los efectos directos e indirectos del estrés ambiental crónico, sino que reflejan los impactos de los disturbios ambientales episódicos (Soto-Galera et al, 1998). En este sentido, se plantea la posibilidad de alteraciones en el crecimiento y la robustez de los ejemplares, un descenso en el éxito reproductivo de las poblaciones y problemas degenerativos (deformidades, susceptibilidad a las parasitosis y a otras enfermedades), que tenderían a presentarse en sitios alterados, especialmente en aquellos con elevadas concentraciones de nutrientes provenientes de las descargas residuales urbanas, la lixiviación de fertilizantes y productos agrícolas, y el arrastre de sedimentos ricos en materia orgánica y diversos minerales a raíz de los procesos de deforestación. Otro aspecto que ha sido considerado en la discusión dentro de este ámbito, es la influencia de la pesca tradicional o pesca local de diversas especies icticas. La elevada presencia de algas y plantas acuáticas, en lo que se ha denominado eutrofización del medio, no solamente puede ser indicativo del aumento en las concentraciones de nutrientes y alteraciones del flujo de los mismos en un sitio, sino estar directamente relacionado con la abundancia y la diversidad de los peces (Power, 1990).

En presencia de peces, las algas verdes filamentosas y diversas plantas acuáticas son reducidas a tapices de bajo espesor y suelen infestarse de otros organismos, como los chiromónidos (Power, 1990). La falta de ictiofauna no solamente repercute en el consumo que ésta pudiera efectuar, sino que resulta posible el crecimiento de poblaciones de otros depredadores que pueden atacar a los invertebrados herbívoros que regulan el crecimiento y de esta forma se desencadena un florecimiento inusual (Power, 1990).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS Y APLICACIÓN DE MÉTODOS COMPARATIVOS

### ESTIMACIONES POBLACIONALES

Aunque no se utilizaron técnicas de marcaje ni se efectuó un estudio prospectivo en este sentido, se han utilizado los datos aportados por los ejemplares colectados y las características físicas de los ríos para estimar algunos parámetros poblacionales. El tamaño de la población (N) y la tasa bruta de natalidad (TBN) se obtuvieron de forma aproximada como se detalla a continuación. La mortalidad de los peces se discute con mayor amplitud en la sección respectiva, aunque no se aborda de forma cuantitativa en el presente estudio.

El número de crías (alevines) que se estima nacen al año se calculó mediante la fórmula propuesta:

(9)

$$\text{No. crías} = (\text{No. ovocitos}) * (\text{IFC}/100) * (\text{No. Hembras maduras})$$

Donde el número de ovocitos y el IFC ( índice de fecundidad relativa, referir a ecuación 6, pág. 38 ) corresponde a los promedios para hembras reproductivas de cada sitio. El número de hembras maduras comprende a todas las hembras del sitio con algún nivel de desarrollo gonadal mayor de 1, y que se supone tendrán descendencia ese mismo año. Los resultados de dichos cálculos se mostraron en la tabla 15, en la sección de resultados sobre desarrollo embrionario.

Las estimaciones sobre el tamaño de la población suponen:

- a) esfuerzo de captura homogéneo
- b) captura efectuada en un promedio de 3 m del ancho del escurrimiento
- c) captura que cubre parcial o totalmente el ancho del escurrimiento (3 m)
- d) las colectas comprenden una longitud aproximada de 100 m
- e) la profundidad de los sitios no afectó la captura
- f) se capturó alrededor del 70% de los peces en ese volumen del escurriente
- g) los volúmenes estimados de los escurrimientos toman en cuenta las características hidrológicas y geográficas de los mismos, y están de acuerdo a los niveles altitudinales que se han reportado
- h) se descartan áreas contaminadas o directamente debajo de los poblados importantes, así como ambientes no propicios
- i) se minimiza el efecto de la selección sexual y se supone presencia constante de machos; la fecundación no constituye un limitante en este sentido

De acuerdo a los supuestos anteriores, el tamaño poblacional estimado (N) se propone mediante la siguiente fórmula:

(10)

$$N = \text{densidad de captura} * (100/70) * \text{volumen estimado de ambientes propicios}$$

Donde la densidad de captura equivale al número de peces (n) capturados a lo largo de 100 m del escurriente.

La tasa bruta de natalidad (TBN) corresponde a la fórmula:

(Enkerlin & Garza, 1997)

(11)

$$\text{TBN} = (\text{No. de nacimientos} / \text{población total}) * 100$$

Esto es:

$$\text{TBN} = (\text{No. crías} / N) * 100$$

Cabe remarcar que los resultados que se muestran en las tablas 16 y 17 constituyen meras estimaciones, un primer acercamiento a la evaluación cuantitativa de las poblaciones de la especie en la región. Las tendencias son reportadas en función de la tasa de recambio y las presiones de selección presentes en los medios (Tabla 17) y posiblemente subestiman el efecto de la mortalidad de los alevines y las migraciones poblacionales, temas a revisar en futuros estudios.

Tabla 16 – Estimaciones de parámetros poblacionales para las poblaciones estudiadas

Sitio	N	N ♀	N ♂	N ♀ reproductivas	N Crias Anual	TBN	Tasa de Recambio (%)	Tendencias Crecimiento Poblacional
1	4513	4016	496	882	13176	2920	292	Medio
2	4273	2918	1355	1251	10919	2555	258	Medio
3	1168	860	308	178	1103	944	94	Equilibrio
4	1775	1365	410	525	3649	2056	206	Medio
5	3665	2186	1499	1041	5123	1398	140	Ligero
6	4700	3318	1382	415	4375	931	93	Equilibrio
7	1521	1020	501	783	26634	17515	1751	Alto
Totales	21615	15683	5952	5075	64978	3006	301	Medio

Tabla 17 – Presiones de selección y estado de las poblaciones

Sitio	Nivel de presión	Tipos de presión	Estado potencial Propuesto
1	Medio	Competencia, depredación, contaminación	Medianamente estable
2	Medio	Cambios estacionales, competencia, depredación	Medianamente estable
3	Alto	Desecamiento total, cambios estacionales	Media estabilidad, migraciones
4	Alto	Desecamiento total, cambios estacionales, Competencia, depredación	Baja estabilidad, migraciones
5	Medio	Cambios estacionales, competencia, depredación	Medianamente estable
6	Medio	Contaminación periódica, cambios de temperatura	Medianamente estable, migraciones
7	Bajo	Cambios de temperatura	Muy estable

## PRUEBAS ESTADÍSTICAS

Los resultados de las pruebas estadísticas aplicadas mostraron información contundente para algunos casos, mientras que en otros fueron de carácter contradictorio o incluso contrario a los supuestos probados para la evaluación de las hipótesis planteadas. En las tablas, que se muestran en esta sección, se presentan en forma resumida los resultados significativos con 95% de confianza ( $\alpha = 0.05$ ) de dichos análisis. Los valores mostrados en letras grises no son significativos, se han resaltado con **negritas todos los resultados significativos que muestran diferencias significativas entre los sexos o que apoyan la hipótesis de agrupamiento altitudinal planteada en la sección introductoria**, mientras que el resto de los resultados podrían estar en contradicción con dichos planteamientos. Este aspecto es abordado a detalle en la sección de discusiones y conclusiones. Dado el carácter de la información recabada, se tuvo que recurrir a pruebas de estadística no paramétrica, puesto que los resultados de los análisis de varianza sugerían la necesidad de verificar los efectos de cierto nivel de no normalidad en los datos de algunas de las poblaciones.

