



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales-Biología
Maestría en Ciencias-Recursos Bióticos

ESTRATEGIA REPRODUCTIVA DE TRES ESPECIES DEL GÉNERO *Xiphophorus* (Pisces: Pöeciliidae) EN LA CUENCA DEL RÍO ATLAPEXCO, MÉXICO

TESIS


Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias-Recursos Bióticos

Presenta:
Harol Urbano Amilpa

Dirigido por: Dr. Edmundo Díaz Pardo


SINODALES

Dr. Edmundo Díaz Pardo
Presidente



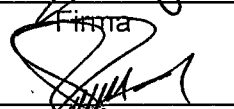
Firma

Dra. Ma. Carmen Uribe Aranzábal
Secretario



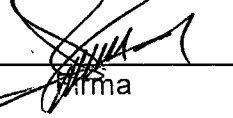
Firma

M. en C. Eduardo Soto Galera
Vocal




Firma

Dr. Raúl F. Pineda López
Suplente




Firma

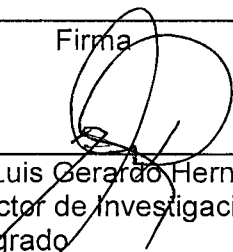
M. en C. Einar Topiltzin Contreras McBeath
Suplente



Firma



Dr. Carlos Francisco Sosa Ferreyra
Director de la Facultad



Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Marzo de 2006
México

BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

No. Adq. H70543
No. Título _____
Clas TS
597
U72e

2 - 34 - 11

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Conservación de Peces y de Hábitats Acuáticos, Facultad de Ciencias Naturales-Biología de la Universidad Autónoma de Querétaro y formó parte del proyecto:

**Diagnóstico y propuesta de conservación de la ictiofauna vivípara del
Medio Lerma y
Alto Pánuco (SIHGO-CONACyT2002020618).**

Dedicado a mi pequeña familia que me ha ofrendado su entusiasmo,

Mis padres: Victoria Amilpa Orihuela y Santos G. Urbano Cantinca

Mis hermanos: Jesús y Carina Urbano Amilpa

Los nuevos retoños: Jesús y Natalia Camacho Urbano

Y a las amistades incondicionales:

Adriana Ortega Urrutia

Sandra López Sánchez

Ana Lucía Fonseca

Yolanda Pantoja Hernández

Ma. Teresa Vieyra Hernández

Azucena Martínez Leyva

Ricardo Rubio Rodríguez

Carmen Colín Ferreira

Jorge Martínez Ibarra

Alfredo Sánchez

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por sus acertados comentarios, su apoyo en momentos difíciles, su cariño, las sonrisas y también las penas compartidas,

No se olviden que los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A la máxima casa de estudios del estado de Querétaro por haberme admitirme en el posgrado de Recursos Bióticos.

A CONACyT por el apoyo económico para culminar mis estudios.

Al Dr. Edmundo Díaz Pardo por su disposición al haberme escuchado y ayudado con su amplia experiencia a culminar esta inquietud, fruto de una plática en la primavera de 2002.

A la Dra. Ma. Carmen Uribe Aranzábal

Al M. en C. Eduardo Soto Galera

Al. M. en C. Topiltzin Contreras McBeath

Al Dr. Raúl Pineda López

Al M. en C. Rubén Pineda López

Por haberme regalado de manera desinteresada su paciencia, tiempo, experiencia, conocimientos y alto profesionalismo en la revisión, asesoría y, en su caso, tutoría de la presente tesis.

A las familias Urbano-Amilpa, por su apoyo en todo momento.

Al Dr. Edmundo Díaz, Ricardo Lobatón, Sandra Montaña, Altagracia Gutiérrez Hernández, Fernando Méndez, Humberto Mojica, Juan Manuel Rivas y Mónica Vanessa, por su colaboración para llevar a cabo las colectas.

A los pobladores de los poblados de Calnalí, Tula, Atlapexco y Xochicoatlán, por su comprensión en la realización del presente trabajo y por enseñarme el verdadero valor de la naturaleza.

A la Dra. Ma. Carmen Uribe, Gabino de la Rosa Cruz, Marcela Aguilar, Maricela Villagrán, Sandra Guerrero Estévez, Juanita Hernández, Adriana Alarcón, Eva Mendoza y Gloria Portales, por haberme instruido en el proceso de las técnicas de tinción.

A Yolanda Pantoja, Gloria Portales, Ma. Teresa Vieyra, Azucena Martínez, Norma Hernández, Juan Malda, Carolina Zumaya, Erika Vargas, Silvia Aguilar, Miriam, Verónica, Silvia Hurtado, Fernando García, Ulises, Miriam Soria Barreto, Alfonso, Gustavo Izaguirre, Francisco Espinoza y Carlos Leal, un agradecimiento muy especial por su valiosa intervención en la realización de este trabajo, por haberme permitido trabajar en conjunto, por abrirme muchas puertas y por el surgimiento y reforzamiento de una amistad.

A Ragde Sánchez, Azucena Martínez, Ricardo Rubio, Carmen Colín, Blanca Hernández, Everth Salinas, Oscar Medina, Rogelio Cruz, Sandra Flores, Moisés Tejocote, Gabriela Rogel, Luis Caballero y Joaquín amigos de la Xª generación de Biología, por su apoyo y continua amistad.

RESUMEN

En la cuenca del río Pánuco, el género *Xiphophorus* destaca por su gran diversificación específica y alto endemismo, formando complejos de especies filogenética y morfológicamente muy cercanas entre sí, como el integrado por *X. malinche*, *X. cortezi* y *X. birchmanni*, que además son simpátricas. Dado que sus características reproductivas son poco conocidas, en el presente estudio se describen algunas ellas con el fin establecer su posible relación con los eventos de segregación de estos taxa. Se capturaron ejemplares de las tres especies en corrientes tributarias del Río Atlapexco, Hidalgo, México, en los años 2003 y 2004. En el laboratorio se identificaron, se tomaron sus datos morfométricos, se reconoció el sexo de cada individuo y se extrajo el ovario de las hembras. De los 712 individuos capturados, *X. birchmanni* fue la especie mejor representada en los muestreos. En tres de las localidades muestreadas el grupo está en simpatria y el río Tula se reporta como nuevo sitio de distribución de *X. birchmanni* y *X. cortezi*. La proporción sexual en todo el grupo es 1:1. Microscópicamente se observaron los principales estadios de ovogénesis y, según las peculiaridades observadas del ovario, se estableció una escala de maduración ovárica. Las tallas de madurez sexual presentaron diferencias significativas ($F=5.5$, $p<0.005$), siendo *X. birchmanni* la de menor talla. Los máximos de inversión reproductiva ocurren al final del estiaje para las tres especies. La fecundidad es muy variable, correspondiendo a *X. birchmanni* el intervalo más amplio (2-83 embriones). Se apreció la presencia de gónadas con superfecundación, fenómeno pocas veces observado. La temporada reproductiva de las tres especies es larga y comienza en el estiaje, con el crecimiento y la maduración de los ovocitos, concluyendo en las lluvias con el nacimiento de las crías. En todas las temporadas se encontraron hembras con ovocitos maduros o gestantes, lo que significa que las hembras son capaces de reproducirse en cualquier época del año. Probablemente las características más relacionadas con la diferenciación de estas especies sean: el esfuerzo reproductivo, la talla a la madurez sexual y la fecundidad.

Palabras Clave: *Xiphophorus*, ciclo reproductivo, segregación, cuenca del Pánuco.

SUMMARY

In Panuco basin, *Xiphophorus* genus has a high specific diversification and are endemic, also they form a species flocks phylogenetic and morphologically very closed to each other, as the one in where there are *X. malinche*, *X. cortezi* y *X. birchmanni*, wich also are sympatric. Their reproductive characteristics are poorly know, so in this study some of them are described in order to stablish if they are related to the segregation events of this species. Individuals of the three species were caught in rivers of Rio Atlapexco, Hidalgo, México, in the 2003 and 2004 years. In laboratory they were identified, it was taken their morphometric characteristics, the sex of each individual was recogized and the female's ovary was obtained. Of 712 individuals, *X. birchmanni* was the most representative. In three sites the group is sympatric and the Tula river is reported as a new site of *X. birchmanni* y *X. cortezi* distribution. The sexual ratio in the group is 1:1. Microscopically it was observed the main ovogenesis stadium and, as the ovary particularities, it was stablished an ovaric maturation scale. The sexual maturity sizes are statistically significant ($F=5.5$, $p<0.005$), being *X. birchmanni* the smallest. The maximun reproductive effort is at the end of the dry season in the three species. The fecundity is highly variable, having *X. birchmanni* the largest range (2-83 embryos). It was observed the presence of ovaries with superfetation, event not very often observed. The reproductive cycle in the three species is long and begins in the dry season, with the grow and maturation of the ova, and finishes in the rainy season with the birth of the youngs. In all the seasons were found females with mature or pregnant ova, wich means that the females are able to reproduce at any time of the cycle. Probably the characteristics that are more related to the segregation in this species are: the reproductive effort, the mature sexual size and the fecundity.

Key words: *Xiphophorus*, reproductive cicle, segregation, Pánuco watersheed.

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Conservación de Peces y de Hábitats Acuáticos, Facultad de Ciencias Naturales-Biología de la Universidad Autónoma de Querétaro y formó parte del proyecto:

Diagnóstico y propuesta de conservación de la ictiofauna vivípara del

Medio Lerma y

Alto Pánuco (SIHGO-CONACyT2002020618).

Dedicado a mi pequeña familia que me ha ofrendado su entusiasmo,

Mis padres: Victoria Amilpa Orihuela y Santos G. Urbano Cantinca

Mis hermanos: Jesús y Carina Urbano Amilpa

Los nuevos retoños: Jesús y Natalia Camacho Urbano

Y a las amistades incondicionales:

Adriana Ortega Urrutia

Sandra López Sánchez

Ana Lucía Fonseca

Yolanda Pantoja Hernández

Ma. Teresa Vieyra Hernández

Azucena Martínez Leyva

Ricardo Rubio Rodríguez

Carmen Colín Ferreira

Jorge Martínez Ibarra

Alfredo Sánchez

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por sus acertados comentarios, su apoyo en momentos difíciles, su cariño, las sonrisas y también las penas compartidas,

No se olviden que los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A la máxima casa de estudios del estado de Querétaro por haberme admitirme en el posgrado de Recursos Bióticos.

A CONACyT por el apoyo económico para culminar mis estudios.

Al Dr. Edmundo Díaz Pardo por su disposición al haberme escuchado y ayudado con su amplia experiencia a culminar esta inquietud, fruto de una plática en la primavera de 2002.

A la Dra. Ma. Carmen Uribe Aranzábal

Al M. en C. Eduardo Soto Galera

Al M. en C. Topiltzin Contreras McBeath

Al Dr. Raúl Pineda López

Al M. en C. Rubén Pineda López

Por haberme regalado de manera desinteresada su paciencia, tiempo, experiencia, conocimientos y alto profesionalismo en la revisión, asesoría y, en su caso, tutoría de la presente tesis.

A las familias Urbano-Amilpa, por su apoyo en todo momento.

Al Dr. Edmundo Díaz, Ricardo Lobatón, Sandra Montañó, Altagracia Gutiérrez Hernández, Fernando Méndez Sánchez, Humberto Mojica, Juan Manuel Rivas y Mónica Vanessa, por su colaboración para llevar a cabo las colectas.

A la Dra. Ma. Carmen Uribe, Gabino de la Rosa Cruz, Marcela Aguilar, Maricela Villagrán, Sandra Guerrero Estévez, Juanita Hernández, Adriana Alarcón, Eva Mendoza y Gloria Portales, por haberme instruido en el proceso de las técnicas de tinción.

A Yolanda Pantoja, Gloria Portales, Ma. Teresa Vieyra, Azucena Martínez, Norma Hernández, Juan Malda, Carolina Zumaya, Erika Vargas, Silvia Aguilar, Miriam, Verónica, Silvia Hurtado, Fernando García, Ulises, Miriam Soria Barreto, Alfonso, Gustavo Izaguirre, Francisco Espinoza y Carlos Leal, un agradecimiento muy especial por su valiosa intervención en la realización de este trabajo, por haberme permitido trabajar en conjunto, por haberme abierto muchas puertas y por el surgimiento y reforzamiento de una amistad.

A Ragde Sánchez, Azucena Martínez, Ricardo Rubio, Carmen Colín, Blanca Hernández, Everth Salinas, Oscar Medina, Rogelio Cruz, Sandra Flores, Moisés Tejocote, Gabriela Rogel, Luis Caballero y Joaquín amigos de la Xª generación de Biología, por su apoyo y continua amistad.

RESUMEN

En la cuenca del río Pánuco, el género *Xiphophorus* destaca por su gran diversificación específica y alto endemismo, formando complejos de especies filogenética y morfológicamente muy cercanas entre sí, como el integrado por *X. malinche*, *X. cortezi* y *X. birchmanni*, que además son simpátricas. Dado que sus características reproductivas son poco conocidas, en el presente estudio se describen algunas ellas con el fin establecer su posible relación con los eventos de segregación de estos taxa. Se capturaron ejemplares de las tres especies en corrientes tributarias del Río Atlapexco, Hidalgo, México, en los años 2003 y 2004. En el laboratorio se identificaron, se tomaron sus datos morfométricos, se reconoció el sexo de cada individuo y se extrajo el ovario de las hembras. De los 712 individuos capturados, *X. birchmanni* fue la especie mejor representada en los muestreos. En tres de las localidades muestreadas el grupo está en simpatria y el río Tula se reporta como nuevo sitio de distribución de *X. birchmanni* y *X. cortezi*. La proporción sexual en todo el grupo es 1:1. Microscópicamente se observaron los principales estadios de ovogénesis y, según las peculiaridades observadas del ovario, se estableció una escala de maduración ovárica. Las tallas de madurez sexual presentaron diferencias significativas ($F=5.5$, $p<0.005$), siendo *X. birchmanni* la de menor talla. Los máximos de inversión reproductiva ocurren al final del estiaje para las tres especies. La fecundidad es muy variable, correspondiendo a *X. birchmanni* el intervalo más amplio (2-83 embriones). Se apreció la presencia de gónadas con superfecundación, fenómeno pocas veces observado. La temporada reproductiva de las tres especies es larga y comienza en el estiaje, con el crecimiento y la maduración de los ovocitos, concluyendo en las lluvias con el nacimiento de las crías. En todas las temporadas se encontraron hembras con ovocitos maduros o gestantes, lo que significa que las hembras son capaces de reproducirse en cualquier época del año. Probablemente las características más relacionadas con la diferenciación de estas especies sean: el esfuerzo reproductivo, la talla a la madurez sexual y la fecundidad.

Palabras Clave: *Xiphophorus*, ciclo reproductivo, segregación, cuenca del Pánuco.

SUMMARY

In Panuco basin, *Xiphophorus* genus has a high specific diversification and are endemic, also they form a species flock phylogenetic and morphologically very closed to each other, as the one in where there are *X. malinche*, *X. cortezi* y *X. birchmanni*, which also are sympatric. Their reproductive characteristics are poorly known, so in this study some of them are described in order to establish if they are related to the segregation events of this species. Individuals of the three species were caught in rivers of Rio Atlapexco, Hidalgo, México, in the 2003 and 2004 years. In laboratory they were identified, it was taken their morphometric characteristics, the sex of each individual was recognized and the female's ovary was obtained. Of 712 individuals, *X. birchmanni* was the most representative. In three sites the group is sympatric and the Tula river is reported as a new site of *X. birchmanni* y *X. cortezi* distribution. The sexual ratio in the group is 1:1. Microscopically it was observed the main oogenesis stadium and, as the ovary particularities, it was established an ovaric maturation scale. The sexual maturity sizes are statistically significant ($F=5.5$, $p<0.005$), being *X. birchmanni* the smallest. The maximum reproductive effort is at the end of the dry season in the three species. The fecundity is highly variable, having *X. birchmanni* the largest range (2-83 embryos). It was observed the presence of ovaries with superfetation, event not very often observed. The reproductive cycle in the three species is long and begins in the dry season, with the growth and maturation of the ova, and finishes in the rainy season with the birth of the young. In all the seasons were found females with mature or pregnant ova, which means that the females are able to reproduce at any time of the cycle. Probably the characteristics that are more related to the segregation in this species are: the reproductive effort, the mature sexual size and the fecundity.

Key words: *Xiphophorus*, reproductive cycle, segregation, Pánuco watershed.

INDICE

RELACIÓN DE CUADROS	1
RELACIÓN DE FIGURAS	2
INTRODUCCIÓN	4
JUSTIFICACIÓN	10
HIPÓTESIS	12
OBJETIVOS	
<u>General</u>	12
<u>Particulares</u>	12
MATERIALES Y MÉTODOS	
<u>Generalidades de las especies de este estudio</u>	13
<u>Zona de estudio</u>	15
<u>Material biológico</u>	18
<u>Estrategia reproductiva</u>	20
<u>Escala de maduración ovárica.</u>	22
<u>Ciclo reproductivo.</u>	22
RESULTADOS	23
<u>Datos morfométricos</u>	25
<u>Proporción sexual</u>	25
<u>Ciclo de ovogénesis.</u>	26
<u>Talla a la madurez sexual</u>	43
<u>Inversión reproductiva</u>	44
<u>Fecundidad</u>	46
<u>Escala de maduración ovárica</u>	47
<u>Embriones</u>	51
<u>Superfetación</u>	51
<u>Temporada reproductiva</u>	52

DISCUSIÓN

<u>Datos morfométricos</u>	58
<u>Proporción sexual</u>	59
<u>Talla a la madurez sexual</u>	60
<u>Ciclo de ovogénesis.</u>	62
<u>Inversión reproductiva</u>	63
<u>Fecundidad</u>	64
<u>Embriones</u>	66
<u>Superfetación</u>	67
<u>Temporada reproductiva</u>	68
<u>Características de segregación</u>	69

CONCLUSIONES	72
--------------	----

BIBLIOGRAFÍA	74
--------------	----

Anexo 1.	80
Anexo 2.	81

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro 1.	Características distintivas de <i>X. cortezi</i> , <i>X. malinche</i> y <i>X. birchmanni</i> (Rauchenberger <i>et al.</i> , 1990).	15
Cuadro 2.	Localidades de colecta con ubicación geográfica y altitud.	16
Cuadro 3.	Presencia – ausencia de las especies por localidad y temporada. 1= inicio de lluvias; 2= inicio del estiaje; 3= estiaje; 4= fin del estiaje; 5= lluvias.	24
Cuadro 4.	Resumen de los datos morfométricos de las hembras de cada especie.	25
Cuadro 5.	Proporciones sexuales de cada especie.	26
Cuadro 6.	Promedios de las tallas de madurez sexual (gestantes y con ovocitos maduros).	43
Cuadro 7.	Promedios (\pm DE) por temporada del índice gonadosomático de cada especie.	45
Cuadro 8.	Resumen de fecundidad por especie y colecta, se adicionaron los datos de biomasa embrionaria e IGS. Los datos de las primeras dos temporadas de <i>X. cortezi</i> no se muestran por su baja representatividad (1 y 2 individuos, respectivamente, Anexo 1).	47
Cuadro 9.	Intervalo y promedio de la longitud total de los embriones por especie. También se consideraron los tamaños de camada.	51
Cuadro 10.	Resumen de los datos de las hembras que presentaron superfecundación.	52
Cuadro 11.	Frecuencias de las hembras gestantes por temporada y especie.	53

RELACIÓN DE FIGURAS

Fig. 1.	Cladograma generado por parsimonia del grupo norte de <i>Xiphophorus</i> (Rauchenberger <i>et al.</i> , 1990).	14
Fig. 2.	Sitios de colecta. 1= Arroyo Tenango; 2= Puente Calnalí; 3= Río Calnalí; 4= Río Tula y 5= Río Atlapexco.	17
Fig. 3.	Cuatro de los sitios de colecta en época de estiaje. A), río Calnalí; B) puente Calnalí; C) arroyo Tenango y D) río Tula.	18
Fig. 4.	Métodos de colecta utilizados en este estudio. A), atarraya; B), chinchorro; C), electropesca y D), red de cuchara.	19
Fig. 5.	Breve secuencia del método en el laboratorio; A), determinación de los peces y separación por sexos (pareja de <i>X. malinche</i> , arriba macho, abajo hembra); B), toma de los datos morfométricos; C), extracción de la gónada (hembra de <i>X. malinche</i>); D), medición de la longitud total de un embrión.	19
Fig. 6.	Porcentajes totales de organismos de las tres especies colectadas.	23
Fig. 7.	Machos del clado completo colectado en la localidad del Río Calnalí. Arriba <i>X. malinche</i> ; centro <i>X. birchmanni</i> ; abajo <i>X. cortezi</i> .	24
Fig. 8.	Ovarios de <i>Xiphophorus birchmanni</i> . Noviembre.	29
Fig. 9.	Ovarios de <i>Xiphophorus birchmanni</i> . Febrero.	30
Fig. 10.	Ovarios de <i>Xiphophorus birchmanni</i> . Abril y julio.	31
Fig. 11.	Ovarios de <i>Xiphophorus malinche</i> . Marzo.	32
Fig. 12.	Ovarios de <i>Xiphophorus malinche</i> . Marzo y abril.	33
Fig. 13.	Ovarios de <i>Xiphophorus malinche</i> . Marzo.	34
Fig. 14.	Ovarios de <i>Xiphophorus malinche</i> . Julio.	35
Fig. 15.	Ovarios de <i>Xiphophorus malinche</i> . Julio.	36
Fig. 16.	Ovarios de <i>Xiphophorus cortezi</i> . Noviembre.	37
Fig. 17.	Ovarios de <i>Xiphophorus cortezi</i> . Febrero.	38
Fig. 18.	Ovarios de <i>Xiphophorus cortezi</i> . Abril.	39
Fig. 19.	Ovarios de <i>Xiphophorus cortezi</i> . Abril y julio.	40
Fig. 20.	Ovarios de <i>Xiphophorus cortezi</i> . Julio.	41
Fig. 21.	Ovarios de <i>Xiphophorus cortezi</i> . Julio.	42
Fig. 22.	Gráfica de rangos múltiples (LSD) de las tallas de hembras gestantes.	44
Fig. 23.	Promedios de la inversión reproductiva (IGS) de cada especie y temporada.	45
Fig. 24.	Gónada en estadio 1, indiferenciado.	48
Fig. 25.	Gónada en estadio 2, inmaduro.	48
Fig. 26.	Gónada en estadio 3, ovocitos en desarrollo (flecha) y maduros (*).	49
Fig. 27.	Gónada en estadio 4, ovocitos maduros (*), la flecha señala los ovocitos en fases tempranas de desarrollo.	49
Fig. 28.	Gónada en estadio 5, de embriones en etapa temprana.	50
Fig. 29.	Estadio 6, embriones en estado avanzado de desarrollo. Se aprecian nuevos ovocitos en desarrollo (flecha).	50

Fig. 30.	Representatividad de cada estadio de reproducción de <i>X. birchmanni</i> . 1= inicio de lluvias; 2= inicio del estiaje; 3= estiaje; 4= fin del estiaje; 5= lluvias.	54
Fig. 31.	Representatividad de cada estadio de reproducción en cada temporada de <i>X. cortezi</i> . 2= inicio del estiaje; 3= estiaje; 4= fin del estiaje; 5= lluvias.	55
Fig. 32.	Representatividad de cada estadio de reproducción en cada temporada de <i>X. malinche</i> . 1= inicio de lluvias; 2= inicio del estiaje; 3= estiaje; 4= fin del estiaje; 5= lluvias.	56
Fig. 33.	Regresiones lineales de longitud patrón (mm) y peso (g) de cada especie.	59
Fig. 34.	Relación peso (g) de la hembra-peso de la gónada (g) de cada especie.	64
Fig. 35.	Relación longitud patrón-fecundidad de las tres especies.	65
Fig. 36.	Análisis de regresión lineal número de embriones-longitud de embriones.	67

INTRODUCCIÓN

La especiación se considera como uno de los procesos centrales de la evolución la manera más común por la cual ocurre, es mediante el aislamiento físico de dos poblaciones, lo que permite la acumulación de diferencias genéticas entre ellas a través del paso del tiempo (Stearns y Hoekstra, 2000).