Sitios (Vdf)	1 secas		1 lluvias		2 lluvias		3 lluvias		4 lluvias		5 lluvias		6 lluvias		7 secas		7 lluvias	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀ a	♀ b	♀	♂
	HO	HO	HO	HO	HO	HO	HO	HO										
1 secas	0.000	-0.152	-1.408	-0.299	0.202	0.794	1.867	<b>3.624</b>	-0.598	0.731	<b>-7.662</b>	<b>-4.074</b>	<b>-4.675</b>	0.624	1.698	1.956	<b>-10.170</b>	<b>-5.456</b>
	106	72	87	63	108	78	105	<b>71</b>	183	91	<b>104</b>	<b>88</b>	<b>124</b>	82	68	65	<b>141</b>	<b>90</b>
	-0.432	0.000	<b>-2.234</b>	-0.945	-0.392	0.368	1.195	<b>3.879</b>	-0.611	0.202	<b>-8.772</b>	<b>-5.224</b>	<b>-4.363</b>	0.140	1.474	1.916	<b>-8.513</b>	<b>-4.854</b>
1 lluvias	72	38	<b>53</b>	29	74	44	71	<b>37</b>	149	57	<b>70</b>	<b>54</b>	<b>90</b>	48	34	31	<b>107</b>	<b>56</b>
	1.408	<b>2.234</b>	0.000	0.906	<b>2.079</b>	<b>2.872</b>	-1.147	<b>6.694</b>	0.277	<b>2.234</b>	<b>-7.724</b>	<b>-3.592</b>	<b>-3.217</b>	<b>6.328</b>	<b>3.547</b>	<b>3.994</b>	<b>-8.571</b>	<b>-4.502</b>
	87	<b>53</b>	68	44	<b>89</b>	<b>59</b>	86	<b>52</b>	164	<b>72</b>	<b>85</b>	<b>69</b>	<b>105</b>	<b>63</b>	49	46	<b>122</b>	<b>71</b>
2 lluvias	0.299	0.945	-0.906	0.000	0.566	1.320	1.901	<b>4.376</b>	-0.128	0.820	<b>-6.281</b>	<b>-3.498</b>	<b>-2.624</b>	0.890	1.937	<b>2.398</b>	<b>-5.796</b>	<b>-3.213</b>
	63	29	44	20	65	35	62	<b>28</b>	140	48	<b>61</b>	<b>45</b>	<b>81</b>	39	25	<b>22</b>	<b>98</b>	<b>47</b>
	-0.202	0.392	<b>-2.079</b>	-0.566	0.000	0.845	<b>2.075</b>	<b>4.644</b>	-0.747	0.688	<b>-10.093</b>	<b>-5.559</b>	<b>-5.740</b>	0.593	<b>2.058</b>	<b>2.448</b>	<b>-11.988</b>	<b>-6.599</b>
3 lluvias	108	74	<b>89</b>	65	110	80	107	<b>73</b>	185	93	<b>106</b>	<b>90</b>	<b>126</b>	84	70	<b>67</b>	<b>143</b>	<b>92</b>
	-0.794	-0.368	<b>-2.872</b>	-1.320	-0.845	0.000	0.901	<b>3.855</b>	-0.863	-0.087	<b>-10.127</b>	<b>-6.140</b>	<b>-5.271</b>	-0.191	1.329	1.802	<b>-9.961</b>	<b>-5.727</b>
	78	44	<b>59</b>	35	80	50	77	<b>43</b>	155	63	<b>76</b>	<b>60</b>	<b>96</b>	54	40	37	<b>113</b>	<b>62</b>
4 lluvias	-1.867	-1.195	<b>-4.147</b>	-1.901	<b>-2.075</b>	<b>-0.901</b>	0.000	<b>3.301</b>	-1.717	-0.932	<b>-12.665</b>	<b>-7.759</b>	<b>-7.946</b>	-1.072	0.801	1.290	<b>-14.005</b>	<b>-8.065</b>
	105	71	<b>86</b>	62	<b>107</b>	<b>77</b>	104	<b>70</b>	182	90	<b>103</b>	<b>87</b>	<b>123</b>	81	67	64	<b>140</b>	<b>89</b>
	<b>-3.624</b>	<b>-3.879</b>	<b>-6.694</b>	<b>-4.376</b>	<b>-4.644</b>	<b>-3.855</b>	<b>-3.301</b>	0.000	<b>-2.332</b>	<b>-3.068</b>	<b>-13.381</b>	<b>-9.529</b>	<b>-8.075</b>	<b>-3.485</b>	-1.600	-1.141	<b>-12.108</b>	<b>-7.484</b>
5 lluvias	71	37	<b>52</b>	28	<b>73</b>	43	70	<b>36</b>	148	56	<b>69</b>	<b>53</b>	<b>89</b>	53	30	<b>106</b>	<b>55</b>	
	0.598	0.611	-0.277	0.128	0.747	0.863	1.717	<b>2.332</b>	0.000	0.977	<b>-3.744</b>	<b>-1.748</b>	<b>-2.431</b>	0.821	1.283	1.370	<b>-6.372</b>	<b>-3.143</b>
	183	149	164	140	185	155	182	<b>148</b>	260	168	<b>181</b>	<b>165</b>	<b>201</b>	159	145	142	<b>218</b>	<b>147</b>
6 lluvias	-0.731	-0.202	<b>-2.234</b>	-0.945	-0.688	0.000	0.932	<b>3.068</b>	-0.977	0.000	<b>-8.574</b>	<b>-4.922</b>	<b>-5.267</b>	-0.083	1.162	1.477	<b>-10.365</b>	<b>-5.760</b>
	91	57	<b>72</b>	48	<b>93</b>	<b>63</b>	90	<b>56</b>	168	76	<b>89</b>	<b>73</b>	<b>109</b>	67	53	50	<b>126</b>	<b>75</b>
	<b>7.662</b>	<b>8.772</b>	<b>7.724</b>	<b>6.281</b>	<b>10.093</b>	<b>10.127</b>	<b>12.665</b>	<b>13.381</b>	<b>3.744</b>	<b>8.574</b>	0.000	<b>3.757</b>	<b>3.410</b>	<b>8.998</b>	<b>9.085</b>	<b>9.919</b>	<b>-2.847</b>	<b>-0.070</b>
7 lluvias	104	70	<b>85</b>	61	<b>106</b>	<b>76</b>	<b>103</b>	<b>69</b>	181	89	<b>102</b>	<b>86</b>	<b>122</b>	80	66	<b>63</b>	<b>139</b>	<b>88</b>
	<b>4.074</b>	<b>5.224</b>	<b>3.592</b>	<b>3.498</b>	<b>5.559</b>	<b>6.140</b>	<b>7.759</b>	<b>9.529</b>	1.748	4.922	<b>-3.757</b>	0.000	-0.062	<b>5.239</b>	<b>5.927</b>	<b>6.298</b>	<b>-5.449</b>	<b>-2.232</b>
	<b>88</b>	<b>54</b>	<b>69</b>	45	<b>90</b>	<b>60</b>	<b>87</b>	<b>53</b>	165	73	<b>86</b>	<b>70</b>	<b>106</b>	<b>64</b>	<b>50</b>	<b>47</b>	<b>123</b>	<b>72</b>
7 secas	4.675	4.363	3.217	2.624	5.740	5.271	7.746	8.075	2.431	5.267	-3.410	0.062	0.000	5.042	5.330	5.405	-6.225	-2.443
	124	90	<b>105</b>	81	<b>126</b>	<b>96</b>	<b>123</b>	<b>89</b>	201	109	<b>122</b>	100	<b>142</b>	<b>100</b>	86	83	<b>159</b>	<b>108</b>
	-0.624	-0.140	<b>-2.328</b>	-0.890	-0.593	0.191	1.072	<b>3.485</b>	-0.821	0.083	<b>-8.998</b>	<b>-5.239</b>	<b>-5.042</b>	0.000	1.326	1.697	<b>-9.838</b>	<b>-5.550</b>
7 lluvias	82	48	<b>63</b>	39	<b>84</b>	<b>54</b>	<b>81</b>	<b>47</b>	159	67	<b>80</b>	<b>64</b>	<b>100</b>	58	44	41	<b>117</b>	<b>66</b>
	-1.698	-1.474	<b>-3.547</b>	-1.901	<b>-2.058</b>	-1.329	-0.801	1.600	-1.283	-1.162	<b>-9.085</b>	<b>-5.927</b>	<b>-5.330</b>	-1.326	0.000	0.355	<b>-8.957</b>	<b>-5.306</b>
	68	34	<b>49</b>	25	<b>70</b>	49	67	<b>33</b>	145	53	<b>66</b>	<b>50</b>	<b>86</b>	44	30	27	<b>103</b>	<b>52</b>
7 lluvias	-1.956	-1.916	<b>-3.994</b>	<b>-2.398</b>	<b>-2.448</b>	-1.802	-1.290	1.141	-1.370	-1.477	<b>-9.319</b>	<b>-6.298</b>	<b>-5.405</b>	-1.697	-0.355	0.000	<b>-8.727</b>	<b>-5.251</b>
	65	31	<b>46</b>	22	<b>67</b>	37	64	<b>30</b>	142	50	<b>63</b>	<b>47</b>	<b>83</b>	41	27	24	<b>100</b>	<b>49</b>
	10.170	8.513	8.571	5.796	11.988	9.961	14.005	12.108	6.372	10.345	2.847	5.449	6.225	9.838	8.957	8.727	0.000	1.973
7 lluvias	141	107	122	98	143	113	140	106	218	126	139	123	159	117	103	100	176	125
	5.456	4.854	4.502	3.213	6.599	5.727	8.065	7.484	3.143	5.760	0.070	2.232	2.443	5.550	5.306	5.251	-1.973	0.000
	90	56	71	47	92	62	89	55	167	75	88	72	108	66	52	49	125	74

Tabla 18 – Pruebas t-student aplicadas al factor de condición (k) de las hembras (♀) y machos (♂) estudiados ( $\alpha = 0.05$  para comparaciones individuales) Los valores en tinta negra muestran posibles diferencias entre los sitios, pero el nivel de significancia se ve reducido drásticamente debido a la acumulación de error inherente a la prueba, por lo que se recurre al análisis de varianza. Resulta interesante, sin embargo, señalar la elevada frecuencia con que aparecen posibles diferencias al comparar los sitios 5, 6♀ y 7 (lluvias) con el resto de las localidades, así como la ausencia de probables diferencias entre los sitios 1, 2, 3 y 4.

Análisis de varianza para el factor de condición (k)

F- ratio = 25.05      P < 0.05      df (grados de libertad entre grupos) = 17

Existen diferencias significativas entre las medias de los sitios con 95% de confianza.

Agrupación homogénea por pruebas de rangos múltiples. Los grupos encontrados se encuentran dispuestos por columnas y son significativamente distintos a otros grupos cuando no se presenta translope entre los mismos.