Sin embargo, existen estudios en los cuales se analiza el papel que tiene la selección sexual como un importante mecanismo de especiación simpátrica, que considera que especies estrechamente relacionadas difieren en gran medida en sus caracteres sexuales secundarios, más que en cualquier otra característica ecológica relevante (Eberhard, 1989; Stearns y Hoekstra, 2000).

Así, el papel de la selección sexual en los mecanismos de especiación simpátrica parece ser plausible. Esta idea concuerda con el modelo de especiación divergente Fisheriano (runaway) que considera que dentro de una misma población, al ocurrir un cambio, por ejemplo en la conducta de la hembra al seleccionar a machos de determinadas características, genera una fuerza selectiva en los machos hacia el desarrollo de características que los hacen más favorecidos para ser seleccionados. Por ello, el éxito reproductivo de los machos depende de si son aceptados o rechazados por las hembras (van Doorn, et al., 2004), aunque también se ha analizado la complejidad del hábitat y la alta inestabilidad temporal como fuerzas selectivas en la composición de una población (Angus, 1980). A lo anterior se pueden sumar diferencias en las tasas de crecimiento, la edad de madurez sexual y otros atributos fenotípicos (Echelle y Kornfield, 1984).

En muchos trabajos se ha concluido que las variaciones genéticas, morfológicas y de historia de vida, son los principales mecanismos mediante los cuales se observan diferencias en poblaciones simpátricas de una misma especie (Skúlason, 1996).

Se ha considerado a los procesos fisiológicos y de selección sexual como mecanismos de aislamiento en los pecilidos *Poecilia reticulata*, *Micropoecilia parae* y *Poecilia vivípara*, quienes además de tener una distribución simpátrica, exhiben bajo grado de aislamiento ecológico, con hábitos alimenticios y preferencias ecológicas idénticas, considerándose a la coloración como un factor importante en la selección sexual (Hazkins y Hazkins, 1949).

Bajo estos hechos, se considera a la teoría de historias de vida como una herramienta útil para comprender y explicar la diversidad de los seres vivos, la complejidad de sus ciclos biológicos, así como el papel de la selección natural en los procesos evolutivos que, por sus características, determina la dinámica de las poblaciones de una especie y sus interacciones (Stearns, 1992).

La estrategia reproductiva forma parte de la historia de vida de las especies y se define como la serie de rasgos adaptativos que permiten maximizar la probabilidad de que los organismos dejen descendencia. Su estudio puede realizarse mediante el conocimiento de las condiciones bajo las cuales ocurren dichos rasgos (Morales, 1999) e incluyen el sistema de apareamiento, la proporción sexual, la edad de la primera reproducción, la fecundidad, las características y el número de gametos, el ciclo reproductor y su comportamiento (Wootton, 1984). En el caso del presente estudio, se utilizaron tales rasgos para identificar en cuáles ocurren diferencias entre las tres especies simpátricas seleccionadas y con ello inferir las causas de esta condición.

La viviparidad en los peces teleósteos se considera como una estrategia reproductiva en la cual los huevos son internamente fertilizados y retenidos en el cuerpo de la madre por un tiempo significativo antes de la deposición (Hogarth, 1976). Esta estrategia implica una gran variedad de ajustes morfológicos y fisiológicos en el sistema reproductivo de ambos sexos (Thibault y Schultz, 1978).

En el caso de las hembras, conservan en su interior los huevos fertilizados hasta su eclosión; por lo tanto, las crías nacen en estado avanzado de desarrollo, además tienen ajustes en el tamaño y número de ovocitos, tamaño de embriones, tamaño de las crías, cantidad de suplementos nutricionales de la madre hacia los embriones (cantidad de vitelo), almacenamiento de espermatozoides en el gonoducto y una posible competencia espermática. También, presentan otros rasgos que permiten mayor sobrevivencia de las crías, como son las variaciones en los intervalos de nacimientos, periodos de gestación y duración de la época reproductiva (Turner, 1947; Tavolga, 1949; Wallowe, 1953; Rosen y Bailey, 1963; Wootton, 1990; Smith, 1991; Wourms y Lombardi, 1992; Potter y Kramer, 2000). Estas características usualmente tienen relación entre sí y con el ambiente, lo que puede favorecer que se presenten variaciones en su estrategia reproductora (Thibault y Schultz, 1978).

Respecto a la anatomía del ovario, en los peces vivíparos es un órgano impar, ya que durante el desarrollo ontogénico se fusionan el ovario derecho y el izquierdo. Es de tipo sacular, moderadamente vascularizado y se encuentra suspendido de la pared dorsal de la cavidad corporal por el mesovario. El tejido germinal se conforma de ovogonias y ovocitos que se sitúan en las paredes del ovario, el cual tiene una capa de tejido conectivo, músculo liso y vasos sanguíneos. El epitelio luminal contiene a las ovogonias y ovocitos en etapas tempranas que, posteriormente se rodean de las células foliculares constituyendo los folículos primarios. El ovario se continúa con el tubo ovárico o

gonoducto, ya que en los peces teleósteos no hay oviductos derivados del conducto de Müller, por consiguiente, es una pequeña extensión del extremo posterior del ovario, por el que las crías se evacúan cuando se encuentran listas para nacer (Turner, 1933; Turner, 1947; Wourms y Lombardi, 1992).

Una característica fisiológica importante del género *Xiphophorus* y, en general, de la familia Poeciliidae, es que dentro del folículo no sólo ocurre la maduración del ovocito, sino que también es el sitio de fertilización y desarrollo embrionario, por lo que a esta condición se le conoce como gestación intrafolicular (Constanz, 1989; Potter y Kramer, 2000 y Grier *et al.*, 2005).

Las primeras descripciones referentes a la reproducción de algunas especies de este género, incluyen su desarrollo embrionario y el reconocimiento del fenómeno de superfetación; es decir la hembra mantiene más de una camada en diferentes estados de desarrollo (Tavolga, 1949). Otro estudio es la descripción de la anatomía del sistema reproductivo de la hembra de *X. helleri*, así como de las características del óvulo y los cambios que éste sufre durante la vitelogénesis, la gestación y el parto (Bailey, 1933).

Son escasos los trabajos que documenten alguna la temporada de reproducción de las especies de la familia Poeciliidae. Los aspectos analizados más sobresalientes son la descripción de los mecanismos de selección y conducta sexual, todos ellos en condiciones de laboratorio (Basolo, 1998; Rosenthal *et al.*, 2003).

Entre las pocas investigaciones acerca de las características reproductivas de género, se encuentra el de Borowsky y Kallman (1976), quienes observaron el sistema de apareamiento de *X. maculatus*, demostrando que las hembras se aparean con dos machos en promedio y concluyen que las hembras tienen apareamiento promiscuo. De *X.*

maculatus se conoce su ciclo ovárico y la posibilidad de almacenamiento de espermatozoides y competencia espermática (Vallowe, 1953). De manera experimental, se han establecido los efectos de algunas sustancias tóxicas en la fertilidad de los machos de esta misma especie (Kinenberg *et al.*, 2000).

Muchas especies de *Xiphophorus* tienen usos importantes. Algunas presentan coloración y estructuras del cuerpo (i. e. la espada caudal) atractivos a la vista y por ello son comercialmente cultivados y explotados en acuarofilia (Tamaru *et al.*, 2001). Debido a sus características reproductivas y de pigmentación, otras especies han permitido la implementación de proyectos con diversas aplicaciones; es el caso de algunos trabajos de hibridación que se utilizan en la investigación de los factores asociados con el cáncer de piel humana, toxicológica e inmunológica (Hazelwood *et al.*, 2002). Otros trabajos se abocan a la filogenia, taxonomía, evolución (selección sexual), biogeografía, genética, endocrinología, conducta, y embriología (Rauchenberger *et al.*, 1990 y Marcus y McCune, 1999).

Desde un punto de vista ecológico, algunas especies de los miembros de la familia Poeciliidae viven en una amplia variedad de hábitats, tienen diferentes dietas y en general son ampliamente tolerantes a las condiciones ambientales, mientras que otras son de uso restringido de hábitat, elección del alimento o tolerancia fisiológica, pero en general la ecología de las especies de esta familia es poco conocida (Constanz, 1989; Parenti y Rauchenberger, 1989).

Acerca de su estatus de conservación, algunas especies de este género se consideran amenazadas o en peligro de extinción por la Norma Oficial Mexicana-059 (NOM-059-ECOL-2001; Contreras-McBeath, 2005); sin embargo, son escasos los estudios acerca de su ciclo biológico, incluso el conocimiento de sus aspectos

morfológicos básicos y, de manera particular, los referentes a la reproducción en condiciones naturales, no se conocen (Wourms, 1981; De la Rosa, 2001).

JUSTIFICACIÓN

La Región de Transición Neotropical de México se caracteriza por el alto grado de diversificación y de endemismo de su ictiofauna (Espinosa-Pérez, 1993). En ésta, se ubica parte de la cuenca del río Pánuco, de la que se reconoce a los pecílidos como uno de los grupos que poseen mayor número de especies (de la Vega 2003), siendo el género *Xiphophorus* uno de los más representativos.

Dentro de tales endemismos, en la cuenca del río Atlapexco, tributario del Pánuco, se ubican las tres especies del presente estudio, *Xiphophorus birchmanni*, *X. cortezi* y *X. malinche* que, desde el punto de vista biológico, son interesantes, ya que se trata de un grupo de especies morfológica y filogenéticamente muy cercanas entre sí, y que se encuentran en una condición simpátrica, y que habitan sistemas lóticos, situación escasamente documentada.

Por otro lado, los estudios realizados en esta parte de la cuenca del río Pánuco son limitados, tanto es así que, el reconocimiento como especie de *Xiphophorus malinche* es muy reciente (Rauchenberger *et al.*, 1990). Soria-Barreto (2004) refiere que los aspectos de historia de vida de las especies aún es muy modesto, lo que nos lleva a reflexionar que, para comprender el significado filogenético y adaptativo de los peces del presente estudio, es necesario ampliar el conocimiento que se tiene sobre su biología mediante la descripción de sus ciclos reproductivos, lo que a su vez permitirá hacer inferencias sobre las adaptaciones propias de cada especie (Berois *et al.*, 2001; Uribe, 2001).

De lo anterior, así como la escasez de estudios directamente relacionados con la reproducción de estos organismos, se describen por primera vez algunos aspectos de la

estrategia reproductiva de tres especies simpátricas y filogenéticamente cercanas de este género: *Xiphophorus cortezi*, *X. malinche* y *X. birchmanni*, señalándose las diferencias de dichos aspectos.

HIPÓTESIS

Aún cuando las especies *Xiphophorus birchmanni*, *X. cortezi* y *X. malinche* han estado sometidas a condiciones ambientales semejantes debido en parte a su condición simpátrica, la adquisición de determinadas particularidades de reproducción les ha permitido tener un evento de segregación.

OBJETIVOS

General

Describir y comparar las posibles diferencias de los aspectos reproductores de tres especies del género *Xiphophorus*: *X. birchmanni*, *X. cortezi* y *X. malinche*.

Particulares

1. Describir alguno parámetros de la estrategia reproductiva de *X. cortezi*, *X. malinche* y *X. birchmanni*: la proporción sexual, el ciclo de la ovogénesis, la talla a la madurez sexual, la inversión reproductora y la fecundidad.
2. Caracterizar los estadios de madurez ovárica en las tres especies seleccionadas.
3. Describir el ciclo reproductor anual de las hembras de *X. cortezi*, *X. malinche* y *X. birchmanni*.
4. Identificar las posibles características de segregación reproductivas de estas especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Generalidades de las especies de este estudio

Las especies del género *Xiphophorus* se distribuyen en la costa noratlántica de México hasta Guatemala, y Honduras (Moyle y Cech, 1996). Rosen (1979) realizó una de las primeras revisiones del género dividiéndolo en dos por su distribución y relaciones filogenéticas, quedando un grupo “norte” y uno “sur”. El primero se compone de 10 especies: *X. montezumae*, *X. nezahualcoyotl*, *X. continens*, *X. cortezi*, *X. malinche*, *X. birchmanni*, *X. pygmaeus*, *X. nigrensis*, *X. multilineatus* y *X. clemenciae*. Todas ellas con excepción del último miembro, se distribuyen en parte de la cuenca del río Pánuco y son endémicas de la cuenca (Rauchenberger *et al.*, 1990; Espinosa-Pérez, 1993).

El estudio de las características morfológicas, morfométricas, de pigmentación y electroforéticas del grupo norte permitió el reconocimiento de tres clados, el *montezumae*, el *continens* y el *cortezi* (Rauchenberger *et al.*, 1990) (Fig. 1).

El presente estudio se enfoca sobre el clado *cortezi*, que se conforma por *X. malinche* y *X. birchmanni* como especies hermanas y *X. cortezi* como el taxon basal. En su mayoría, las especies del grupo norte son alopátricas con respecto a su respectiva especie hermana, siendo la excepción el clado *cortezi* (Rauchenberger *et al.*, 1990).

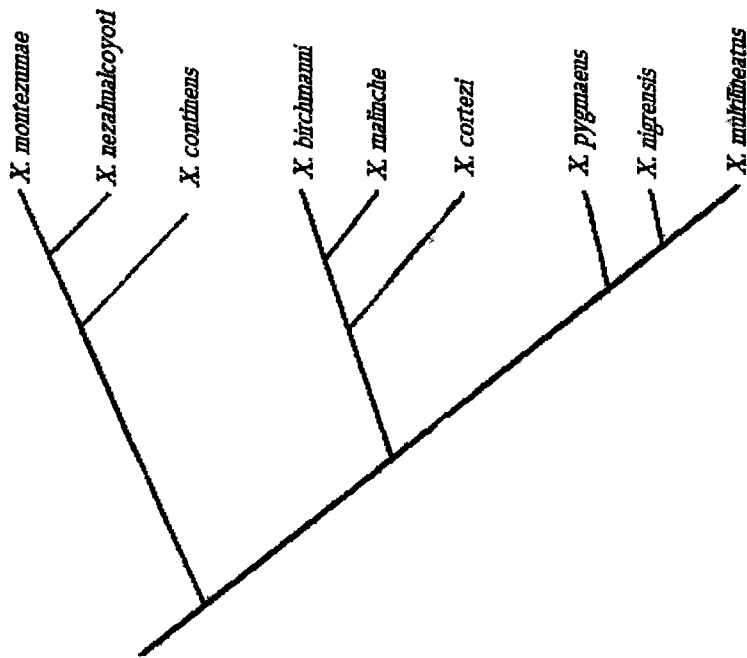


Fig. 1. Cladograma generado por parsimonia del grupo norte de *Xiphophorus* (Rauchenberger *et al.*, 1990).

Las especies de este clado, a diferencia de las demás del grupo norte, se caracterizan por poseer una banda de pigmentos oscuros horizontalmente dispuestos en la parte media del cuerpo que, observado de cerca, forman un zig-zag. En general, presentan un patrón de bandas verticales oscuras que varían en presencia, longitud y grosor. La espada caudal solo se presenta en dos especies, *X. malinche*, en la que esta estructura sobrepasa la longitud de la aleta caudal, y *X. birchmanni* en la que no es mayor a los 2 mm de longitud. En el Cuadro 1 se presentan las principales características que permiten diferenciar una especie de otra.

Cuadro 1. Características distintivas de *X. cortezi*, *X. malinche* y *X. birchmanni* (Rauchenberger *et al.*, 1990).

	<i>X. birchmanni</i>	<i>X. cortezi</i>	<i>X. malinche</i>
Espada caudal	No	Si	Si
Barras ovals en ♀	Si	No	Si
Barras disjuntas ♂	No	No	Si
Abultamiento en la cabeza	Si	No	Si
Manchas medio-dorsales	1-2 hileras	No	3-4 hileras

Zona de estudio

Con base en los antecedentes (Rauchenberger *et al.*, 1990), se conocía la existencia de sitios donde las especies del clado *cortezi* se distribuyen simpátricamente:

- 1) *Xiphophorus cortezi* y *X. malinche*, en el río Calnalí;
- 2) *X. cortezi* y *X. birchmanni*, en el arroyo Santa Cruz.

Ambas localidades se encuentran en la cuenca del río Atlapexco (Estado de Hidalgo, México) (Fig. 2), que es uno de los principales tributarios del río Pánuco. En este estudio, se consideró el río Calnalí y otras localidades aledañas a éste, sumando un total de cinco sitios de colecta (Cuadro 2).

Cuadro 2. Localidades de colecta con ubicación geográfica y altitud.

Número de localidad	Sitio	Atitud (msnm)
1	Arroyo Tenango (mpio. Xochicoatlán)	1080
2	Puente Calnalí (a 1km del poblado Calnalí)	1015
3	Río Calnalí (poblado. Calnalí)	940
4	Río Tula (mpio. Calnalí)	432
5	Río Atlapexco (Atempa) (mpio. Atlapexco)	360

En los sitios de colecta, predomina el bosque mesófilo de montaña (Fig. 3), combinado con vegetación secundaria arbustiva. En el caso de las localidades sobre el río Calnalí y río Atlapexco, por su cercanía con poblaciones humanas, se llega a encontrar uso de suelo con agricultura de temporal y permanente, así como pastizal inducido (INEGI, 1999).

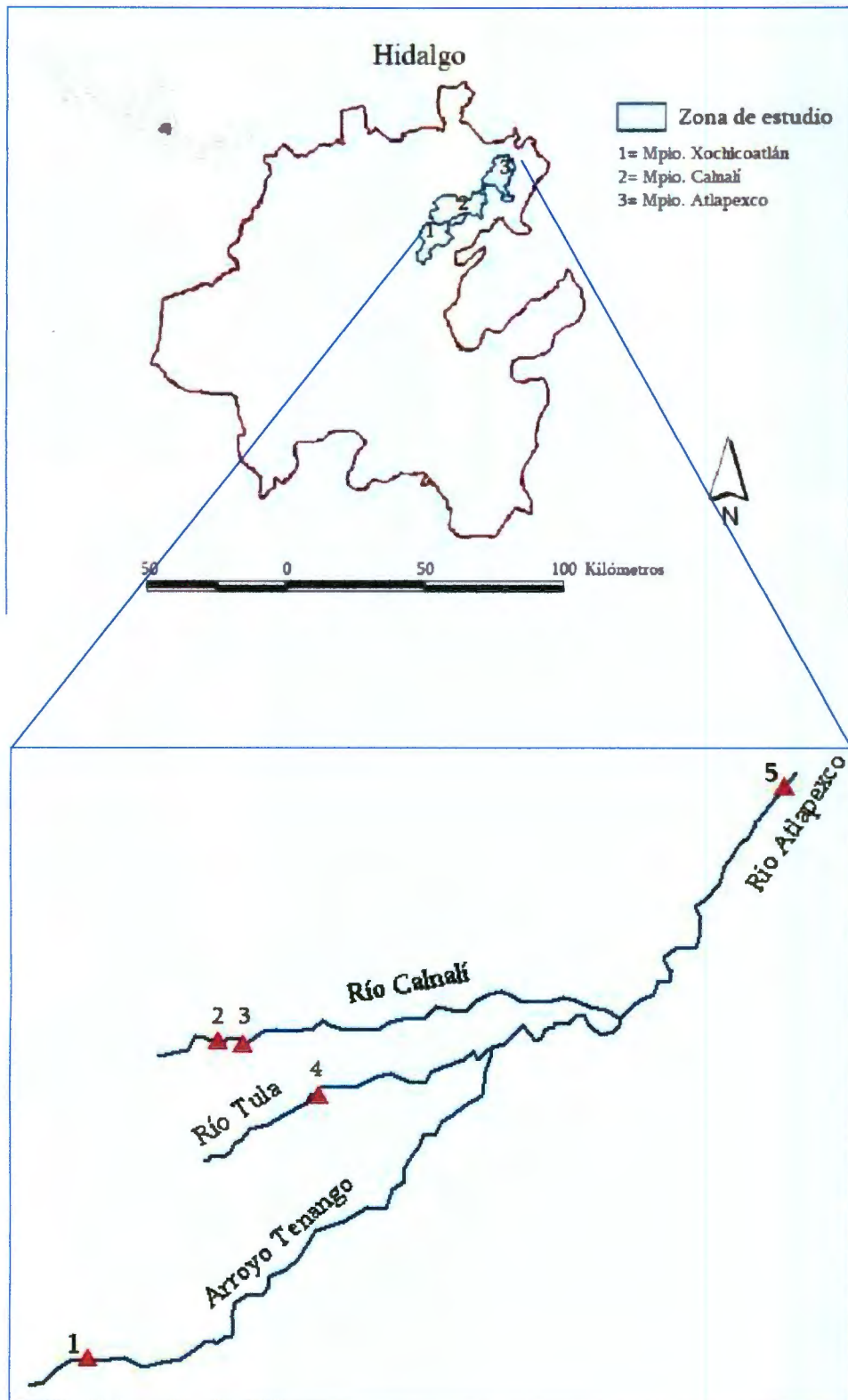


Fig. 2. Sitios de colecta. 1= Arroyo Tenango; 2= Puente Calnali; 3= Río Calnali; 4= Río Tula y 5= Río Atlapexco.

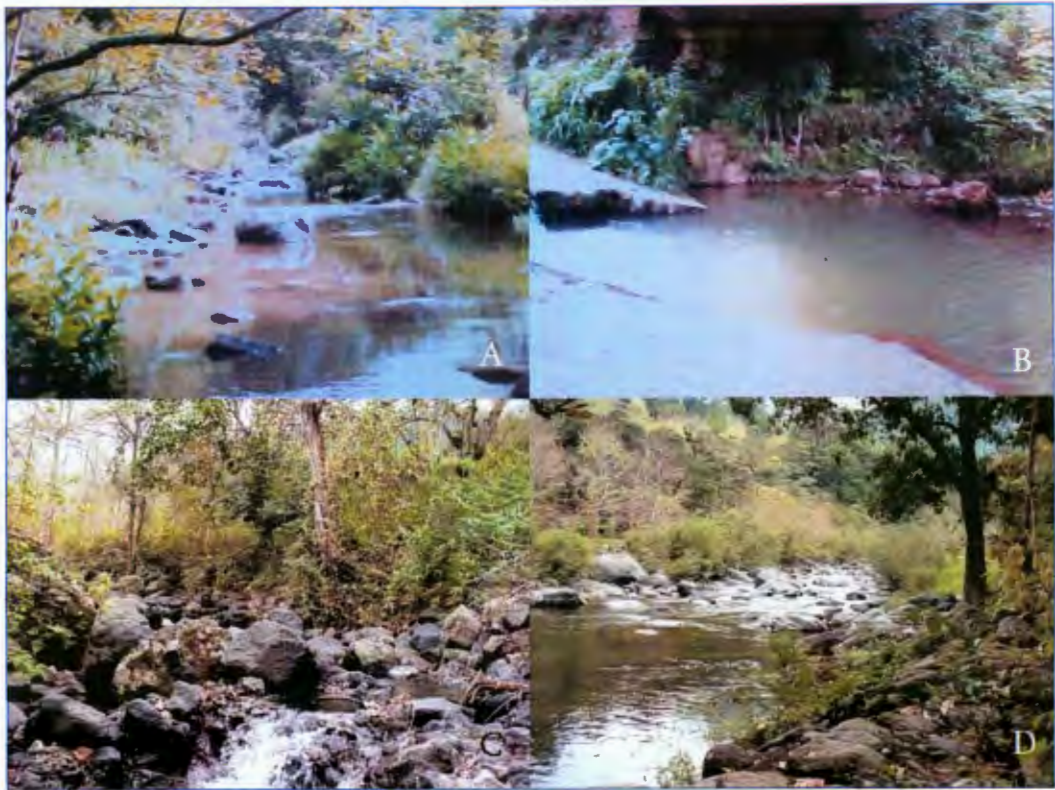


Fig. 3. Cuatro de los sitios de colecta en época de estiaje. A), río Calnalí; B) puente Calnalí; C) arroyo Tenango y D) río Tula.

Material biológico

Las capturas se llevaron a cabo en los meses de julio (inicio de lluvias) y noviembre de 2003 (inicio de la temporada de estiaje), febrero (temporada de estiaje), abril (fin del estiaje) y julio de 2004 (temporada lluviosa) .

Las técnicas de captura fueron: chinchorro, red de cuchara, atarraya y electropesca (Fig 5). Los organismos que se capturaron se preservaron en solución de formol al 10% para su transporte al laboratorio, donde se determinaron por sus características morfológicas externas (Cuadro 1) y se tomaron sus datos morfométricos (longitud patrón=LP y peso=P) (Figs. 5A y 5B).



Fig. 4. Métodos de colecta utilizados en este estudio. A), atarraya; B), chinchorro; C), electropesca y D), red de cuchara.

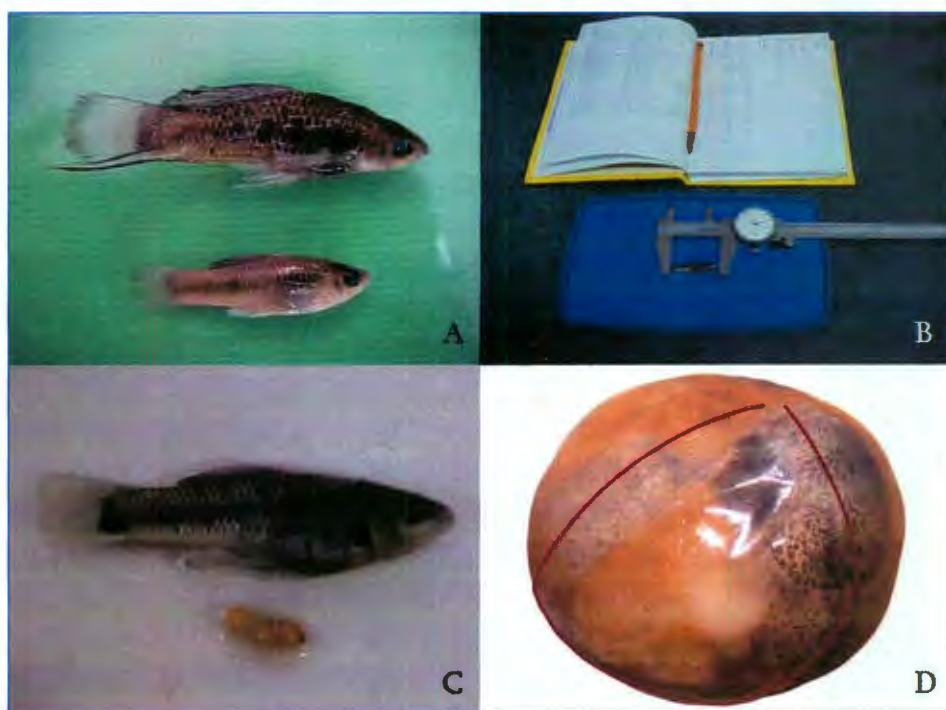


Fig. 5. Breve secuencia del método en el laboratorio; A), determinación de los peces y separación por sexos (pareja de *X. malinche*, arriba macho, abajo hembra); B), toma de los datos morfométricos; C), extracción de la gónada (hembra de *X. malinche*); D), medición de la longitud total de un embrión.

Estrategia reproductiva

Proporción sexual.

La separación por sexos se realizó primero, mediante la observación de la presencia/ausencia del gonopodio y se corroboró con el grado de desarrollo del ovario. Algunos organismos fueron muy pequeños y no fue posible determinar su sexo a simple vista, ni llevar a cabo una disección que permitiera distinguir el sexo a través de la gónada, por lo que sus datos morfométricos básicos no fueron incluidos en los análisis correspondientes. Así, la proporción sexual de cada especie se obtuvo del conteo directo de los machos y de las hembras que se capturaron en cada colecta.

Ciclo de ovogénesis.

Para conocer la reproducción a nivel microscópico, dos ovarios de cada especie se sometieron al protocolo de rutina de la técnica histológica y se obtuvieron cortes longitudinales con un grosor de 7 μm (Aguilar *et al.*, 1996). Tales cortes se tiñeron con las técnicas de Hematoxilina-Eosina (H-E), tricrómica de Massón y Ácido Periódico de Shift (PAS) (Prophet *et al.*, 1992) y se analizaron al microscopio. Con las imágenes obtenidas se comprobó el tipo de gestación y se reconocieron las principales fases de la gametogénesis y gestación.

Talla a la madurez sexual.

Los datos de longitud patrón se relacionaron con la condición del ovario (gestante/no gestante) para obtener la talla a la madurez sexual, así, se por tratarse de especies vivíparas, se distinguieron a las hembras maduras como

aquéllas que en su ovario se observaran embriones en alguna etapa de desarrollo, condición que se denominó gestante (Reznik y Miles, 1989).

Se colectó un total de 712 peces, de los cuales 326 fueron hembras y se revisaron gónadas de 293, distribuidas en 178 para *X. birchmanni*, 69 para *X. cortezi* y 46 para *X. malinche*.

Inversión reproductiva.

Como inversión reproductiva, generalmente se toma en cuenta la proporción existente entre el peso de la gónada y el del las hembras, que también se le conoce como índice gonadosomático (IGS) (Crim y Glebe, 1990; Waters y Erman, 1990). Este parámetro se calculó para cada especie y para cada colecta.

$$\text{IGS} = \text{Peso de la gónada (g)} / \text{Peso del pez (g)} * 100$$

Fecundidad.

A diferencia de los peces ovíparos, en los cuales la fecundidad se mide a través del conteo de los ovocitos maduros (Crim y Glebe, 1990), en los peces vivíparos se puede contar el número de ovocitos fecundados, de esta manera, de cada ovario se hizo la discriminación entre hembras gestantes y no gestantes, anotando de las primeras el número de ovocitos con embriones en algún estado de desarrollo (Reznik y Miles, 1989).

Escala de maduración ovárica

A las hembras de cada especie se les realizó un corte longitudinal ventral para extraer el ovario (Fig. 6c), el cual se pesó, se midió su longitud máxima y se anotaron sus características de coloración y forma.

Las características macroscópicas del ovario, así como la presencia y grado de desarrollo de los embriones, se utilizaron para reconocer los estadios de maduración ovárica y se estableció una escala de la misma (Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez, 1986; Rodríguez, 1992).

Adicionalmente, se midió la longitud máxima de embriones en estadios avanzados de desarrollo (Fig. 6d).

Ciclo reproductivo

Tomando en cuenta las frecuencias de cada estadio de maduración ovárica como los principales eventos reproductivos, se construyeron gráficas que ayudaron a observar los cambios que se presentan a lo largo del ciclo 2003-2004, así mismo se anotó la frecuencia de hembras en estado de gestación para determinar el ciclo.

RESULTADOS

Se capturaron un total de 712 organismos de las tres especies: *Xiphophorus birchmanni*, 432 organismos (60.67%), *X. cortezi* con 171 organismos (24.01%) y de *X. malinche* 109 organismos (15.32%) (Fig. 6). Esta última especie sólo se capturó en las tres colectas correspondientes al año 2004.

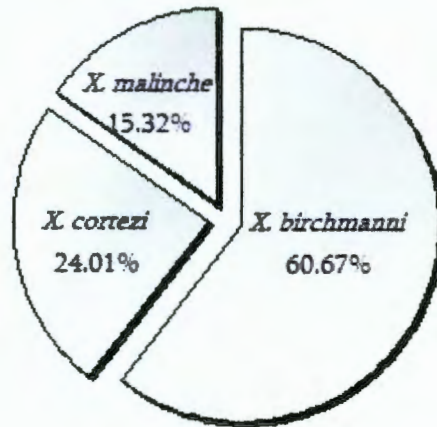


Fig. 6. Porcentajes totales de organismos de las tres especies colectadas.

Desde el punto de vista espacial, en los sitios 2 y 3, se recolectaron con mayor frecuencia organismos de *X. birchmanni*, mientras que en el 1 y 5, de *X. cortezi*. En los 4 y 5 estuvo ausente *X. malinche*, pero esta especie se colectó tanto en el 1, como en el 2 y 3. En el caso de los peces de *X. birchmanni* y *X. cortezi*, se encontraron en simpatria en todos los sitios de colecta y el clado completo se encontró al fin del estiaje (abril de 2004) y en lluvias (julio de 2004) en los sitios 1, 2 y 3.

Temporalmente, también existen diferencias, por ejemplo en el sitio 3, *X. birchmanni* se colectó en cada visita, no así la otras dos especies que se capturaron a

partir de la tercera colecta. (Cuadro 3, Fig. 7); aunque esto puede deberse a que a partir de ese momento se empezó a emplear un equipo de electropesca para el muestreo.

Cuadro 3. Presencia – ausencia de las especies por localidad y temporada. 1= inicio de lluvias; 2= inicio del estiaje; 3= estiaje; 4= fin del estiaje; 5= lluvias.

TEMPORADA	<i>X. birchmanni</i>					<i>X. cortezi</i>					<i>X. malinche</i>				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Localidad															
(1) Arroyo Tenango			α	α	α		α	α	α	α				α	α
(2) Puente Calnalf	α	α	α	α	α			α	α	α			α	α	α
(3) Río Calnalf	α		α	α	α				α	α				α	α
(4) Río Tula		α			α	α									
(5) Río Atlapexco	α				α	α	α	α	α						

Cabe destacar que no existen registros previos de ninguna de las especies del género *Xiphophorus* y, por ende, del grupo *cortezi* en la localidad del río Tula (Rauchenberger *et al.*, 1990) y, aún más interesante es el hecho de que en él se encontraron dos de las especies del clado en estudio.



Fig. 7. Machos del clado completo colectado en la localidad del Río Calnalf. Arriba *X. malinche*, centro *X. birchmanni*, abajo *X. cortezi*.

Datos morfométricos

Considerando sólo a las hembras adultas, la especie con promedio más alto de longitud patrón y de peso fue *X. birchmanni* (38.93 mm y 2.11 g, respectivamente (Cuadro 4). En los tres taxones, los promedios de estas medidas tienen una ligera variación temporal.

Cuadro 4. Resumen de los datos morfométricos de las hembras de cada especie.

	<i>X. birchmanni</i>		<i>X. cortezi</i>		<i>X. malinche</i>	
	Lp (mm)	Peso (g)	Lp (mm)	Peso (g)	Lp (mm)	Peso (g)
Intervalo	19.69-59.07	0.23-9.08	16.4-59.99	0.20-5.69	25.10-57.01	0.44-5.95
Promedio	38.93	2.11	31.02	1.13	38.66	2.06
Desviación estándar (DE)	±4.27	±0.91	±4.52	±0.56	±3.05	±0.67

Proporción sexual

En general, el número de machos colectados es ligeramente mayor que el de las hembras; sin embargo, su número no es suficiente para superarlas decisivamente, lo que da como resultado que la proporción sexual total sea equitativa en cada una las tres especies (1:1) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Proporciones sexuales de cada especie.

Temporada	<i>X. birchmanni</i>			<i>X. cortezi</i>			<i>X. malinche</i>		
	Número		Proporción	Número		Proporción	Número		Proporción
	colectado	sexual		colectado	sexual		colectado	sexual	
	♀	♂	♀:♂	♀	♂	♀:♂	♀	♂	♀:♂
Inicio lluvias	16	23	0.7:1	-	-	-	-	-	-
Inicio estiaje	40	25	1.6:1	3	6	0.5:1	-	-	-
Estiaje	62	83	0.7:1	15	6	2.5:1	6	5	1.2:1
Fin de estiaje	22	18	1.2:1	32	40	0.8:1	25	27	0.9:1
Lluvias	45	48	0.9:1	31	20	1.6:1	17	14	1.2:1
Totales	195	197	1:1	83	73	1.1:1	48	46	1:1

Nota: en algunas colectas el número de organismos fue escaso o no se encontraron organismos de *X. cortezi* y *X. malinche*, por lo que tales datos se consideran ausentes.

Ciclo de ovogénesis

Se observaron las características microscópicas de los principales estadios de ovogénesis. No se observaron diferencias entre las especies; así, los estadios que se presentan describen por igual a las tres especies. Se reconocen dos etapas, de las cuales, la primera engloba estadios muy específicas de la formación de los gametos (Patiño y Takashima, 1995; Grier, 2000), y la segunda describe brevemente la de gravidez.

El ovario único es de tipo sacular. En su región caudal presenta el gonoducto que desemboca al exterior en el gonoporo. El gonoducto muestra pliegues de la mucosa limitados por epitelio columnar, además de tejido conjuntivo y músculo liso.

El proceso de ovogénesis tiene lugar a lo largo de la pared ovárica, en donde se localizan los folículos en diferentes estadios de desarrollo; la ontogenia del embrión ocurre en el mismo sitio, esto es en el interior del folículo.

Etapa 1 Crecimiento.

A. Previtelogénesis: se observan ovocitos primarios que dispuestos de manera aislada o agrupada en lo que se denominan nidos celulares del estroma (Grier, 2000). Durante la fase de crecimiento, el ovocito aumenta de tamaño por el incremento de organelos citoplásmicos, mostrando basofilia mientras que en el núcleo se multiplican los nucleólos. Posteriormente se acumulan vesículas lipídicas que de manera progresiva ocupan desde la membrana hasta el núcleo del ovocito (Figs. 8A, 9A, 10B, 11A, 11B, 14A, 16B, 17A, 17B, 18A, 19A, 20A).

B. Vitelogénesis temprana: el ovocito continúa con su crecimiento debido al depósito de vitelo, el cual se observa como vesículas y gránulos acidófilos dentro del citoplasma. Se aprecian dos capas que rodean al ovocito, una interna de células foliculares y una externa de células de la teca. Ambas son de forma irregular, por lo que dan una apariencia ondulada (Figs. 9A, 9B, 10B, 12A, 13C, 13D, 14B, 14C, 16C, 17A, 17D, 18A, 19B, 19D, 20A, 20B, 20C y 20D).

C. Vitelogénesis avanzada: el ovocito alcanza su tamaño máximo; el vitelo termina de depositarse y ocupa de manera homogénea al ovocito, excepto en la periferia en donde la presencia de grandes gotas lipídicas lo hace verse completamente hialino (Figs. 8B, 11C, 12A, 13A, 15C, 16A y 16C).

Etapa 2 Gestación.

El ovocito que ha sido fecundado se continúa con el desarrollo embrionario, iniciándose en el polo animal y por debajo de la capa de células foliculares, condición de gestación característica de la familia Poeciliidae que se conoce como intrafolicular (Constanz, 1989 y Potter y Kramer, 2000). El vitelo de cada embrión continúa homogéneo. Alrededor de los embriones en desarrollo pueden encontrarse nuevos ovocitos en diferentes etapas de previtelogénesis y vitelogénesis (Figs. 8A y 12A). Se observó la presencia de algunos vasos sanguíneos que son los que se encargarán de proveer nutrientes al embrión (Figs. 8B, 12A y, 12B).

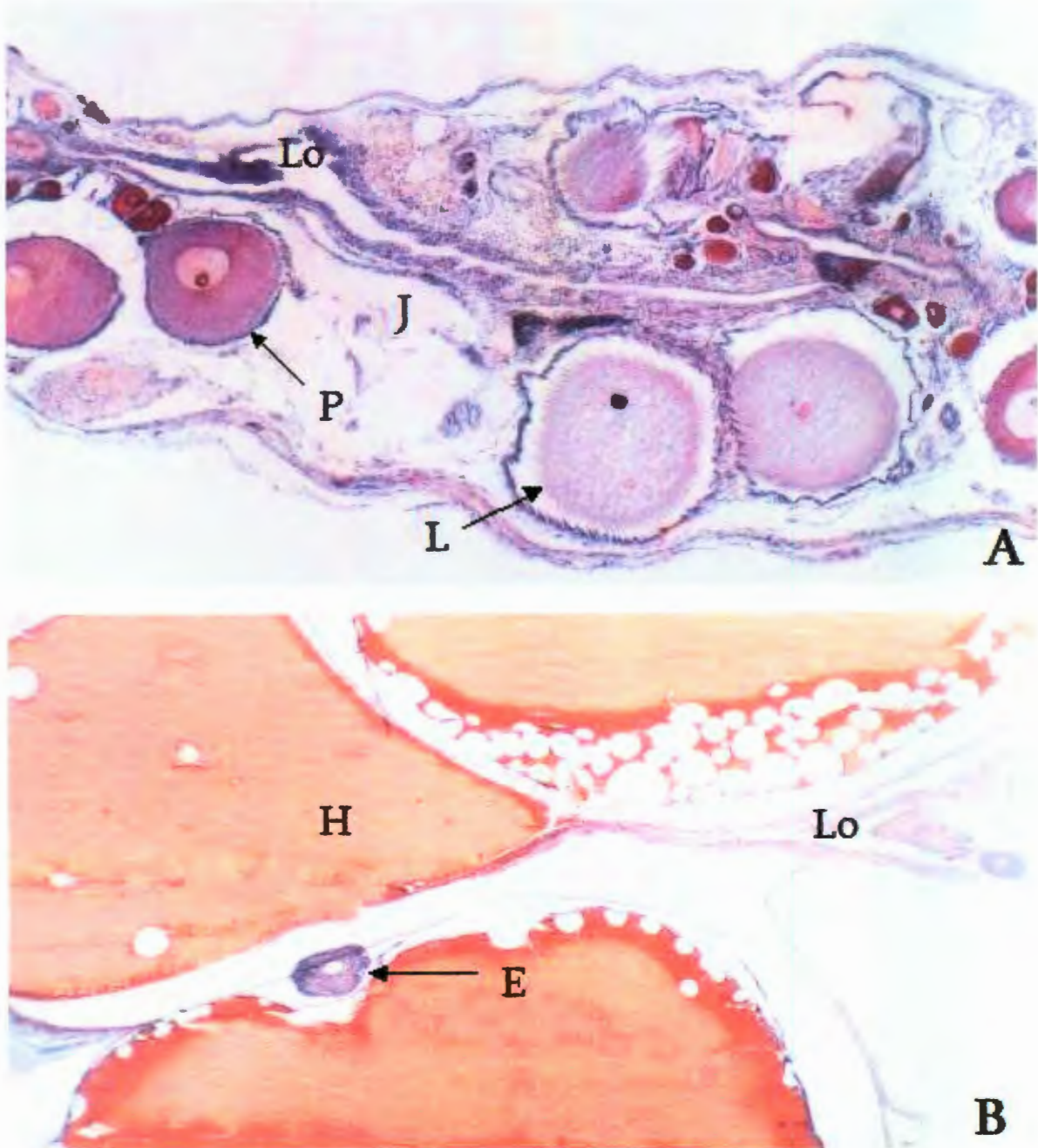


Fig. 8. Ovarios de *Xiphophorus birchmanni*. Noviembre. A) En previtelogénesis. B) En vitelogénesis y gestante. Ovocitos en previtelogénesis (P), vesículas lipídicas (L), vitelo homogéneo (H) y embrión (E). Lumen ovárico (Lo), tejido conjuntivo (J). H-E 78X y 32X.

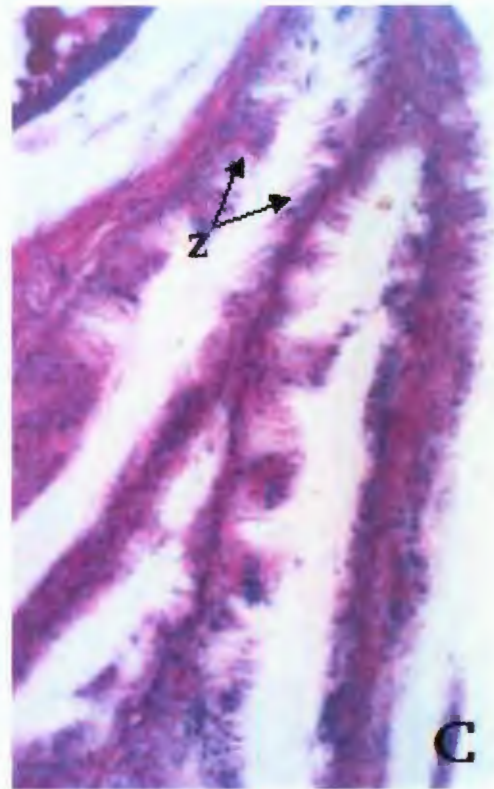


Fig. 9. Ovarios de *Xiphophorus birchmanni*. Febrero. A) En previtelogénesis. B) En vitelogénesis de plaquetas. C) Detalle de la espermateca. Ovocitos en previtelogénesis (P), vesículas lipídicas (L), plaquetas vitelinas (Pv), gonoducto (D). Lumen ovárico (Lo), espermateca (Es), espermatozoides (Z). Tricrómica de Masson y PAS 32X, 32X y 500X.