7 lluvias ♀	X								
7 lluvias ♂		X							
5 lluvias ♀		X							
6 lluvias ♀			X						
5 lluvias ♂			X						
5 lluvias ♀				X					
1 lluvias ♀					X	X			
1 lluvias ♂					X	X	X	X	
1 secas ♀						X	X		
2 lluvias ♀						X	X		
1 secas ♂					X	X	X	X	
6 lluvias ♂						X	X	X	
4 lluvias ♂							X	X	
2 lluvias ♂						X	X	X	
3 lluvias ♂							X	X	
7 lluvias ♀ a							X	X	X
7 lluvias ♀ b								X	X
3 lluvias ♂									X

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

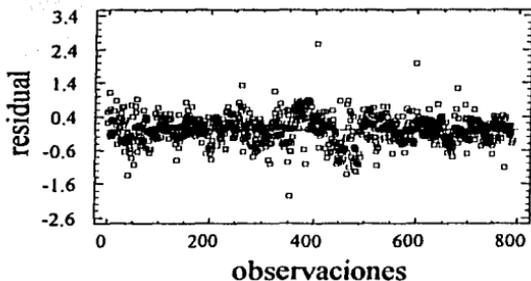


Figura 12 – Dispersión residual para el análisis de condición según longitud patrón (k)

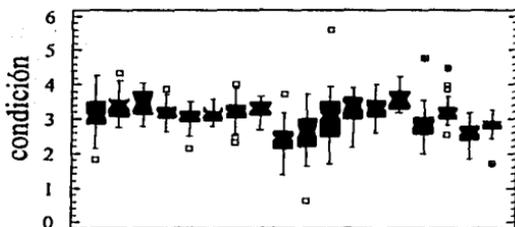


Figura 13 – Diagrama de cajas para el factor de condición según la longitud patrón (k). Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis:  $T = 309.083$ ,  $P < 0.05$ ; de izquierda a derecha: 1S ♀, 7S ♀ a, 7S ♀ b, 7S ♂, 1 ♀, 1 ♂, 2 ♀, 2 ♂, 7 ♀, 7 ♂, 4 ♀, 4 ♂, 3 ♀, 3 ♂, 6 ♀, 6 ♂, 5 ♀ y 5 ♂. Donde: S = secas y el resto corresponden a lluvias.

Análisis de varianza para el factor de condición según altura (ka)

F- ratio = 20.30      P < 0.05      df (grados de libertad entre grupos) = 17

Existen diferencias significativas entre las medias de los sitios con 95% de confianza.

Agrupación homogénea por pruebas de rangos múltiples. Los grupos encontrados se encuentran dispuestos por columnas y son significativamente distintos a otros grupos cuando no se presenta transape entre los mismos.

5 lluvias ♂	X																		
7 lluvias ♂	X	X																	
1 secas ♂	X	X	X																
6 lluvias ♂	X	X	X																
4 lluvias ♂		X	X	X															
3 lluvias ♂		X	X	X	X														
2 lluvias ♂			X	X	X	X													
7 secas ♀ a			X	X	X	X	X												
1 lluvias ♂				X	X	X	X	X											
6 lluvias ♀								X	X										
7 secas ♀ b								X	X	X									
5 lluvias ♀									X	X									
3 lluvias ♀									X	X	X								
4 lluvias ♀										X	X								
1 lluvias ♀											X								
7 lluvias ♀												X						X	
2 lluvias ♀													X					X	
1 secas ♀														X				X	

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

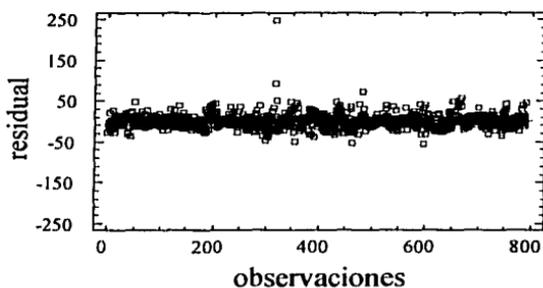


Figura 14 – Dispersión residual para el análisis de condición según altura (ka)

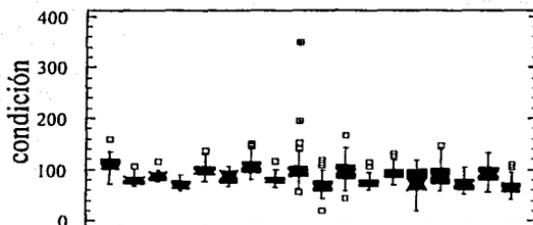


Figura 15 – Diagrama de cajas para el factor de condición según la altura (ka). Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis:  $T = 303.911$ ,  $P < 0.05$ ; de izquierda a derecha: 1S ♀, 7S ♀ a, 7S ♂ b, 7S ♂, 1 ♀, 1 ♂, 2 ♀, 2 ♂, 7 ♀, 7 ♂, 4 ♀, 4 ♂, 3 ♀, 3 ♂, 6 ♀, 6 ♂, 5 ♀ y 5 ♂. Donde: S = secas y el resto corresponden a lluvias.

**Análisis de varianza para el factor de relación Altura-Longitud (AL)**

F- ratio = 27.60      P < 0.05      df (grados de libertad entre grupos) = 17

Existen diferencias significativas entre las medias de los sitios con 95% de confianza.

Agrupación homogénea por pruebas de rangos múltiples. Los grupos encontrados se encuentran dispuestos por columnas y son significativamente distintos a otros grupos cuando no se presenta translope entre los mismos.

7 lluvias ♀	X								
5 lluvias ♀		X							
1 secas ♀		X							
2 lluvias ♀		X	X						
1 lluvias ♀		X	X						
4 lluvias ♀			X	X					
6 lluvias ♀			X	X					
3 lluvias ♀					X				
1 lluvias ♂				X	X	X			
7 lluvias ♂					X	X			
7 secas ♂ b					X	X	X		
2 lluvias ♂						X	X	X	
7 secas ♀ a						X	X	X	X
4 lluvias ♂							X	X	X
5 lluvias ♂							X	X	X
3 lluvias ♂							X	X	X
6 lluvias ♂									X
1 secas ♂								X	X

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

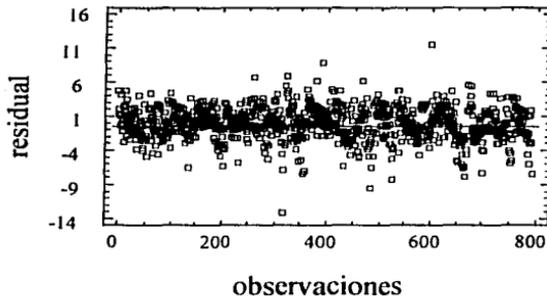


Figura 16 – Dispersión residual para el análisis del factor de relación altura-longitud (AL)

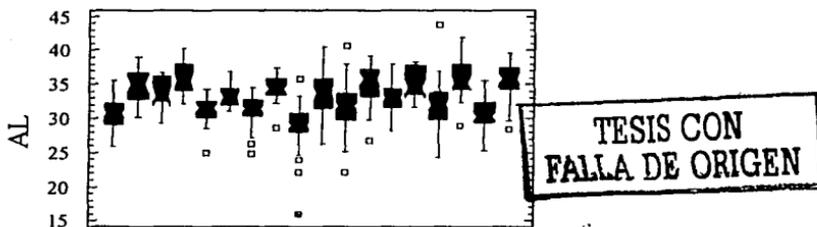


Figura 17 – Diagrama de cajas para el factor de relación altura-longitud (AL). Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis:  $T = 313.68$ ,  $P < 0.05$ ; de izquierda a derecha: 1S ♀, 7S ♀ a, 7S ♀ b, 7S ♂, 1 ♀, 1 ♂, 2 ♀, 2 ♂, 7 ♀, 7 ♂, 4 ♀, 4 ♂, 3 ♀, 3 ♂, 6 ♀, 6 ♂, 5 ♀ y 5 ♂. Donde: S = secas y el resto corresponden a lluvias.

## **OTRAS ESTADÍSTICAS NO PARAMÉTRICAS. Correlaciones sobre ka**

Se realizaron análisis de correlaciones para los principales índices corporales (k, ka y AL). Aunque no se obtuvieron muchos resultados significativos a favor de la hipótesis de agrupamiento altitudinal, se observó que el factor de condición según la altura (ka) proporciona más correlaciones significativas que los otros dos. Para dicho caso, se obtuvieron 15 correlaciones significativas a favor de la hipótesis planteada, mientras que se tienen 31 correlaciones significativas que no concuerdan con los planteamientos efectuados.

La presencia de correlaciones en la información recabada no resulta decisiva para el rechazo o aceptación de la hipótesis, dada la amplia variedad de factores que intervienen en los ambientes estudiados. Este problema se aborda con mayor amplitud dentro de la siguiente sección, en la que se espera resaltar las relaciones encontradas y explicar algunos de los fenómenos observados.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 19 – Correlaciones encontradas entre los sitios para el factor propuesto ka ( $P < 0.05$ )

Sitio	Correlaciones encontradas con otros sitios				
1S ♀	2 ♀ (-0.275)				
7S ♀ a	1S ♂ (-0.518)	2 ♂ (-0.568)	3 ♀ (0.628)	3 ♂ (0.599)	6 ♂ (0.616)
7S ♀ b	1 ♂ (0.611)				
1S ♂	7S ♀ a (-0.518)	1 ♂ (-0.624)			
1 ♀					
1 ♂	7S ♀ b (0.611)	1S ♂ (-0.624)			
2 ♀	1S ♀ (-0.275)	7S ♀ a (-0.568)	4 ♂ (0.377)	6 ♀ (0.420)	
2 ♂	7 ♂ (0.722)	4 ♂ (0.390)	3 ♂ (0.515)	6 ♂ (0.559)	
7 ♀					
7 ♂	2 ♂ (0.772)	4 ♂ (0.414)	3 ♂ (0.660)	6 ♂ (0.540)	
4 ♀	5 ♂ (-0.348)				
4 ♂	2 ♀ (0.377)	2 ♂ (0.390)	7 ♂ (0.414)	6 ♂ (0.541)	5 ♂ (0.719)
3 ♀	7S ♀ a (0.628)				
3 ♂	7S ♀ a (0.599)	2 ♂ (0.515)	7 ♂ (0.660)	6 ♂ (0.757)	
6 ♀	2 ♀ (0.420)	5 ♀ (0.296)			
6 ♂	7S ♀ a (0.616)	2 ♂ (0.559)	7 ♂ (0.540)	4 ♂ (0.541)	3 ♂ (0.757)
5 ♀	7S ♀ a (-0.566)	6 ♀ (0.296)			
5 ♂	4 ♀ (-0.348)	4 ♂ (0.719)			

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 20 – Condensado general de tendencias. Estrategias r y k.