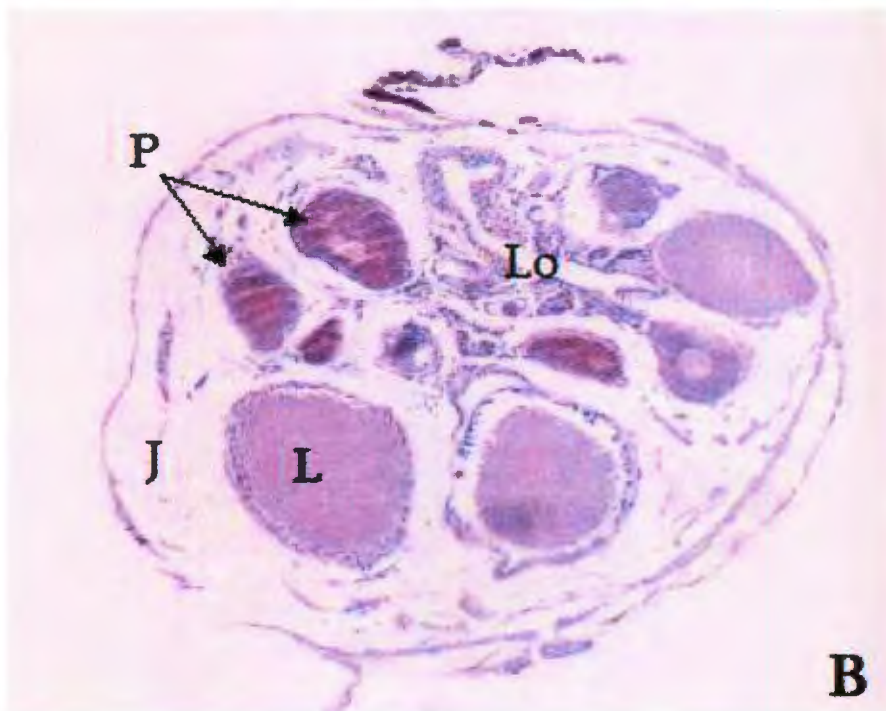


Fig. 10. Ovarios de *Xiphophorus birchmanni*. Abril y julio. A) Gestante. B) Ovocitos en previtelogénesis. Embrión (E), vitelo homogéneo (H), ovocitos en previtelogénesis (P), vesículas lipídicas (L) lumen ovárico (Lo), tejido conjuntivo (J). PAS-Azul alcian y H-E 32X y 78X.

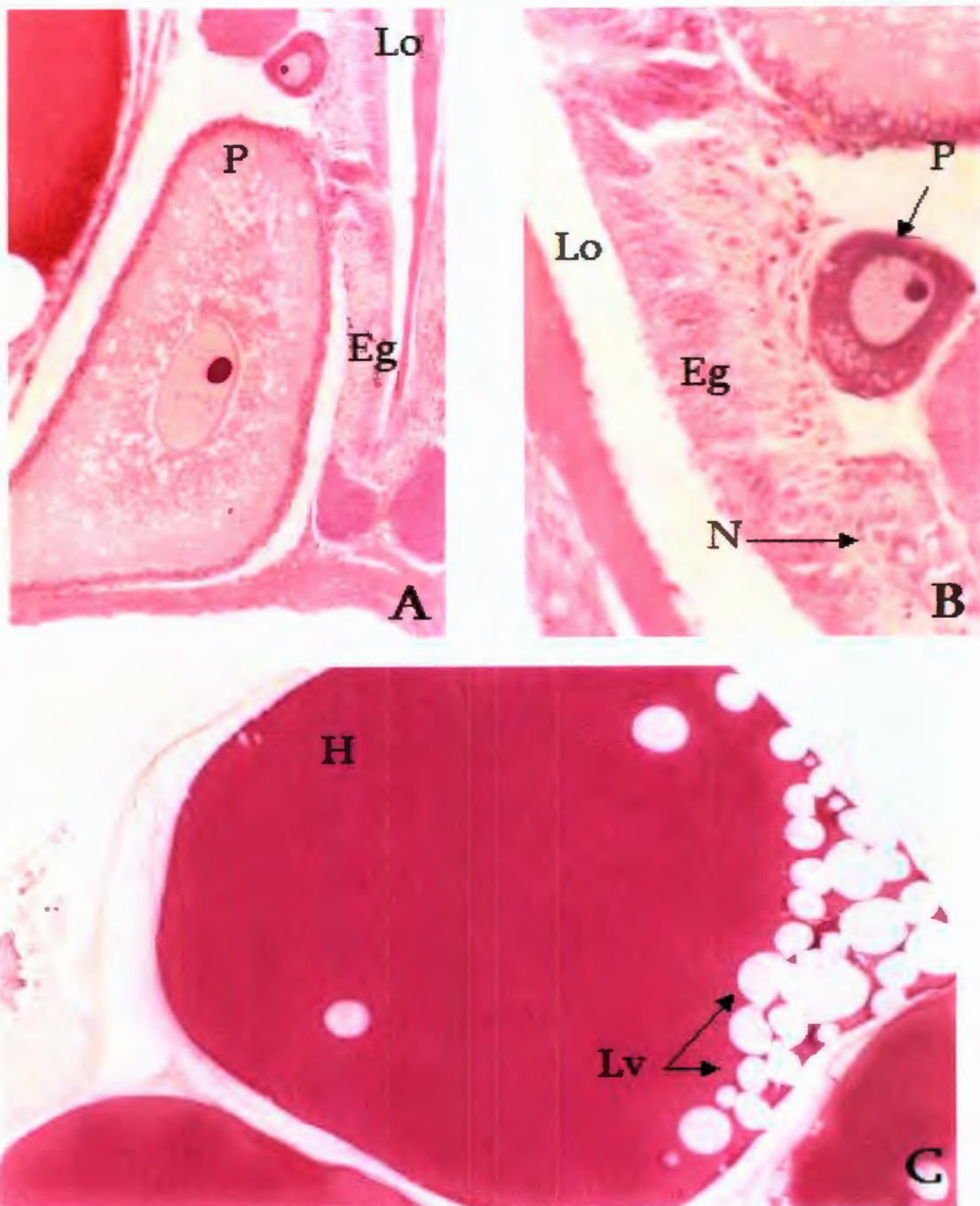


Fig. 11. Ovario de *Xiphophorus malinche*. Marzo. A) Previtelogénesis. B) Detalle del epitelio folicular. C) Ovocito con vitelo homogéneo. Ovocitos en previtelogénesis (P), epitelio germinal (Eg), nido de ovocitos (N), vitelo homogéneo (H), lumen ovárico (Lo), glóbulos de vitelo (Lv). H-E 200X, 500X y 32X.

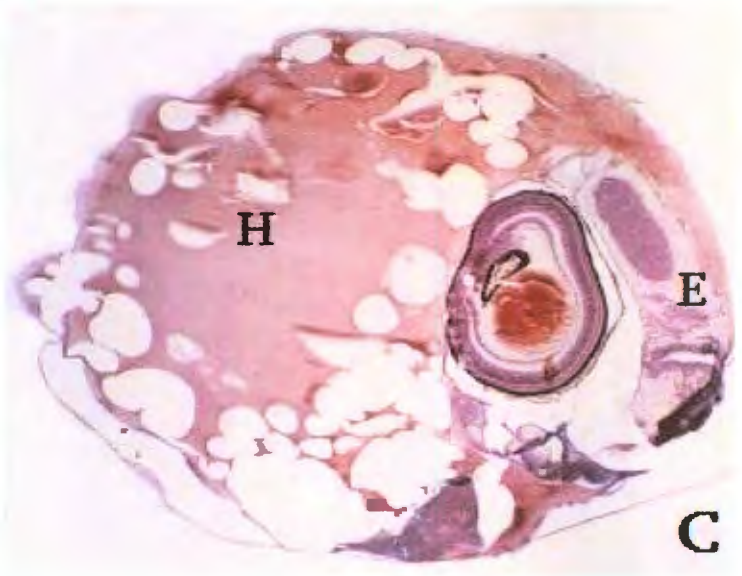
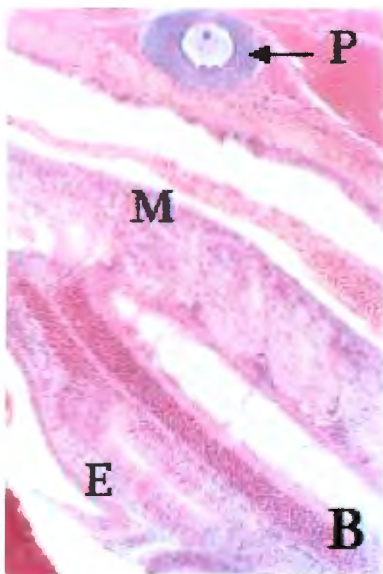
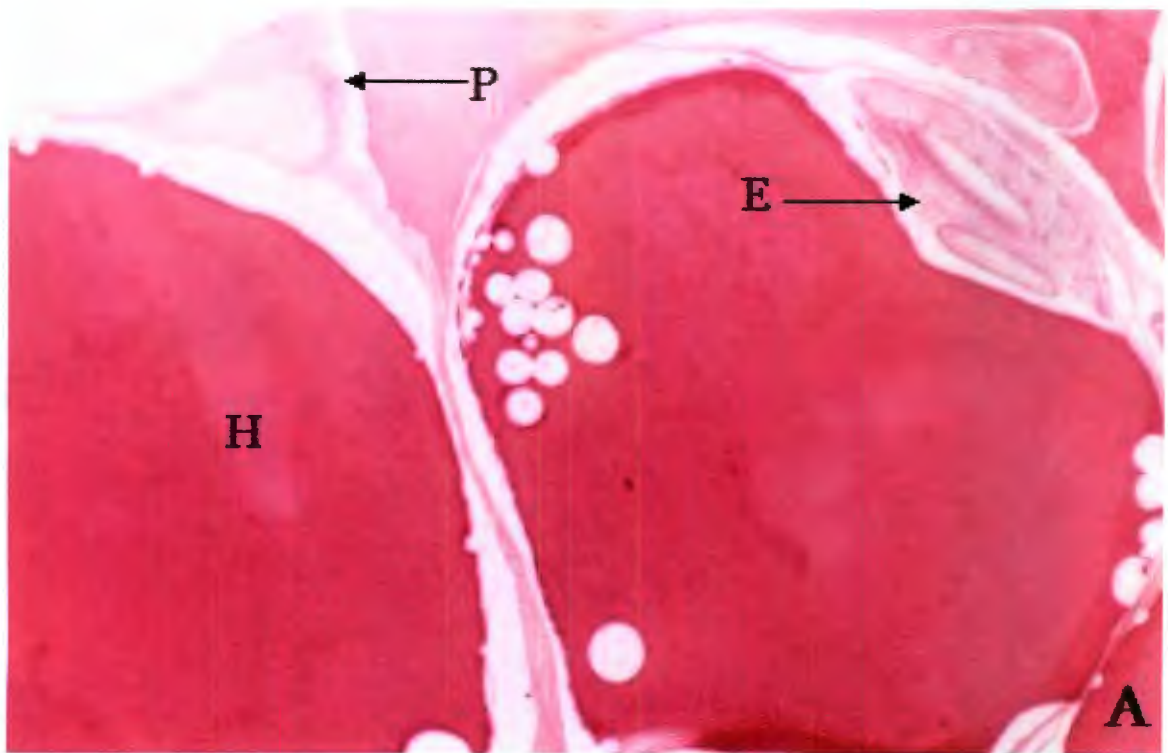


Fig. 12. Ovario de *Xiphophorus malinche*. Marzo y abril. A) Gestante. B) Detalle del embrión. C). Embrión. Vitelo homogéneo (H), embrión (E), ovocitos previtelogénicos (P), tejido muscular del embrión (M). H-E 32X, 200X y 32X.

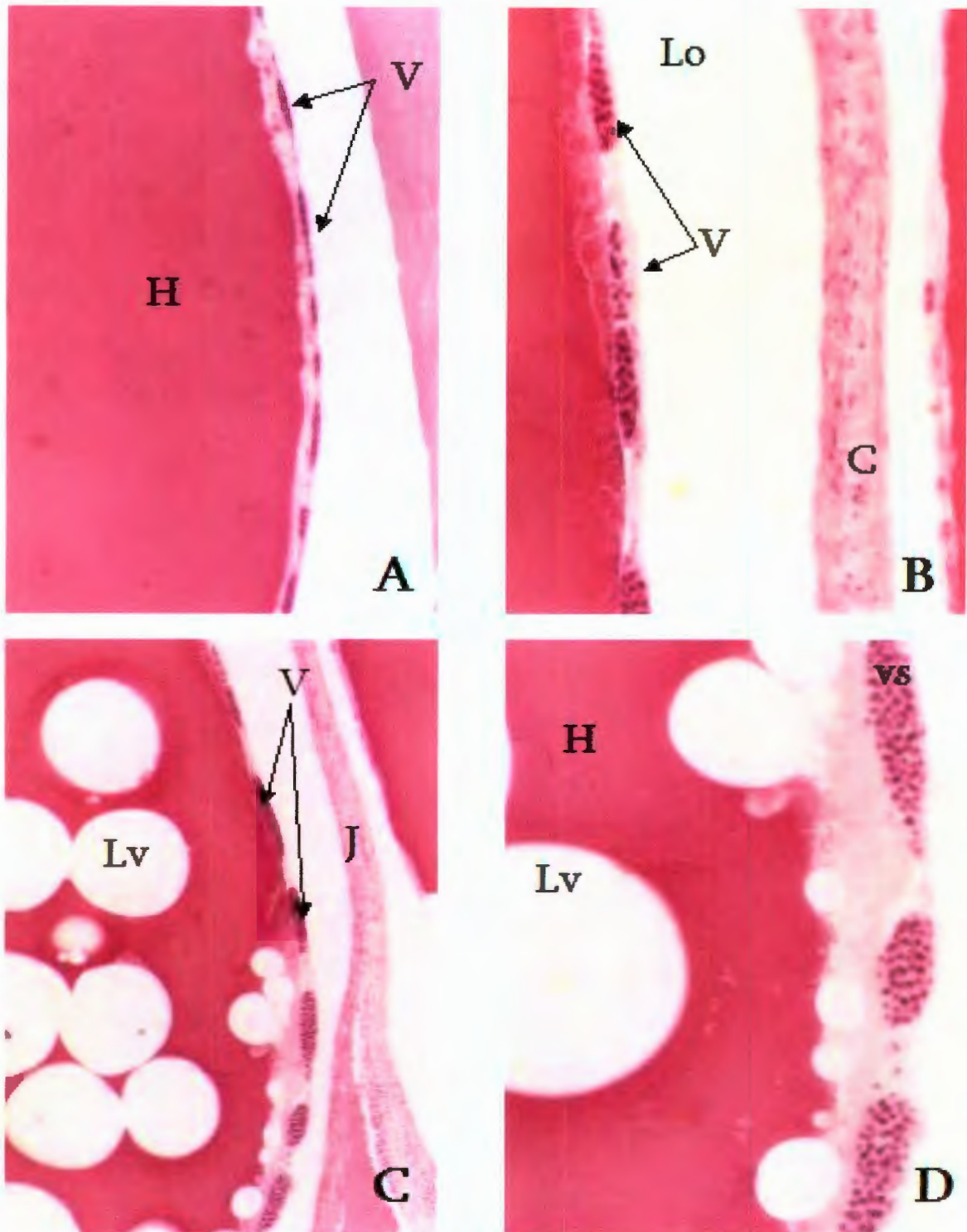


Fig. 13. Ovario de *Xiphophorus malinche*. Marzo. A), B), C) y D) Detalles de la membrana vitelina del embrión. Vitelo homogéneo (H), vaso sanguíneo (vs), glóbulos de vitelo (Lv), tejido conectivo (J). H-E 200X, 500X, 200X y 500X.

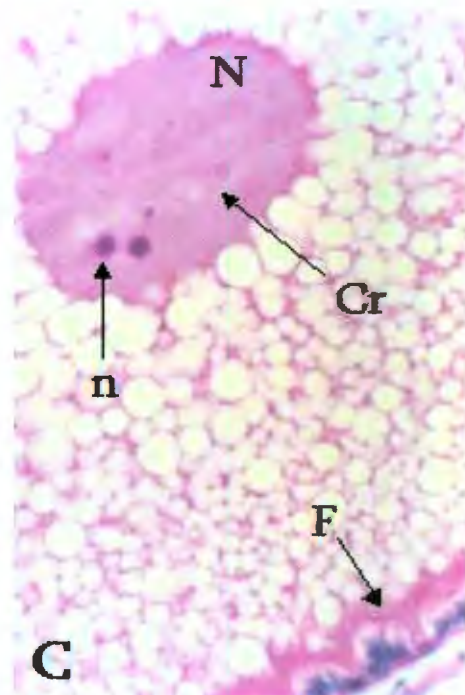
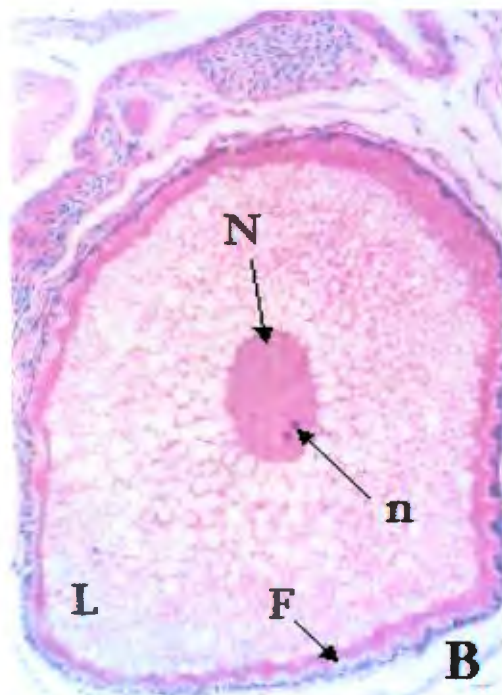


Fig. 14. Ovario de *Xiphophorus malinche*. Julio. A) Previtelogénesis. B) Ovocito en núcleo vitelino. C) Detalle del ovocito vitelino. Ovocitos en previtelogénesis (P), vesículas lipídicas (L), lumen ovárico (Lo), tejido conjuntivo (J). Núcleo (Nc), nucleólos (n), cromatina (Cr), epitelio folicular (F). Tricrómica de Masson y H-E 32X, 200X Y 500X.

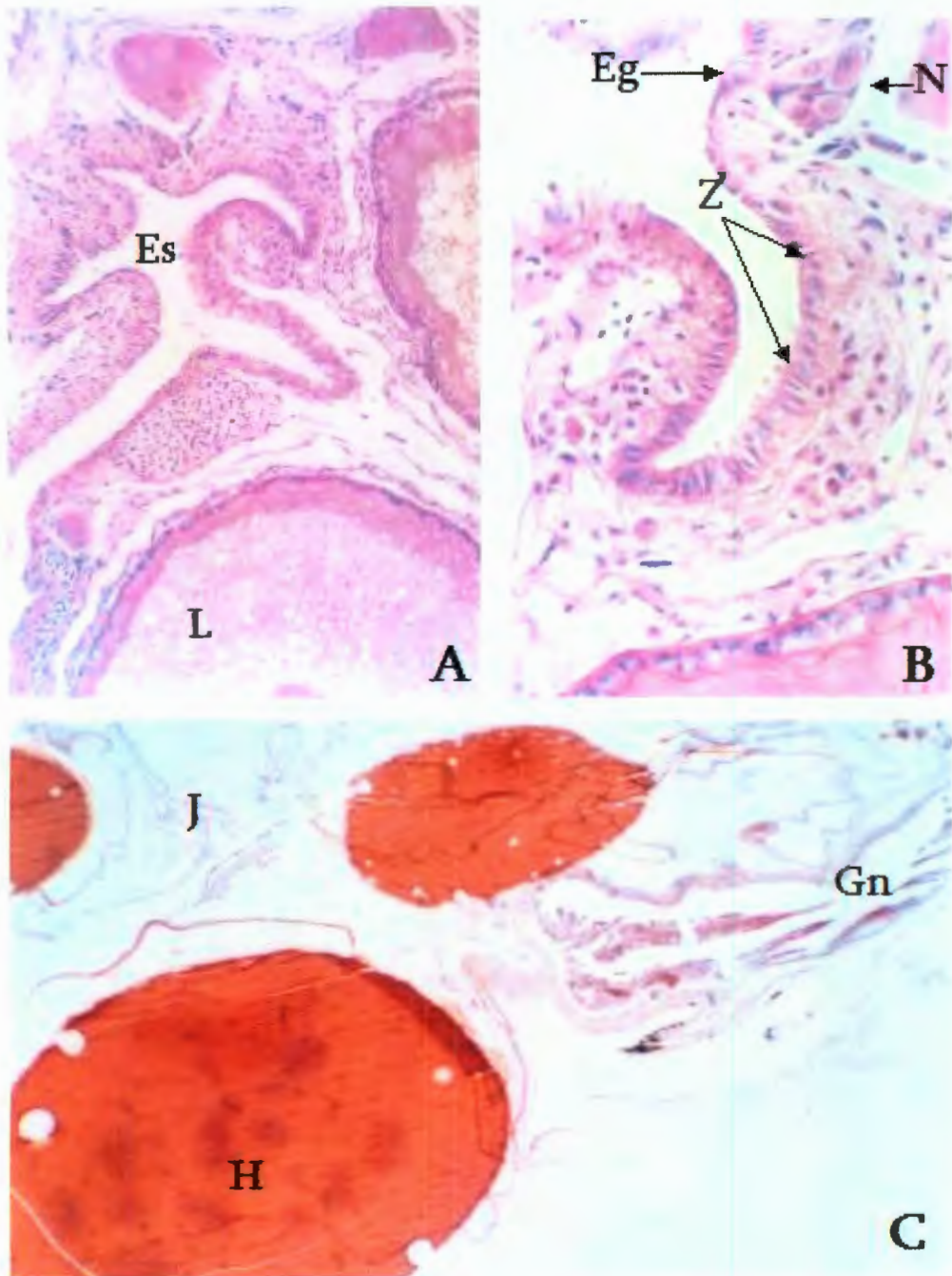


Fig. 15. Ovario de *Xiphophorus malinche*. Julio. A) Espermateca. B) Detalle de la espermateca. C) Vitelogénesis avanzada. Espermateca (Es), ovocitos con vesículas lipídicas (L), espermatozoides (Z), nido de ovocitos (N), epitelio germinal (Eg), vitelo homogéneo (H), gonoducto (Gn), tejido conjuntivo (J). H-E, 200X, 500X y 32X.

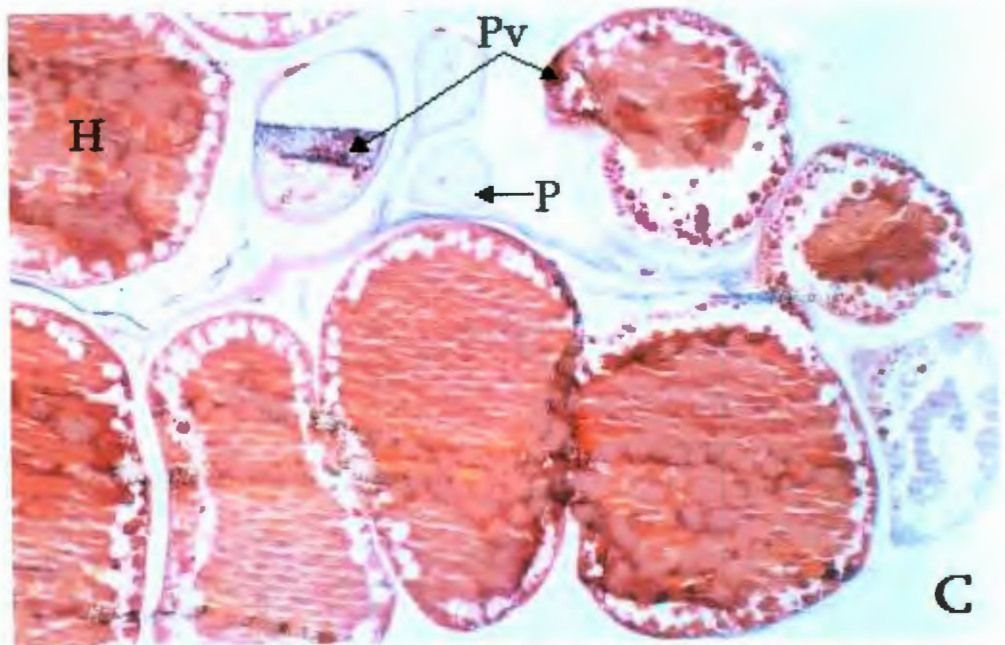
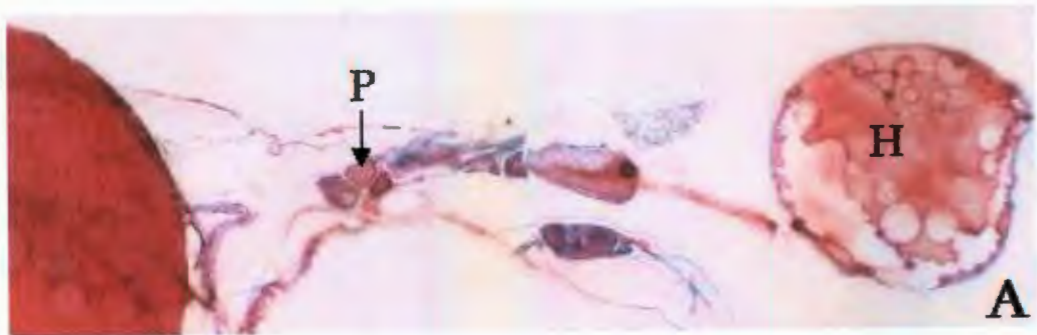


Fig. 16. Ovarios de *Xiphophorus cortezi*. Noviembre. A) y C) Vitelogénesis avanzada. B) Previtelogénesis. vitelo homogéneo (H), ovocitos con vesículas lipídicas (L), espermateca (Es), ovocitos en previtelogénesis (P), plaquetas vitelinas (Pv), tejido conjuntivo (J). H-E, 32X.

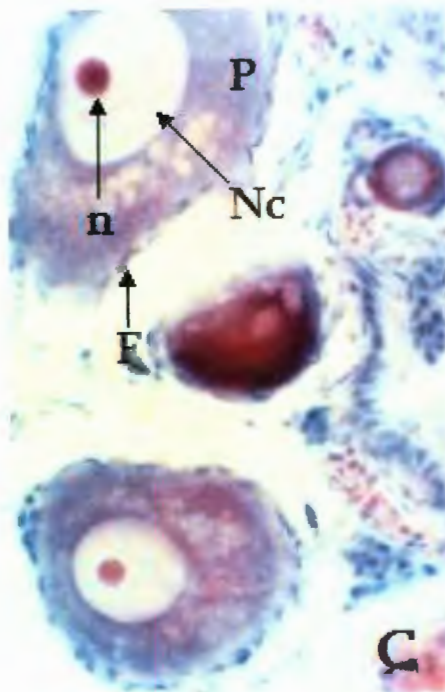
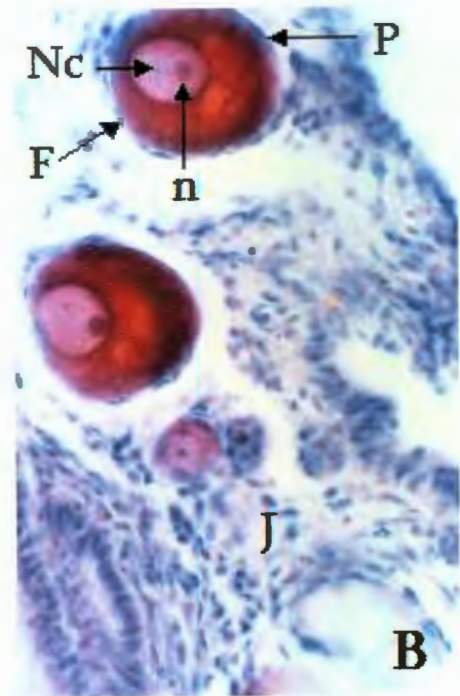


Fig. 17. Ovarios de *Xiphophorus cortezi*. Febrero. A) Previtelogénesis, B) Detalle de la previtelogénesis, C) D) Espermateca (Es), ovocitos en previtelogénesis (P), ovocito con vesículas lipídicas (L), núcleo (Nc), nucleólos (n), cromatina (Cr), epitelio folicular (F), tejido conjuntivo (J). H-E, 200X, 500X.

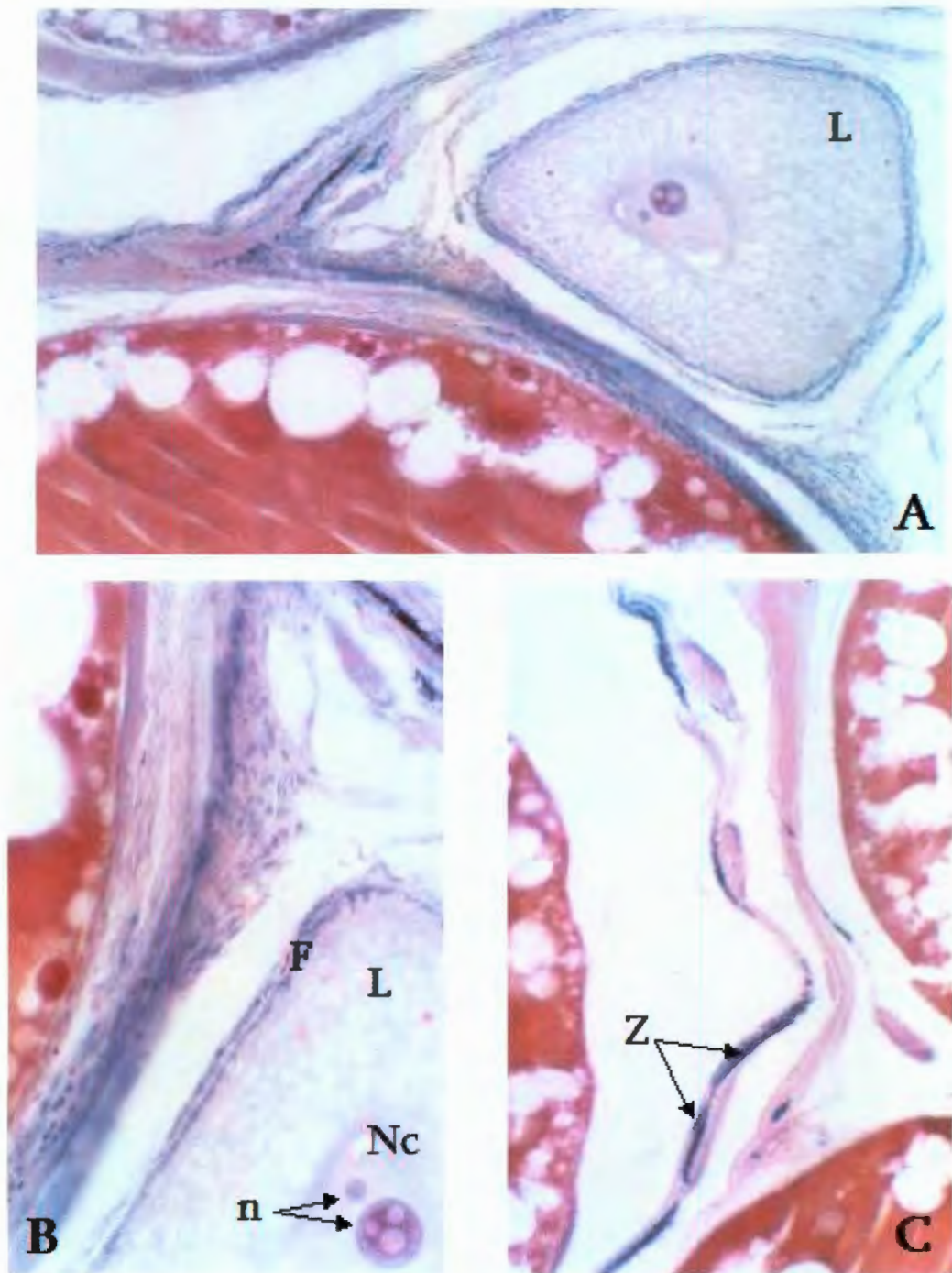


Fig. 18. Ovarios de *Xiphophorus cortezi*. Abril. A) Previtelogénesis, B) Detalle de la previtelogénesis, C) Detalle del epitelio. Ovocito con vesículas lipídicas (L), un ovocito con plaquetas vitelinas (Pv), con inicio de la homogenización del vitelo. Núcleo (Nc), nucleólos (n), epitelio folicular (F). tejido conjuntivo (J). H-E, 200X, 500X y 200X.

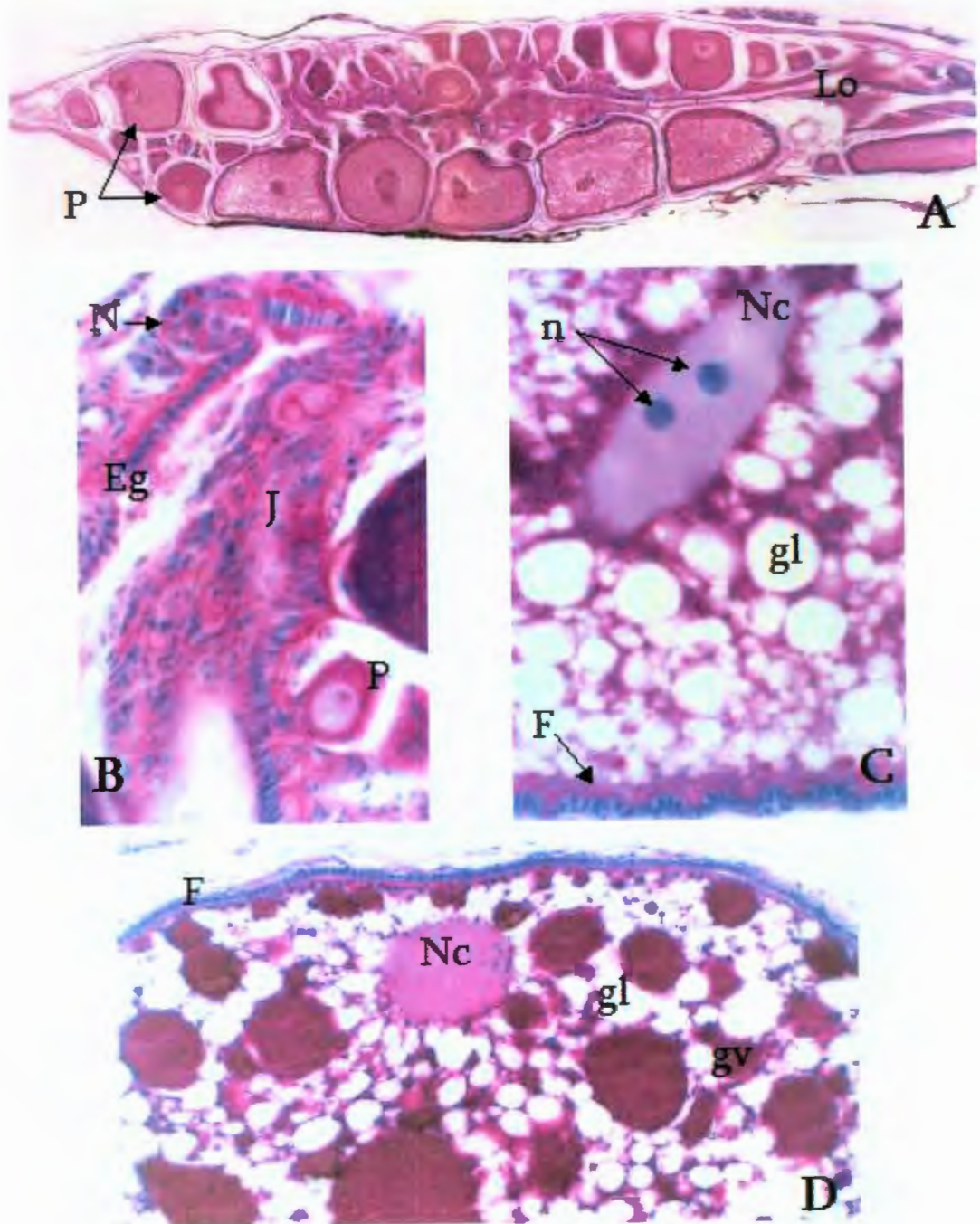


Fig. 19. Ovarios de *Xiphophorus cortezi*. Abril y julio. A) Previtelogénesis, B) Ovocito vitelino, C) Plaquetas vitelinas. Ovocitos en previtelogénesis (P), lumen ovárico (Lo), ovocito con vesículas lipídicas (L), tejido conjuntivo (J), epitelio germinal (Eg), núcleo (Nc), nucleólos (n), epitelio folicular (F), glóbulo lipídico (gl), gránulo de vitelo. H-E y PAS. 32X y 500X.

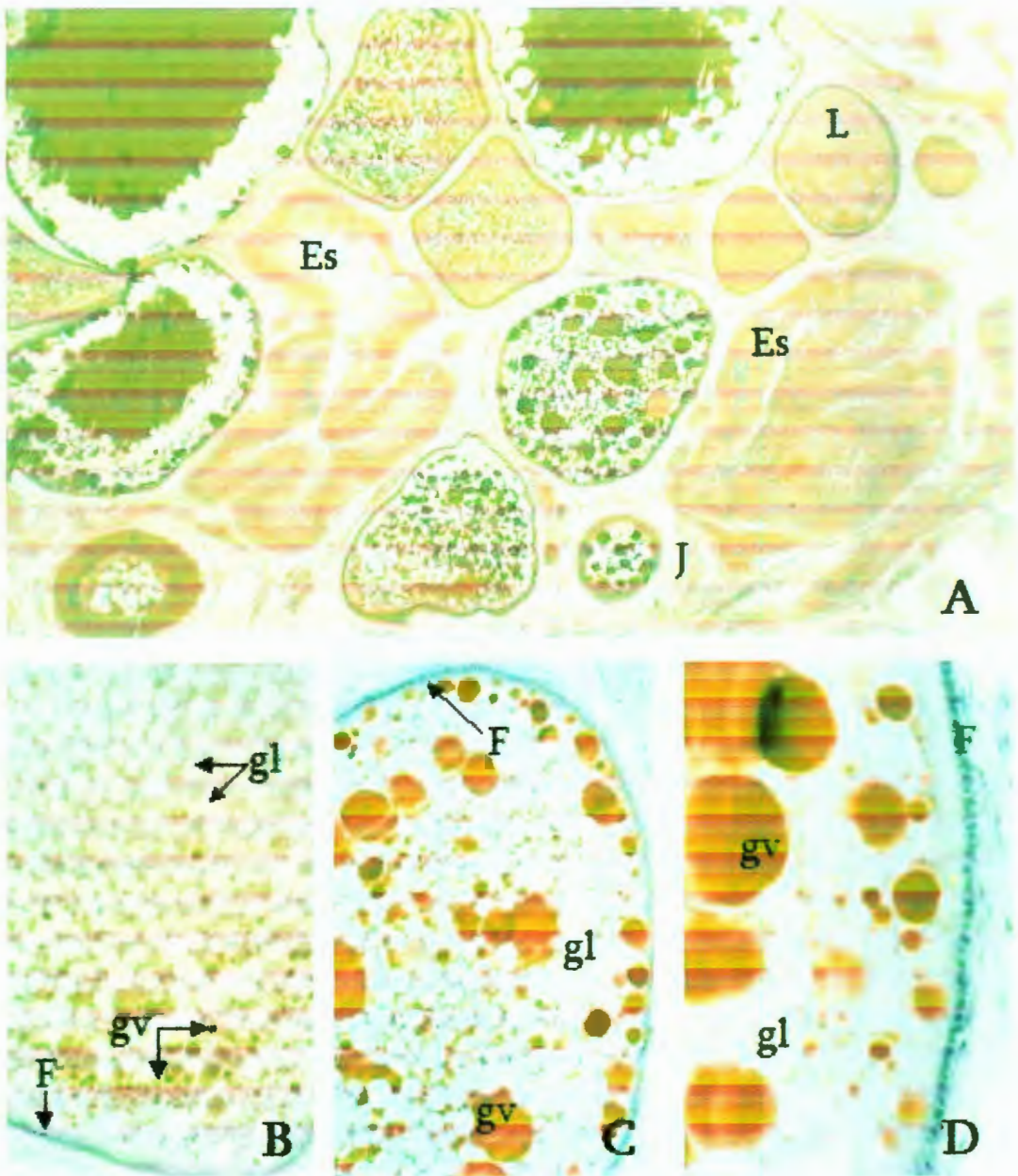


Fig. 20. Ovarios de *Xiphophorus cortezi*. Julio. A) Previtelogénesis, B), C) y D) Detalles de ovocitos en previtelogénesis. Espermateca (Es), ovocitos con vesículas lipídicas (L), tejido conjuntivo (J), glóbulo lipídico (gl), gránulo de vitelo (gv), epitelio folicular (F). H-E. 32X (A) y 500X (B, C y D).

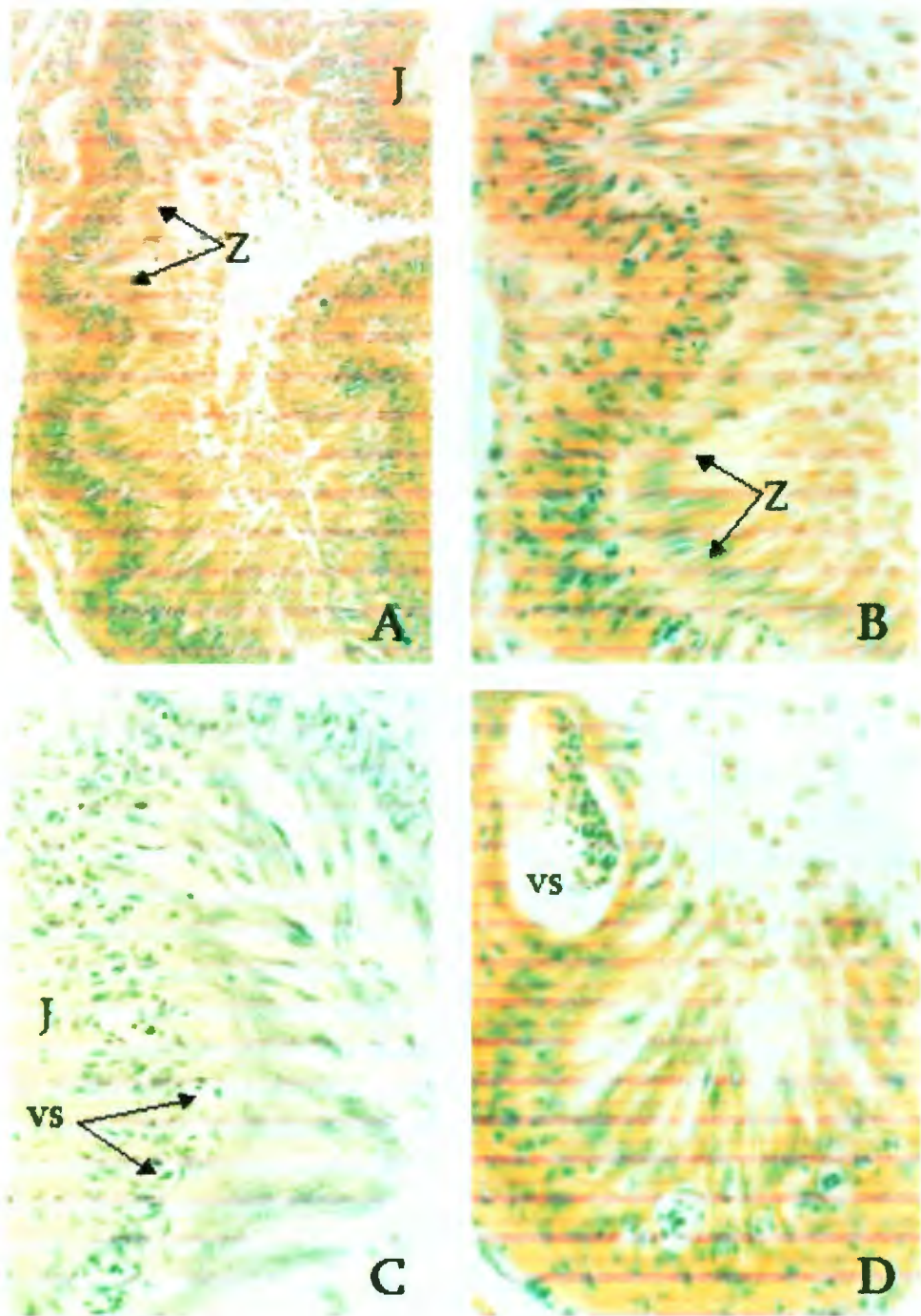


Fig. 21. Ovarios de *Xiphophorus cortezi*. Julio. A), B), C) y D) Detalles de la espermateca. Espermatozoides (Z), tejido conjuntivo (J), vaso sanguíneo (vs). PAS y H-E. 200X, 500X, 200X y 500X.

Talla a la madurez sexual

La hembra gestante más pequeña fueron las de *X. birchmanni* (25.62 mm), la de tamaño intermedio corresponde a *X. cortezi* (26.01 mm) y la más grande de *X. malinche* (29.60 mm). Sin embargo, la especie con el intervalo más amplio del clado es *X. cortezi*. Por su parte, *X. malinche* puede quedar preñada a una talla promedio muy cercana a la de *X. birchmanni*, pero su intervalo de madurez es el más estrecho de las tres.

Cuadro 6. Promedios de las tallas de madurez sexual (gestantes y con ovocitos maduros).

Especie	Talla mínima (mm)	Intervalo (mm)	Promedio ± DE
<i>X. birchmanni</i>	25.62	25.62-58.10	43.27 ± 8.34
<i>X. cortezi</i>	26.01	26.01-59.99	37.20 ± 7.67
<i>X. malinche</i>	29.60	29.60-57.01	42.77 ± 7.64

Con el empleo del paquete estadístico Statgraphics Plus 2.0 se aplicó un análisis de ANOVA (Zar, 1996) con el fin de conocer si existían diferencias entre las tallas de las hembras gestantes, mismo que fue positivo ($F=5.55$, $p<0.005$) y para detectar entre qué especies ocurren estas diferencias, se aplicó un análisis de rangos múltiples (LSD), siendo *X. birchmanni* y *X. malinche* semejantes entre sí ($F=-0.13$, $p<0.005$), pero ambas difieren significativamente de *X. cortezi* (Fig.22).