Sitios / Parámetro	BAJOS				MEDIOS		ALTOS			
	1 secas	1 lluvias	2 lluvias	3 lluvias	4 lluvias	5 lluvias	6 lluvias	7 lluvias	7a secas	7b secas
% estabilidad	80 k	90 k	60 k -	30 r	40 r -	60 k -	80 k	80 k	70 k	70 k
Madurez sexual ♀	temprana r	temp-media r -	med-tardía k -	temprana r	temprana k -	med-tardía k -	temprana r	tardía k	temprana r	temprana r
Madurez sexual ♂	— —	med-tardía k -	med-tardía k -	temprana r	temprana r	med-tardía k -	temprana r	tardía k	— —	tardía k
MS	— —	medio k -	bajo k	medio k -	bajo k	bajo k	medio k -	bajo k	alto r	— —
% ♀ reproductivas	bajo k	bajo k	alto r	bajo k	alto r	alto r	½ alto r -	½ alto r -	alto r	alto r
IGS	alto r	bajo k	medio k -	medio k -	medio k -	medio k -	½ alto r -	½ alto r -	alto r	alto r
IFC	alto r	nulo —	bajo k	bajo k	medio k -	medio k -	½ bajo k -	½ bajo k -	medio k -	alto r
Estadio máximo	6 r	2 k	4 k -	5 r -	6 r	6 r	6 r	6 r	5 r -	4 k -
Superfetración	media r -	nula —	media r -	media r -	baja r	media r -	media r -	alta + k +	alta k	media + k -
Total tipo r	5	1	2	5	5	3	6	3	5	4
Total tipo k	3	6	7	4	4	6	3	6	3	4
Tendencia	r -	k	k	r -	r -	k -	r	k -	r -	½

## **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

### **SOBRE LA BIOLOGÍA DE LA ESPECIE**

El crecimiento alométrico de los ejemplares de *Xiphophorus birchmanni* parece ser de carácter similar para ambos sexos hasta el inicio de la diferenciación sexual secundaria, que en el caso de los machos lleva a un notable cambio de las proporciones corporales. Como se ha mencionado, dicho cambio se ve reflejado especialmente en la aleta caudal, la robustez general y la protuberancia de la región cefálica. En el caso de las hembras, el tamaño corporal se incrementa ligeramente al iniciar la gestación, y los principales cambios se reflejan en el peso total de los ejemplares. En este aspecto, las hembras que desarrollan superfetación y/o aquéllas con mayor número de embriones en desarrollo, presentan el mayor incremento de masa y ancho corporales. Los índices de condición evaluados ( $k$  y  $k_a$ ) reflejan la robustez relativa de los ejemplares, en donde los ejemplares con menores valores tienden a ser delgados y aquéllos con mayores valores tienden a ser obesos para su longitud o para su altura, según corresponde a cada índice. Los ejemplares delgados pueden ser juveniles normales o bien adultos desnutridos o expuestos a fuertes presiones de selección. La presencia de parásitos, así como la escasez de alimentos y la presencia de competidores pueden explicar la presencia de los adultos anormalmente delgados. Por otro lado, los ejemplares obesos son primordialmente hembras en gestación y machos reproductores bien diferenciados. Sin embargo, en algunos casos se encontraron ejemplares deformes que debido a alteraciones en el crecimiento de origen no determinado, presentan altos valores de  $k$  o bajos valores de  $k_a$ , al ser demasiado cortos o demasiado altos para su peso.

Como se puede apreciar en las figuras 13 y 15, buena parte de los sitios incluye ejemplares con características extremas reflejadas en el factor de condición, ejemplares que quedan fuera de los rangos de 95% de confianza para el establecimiento de comparaciones en la prueba de Kruskal-Wallis. Es probable que dichas alteraciones del crecimiento y deformaciones corporales estén vinculadas con presencia de contaminantes teratogénicos, parasitosis y otras enfermedades. Así tenemos que en el sitio 1 lluvias, el parásito *Contracaecum* sp. parece estar asociado con el sobrepeso de uno de los ejemplares infectados (elevado valor de  $k$ ), lo cual ocurre también en el sitio 3 lluvias, en donde los índices  $k_a$  y  $AL$  muestran el mismo efecto. Se observan deformaciones notables en las que se alcanzan valores elevados de  $AL$  en un ejemplar del sitio 2 lluvias, en donde también se presentaron dos ejemplares con bajos valores de  $k_a$ . En el sitio 7 se presentó un ejemplar con deformaciones, que tiene un bajo valor de  $k_a$  y de  $AL$ . Es posible que algunos de estos casos estén dados en respuesta a un crecimiento acelerado bajo condiciones poco propicias, en donde se presentan fuertes presiones de selección: la disminución del caudal y volumen de los escurrientes, los cambios en la composición fisicoquímica del agua y la interacción interespecífica en condiciones de aislamiento con recursos limitados. El ritmo de crecimiento se asemeja con gran probabilidad a aquél de otras especies del género, siendo muy elevado durante las primeras semanas, para descender paulatinamente hasta casi detenerse al alcanzar la madurez sexual, como sucede en *X. nigrensis* (Yan, 1987; Morris y Ryan, 1990). Las temporadas de crecimiento, que se marcan en los anillos de crecimiento de las escamas, están condicionadas especialmente por la variabilidad del medio. De esta forma se puede observar una relación directa entre el crecimiento de los organismos y las estaciones de lluvias y secas, el cual se encuentra reafirmado para los sitios de menor estabilidad que necesariamente involucran migraciones de las poblaciones entre los mismos

y las zonas bajas y sitios permanentes de la zona alta. Se ha incluido un condensado de tendencias (Tabla 20) con el objetivo de dar claridad a los resultados y facilitar la identificación de las características ambientales y de la biología de la especie asociadas con los diversos sitios estudiados. Los sitios con menor porcentaje de estabilidad, es decir, aquéllos con condiciones más cambiantes y que pierden parcial o totalmente su caudal (2-5), parecen exigir una mayor velocidad de desarrollo y maduración, y un mayor esfuerzo reproductivo a corto plazo. Dicho fenómeno se observa al menos para el caso de las hembras reproductoras de los sitios en cuestión, pues en los machos parece haber un menor desarrollo de las características sexuales secundarias y por ende, el esfuerzo asociado al comportamiento de cortejo y apareamiento puede estar supliendo la falta de desarrollo y robustez. A este respecto, se notan pocos indicios de que exista una relación entre la LP o el k y la maduración sexual de los machos, sin embargo, el factor MS sí resulta ligeramente más bajo para casos expuestos a mayores presiones de selección. Es posible que los machos recluten como reproductores a diferentes longitudes y que aún a menor robustez puedan desarrollar los caracteres sexuales secundarios básicos. Por otro lado, en lo que concierne a las hembras, las tallas de reclutamiento son claramente menores para los sitios a continuación de un periodo de estiaje. En el caso de los sitios 3 y 4, que se desecan por completo, esto podría explicarse por la brevedad de las condiciones propicias para la especie en los sitios, así como por una mayor asignación de recursos al gasto inherente efectuado durante las migraciones. En el caso del sitio 7, pudiera estar condicionado por la concentración de ejemplares en una zona reducida y por el aumento consiguiente de la competencia intraespecífica. Por último, en el caso 1, se tienen probables efectos de la competencia intraespecífica y existe la posibilidad de que la eutrofización y alteraciones del ambiente incidan en el desarrollo de los organismos. Los estudios prospectivos detallados

del desarrollo de las escamas y el análisis gonadal de los ejemplares machos, podrían aportar información relevante y decisiva en futuras investigaciones sobre la especie en relación a los planteamientos anteriores. Las proporciones sexuales encontradas muestran la predominancia de las hembras en las poblaciones, estando especialmente concentradas en el sitio 1. Resulta interesante observar el porcentaje de hembras reproductivas (Tabla 8), pues éste fue mayor en los sitios con mayores presiones de selección, aún cuando para el sitio 3 se halló un valor reducido. El mayor número de hembras reproductoras puede indicar un mayor esfuerzo reproductivo y un posible desarrollo precoz de las hembras como respuesta adaptativa a condiciones cambiantes del medio. Por otro lado, el índice gonadosomático (IGS) y el índice de fecundidad relativa calculada (IFC) muestran mayores valores para los periodos de sequía en donde se concentran las poblaciones en los sitios más estables (1, 6 y 7), y valores medios para los sitios menos estables durante la época de lluvias. Las hembras obtienen mayor éxito reproductivo en los sitios más estables (1, 6 y 7), utilizando mejor la energía asignada y almacenada para la reproducción en la gónada, alcanzando mayor incidencia de superfetación, y manteniendo una condición de robustez promedio para la especie. Contrariamente a lo anterior, las hembras de los sitios menos estables (2, 3, 4 y 5) muestran un menor éxito reproductivo, utilizando parcialmente para el esfuerzo reproductivo la energía almacenada en las gónadas, presentando menor incidencia de superfetación, y en algunos casos presentan una condición de robustez menor al promedio o con abundantes ejemplares debajo del promedio. Las hembras de estos últimos sitios parecen suplir esta deficiencia, producida probablemente por el uso de recursos energéticos para el desplazamiento migratorio y las adaptaciones homeostáticas, efectuando un desarrollo más rápido – como se ha mencionado – y alcanzando mayores proporciones de hembras reproductivas en el total de la población.

El desarrollo embrionario de la especie puede equipararse con los estadios propuestos por Nikolsky (1963; citado por Rodríguez-Gutiérrez, 1992) al efectuar algunas modificaciones, proporcionando los estadios reportados en el presente estudio. El hecho de que no se encontraran ejemplares en el estadio 7, apunta hacia la presencia de una tendencia de reproducción continua, en el que las hembras más precoces suelen presentar superfetación y maximizan el esfuerzo reproductivo en los sitios que presentan condiciones óptimas.

Es probable que los alevines recién nacidos, por sus dimensiones, hayan escapado a su captura por las limitaciones del sistema empleado, es decir, que hayan sido poco afectados por las descargas del equipo de electropesca debido a su tamaño, que hayan pasado a través de la apertura de malla o que tiendan a desplazarse fuera de la zona ocupada por los ejemplares adultos. Adicionalmente, es probable que exista un cierto grado de mortalidad juvenil, que aún no siendo tan grande como la que se presenta en los peces ovíparos y ovovivíparos de tallas similares, puede afectar la distribución, crecimiento y maduración de los mismos. Éste último aspecto puede afectar de manera notable las estimaciones poblacionales presentadas y reducir significativamente el tamaño real de las mismas en los diversos sitios. La mortalidad de los juveniles probablemente está dada por la depredación realizada por otras especies icticas y especies externas (especialmente aves); así como por la ocurrencia del canibalismo, el cual puede proveer una fuente de alimento en un ambiente donde los recursos son extremadamente limitados (Smith y Welch, 1978).

Considerando el desarrollo irregular de los paquetes o camadas de crías en las hembras con superfecundación, es posible que la disponibilidad de alimento y las exigencias del medio lleven al nacimiento de alevines más propensos a enfermedades y peligros del medio después de la primera generación. Esto no implica que dicho fenómeno se presente en todas las hembras reproductoras con superfecundación, e inclusive es posible que la falta de alimentos en una temporada dada pueda ser suplida mediante las reservas energéticas asignadas a la gónada si no existen mayores presiones de selección en el ambiente. En el caso de la familia GOODEIDAE todos los huevos fertilizados suelen desarrollarse por completo, puesto que la degeneración de embriones en desarrollo es muy baja (Mendoza, 1941). Éste podría no ser el caso para los poecilidos, al menos para la especie, pues la variabilidad del número de embriones en desarrollo por estadio para cada hembra es elevada; sin embargo, los embriones que inician su desarrollo probablemente lo terminarán, aún sujetos a las condiciones anteriormente expuestas.

En lo que respecta al desarrollo del embrión dentro de la madre, cabe aclarar que el vitelo se absorbe notoriamente alrededor del estadio iii (5), lo que sugiere la presencia de algún grado de matrotrofia. El peso calculado de los ovocitos y embriones, así como su diámetro – a diferencia de lo que ocurre en otros poecilidos (Reznick et al, 1992) – se incrementan de forma exponencial a lo largo del desarrollo. Aunque es posible que exista un punto de cambio en la tasa de crecimiento en los últimos estadios, al acercarse el parto – lo cual daría una forma sigmoideal a la curva de crecimiento – los datos recabados refuerzan el planteamiento sobre un cierto grado de matrotrofia para la especie, en respaldo a las investigaciones de Tavolga y Rugh (1947, citado en Wourms, 1981) y Wourms (op.cit.). La matrotrofia es un tipo de viviparidad obligada en la que los embriones en desarrollo dentro

de la madre obtienen nutrientes procedentes: de la ingestión de los ovocitos no desarrollados o de otros embriones (oofagia y adelfofagia), de la madre a través de análogos placentarios (epidérmicos y epitelios de aletas, epitelios de branquias, trophonemata, placenta branquial, saco vitelino, amnios y corión pericardiales, pseudoplacenta folicular, intestino hipertrofiado, y/o Trophotaeniae), o de la madre a través de una placenta verdadera de saco vitelino (Wourms, 1981). En el caso de la especie, es probable que esté implicado algún análogo placentario, aunque resulta necesario emprender estudios histológicos de los embriones y su relación con la gónada materna para entender con precisión el proceso que se lleva a cabo en los mismos.

Es interesante resaltar la presencia de superfetación y viviparidad matrotrofica, puesto que la mayoría de las especies de la familia POECILIIDAE muestran viviparidad lecitotrofica y no presentan superfetación, a excepción de *Poecilia branneri* y *Priapella bonita*, las cuales fueron citadas con superfetación por Turner en 1937 (Reznick et al, 1992). Otro aspecto interesante implicado en el proceso de superfetación es el probable almacenamiento de esperma por parte de las hembras y la fertilización salteada que pudiera explicar la coexistencia de varias camadas. Es posible que ocurra dicho almacenamiento, o bien, que existan múltiples apareamientos. Sin embargo, la información recabada parece señalar la posibilidad de ambos procesos. El hecho de que se presenten hembras con superfetación en el sitio 1 secas, sin presencia de machos, implica el almacenamiento del esperma en las mismas. Aunque es posible que el apareamiento halla tenido lugar en el sitio en una estación previa o que las hembras involucradas hallan migrado desde otro sitio, sin embargo, el elevado porcentaje de uso de la gónada (%UG) y el éxito reproductivo de las hembras hace pensar en la primera explicación.

En los casos de superfecundación del resto de los sitios pueden contemplarse tanto el almacenamiento de esperma como el apareamiento múltiple. El almacenamiento de esperma ha sido hallado con anterioridad para *Xiphophorus helleri* (Van Oordt, 1928 y Bailey, 1933; citados en Mendoza, 1939), mientras que Turner lo determinó experimentalmente para *Heterandria formosa* (Mendoza, op.cit.).

## **SOBRE LOS PLANTEAMIENTOS HIPOTÉTICOS**

Antes de abordar los resultados en relación a la hipótesis planteada al inicio del presente trabajo conviene discutir con mayor amplitud las implicaciones de las características ambientales y las limitaciones de los métodos empleados en el mismo. Las distancias entre los sitios (Tabla 1) constituyen el factor de distribución y separación geográfica, y junto con el factor altitudinal determinan las características físicas del ambiente en cada sitio. Los sitios elevados, como se ha mencionado, tienden a ser menos húmedos y más frescos que los sitios bajos. Los sitios más cercanos al Golfo de México, usualmente más bajos, tienden a ser más húmedos, con lluvias más fuertes y con temperaturas más elevadas. La separación o distancia directa entre sitios puede ser determinante de similitudes en la composición de materiales disueltos en el agua, así como del volumen de los escurrimientos en función de las precipitaciones locales y el grado de permeabilidad del sustrato. Por otra parte, no implican similitudes de otros parámetros físicos como la temperatura, la zonificación y la velocidad de las corrientes, parámetros más vinculados con el factor altitudinal y el contorno específico de los sitios. La separación o distancia efectiva entre los sitios, junto con la presencia de barreras y cambios en los cursos de los escurrimientos, resulta de gran importancia al evaluar la similitud entre los

mismos y al comparar las poblaciones de peces de la zona. Así tenemos que las poblaciones en los sitios 6 y 7, por su gran distancia efectiva, difícilmente interactúan con las poblaciones del resto de los sitios en forma directa. Esto no quiere decir que las migraciones no ocurran o que la mezcla entre organismos de tales poblaciones no sea factible, pero sí que es menos probable en el corto y mediano plazo, más aún cuando se considera la relativamente buena estabilidad de dichos sitios. En cambio, los sitios 3 y 4 muy probablemente estén relacionados con los sitios cercanos, y en la época de estiaje, los peces de dichos sitios que no quedan atrapados deben migrar para buscar condiciones propicias en los escurrientes de mayor caudal, con lo que aumentan las probabilidades de interacción con otras poblaciones de la especie en la región cercana. Este proceso necesariamente debe tener efectos sobre las poblaciones e incidir sobre los resultados al momento de la evaluación de hipótesis, en especial en lo concerniente a la agrupación altitudinal de los sitios y las tendencias esperadas de  $r$  y  $k$  para los mismos. Es posible que exista una amplia plasticidad fenotípica en las poblaciones de la especie. Dicha plasticidad podría resultar de una experiencia evolutiva en condiciones fluctuantes que han permitido una gran gama o rango de expresión fenotípica para el genoma de las especies (Mann et al. 1984), lo que permite suponer la posibilidad de mayores similitudes reales entre las poblaciones de las que se reflejan en el estudio. Esto, como se ha dejado entender, es especialmente válido en los sitios efectivamente cercanos, y podría apuntar a la temperatura del agua y la disponibilidad de alimento como influencias preponderantes en el crecimiento y desarrollo de la actividad reproductiva en los diversos ambientes, aunque no fue precisamente así. Así pues, los ejemplares de *Xiphophorus birchmanni* desarrollan diversos fenotipos en las diversas condiciones ambientales de los sitios a los que llegan por medio de las migraciones y a aquéllos en los que parecen estar asentados de forma definitiva.