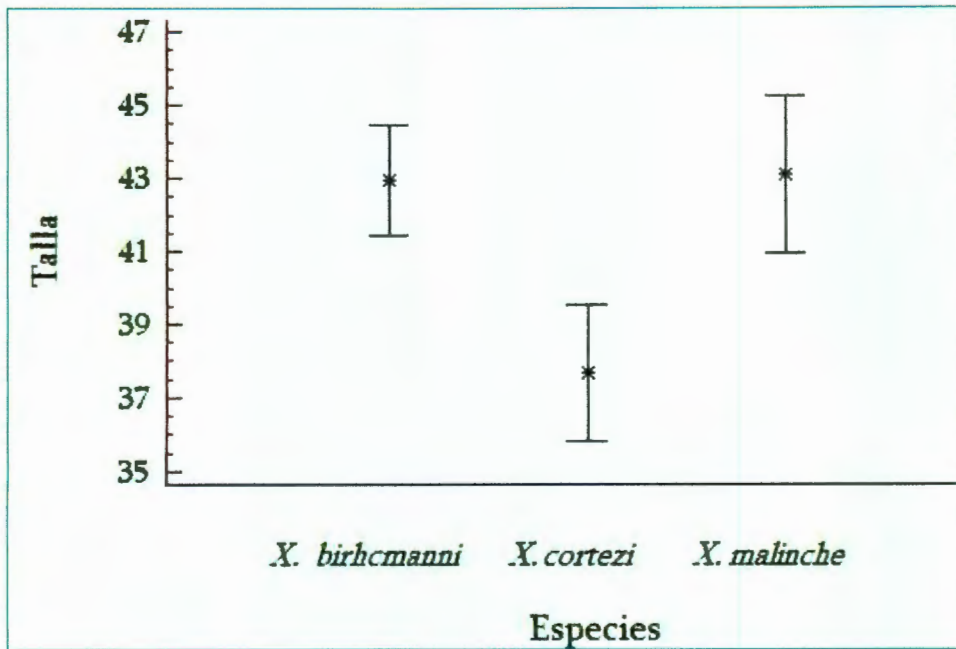


Fig. 22. Gráfica de rangos múltiples (LSD) de las tallas de hembras gestantes.

Inversión reproductiva

Del análisis temporal del índice gonadosomático (IGS) de cada especie, resultó que los promedios más bajos se registraron al inicio del estiaje, y a partir de ese momento comienza a aumentar, llegando a su promedio más alto al fin del estiaje y posteriormente disminuye en la siguiente temporada (Fig. 23). No se tienen datos de todas las temporadas para *X. malinche*, sin embargo es claro que su IGS tiene una tendencia muy semejante a la de las otras dos especies. Independientemente de la temporada, el promedio de inversión reproductiva más alto fue de *X. birchmanni* (17.19), y el más bajo de *X. cortezi* (1.88) (Cuadro 7).

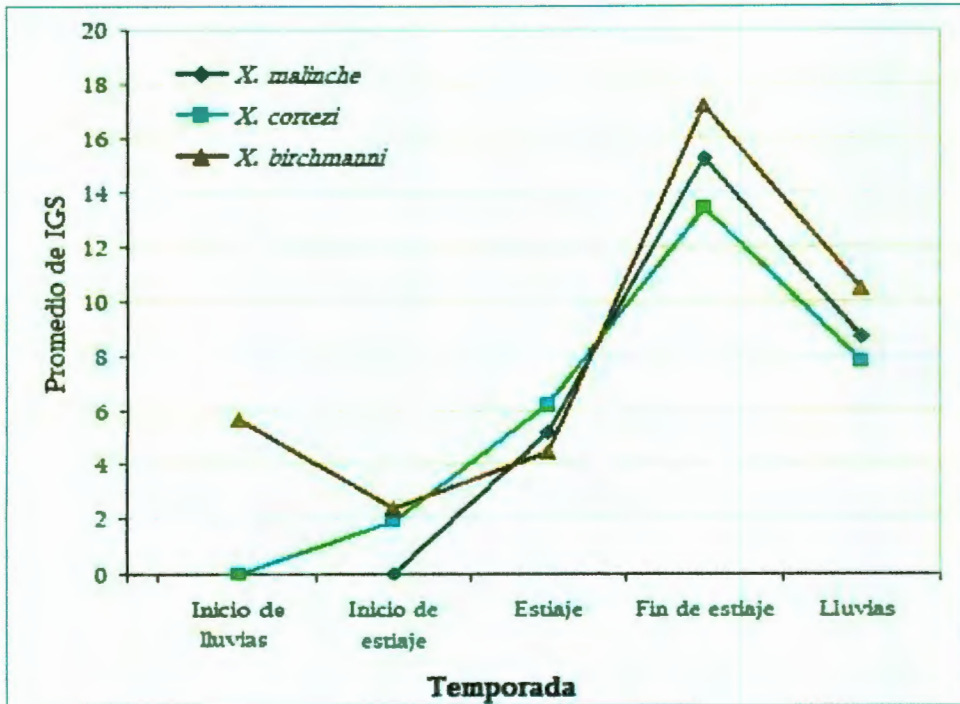


Fig. 23. Promedios de la inversión reproductiva (IGS) de cada especie y temporada.

Cuadro 7. Promedios (\pm DE) por temporada del índice gonadosomático de cada especie.

Temporada	<i>X. birchmanni</i>	<i>X. cortezi</i>	<i>X. malinche</i>
Inicio lluvias	6.02 (\pm 4.29)	-	-
Inicio de estiaje	2.47 (\pm 4.90)	1.88 (\pm 0.71)	-
Estiaje	4.77 (\pm 3.32)	7.20 (\pm 6.82)	5.18 (\pm 5.29)
Fin del estiaje	17.19 (\pm 3.34)	14.85 (\pm 6.71)	15.87 (\pm 4.70)
Lluvias	12.83 (\pm 7.80)	10.09 (\pm 6.21)	9.24 (\pm 6.55)
Totales	9.70	7.35	8.03

Es notable que durante las temporadas de más bajo índice algunas hembras de cada especie se encontraron estado de gravidez o por lo menos con algún grado de maduración de sus ovocitos, lo que significa que una parte de la población se reproduce

en otras época del año, diferente a la de máxima reproducción. Cabe destacar que este evento requiere de un almacenamiento de espermatozoides (Wourms y Lombardy, 1992 y Potter y Kramer, 2000).

En *X. birchmanni* y *X. malinche*, se localizan invaginaciones de la región cefálica del gonoducto que forman espermatecas cuyo epitelio es columnar, muy alto e irregular, y con amplia vascularización en su base (Figs. 9A, 15A, 15B, 16B, 20A, 21A, 21B, 21C y 21D).

Fecundidad

El intervalo en el número de embriones es muy variable en las tres especies. En el caso de *X. birchmanni* se encontraron hembras con tan sólo 2 individuos de camada hasta con más de 80. El promedio máximo de embriones es durante la temporada lluviosa para *X. birchmanni* (29.81) y para *X. cortezi* (15.19), lo que implica que existen altas posibilidades de que las crías nazcan en esta temporada (Cuadro 8).

Los intervalos más amplios de fecundidad correspondieron a *X. birchmanni* y *X. malinche* (2-83 y 7-80 embriones, respectivamente), mientras que el de *X. cortezi* fue el más corto (4-41 embriones).

Cuadro 8. Resumen de fecundidad por especie y colecta, se adicionaron los datos de biomasa embrionaria e IGS. Los datos de las primeras dos temporadas de *X. cortezi* no se muestran por su baja representatividad (1 y 2 individuos, respectivamente, Anexo 1).

	Temporada	Número de hembras gestantes	Fecundidad		Promedio biomasa embrionaria (g)	Promedio IGS
			Núm. de embriones			
			Intervalo	Promedio		
<i>X. birchmanni</i>	Inicio lluvias	7	2-6	4.14	1.23 (± 0.37)	8.02 (± 0.92)
	Inicio estiaje	5	4-25	17	0.34 (± 0.11)	12.94 (± 6.90)
	Fin de estiaje	14	11-45	22.64	0.44 (± 0.15)	18.18 (± 2.97)
	Lluvias	25	2-83	29.81	0.69 (± 0.51)	16.16 (± 6.88)
<i>X. cortezi</i>	Fin de estiaje	16	7-30	14.63	0.29 (± 0.19)	17.74 (± 4.85)
	Lluvias	16	4-41	15.19	0.74 (± 1.53)	13.57 (± 3.76)
<i>X. malinche</i>	Fin de estiaje	18	11-80	34.89	0.59 (± 0.29)	17.54 (± 3.31)
	Lluvias	8	7-26	15.38	0.31 (± 0.15)	14.20 (± 2.96)

Escala de maduración ovárica

Los datos de longitud patrón, junto con las características observadas del ovario, revelaron que en las tres especies los organismos menores a los 22mm de longitud patrón (Lp) no presentan desarrollo gonádico y la mayoría carece de rasgos que permitan reconocer con precisión el sexo del individuo.

Las características que se consideraron para elaborar la escala de maduración ovárica fueron: coloración y consistencia del ovario, su condición (gestante/no gestante) y el grado de maduración de los embriones. Dado que no se observaron diferencias anatómicas entre las especies, se propone una misma escala para el grupo completo.

Estadio 1. Indiferenciado. Se considera en este estadio a los organismos menores a los 22 mm de longitud patrón que no presentan dimorfismo sexual externo ni desarrollo gonádico. La gónada aparece como una estructura flácida y filamentosa (Fig. 24).



Fig. 24. Gónada en estadio 1, indiferenciado.

Estadio 2. Inmaduro. El ovario tiene una consistencia compacta y frágil al tacto. Comienza a tener una coloración blanco amarillento y al microscopio se observan granulaciones sin un arreglo especial, que corresponden a los gametos femeninos que comienzan a crecer (Fig. 25).



Fig. 25. Gónada en estadio 2, inmaduro.

Estadio 3. Desarrollo de ovocitos. El ovario es alargado y se denotan puntos blancos distribuidos a todo lo largo. En algunos casos se empieza a observar la presencia de ovocitos de color amarillo, derivado de la presencia de vitelo en su interior (Fig. 26).

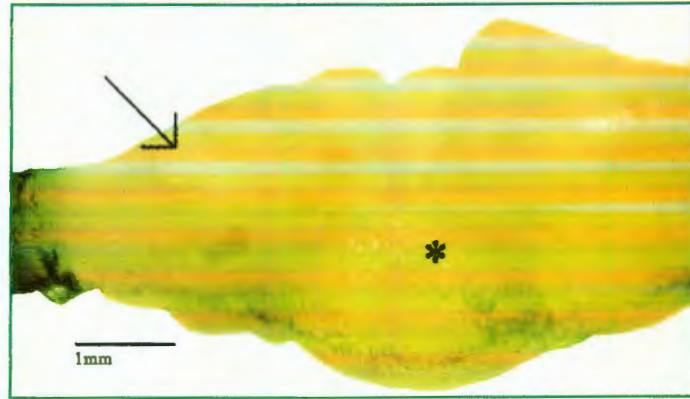


Fig. 26. Gónada en estadio 3, ovocitos en desarrollo (flecha) y maduros (*).

Estadio 4: Ovocitos maduros. Los ovocitos se han desarrollado por completo y la cantidad de vitelo semejante entre ellos. Son de color amarillo transparente y también se reconocen otros ovocitos en fases tempranas de desarrollo, que se aprecian en forma de puntos blancos (Fig. 27).



Fig. 27. Gónada en estadio 4, ovocitos maduros (*), la flecha señala los ovocitos en fases tempranas de desarrollo.

Estadio 5. Embriones en etapa temprana. Embriones en sus primeras etapas de desarrollo. Es clara la presencia de la región cefálica y de las vesículas ópticas y sólo se observa una línea de color blanco que rodea una parte del vitelo y que forma parte del tubo neural en formación (Fig. 28).



Fig. 28. Gónada en estadio 5, de embriones en etapa temprana.

Estadio 6. Embriones en etapas avanzadas. Embriones con las aletas caudal y dorsal formadas. Por su aumento de longitud, el embrión llega a rodear completamente el vitelo. En los embriones más desarrollados, la aleta caudal cubre la región cefálica (Fig. 29).

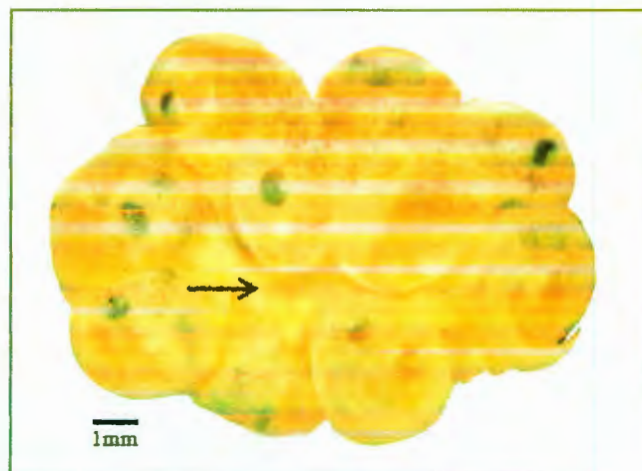


Fig. 29. Estadio 6, embriones en estado avanzado de desarrollo. Se aprecian nuevos ovocitos en desarrollo (flecha).

Embriones

Adicionalmente, se consideró la longitud total de los embriones, tomando como criterio que presentaran un desarrollo avanzado, con la aleta caudal cubriendo la cabeza, así, la mayoría de los que se midieron tuvieron una longitud total superior a los 9mm, siendo de 7.61mm el individuo más pequeño y el más grande de 22.80mm (*X. birchmanni*, Cuadro 9).

Cuadro 9. Intervalo y promedio de la longitud total de los embriones por especie. También se consideraron los tamaños de camada.

Especie	Tamaño de camada	Intervalo de talla de embriones (LT)	Promedio \pm DE
<i>X. birchmanni</i>	7-53	7.61-22.80	12.47 \pm 1.67
<i>X. cortezi</i>	4-31	8.50-15.47	11.79 \pm 1.12
<i>X. malinche</i>	12-50	8.99-14.21	11.56 \pm 0.78

Así mismo, se apreció que, en estadios avanzados del desarrollo ontogénico de los embriones la cantidad de vitelo disminuye, situación que se vincula con el tipo de nutrición embrionaria de tipo lecitotrófica, característica de la familia Poeciliidae (Wourms y Lombardi, 1992).

Superfetación

Este fenómeno se identificó a partir de las observaciones de cada una de las gónadas, debido a la presencia de una fracción de la camada en un estadio avanzado de desarrollo en una parte de la gónada, mientras que la otra constaba de ovocitos fecundados o embriones en etapa temprana (estadio 6 y 5, respectivamente). Cabe

mencionar que este evento se registró en pocas ocasiones y en sólo dos de las especies del clado (Cuadro 10).

Cuadro 10. Resumen de los datos de las hembras que presentaron superfetación.

Especie	Número de hembras	Temporada	Número de embriones	Número de ovocitos fecundados
<i>X. birchmanni</i>	1	Inicio de lluvias	14	3
	1	Lluvias (2004)	27	1
	1	Lluvias (2004)	44	34
<i>X. malinche</i>	1	Fin del estiaje	21	20

Temporada reproductiva

El ciclo de reproducción de las tres especies de este estudio comienza a mediados del estiaje con el inicio del crecimiento y maduración de los ovocitos que posteriormente maduran y se encuentran gestantes al final del estiaje, cuando ocurre el máximo reproductivo. Concluye durante la temporada de lluvias, cuando se encuentran con menor frecuencia hembras en estado de gravidez (Cuadro 11).

Como se mencionó en el apartado de inversión reproductiva, todo el año se encontraron hembras en etapas de crecimiento, maduración y gestantes. En este contexto, es posible afirmar que, el almacenamiento de espermatozoides es un fenómeno importante en estas especies, puesto que les permite reproducirse en cualquier temporada del año aún cuando sea en forma limitada (Cuadro7).

Cuadro 11. Frecuencias de las hembras gestantes por temporada y especie.

Temporada	<i>X. birchmanni</i>		<i>X. cortezi</i>		<i>X. malinche</i>	
	Total de hembras colectadas	Número de hembras gestantes	Total de hembras colectadas	Número de hembras gestantes	Total de hembras colectadas	Número de hembras gestantes
Inicio lluvias	16	7	2	1	-	-
Inicio estiaje	40	5	3	-	-	-
Estiaje	62	2	15	2	6	-
Fin de estiaje	22	15	32	18	25	19
Lluvias	45	41	31	16	17	9

Xiphophorus birchmanni:

Al inicio de las lluvias se observaron todas las etapas de reproducción. Cuando inicia el estiaje, aumenta el número de hembras en estado de inmadurez; posteriormente, durante el estiaje, disminuye esta etapa y ocurre un incremento de los estadios 3 (desarrollo de ovocitos) y 4 (ovocitos maduros).

Para la siguiente temporada (fin del estiaje), se esperaría que la mayoría de las hembras estuviera en la etapa de maduración, pero no ocurre así, pues al parecer la duración de esta etapa es corta y por ello la mayor parte de las hembras ya son gestantes (estadios 5 y 6), mientras que otra fracción aún está en este proceso. En lluvias (2004), también la mayor parte de las hembras está en gestación, con menor proporción de ovocitos maduros y otra parte en etapa 2 (inmaduro) (Fig. 30).

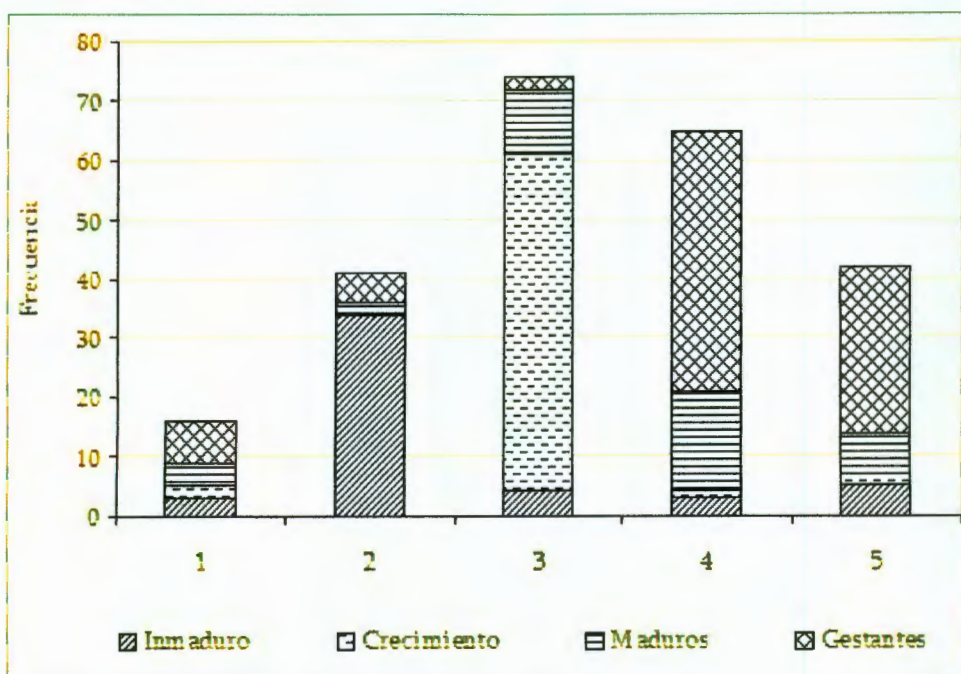


Fig. 30. Representatividad de cada estadio de reproducción de *X. birchmanni*. 1= inicio de lluvias; 2= inicio del estiaje; 3= estiaje; 4= fin del estiaje; 5= lluvias.

Xiphophorus cortezi

En las primeras dos temporadas (inicio de lluvias e inicio del estiaje), la presencia de hembras es muy baja; sin embargo, es al inicio del estiaje que las hembras en su mayoría son inmaduras (estadio 2), pero durante el estiaje predominan las que tienen ovarios en crecimiento, con ovocitos maduros y algunas incluso ya presentaban gravidez (estadios 3, 4 y 5).

A finales del estiaje y hasta las lluvias, predominan las hembras preñadas (estadio 5 y 6) junto con las que tienen ovocitos maduros (estadio 4). Durante las lluvias es notorio un incremento de las hembras en estadios de inmadurez (estadio 2), que permite suponer que en esta temporada algunas hembras disminuirán sus actividades de reproducción (Fig. 31).

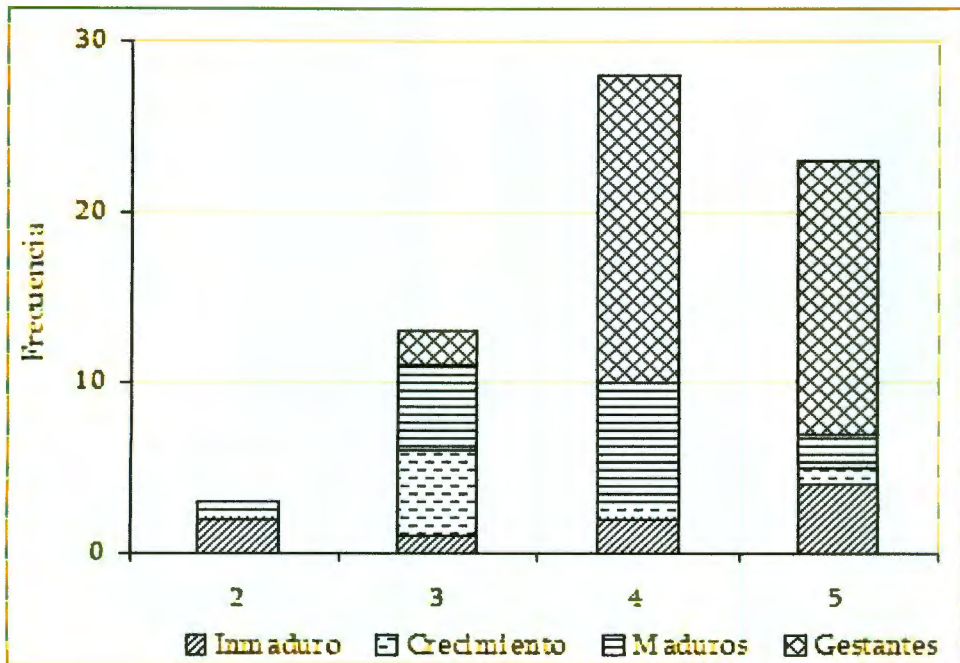


Fig. 31. Representatividad de cada estadio de reproducción en cada temporada de *X. cortezi*. 2= inicio del estiaje; 3= estiaje; 4= fin del estiaje; 5= lluvias. Nota: los datos correspondientes a la primer temporada fueron muy escasos, por lo que no se presentan.

Xiphophorus malinche.