Aunque el agrupamiento altitudinal es válido para establecer comparaciones y ordenar la metodología del estudio, no se vieron claras modificaciones de los principales índices (k, ka y AL) contemplados. Las agrupaciones homogéneas señalan similitudes entre sitios bajos y altos para algunos casos. Esto no debe interpretarse como una carencia de cambios entre las poblaciones de los sitios, pues éstos cambios se pueden reflejar tanto en el peso, como en la morfometría de los ejemplares y dar por resultado similitudes de los índices que parecieran contradecir su existencia. Las hembras del sitio 6 lluvias y los machos del sitio 7 lluvias, así como los ejemplares de ambos sexos del sitio 5 lluvias, muestran menores índices promedio que los observados en otros sitios. En los sitios 6 y 7, los ejemplares mostraron – como se ha mencionado – un mayor esfuerzo reproductivo exitoso, por lo que el menor valor de condición podría estar dado a consecuencia de dicho esfuerzo. Considerando que las observaciones referentes a los tres sitios anteriores corresponden a la época de lluvias, y tomando en cuenta su ubicación y características físicoquímicas, resulta probable que la productividad descienda en dichos sitios a consecuencia del aumento del caudal y la velocidad de los escurrientes. El agua puede arrastrar los nutrientes y abatir los recursos alimentarios disponibles, e incluso el aumento del caudal pudiera no verse reflejado en un mayor volumen de agua, sino en una corriente más violenta y agotadora para los especímenes. La especie parece adaptarse al gradiente de temperatura y a los cambios originados por el mismo, siendo de mayor importancia para la misma la presencia de alimento (como lo proponen Mann et al, 1984) pero no la temperatura, a la cual se puede adaptar. Este último aspecto debe confirmarse en el futuro mediante el análisis genético de las poblaciones o mediante técnicas de marcaje y seguimiento de las migraciones entre los diversos sitios, pues no es seguro que los peces de los sitios medios y bajos realmente pudieran migrar hasta los sitios altos (6 y 7) aún

dejando a un lado la considerable distancia efectiva que existe entre los mismos. Es posible, pues, que las poblaciones de los sitios altos se encuentren reproductivamente aisladas y que hallan evolucionado a través del tiempo, favoreciendo la adaptación a la temperatura y a la escasez de alimento durante la época de lluvias. El aislamiento en una población puede estar dado por barreras físicas o fisicoquímicas evidentes, como rápidos infranqueables al menos durante cierto periodo (aislamiento alopatrico), o bien mediante diferencias en el comportamiento y la reproducción (aislamiento simpátrico). Para los sitios bajos y medios el aislamiento es esencialmente simpátrico, aunque algunas poblaciones quedan aisladas de forma alopatrica en los escurrimientos de menor caudal. En los sitios elevados es probable el aislamiento alopatrico, dada la pendiente del escurrimiento, el bajo caudal durante la sequía y las rápidas corrientes durante la época de lluvias. No se deben descartar, sin embargo, las posibles migraciones que pudieran tener lugar al menos en proporciones reducidas.

Los supuestos básicos de las estrategias r y k se cumplen parcialmente, pero no de la forma planteada, puesto que como se ha dicho con anterioridad, los efectos de la distribución altitudinal no son tan marcados como se pensaba y en el planteamiento original se subestimó la preponderancia de otros factores. Algunos sitios, por ejemplo, se ajustan al modelo de estrategias r y k con buena aproximación, por lo que se pudiera pensar que el planteamiento original fuera correcto (Sitios k: 1 y 2 lluvias; sitio r: 6 lluvias). Sin embargo, al revisar la situación en los otros sitios se nota inmediatamente que el problema es más complejo y que las variables antes discutidas y quizá otras más intervienen en el desarrollo de la historia de vida en tales ambientes. Los sitios 3 y 4 lluvias, y los sitios 1 y

7a secas se acercan parcialmente al modelo r. Esto resultaría contradictorio a los planteamientos hipotéticos para los sitios 1 bajos y medios involucrados, aunque la sequía en el sitio 1 y la inestabilidad y probables migraciones en los sitios 3 y 4 pudieran explicar una estrategia de características similares al tipo r. Por otro lado, los sitios 5 y 7 lluvias se acercan parcialmente al modelo k. Esto resulta contradictorio a los planteamientos hipotéticos para el sitio 7 lluvias, aunque la notoria estabilidad del sitio podría ubicarlo en esta categoría. El sitio 7b secas se encuentra entre los dos modelos, lo que pudiera indicar una transición o mezcla migratoria, además de que su proximidad al sitio 6 y su grado de estabilidad lo convierten en una zona de refugio y reproducción. En el sitio 6, a pesar de su notable estabilidad en cuanto al nivel del agua y temperaturas aceptables para la población de la parte alta, se muestra un claro comportamiento de tipo r, como se ha dicho. Lo anterior pudiese estar en relación a los periodos de escasez de alimento y a la contaminación periódica por manganeso que se ha mencionado para dicho escurrimiento. Los efectos de las modificaciones al ambiente e influencia antropogénica también pudiesen estarse manifestando en el sitio 1. Dichos efectos son probablemente de carácter directo e indirecto. Los primeros debido a los cambios en la composición fisicoquímica del agua y a la turbidez adicional del medio; los segundos debidos a la eutrofización del agua, la pesca tradicional en la zona, la eliminación de refugios, los cambios en la vegetación riparia y el asolvamiento procedente de las tierras altas, todos los cuales inciden en la ictiofauna del escurrimiento y en las cadenas tróficas que se establecen (Power, 1990), creando mayores presiones de selección sobre los organismos.

## RECOMENDACIONES PARA EL ESTUDIO, USO Y CONSERVACIÓN DE LA ESPECIE

Las poblaciones de la especie se encuentran relativamente estables, incluso es posible que ocurran crecimientos poblacionales estacionales en los sitios 1, 2, 4 y 7. Por otro lado, las poblaciones de los sitios 1 y 6 se encuentran expuestas a incrementos en el estrés y presiones de selección debidas primordialmente a causas antropogénicas. Las estimaciones que se muestran en el presente trabajo deben ser mejoradas y verificadas a través de estudios prospectivos en los que se incluyan técnicas de marcaje y estudio de las migraciones, estudio de otras especies componentes de la ictiofauna y otros grupos taxonómicos. Aunque la pesca tradicional parece no afectar significativamente a las poblaciones de *Xiphophorus birchmanni* en la zona, se requieren de registros prospectivos ante la carencia de datos relevantes que antecedan al presente estudio. En lo que respecta a la conservación de la especie, resulta de gran relevancia el sitio 1, como base de probable distribución y refugio hacia los sitios cercanos, así como el sitio 7, por su aislamiento y excelente estado de conservación. Los peces también resultan afectados en las formas descritas por la tala inmoderada y las alteraciones al paisaje, como pueden ser la construcción de presas, carreteras, puentes y desarrollo de explotaciones mineras. Éstos y otros factores deben ser considerados para el correcto manejo de la especie y su conservación en la región de la Confluencia de las Huastecas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta-Santoscoy S.B. 1997. Ciclo reproductivo de *Allophorus robustus* (Bean, 1982) (PISCES: GOODEIDAE) Tesis de Licenciatura. (Biología). ENCB IPN México DF
- Álvarez J. 1970. Peces Mexicanos (Claves). Ser. Inv. Pesq., Inst. Nac. Inv. Biol. Pesq. México. 166 pp.
- Bailey M. & G. Sanford. 1999. Aquarium Fish & Fish Care. Hermes House. Hong Kong. 256 pp.
- Basolo A.L. 1990. Female preference for male sword length in the green swordtail *Xiphophorus helleri* (Pisces : Poeciliidae). *Animal Behaviour*. 40 : 332-338.
- Basolo A.L. 1990. Female preference predates the evolution of the sword in swordtail fish. *Science*. Vol. 250 : 808-811.
- Beaugrand J., Goulet C. & D. Payette. 1991. Outcome of dyadic conflict in male green swordtail fish, *Xiphophorus helleri*, effects of body size and prior dominance. *Animal Behaviour*. 41 : 417-424.
- Begon M., Harper J.L. & C.R. Townsend. 1996. Ecology: Individuals, Populations and Communities. Blackwell Science. USA. 1068 pp.
- Benabib M. 1993. Los vertebrados y las historias de vida. Ciencias. No. especial, mayo 1993 : 23-31.
- Borowsky R.L., McClelland M., Cheng R. & J. Welsh. 1995. Arbitrarily primed DNA fingerprinting for phylogenetic reconstruction in vertebrates: The *Xiphophorus* model. *Mol. Biol. Evol.* 12 (6) : 1022-1032.