Aunque no se tienen datos para las dos primeras temporadas de esta especie, es claro que a partir del estiaje presenta un patrón semejante al de las otras dos. Así, también durante dicha temporada, hay hembras en estadios 3 y 4 (formación de ovocitos y ovocitos maduros); a finales del estiaje sólo se registraron los estadios de madurez y gestación, y en las lluvias es notoria la presencia de hembras en estadio inmaduro, aún cuando todavía hay maduras y gestantes (Fig. 32).

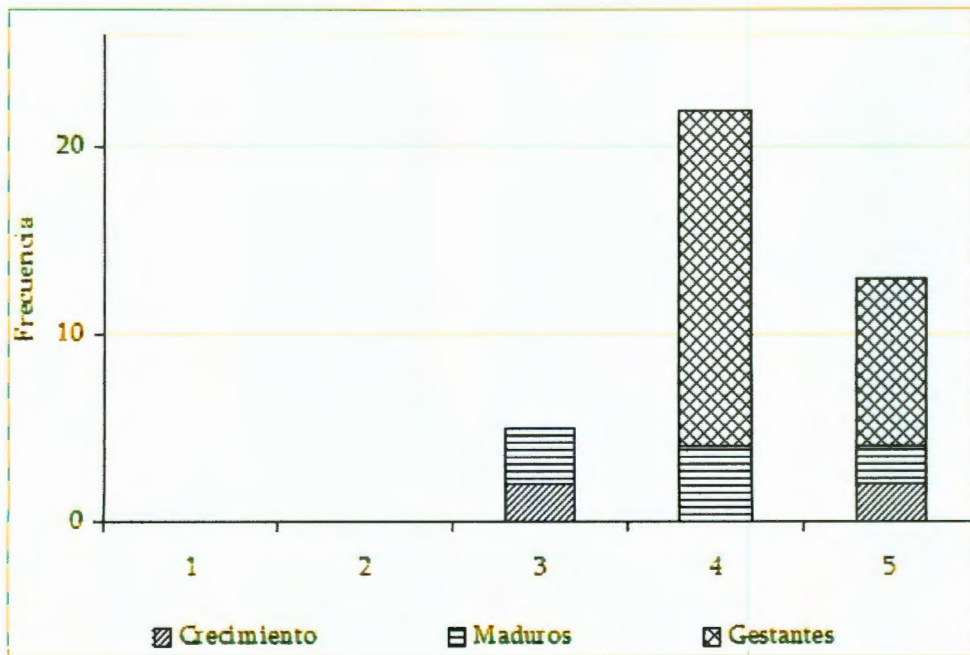


Fig. 32. Representatividad de cada estadio de reproducción en cada temporada de *X. malinche*. 1= inicio de lluvias; 2= inicio del estiaje; 3= estiaje; 4= fin del estiaje; 5= lluvias.

DISCUSIÓN

En el trabajo realizado por Rauchenberger *et al.* (1990), con el total de especies que conforman el grupo norte de *Xiphophorus*, sólo el clado *cortezii* se registró en simpatría. Los mismos autores únicamente encontraron combinaciones de pares de especies, por lo que a partir de la presente investigación, los ríos Tula y Atlapexco son nuevos sitios de simpatría para *X. birchmanni* y *X. cortezii*.

Cabe destacar que no sólo la distribución de las especies es más amplia de lo que se tenía conocimiento, sino que la condición simpátrica se manifiesta para todo el clado en su conjunto, situación que puede considerarse como un evento poco común en los sistemas lóticos.

Es indudable que las comunidades de peces están influenciadas por las características ambientales locales tanto físicas como químicas (Maret, 1999). El análisis detallado de la distribución de las especies está fuera del alcance de este estudio; sin embargo, se puede decir que las pequeñas variaciones en la distribución de las especies del clado *cortezii* seguramente se relacionan con su capacidad fisiológica, lo que les permite ocupar hábitats muy variables, incluso temporalmente efímeros (Greenfield, 1983; Parenti y Rauchenberger, 1989). Dado que *X. birchmanni* se colectó en todos los sitios, su distribución es la más amplia, coincidiendo con lo señalado por Soria-Barreto (2004) en cuanto a su amplia distribución como su alta dominancia en la cuenca del río Atlapexco.

Datos morfométricos

Se mostró que *X. cortezi* tiene el intervalo más amplio tanto de longitud patrón como de peso; sin embargo, para un mejor entendimiento de éstos dos parámetros se realizó un análisis de correlación lineal para cada una de las especies el cual fue positivo (Fig. 34). También, este estadístico mostró que entre las tres especies existen diferencias en el crecimiento, siendo *X. cortezi* la que posee organismos de menores tallas y pesos, pero con alta variación intraespecífica, lo que explica sus intervalos amplios.

Las oscilaciones de parámetros cuantificables, como lo son el peso y la talla, pueden intervenir provocando diferencias no sólo dentro de las poblaciones de las especies, sino que llegan a inducir cambios genéticos a la par con aquellos relacionados con sus adaptaciones (Barlow, 1961).

Se ha comprobado que los factores ambientales tienen efectos sobre la supervivencia, crecimiento y reproducción de los peces, lo que se refleja en los cambios de estas características (Wootton, 1990). Tal es el caso del pecílido *Gambusia holbrooki* que presenta un mayor o menor crecimiento según la duración del fotoperíodo. (Vargas y De Sostoa, 1996). No está al alcance del presente trabajo precisar el papel de los factores ambientales sobre el patrón de crecimiento de las especies tratadas, pero dado que existe la condición de simpatria se puede considerar que factores de tipo biótico son los que pueden estar influyendo sobre dicho patrón.

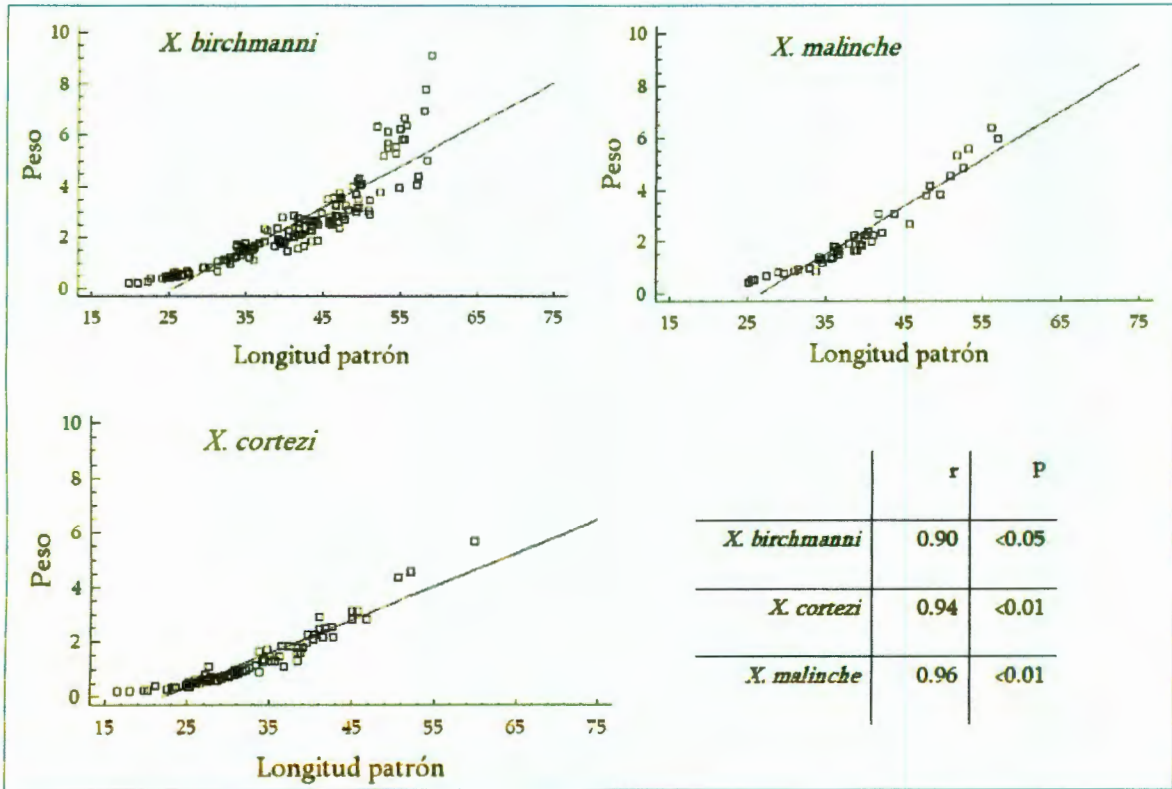


Fig. 33. Regresiones lineales de longitud patrón (mm) y peso (g) de cada especie.

Proporción sexual

Ésta es una característica que se relaciona en gran parte con el sistema de apareamiento de los organismos. En este sentido, la monogamia favorece que haya cantidades de hembras consistentes con las de los machos, mientras que la poligamia favorece la selección sexual, por lo tanto uno de los sexos se encontrará en mayor abundancia (Berglund, 1997).

Contrario a lo anterior, también se considera que, en condiciones naturales, se encuentren cifras semejantes de ambos sexos y éstas presentarán un cambio a favor del

sexo que pueda tener alguna ventaja en particular, por ejemplo cuando alguno de los dos sexos es un recurso limitado. En este caso se pueden producir camadas con una mayor cantidad de individuos de un sexo que de otro (Reay, 1984). En condiciones de laboratorio se ha observado que la conducta de los machos maduros puede modificar la proporción sexual en algunas especies vivíparas, como sucede en *Girardinichthys multiradiatus* (Goodeidae) (García-Trejo, 2002).

Por otro lado, la conducta particular de cada sexo también se vincula con la distribución microespacial de los organismos y tanto los machos como las hembras se segregan en diferentes lugares de una determinada área de acuerdo con la época de reproducción y la etapa de maduración de los individuos.

Durante el trabajo de campo se observó que los juveniles de las tres especies se refugiaban a las orillas del río, entre la vegetación ribereña, mientras que los adultos se concentran en áreas cercanas a rocas grandes y/o remansos. También puede ocurrir que, en función de su condición, la hembra puede usar diferentes sustratos, incluso se sugiere que interviene su experiencia previa (Meffe y Snelson, 1989; Parenti y Rauchenberger, 1989).

Talla a la madurez sexual

En las especies vivíparas se puede considerar como la talla mínima de madurez sexual a aquella cuando las hembras presentan por lo menos ovocitos fecundados, ya que en pocas especies se conoce con exactitud el tiempo de maduración de sus ovocitos (Reznik y Miles, 1989), aún más cuando los datos provienen de poblaciones naturales como en el presente trabajo.

Del Cuadro 6 se puede deducir que las hembras que inician con la reproducción a menor talla son las de *X. birchmanni* y le siguen en su respectivo orden, *X. cortezi* y *X. malinche*. También es notorio que las tallas de madurez y los datos morfométricos de *X. birchmanni* y *X. malinche* son muy parecidos entre sí, pero con marcadas con respecto *X. cortezi*. Es posible que estas diferencias se asocien con el reparto de recursos que Soria-Barreto (2004) encontró para estos organismos; la autora señala que las interacciones de competencia espacial y trófica son más fuertes entre *X. birchmanni* y *X. cortezi*, pero los resultados del presente trabajo señalan que *X. cortezi* se “adelanta” a la reproducción.

Por otro lado, en el presente estudio se advirtió que este par de especies presentan espermatecas, en las que se encontraron espermatozoides, pero en *X. cortezi* son más prominentes, por lo que si determinadas condiciones del ambiente o la competencia son adversos para la reproducción, estos organismos serán capaces de superar dichas adversidades, mientras que si las condiciones son desfavorables para *X. birchmanni*, su número poblacional le permitirá la supervivencia.

La temprana edad de madurez se ha considerado como una característica importante en la historia de vida de las especies que habitan ambientes impredecibles (Farr, 1989). También, si la mayor parte de las hembras juveniles de *X. birchmanni* madura más rápido, permitirá que la competencia interespecífica por los recursos disminuya, puesto que sus crías nacerán antes que las de otras hembras.

El clado completo se reproduce a tallas muy pequeñas, comparado con otras especies vivíparas. Por ejemplo, en *Girardinichtys viviparus* (Familia Goodeidae), la talla de reclutamiento reproductor es a los 30mm (Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez, 1986) y en

Heterandria bimaculata (familia Poeciliidae) ocurre entre los 28.32 y 32.10mm (Martínez-Leyva, 2002).

Ciclo de ovogénesis

A nivel microscópico se reconoció un desarrollo asincrónico de los ovocitos. Aún cuando en algunos cortes histológicos se observaron embriones, también hubo presencia de ovocitos en estadios tempranos de crecimiento (previtelogénesis y vitelogénesis). Para que éste último hecho ocurra en el ovario de estas especies deben existir modificaciones fisiológicas que les permitan almacenar espermia viable (Wourms y Lombardi, 1992; Potter y Kramer, 2000). Como se mencionó en el apartado anterior, se reconocieron las espermatecas, en las cuales ocurre el almacenamiento de espermatozoides, por lo que en estas especies la viviparidad es una forma de reproducción más compleja de lo que se tenía noción.

Así, la evidencia del almacenamiento de espermatozoides en conjunto con el desarrollo asincrónico de los ovocitos permite que, posterior a la eclosión, los nuevos ovocitos ya maduros o por completar su maduración, puedan ser fecundados de inmediato, hechos que ayudan a explicar la existencia de un periodo largo de reproducción.

En cuanto a los estadios de ovogénesis, éstos son muy similares a los de otras especies vivíparas como *Ilyodon whitei* y *Poeciliopsis gracilis* (de la Rosa, 2001; Uribe *et al.*, 2004; Guerrero, 2005). Así mismo, se comprobó que la fecundación y el desarrollo embrionario es intrafolicular (Turner, 1947; Thibault and Schultz, 1978; Wourms, 1981; Constanz, 1989; Meffe and Snelson, 1989).

Inversión reproductiva

Temporalmente, el índice de inversión reproductora (IGS) tiende a aumentar en el estiaje, su máximo ocurre a finales de esta temporada y comienza a declinar conforme avanzan las lluvias. Este patrón es semejante al de otras especies de la familia Poeciliidae y al de peces de áreas subtropicales y templadas (Rosen y Bailey, 1963; Snelson, 1990). Dicha tendencia se ha relacionado con la disponibilidad de recursos, la cual disminuye en el momento de menor precipitación del año, de tal manera que la mayor parte de las crías nace justo en el inicio y durante la época de lluvias, cuando hay una disponibilidad alta de recursos de tipo espacial y trófico; y también se reconoce que bajo circunstancias de escasez, las hembras están sometidas a una situación de estrés fisiológico, por lo que en gran parte su reproducción depende de sus reservas energéticas (Reznik, 1989).

Se exploró la relación entre el peso de la hembra y el peso de la gónada, el cual resultó positivo en las tres especies (Fig. 34). El patrón que siguen es que conforme aumenta el primero, el segundo también se incrementa. Al igual que en la talla de madurez sexual y datos morfométricos, *X. cortezi* tiene las menores cifras, lo que marca otra diferencia de estas hembras con el resto de este estudio.

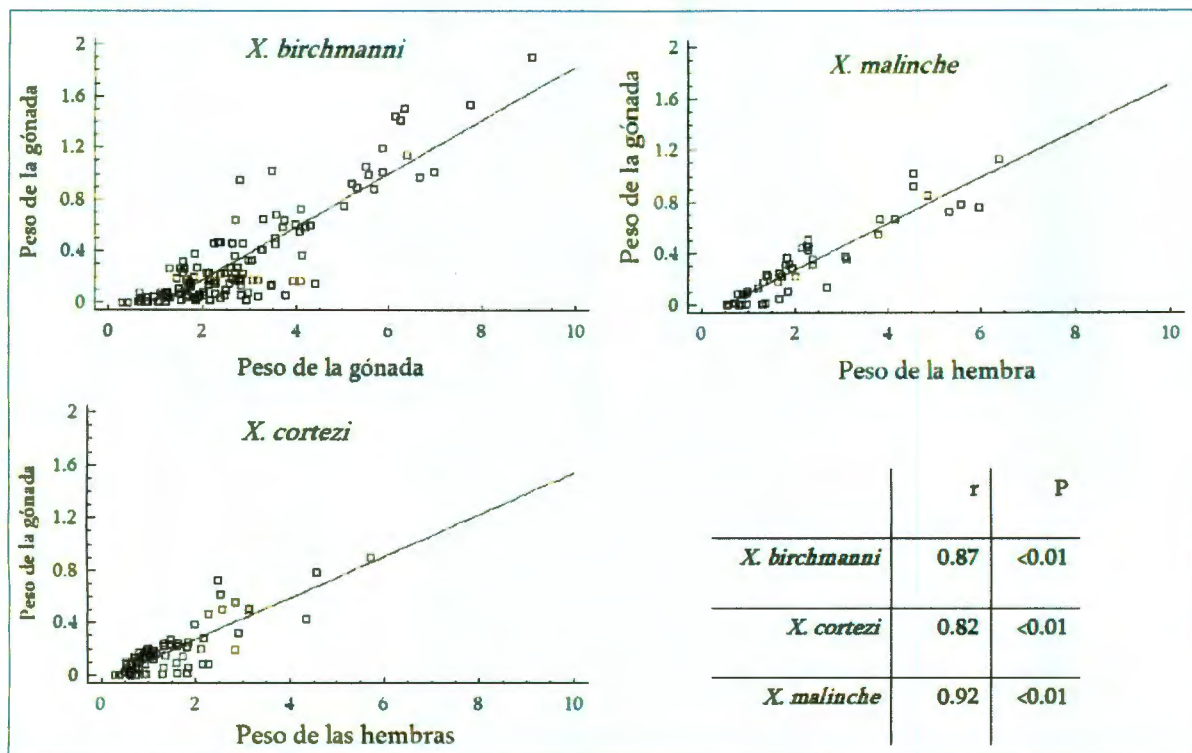


Fig. 34. Relación peso (g) de la hembra-peso de la gónada (g) de cada especie.

Fecundidad

Desde el punto de vista temporal, la fecundidad máxima para las tres especies es al final del estiaje y las lluvias. Esta característica tuvo una alta variación tanto intra como interespecífica, condición que se atribuye a que las hembras no sincronizan su ciclo reproductor (Farr, 1989), debido a la amplitud de la temporada de reproducción.

Por otro lado, el tamaño de la hembra por sí solo determina el tamaño de la camada y el aumento en longitud de la hembra se asocia con grandes camadas y aumento en la talla de las crías (Reznik y Miles, 1989). Esto se observa en cuanto a que, las hembras tanto de *X. birchmanni* como de *X. malinche*, son más grandes que su especie hermana y sus crías son ligeramente de mayor tamaño. En la Fig. 35 se muestra la relación entre la longitud patrón y la fecundidad, la cual es positiva.

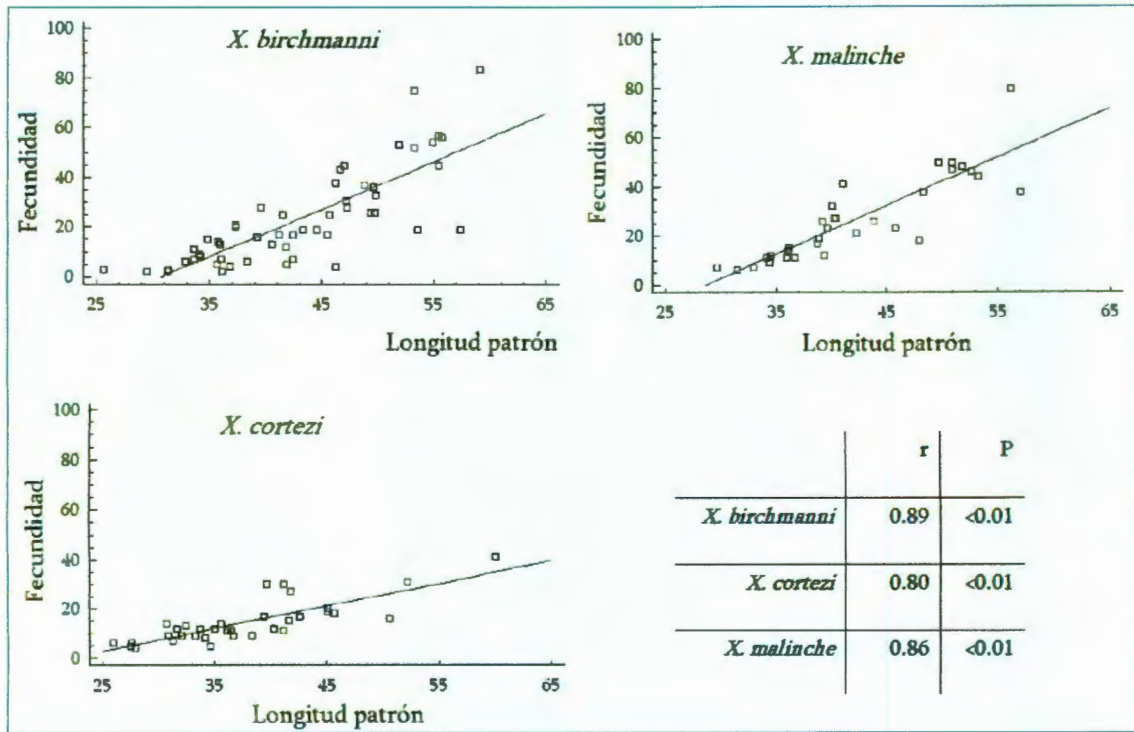


Fig. 35. Relación longitud patrón-fecundidad de las tres especies.

Esta correspondencia se considera importante porque el tamaño de la camada puede limitar el número de crías que una hembra puede producir sin incrementar el estrés por la inversión reproductiva (Reznik, 1989). Aunque para los integrantes de la familia Poeciliidae la cantidad de crías puede variar de una temporada a otra por diversas causas, como son los cambios en el ambiente, la densidad de la población y el tamaño y edad de la madre (Constanz, 1989). Además de estos factores, en el caso de las hembras de este estudio esta característica también está influida por las interacciones entre las tres especies.

Se mencionó, que el IGS de *X. birchmanni* comenzó a disminuir en lluvias y se esperaba que la fecundidad presentara un comportamiento semejante, sin embargo esto no ocurrió así. Es posible que la disminución en el IGS se relacione con el tipo de nutrición lecitotrófico de los embriones en desarrollo, es decir que, como mecanismo de nutrición, la hembra aporta fundamentalmente el vitelo para el embrión en desarrollo

(Wourms, 1981), y en consecuencia la gónada pierde peso. Por otro lado, no se encontró algún embrión en reabsorción, lo que refuerza la idea de lecitotrofia.

En las especies vivíparas, a diferencia de las ovíparas, la fecundidad disminuye y la vulnerabilidad de las hembras a ser depredadas se incrementa conforme avanza el desarrollo de las crías y se acerca la eclosión (Callard y Ho, 1987). A pesar de lo anterior, se tiene la ventaja de que algunas especies vivíparas, tienen la capacidad de almacenar espermatozoides y, según las condiciones que enfrenten, son capaces de reproducirse en cualquier temporada (Thibault y Schultz, 1978 y Potter y Kramer, 2000). En este contexto, la estrategia para las hembras de este estudio representa ventajas, ya que, por ejemplo, a lo largo de todo el ciclo muestreado hubo hembras con crías o con ovocitos en desarrollo, además de que dentro del tracto genital de la hembra las células sexuales masculinas estuvieron presentes .