- British Livebearer Association. 1991. Información sobre el género *Xiphophorus* y fotografías. (Fuente : INTERNET) Livebearer World issue winter 1991.
- Burr B. & R.L. Mayden. 1982. Life history of the freckled madtom, *Noturus nocturnus*, in Mill Creek, Illinois. (Pisces : Ictaluridae). Occasional Papers of the Museum of Natural History. The University of Kansas, Lawrence, Kansas. No. 98 : 1-15.
- Clayton G.M. & D.J. Price. 1992. Interspecific and intraspecific variation in resistance to ichthyophthiriasis among poeciliid and goodeid fishes. *J. Fish Biol.* 40 : 445-453.
- Cloutman D.G. & R.D. Harrell. 1987. Life history notes on the white-fin shiner, *Notropis niveus* (Pisces : Cyprinidae), in the Broad river, South Carolina. *COPEIA*. No. 4 : 1037-1040.
- CONABIO - 2003. Consulta via Internet a información sobre la Confluencia de las Huastecas, características orográficas, hidrológicas, y ecológicas. México.
- Crapon de Crapona M.D. & M.J. Ryan. 1990. Conspecific mate recognition in swordtails *Xiphophorus negrensis* and *Xiphophorus pygmaeus* (Poeciliidae) : olfactory and visual cues. *Animal Behaviour*. 39 : 290-296.
- Cummings K., Grady J. & B.M. Burr. 1984. The life history of the mud darter, *Etheostoma asprigene*, in lake Creek, Illinois. *Biological Notes*. Illinois Natural History Survey. No. 122 : 1-7.
- Duarte-Sánchez M.P. 1981. Contribución al conocimiento de los hábitos alimentarios de doce especies de peces en el lago de Cuitzeo, Michoacán. Tesis de Licenciatura. (Biología). ENCB IPN México DF
- Eddy S. & J.C. Underhill. 1979. How to know the freshwater fishes. The pictured key nature series. Wm. C. Brown Co. Pub. Iowa, USA. 215 pp.

- Enkerlin E.C. & Garza R.A. 1997. Las poblaciones naturales y sus características. Capítulo 7 en: Enkerlin E.C., Cano G., Garza R.A. & Vogel E. (Eds.) Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible. International Thomson Editores. México. Pp. 125-150.
- Espinosa H., Gaspar M.T. & P. Fuentes. 1993. Listados Faunísticos de México. III. Los peces dulceacuicolas mexicanos. Instituto de Biología. UNAM México 99 pp.
- Fausch K.D., Lyons J., Karr J.R. & P.L. Angermeier. 1990. Fish communities as indicators of environmental degradation. American Fisheries Society Symposium. 8 : 123-144.
- Franck D. & Ribowski. 1993. Dominance hierarchies of male green swordtails (*Xiphophorus helleri*) in nature. J. Fish Biology. 43 : 497-499.
- Gerking S.D. 1994. Feeding Ecology of Fish Academic Press. CA USA 416 pp.
- Hardisty M.W. 1970. The relationship of gonadal development to the life cycles of the paired species of lamprey, *Lampetra fluviatilis* (L.) and *Lampetra planeri* (Bloch). J. Fish Biol. 2 : 173-181.
- Hatch M.D., Baltosser W.H. & C.G. Schmitt. 1985. Life history and Ecology of the Butlenose shiner (*Notropis simus pecosensis*) in the Pecos river of New Mexico. The Southwestern Naturalist: 30 (4) : 555-562.
- Heins D. 1981. Life history pattern of *Notropis sabiniae* (Pisces : Cyprinidae) in the lower Sabine river drainage of Louisiana and Texas. Tulane Studies in Zoology and Botany. Vol. 22, No.2 : 67-84.
- Helfman G.S., Collette B.B. & D.E. Facey. 1997. The Diversity of Fishes. Blackwell Science USA 528 pp
- INEGI - 1998. Anuario Estadístico del Estado de Hidalgo. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y el Gobierno del Estado de Hidalgo, México.

- INEGI – 1997, 2002. – Consultas a cartas e información de compendios geográficos.  
Consulta vía Internet a información geográfica del estado de Hidalgo, México.
- Labelle M. & J.R. Nursall. 1985. Some aspects of the early life history of the redlip blenny, *Ophioblennius atlanticus* (Teleostei : Blenniidae). COPEIA. No. 1 : 39-49.
- Lagler K.F. 1975. Freshwater Fishery Biology. Wm. C. Brown Co. Pub. Iowa USA 421 pp
- Layman S.R. 1991. Life history of relict, duskytail darter, *Etheostoma* (Catonotus) sp., in little river, Tennessee. COPEIA. No. 2 : 471-485.
- Layman S. 1993. Life history of the Savannah Darter, *Etheostoma fricksium*, in the Savannah river drainage. South Carolina. COPEIA. No. 4 : 959-968.
- Lobón-Cerviá. 1991. Dinámica de poblaciones de peces en ríos. Monografías del MNCN. Madrid, España. 149 pp.
- Lobón-Cerviá J., Dgebuadze Y., Utrilla C.G., Rincón P.A. & C. Granado-Lorencio. 1996. The reproductive tactics of dace in central Siberia: evidence for temperature regulation of the spatio-temporal variability of its life history. J Fish Biol. 48 : 1074-1087.
- Lockhart P.J., Penny D. & A. Meyer. 1995. Testing the phylogeny of swordtail fishes using split decomposition and spectral analysis. J. Mol. Evol. 41 : 666-674.
- Lyons J., Navarro-Pérez S., Cochran P.A., Santana E.C. & M. Guzmán-Arroyo. 1995. Index of Biotic Integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in west-central Mexico. Conservation Biology. Vol. 9, No. 3 : 569-584.
- Lyons J., González-Hernández G., Soto-Galera E. & M. Guzmán-Arroyo. 1998. Decline of freshwater fishes and fisheries in selected drainages of west-central Mexico. Fisheries Management. Vol. 23, No. 4 : 10-17.

- Mann, Mills & Crisp. 1984. Geographical Variation in the Life-History tactics of some species of freshwater fish. Chapter 10 in Potts G. & R. Wootton. (Ed.) Fish Reproduction. Academic Press. London. Pp. 171-186.
- Margalef R. 1974. Ecología. Ediciones Omega. Barcelona, España. 951 pp.
- McCauley R.W. 1990. Determining the health of fish communities – parallels with human medicine. J. Great Lakes Res. 16 : 635-636.
- Méndez-Sánchez J.F. 2001. Historia de vida de *Chirostoma riojai* en tres localidades del alto Lerma. Tesis de maestría. (Biología). ENCB IPN México DF
- Mendoza G. 1939. The reproductive cycle of the viviparous teleost, *Neotoca bilinieata*, a member of the family Goodeidae. I. The breeding cycle. The Biological Bulletin. Vol. 76, No. 3 : 359-370.
- Mendoza G. 1940. The reproductive cycle of the viviparous teleost, *Neotoca bilinieata*, a member of the family Goodeidae. II. The cyclic changes in the ovarian soma during gestation. The Biological Bulletin. Vol. 78, No. 3 : 349-365.
- Mendoza G. 1941. The reproductive cycle of the viviparous teleost, *Neotoca bilinieata*, a member of the family Goodeidae. III. The germ cell cycle. The Biological Bulletin. Vol. 80, No. 3 : 70-79.
- Mercado-Silva N. 1999. La ictiofauna como indicadora de la calidad del agua en rios de la Cuenca del Pánuco. Tesis de Licenciatura. UNAM México DF
- Morris M.R. & M.J. Ryan. 1990. Age at sexual maturity of male *Xiphophorus nigrensis* in nature. COPEIA. No. 3 : 747-751.
- Morris M.R. & M.J. Ryan. 1992. Breeding cycles in natural populations of *Xiphophorus nigrensis*, *X. multilineatus*, and *X. pygmaeus*. COPEIA. No. 4 : 1074-1077.

- Nainn R.S., Morizot D.C., Kazianis S., Woodhead A.D. & R.B. Setlow. 1996. Nonmammalian models for sunlight carcinogenesis: Genetic analysis of melanoma formation in *Xiphophorus* hybrid fish. *Photochemistry and Photobiology*. 64 (3) : 440-448.
- Ng W.J., Kho K., Ong S.L., Sim T.S., Tay S.H., Goh C.C. & L. Cheong. 1992. Water quality within a recirculating system for tropical ornamental fish culture. *Aquaculture*. 103 : 123-134.
- Nikolsky, G. 1963. *The ecology of fishes*. Academic Press. London GB. 352 pp.
- O'Neil P. 1981. Life history of *Etheostoma coosae* (Pisces : Percidae) in Barbaree Creek, Alabama. *Tulane Studies in Zoology and Botany*. Vol. 23, No. 1 : 75-83.
- Pérez-Ponce G., García-Prieto L., Osorio -Sarabia D. & V. León-Regagnon. 1996. Listados Faunísticos de México. VI. Helmintos parásitos de peces de aguas continentales de México. Instituto de Biología. UNAM México 100 pp.
- Power M.E. 1990. Effects of fish in river food webs. *Science*. Vol. 250 : 811-814.
- Rauchenberger M., Kallman K.D. & D.C. Morizot. 1990. Monophyly and Geography of the Río Pánuco Basin swordtails (genus *Xiphophorus*) with descriptions of four new species. *American Museum Novitates*. No. 2975 : 1-40.
- Reznick D.N., Miles D.B. & S. Winslow. 1992. Life history of *Poecilia picta* (Poeciliidae) from the Island of Trinidad. *COPEIA*. No. 3 : 782-790.
- Rodríguez-Gutiérrez M. 1992. Técnicas de evaluación cuantitativa de la madurez gonádica en peces. AGT Editor. México DF 79 pp.
- Rodríguez C.M.L. 1997. Phylogenetic analysis of the Tribe Poeciliini (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). *COPEIA*. No. 4 : 663-679.

- Rosenthal G.C., Evans C.S. & W.L. Miller. 1996. Female preference for dynamic traits in the green swordtail *Xiphophorus helleri*. *Animal Behaviour*. 51, 4 : 811-820.
- Setlow R.B., Grist E., Thompson K. & A.D. Woodhead. 1993. Wavelengths effective in induction of malignant melanoma. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 90 : 6666-6670.
- Smith & Welch. 1978. A summary of the life history and distribution of the cavefish, *Chologaster agassizi*, Putnam, with population estimates for the species in southern Illinois. *Biological Notes. Illinois Nat. Hist. Survey. No. 104* : 2-8.
- Soria-Barreto M., Alcántara-Soria L. & E. Soto-Galera. 1996. Ictiofauna del estado de Hidalgo. ENCB. IPN. *Zoología Informa*. 33 : 55-78.
- Soto E. 1994. Edad y crecimiento de *Goodea atripinis* Jordan (Pisces : Goodeidae) del embalse Ignacio Allende, Guanajuato. Reporte de Servicio Social. UAM-X México
- Soto-Galera E., Barragán J. E. López-López. 1991. Efectos del deterioro ambiental en la distribución de la ictiofauna Iermense. *Universidad: Ciencia y Tecnología. Vol. 1, No. 4* : 61-68.
- Soto-Galera E., Díaz-Pardo E., López-López E. & J. Lyons. 1998. Fish as indicators of environmental quality in the Río Lerma Basin, México. *Aquatic Ecosystem Health and Management*. 1 : 267-276.
- Soto-Galera E., Paulo-Maya J., López-López E., Serna-Hernández J. & J. Lyons. 1999. Environmental auditing. Change in fish fauna as indication of aquatic ecosystem condition in Río Grande de Morelia - Lago de Cuitzeo Basin, Mexico. *Environmental Management. Vol. 24, No. 1* : 133-140.
- Warburton K. & N. Lees. 1996. Species discrimination in guppies: learned responses to visual clues. *Animal Behaviour*. 52 : 371-378.

- Weatherley A.H. 1972. Growth and Ecology of Fish Populations. Academic Press. 292 pp.
- Wiens J.J. & M.R. Morris. 1996. Character definitions, sexual selection and evolution of swordtails. The American Naturalist. Vol. 147. No. 5 : 866-869. (Electronic paper)
- Williams 1966. Adaptation and natural selection. Princeton University Press. Princeton.
- Wischnath L. 1993. Atlas of livebearers of the world. T.F.H. Publications Inc. USA 336 pp.
- Wootton R.J. 1991. Ecology of Teleost Fishes. Chapman & Hall. Great Britain. 404 pp.
- Wootton R.J. 1992. Fish Ecology. Blackie. London, GB. 212 pp.
- Wourms J.P. 1981. Viviparity : The maternal-fetal relationship in fishes. Amer. Zool. 21 : 473-515.
- Yan H.Y. 1987. Size at maturity in male *Gambusia heterochir*. J. Fish Biol. 30 : 731-741.

## ANEXO – Esquemas y fotografías

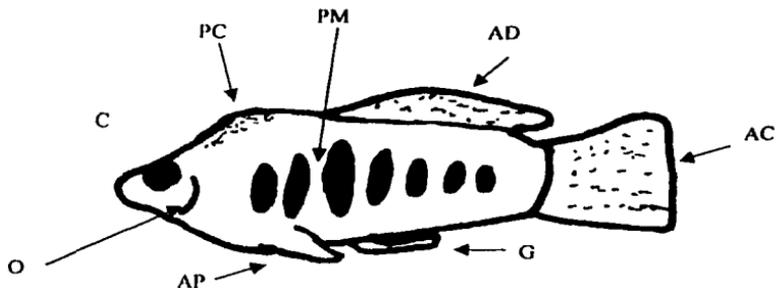


Figura 18 – Esquema de un macho adulto (Modificado de Rauchenberger et al, 1990)

AC, aleta caudal; AD, aleta dorsal; AP, aletas pectorales; C, región cefálica; G, gonopodio; O, opérculo; PC, protuberancia de la región cefálica; PM, patrón de manchado oval.

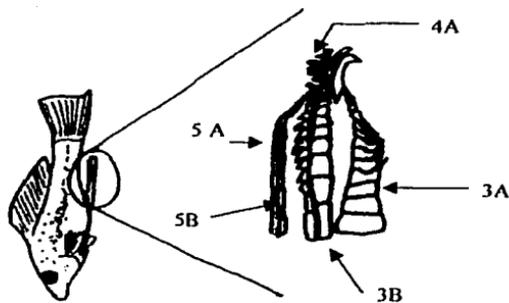


Figura 19 – Esquema de las estructuras del gonopodio del macho (Modificado de Rauchenberger et al, 1990)

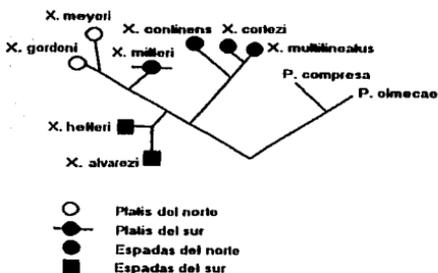


Figura 20 – Cladograma de especies cercanas a *Xiphophorus birchmanni* (Tomado de Lockhart et al, 1995) La especie podría ubicarse cercana al grupo de espadas del norte.



Figura 21 – Ejemplar *Xiphophorus birchmanni* ♂  
 Fuente: Internet / British Livebearer Association. 1991 (Stephen Elliot)

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



Figura 22 – Ejemplar *Xiphophorus birchmanni* ♂  
Fuente: Internet / British Livebearer Association, 1991 (Stephen Elliot)



Figura 23 – Ejemplar *Xiphophorus birchmanni* ♀  
Fuente: Internet / Southwest Texas State University (S.Kazianis, A.Pedroza, L.Hazlewood & R.Walter)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Figura 24 – Ovocito desarrollado, las deformaciones observadas se originan por el acomodo de los mismos en las gónadas, especialmente en las hembras más precoces y/o en aquellas que presentan algún grado de superfetación (muestra del sitio 7a secas) Ejemplar ampliado 10 veces



Figura 25 – Embrión en estadio ii (4). Se observa el inicio de la formación de los ojos y cierta diferenciación celular (muestra del sitio 7a secas) Ejemplar ampliado 8 veces



Figura 26 – Embriones en estadio iii (5) del sitio 7a secas (a) y del sitio 3 lluvias (b y c). El vitelo aún es considerable pero ha sido absorbido parcialmente, los ojos están muy desarrollados y se aprecia claramente la región caudal. Los ejemplares se han ampliado alrededor de 6 a 7 veces su tamaño original

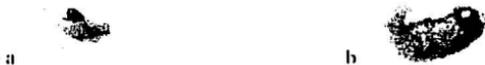


Figura 27 – Embriones en estadio iv (6) del sitio 7a secas. La aleta caudal aún se encuentra en formación, pero se observan claros patrones de pigmentación. Las estructuras corporales pueden distinguirse con claridad, aunque se trata de un estadio iv incipiente y todavía no se llega a la etapa pre-parto. En las hembras con superfetación, los embriones tardíos suelen alcanzar menores dimensiones que los que les precedieron en el desarrollo embrionario. Los ejemplares se han ampliado alrededor de 2 veces ( a ) y 5 veces ( b )

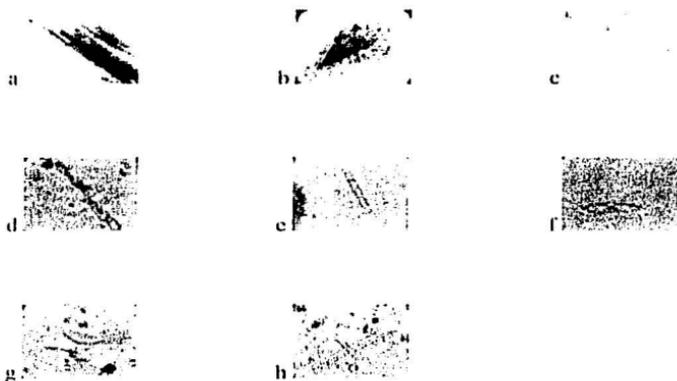


Figura 28 - Algunos contenidos estomacales comunes que se encontraron en los ejemplares: a) restos de plantas acuáticas; b) porción de tejido epitelial y muscular con pigmentación similar al de la especie, c) fragmento de alga filamentososa (Sitio1 secas); d) fragmento de alga filamentososa, e) alga filamentososa, diatomeas y materia orgánica, f) diatomea (Sitio2 lluvias); g) diatomeas y materia orgánica, h) diatomeas y restos de materia vegetal (Sitio7a secas). Microfotografías tomadas a 150 X ( a,b,c,e,h ), y a 600 X ( d,f,g )



Figura 29 - Algunos parásitos encontrados en ejemplares de la zona de estudio: a) y b) *Contracaecum* sp. (Sitio 1 lluvias); c) y d) Protozoarios de un ejemplar infectado (Sitio 5 lluvias). Microfotografías tomadas a 15 X ( a,b ), y a 600 X ( c,d )