Embriones

En todos los casos, los embriones con un desarrollo ontogénico avanzado estuvieron completamente unidos alrededor del vitelo, sin que adoptaran una posición lineal, indicativo de la familia Goodeidae del cercano nacimiento de las crías (de la Rosa, 2001).

Con los datos de la longitud total de los embriones se exploró su dependencia con el tamaño de la camada (Fig. 36). El resultado fue interesante pues en *X. birchmanni* estas dos medidas son independientes lo que se puede relacionar con amplia su distribución y alta dominancia en el ambiente. Para *X. malinche* la relación fue ligeramente negativa, de lo cual se puede inferir que la asignación de recursos para las camadas está siendo limitado por diversas presiones. En el caso de *X. cortezi* la relación

es ligeramente estrecha, lo que seguramente se explica porque produce el número de embriones y esto permite que las crías puedan crecer con poca restricción de recursos.

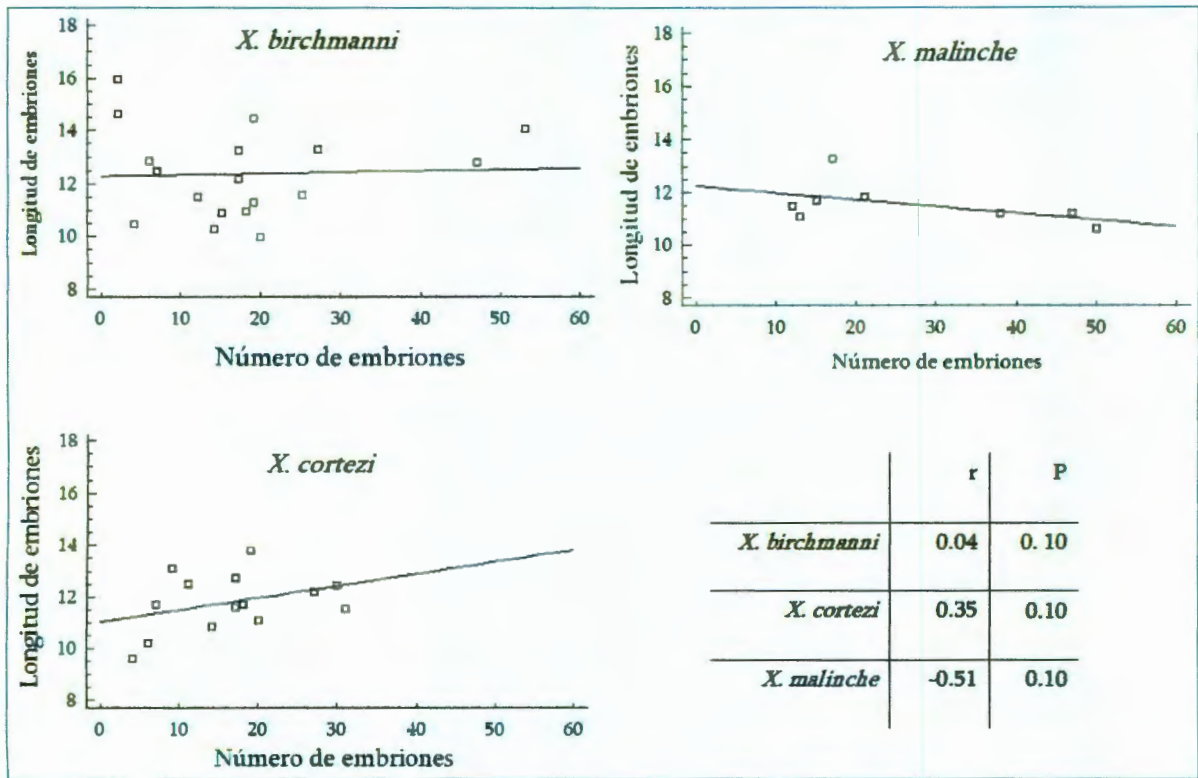


Fig. 36. Análisis de regresión lineal número de embriones-longitud de embriones.

Superfetación

Se considera que otros miembros de la familia Poeciliidae no son superfetantes y además que este fenómeno disminuye o desaparece en condiciones de alimento restringido (Reznik y Miles, 1989); pero, la muestra de dicho estudio fue muy pequeña. En el presente trabajo se reportan en total cuatro casos entre las 326 hembras examinadas, así que para ninguna de las tres especies este fenómeno es representativo, sino ocasional como se sugiere para *Girardihiichtys viviparus* (Díaz-Pardo y Ortiz-Jiménez, 1986).

Reznik y Miles (1989) consideran a la superfetación como un hecho muy relevante en las historias de vida por las implicaciones energéticas que tiene, ya que se producen de manera más frecuente nuevos individuos para la población, pero disminuye el tamaño de la camada y el promedio de recursos energéticos designados a la reproducción.

Por las características del presente trabajo, no fue posible reconocer el intervalo intercría, pero seguramente es muy corto dadas las frecuencias en las que se presentan los estadios de maduración, crecimiento y gestación en una misma temporada. Así, los ovocitos que crecen mientras hay gestación, seguramente maduran al final de la gestación para poder ser fertilizados al poco tiempo del nacimiento de la camada anterior (Conzanz, 1989; Hubbs y Dries, 2002).

La variación del intervalo intercría contribuye a la variación en el éxito reproductor dentro y entre las especies vivíparas. Este lapso se relaciona con el periodo de gestación, desarrollo de los ovocitos y grado de superfetación. Así mismo, proporciona una oportunidad de divergencia y aislamiento reproductor dentro de una especie (Hubbs y Dries, 2002).

Temporada reproductiva

De los resultados del IGS y de la escala de maduración gonádica, se puede inferir que, el periodo de reproducción del clado *cortezii* comienza poco antes del inicio de lluvias, de tal manera que las crías nacen de manera constante al inicio de la estación lluviosa y durante la misma como tal. Los factores ambientales que podrían estar relacionados con este evento no se contemplan en el presente estudio, sin embargo se

conoce que en otras especies como *Goodea viviparus*, el ciclo reproductor es largo por efecto de las horas-luz. *Poeciliopsis gracilis* y *Poecilia sphenops* tienen altos índices de fecundidad con fotoperiodos largos y los machos valores de IGS altos (Burns y Flores, 1981 y Parenti y Rauchenberger, 1989).

Por otro lado, como se mencionó en la sección de talla de madurez, es posible que la disponibilidad de los recursos espacial y trófico influyan en la estrategia de las especies.

Características de segregación

Dado que las especies de este clado son morfológica y filogenéticamente muy cercanas entre sí, además de su condición simpátrica, las características propias para cada una de ellas tienen diferencias muy sutiles, pero aún así suficientes para permitir una separación conductual por la preferencia del alimento o alguna otra por el hábitat (Greenfield, *et al.*, 1983). Es el caso de *X. malinche* que principalmente se alimenta en el fondo del lecho rocoso, mientras que *X. birchmanni* y *X. cortezi* en la columna de agua (Soria-Barreto, 2002).

El conocimiento de divergencia microgeográfica en un complejo de especies es escaso. Se reconoce que los cambios en el tiempo de la morfología del sitio pueden permitir una verdadera especiación alopátrica, como en el caso de los cíclidos, que tienen una tendencia intrínseca a la dispersión, mismas que en conjunto con barreras a la dispersión, el cuidado parental y de los sitios de reproducción favorecen su aislamiento microgeográfico (Dominey, 1984). La situación anterior no concuerda con lo que se conoce de los pecílidos, ya que éstos tienen una alta plasticidad para enfrentarse a los cambios ambientales, se pueden dispersar constantemente y habitar en sitios con características muy diferentes unas de otras (Parenti & Rauchenberger, 1989).

En nuestro caso, al quedar las tres de *Xiphophorus* especies en los mismos ambientes, su especiación puede relacionarse con causas reproductoras, incluyendo su conducta sexual.

La simpatria de estas especies tiene dos aspectos importantes: 1) al ser especies que divergieron muy recientemente, aún comparten requerimientos ecológicos similares; 2) dentro de un complejo de especies, como un todo, existe diversidad trófica y especialización, en ocasiones más allá de los límites que se puedan detectar al hacer un estudio (Dominey, 1984). En este caso, en el que se analizaron aspectos reproductivos, se observó que *X. malinche* y *X. birchmanni* están muy cercanas entre sí, por lo que puede existir una mayor competencia estas dos especies que alguna de ellas con *X. cortezi*. Sin embargo, dado el reparto espacial y trófico entre el par de especies mencionado (Soria-Barreto, 2004), más bien la mayor competencia es entre *X. birchmanni* y *X. cortezi*.

La diferencia más notoria está en que de las tres especies, *X. birchmanni* es la que se reproduce en tallas menores, es decir las hembras maduran más rápido por lo que es posible que su temporada de reproducción se adelante a su principal competidora. También, la designación de recursos de la hembra a sus crías es un factor importante. En este escenario, *Gambusia affinis* y *Poecilia reticulata* tienen hembras grandes con una camada poco numerosa y hembras pequeñas con camadas grandes (Reznik y Miles, 1989), así no sólo está implicado el tamaño de las hembras, sino la manera en la que asignan recursos a sus crías, lo que puede considerarse semejante a las tres especies del clado estudiado, ya que se observó que algunas de las hembras de tallas grandes podían tener camadas pequeñas.

Otra propuesta sugiere al tiempo, como una abstracción en la que éste es un mecanismo de coexistencia, en el que diferentes factores favorecen la selección para los

patrones de actividad del organismo (Kronfeld-Schor y Dayan, 2003). En el caso del clado, seguramente estas diferencias están ocurriendo en cierta medida para *X. birchmanni*, por ser la especie que se reproduce a tallas menores que las otras dos, aunque el ciclo de reproducción de las tres es muy semejante.

Sólo los peces cuyas características morfológicas, tróficas y reproductoras se ajustan a los microhábitat disponibles, serán los residentes de una determinada localidad. Aún más, las características de historia de vida que son ventajosas en un tipo de hábitat (por ejemplo ríos con fluctuaciones estacionales), también lo pueden ser en nuevos hábitat (Mattheus, 1998).

El aislamiento geográfico no es un requisito forzoso para que ocurra la especiación. Puede ocurrir un cambio en el genoma de los individuos y, si esto tiene un efecto drástico y permanente en el flujo genético entre las poblaciones, éstas divergirán (Bush, 1975). En el caso de las especies aquí estudiadas, la manifestación de tales cambios genéticos se detectan en las variaciones interespecíficas de su estrategia reproductora, resultado del aislamiento reproductor en condiciones simpátricas.

Existen otros patrones para que ocurra una especiación simpátrica además de los temporales: químicos (feromonas), hibridización (Bush, 1975). Posiblemente con estudios que además comparen aspectos genéticos, de alimentación, microhábitat y conducta, será posible explicar plenamente esta interesante condición de simpatría, en la que además existe una alta semejanza en su morfología y modo de reproducción.

CONCLUSIONES

1. En el clado *cortezii* es posible la condición simpátrica en diferentes ríos de la cuenca del río Atlapexco, no sólo en pares, sino también del grupo completo.
2. Algunas localidades se reportan como nuevos registros de simpatria (ríos Tula y Atlapexco) para *X. cortezii* y *X. birchmanni*.
3. La proporción sexual es equitativa en las tres especies, característica que probablemente esté relacionada con su conducta de asociación/disgregación según la temporada.
4. Es posible que la condición simpátrica de estas especies se deba a ligeros desfaseamientos en la estrategia reproductiva de cada especie:
 - *X. birchmanni*, tiene el mayor esfuerzo reproductor (IGS más alto), talla adulta mayor, se reproduce a menor tamaño y sus crías son las más grandes. Durante las lluvias se verifica su máximo de fecundidad.
 - *X. cortezii*, se reproduce a tallas menores, alcanza menores tallas, su inversión reproductora es menor y sus crías son ligeramente más pequeñas. Sus periodos más altos de fecundidad son entre fin de la temporada de estiaje y lluvias.
 - *X. malinche* tiene características muy parecidas a las de *X. birchmanni*. El máximo de fecundidad registrado para esta especie es al final del estiaje.

- 5) El periodo de reproducción es largo, ya que en la temporada de estiaje comienza el incremento del IGS como consecuencia del proceso de maduración de los ovocitos. A continuación, al inicio de las lluvias ocurre el máximo de reproducción y, conforme avanza esta temporada, la reproducción disminuye, de tal manera que a inicios del estiaje son escasas las hembras en etapa de gestación.
- 6) Dado que se registran hembras gestantes en las temporadas de más bajo IGS, se puede inferir que: se presenta un almacenamiento de espermatozoides en la hembra y, por lo tanto, éstas son capaces de contribuir con nuevos organismos a sus respectivas poblaciones, independientemente de la temporada máxima de reproducción.
- 7) Es posible que los intervalos intercría sean muy cortos, dada la temporada larga de reproducción en la que sólo se registraron hembras en estado gestante y de ovocitos maduros.
- 8) La superfetación en las especies de este grupo es un evento esporádico que sólo se registró en *X. birchmanni* y *X. malinche*.
- 9) El modo de nutrición de los embriones es lecitotrófico ya que se observó que, conforme avanza el desarrollo embrionario, la cantidad de vitelo disminuye y alrededor del vitelo se observan vasos sanguíneos que están en estrecho contacto con el embrión. No se encontraron embriones en reabsorción.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Morales, M; B Cotuño Bello y P Salinas Rosales. 1996. Manual General de Técnicas Histológicas y Citoquímicas. Las Prensas de Ciencias. Facultad de Ciencias. UNAM. México.
- Angus, RA. 1980. Geographic dispersal and clonal diversity in unisexual fish populations. *Am. Nat.* 115:531-550.
- Bailey, JR. 1933. The ovarian Cycle in the Viviparous Teleost *Xiphophorus helleri*. *Biol. Bull.* 64:206-225.
- Barlow, GW. 1961. Causes and Significance of Morphological Variation in Fishes. *Systematic Zoology.* 10:105-117.
- Berois, N, G Casanova y M Brauer. 2001. Contribución de los Abordajes Morfológicos al Estudio de la Biología de la Reproducción en Peces. *In: Nuevos Retos de la Docencia y la Investigación en Histología.* Uribe, AMC y M García Lorenzana (eds.) Sociedad Mexicana de Histología, A. C. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Borowsky, R and KD Kallman. 1976. Patterns of mating in natural populations of *Xiphophorus* (Pisces: Poeciliidae. I: *X. maculatus* from Belize and Mexico. *Ev.* 30:693-706.
- Burns, JR and JA Flores. 1981. Reproductive biology of the cuatro ojos, *Anableps dowi* (Pisces: Anablepidae), from El Salvador and its seasonal variations. *Copeia.* 1:25-32.
- Bush, GL. 1975. Modes of speciation. *In: Evolutionary Strategies of Parasitic Insects.* Price, PW (ed.). Plenum. London. pp 339-364.
- Callard, PI and S-M Ho. 1987. Vitellogenesis and Viviparity. *In: Fundamentals of Comparative Vertebrate Endocrinology.* Chester-Jones, I.; M. P. Ingleton and G. J. Phillips (eds.) Plenum Presss. New York. USA.
- Contreras-McBeath, T. 2005. Fish Conservation in México, with Emphasis in viviparous species. *In: Viviparous Fishes.* Uribe, MC and H Grier (eds.). New Life Publications. México.
- Constanz, J. 1989. Reproductive biology of the Poeciliid fishes. *In: Meffe, G. K. and F. F. Snelson* (eds.) *Ecology and evolution of livebearing fish (Poeciliidae).* Prentice Hall. New Jersey.
- Crim, LW y BD Glebe. 1990. *In: Schreck C. B. y P. B. Moyle* (eds.) *Methods for Fish Biology.* Capítulo 16. American Fisheries Society.

- de la Rosa, CG. 2001. Estructura ovárica del pez vivíparo *Ilyodon whitei* (Goodeidae) en distintas etapas larvárias. Tesis: Maestría en Ciencias (Biología Animal). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Díaz-Pardo y D Ortiz-Jiménez. 1986. Reproducción y ontogenia de *Girardinichtys viviparus* (Pisces: Goodeidae). Ann. Esc. nac. Cienc. biol. México. 30:45-66.
- Dominey, W. J. 1984. Effects of sexual selection and life history on speciation: species flocks in African Cichlids and Hawaiian *Drosophila*. In: Echelle, A. A. and I. Kornfield (eds.) 1984. Evolution of fish species flocks. University of Maine at Oronono Press.
- Eberhard, WMJ. 1989. Phenotypic plasticity and the origin of diversity. Ann. Rev. Ecol. Syst. 20:249-278.
- Echelle, AA and Kornfield I (eds.) 1984. Evolution of fish species flocks. University of Maine at Oronono Press.
- Espinosa-Pérez, H; P Fuentes-Mata, Ma T Gaspar-Dillanes and V Arenas. 1993. Notes on Mexican Ichthuofauna. In: Ramamoorthy, T. P.; R. Bye, A. Lot and J. Fa (eds.) Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution. Instituto de Biología. UNAM. Oxford University Press. USA.
- Guerrero, ESM. 2005. Estructura microscópica del ovario y la ovogénesis de dos especies de peces vivíparos: *Poeciliopsis gracilis* (Poeciliidae) y *Chapalichthys encaustus* (Goodeidae). Tesis: Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Experimental). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Greenfield, DW, TA Greenfield and SL Brinton. 1983. Spatial and trophic interactions between *Gambusia sexradiata* and *Gambusia puncticulata yucatanana* (Pisces: Poeciliidae) in Beliza, Central America. Copeia 3:598-607.
- Grier, H; MC Uribe, LR Parenti and de la Rosa-Cruz G. 2005. Fecundity, the Germinal Epithelium, and Folliculogenesis in Viviparous Fishes. In: Viviparous Fishes. Uribe, MC and H Grier (eds.). New Life Publications. México.
- Grier H. 2000. Ovarian germinal epithelium and folliculogenesis in the common snook, *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae). J. Morphol. 243:265-281.
- Hazelwood, LC; S Kasianis; J Richards; A Pedroza and W Ronald. 2002. The *Xiphophorus* genecitic stoch center. Abstracts, II International Symposium on Livebearing fishes. Querétaro, Querétaro, México.

- Hazkins, CP and EF Haskins. 1949. The role of sexual selection as an isolating mechanism in three species of poeliid fishes. *Ev.* 3:160-169.
- Hogarth, PJ. 1976. Viviparity. *Studies in Biology* 75. The Camelot Press Ltd. Southampton. Great Britain.
- Hubbs, C and LA Dries. 2002. Geographic variation in interbrood interval in *Poecilia*. *In*: Lozano-Vilano, M. (ed.) 2002. Libro Jubilar en honor al Dr. Salvador Contreras Balderas. Universidad Autónoma de Nuevo León/ Facultad de Ciencias Biológicas. Monterrey, México.
- Kinenberg, K; B Korsgaard and P Bjerregaard. 2000. Concentration-dependent effects of nonylphenol on testis structure in adult platyfish *Xiphophorus maculatus*. *Mar. Env. Res.* 50:169-173.
- Kornfield-Schor, N and T Dayan. 2003. Partitioning of time as ecological resource. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34:153-181.
- Martínez-Leyva, AA. 2002. Comparación de algunas características de la historia de vida de *Heterandria bimaculata* (Pisces: Poeciliidae) en dos localidades del Estado de Hidalgo. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Mattheus, WJ. 1998. Patterns in freshwater fish ecology. Chapman & Hall. USA.
- Meffe, GK and Snelson, FF (eds). 1989 Ecology and evolution of livebearing fish (Poeciliidae). Prentice Hall. New Jersey.
- Meffe, GK and RC Vrijenhoek. 1981. Starvation stress and intraovarian cannibalism in livebearers (Atheriniformes: Poeciliidae). *Copeia* 702-705.
- Milton, DA and AH. 1983. Reproductive biology of *Gambusia affinis holbrooki* Baird and Girard, *Xiphophorus helleri* (Günther) and *X. maculatus* (Heckel) (Pisces: Poeciliidae) in Queensland Australia. *J. Fish Biol.* 23:23-41.
- Morales, GE. 1999. Estrategias de ciclo de vida: ecología y evolución. *In*: La evolución biológica. Núñez-Farfán, J. y L. E. Eguiarte (Compiladores). UNAM. México.
- Moyle, BP and JJ Cech Jr. 1996. Fishes. An Introduction to Ichthyology. 3rd edition. Prentice-Hall, Inc., USA.
- Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies de flora y fauna silvestres de México-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

- Parenti, L and M Rauchenberger. 1989. Systematic overview of the Poeciliines. *In: Meffe, G. K. and Snelson, F. F (eds). 1989. Ecology and evolution of livebearing fish (Poeciliidae). Prentice Hall. New Jersey.*
- Patiño, R and F Takashima. 1995. Gonads. *In: Takashima, F and T Hibiya (eds). 1995. An Atlas of Fish Histology. 2nd ed. Tokyo, Japan.*
- Potter, H and CR Kramer. 2000. Ultrastructural observations on sperm storage in the ovary of the platyfish, *Xiphophorus maculatus* (Teleostei: Poeciliidae): The role of the duct epithelium. *J. Morph. 245:110-129.*
- Prophet, BE; B Mills; JB Arrington y LH Sobin. 1992. Métodos Histotecnológicos. Instituto de Patología de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos de América (AFIP).
- Rauchenberger, M; K. D Kallman and DC Moorizot. 1990. Monophyly and geography of the Río Pánuco basin swordtails (Genus *Xiphophorus*) with descriptions of four new species. *Am. Mus. Novit. 2975:1-14.*
- Reznik, DN. 1989. Life-history evolution in guppies: 2. Repeatability of field observations and the effects of season on life histories. *Evolution 43:1285-1297.*
- Reznik, DN and DB Miles. 1989. Reviw of life history patterns in Poeciliids fishes. *In: Meffe, G. K. and F. F. Snelson (eds.) Ecology and evolution of livebearing fish (Poeciliidae). Prentice Hall. New Jersey.*
- Rosen, DE. 1979. *In: Rauchenberger, M; K. D Kallman and DC Moorizot. 1990. Monophyly and geography of the Río Pánuco basin swordtails (Genus Xiphophorus) with descriptions of four new species. Am. Mus. Novit. 2975:1-14.*
- Rosen, DE and RM Bailey. 1963. The poeciliid fishes (Cyprinodontiformes), their structure, zoogeography, and systematics. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist. 126: 1-176.*
- Skúlason , S; SS Snorrason; DLG Noakes and MM Ferguson. 1996. Genetic basis of life history variations among sympatric morphs al Arctic char, *Salvelinus alpinus*. *Ca. J. Fish. Aquat. Sci. 53:1807-1813.*
- Smith, SL. 1991. Introduction to fish Physiology. Argent Chemical Laboratories 256-280 pp.
- Soria-Barreto, M. 2005. Estructura de la Ictiofauna del río Atlapexco, Hgo. Tesis: Maestría. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Stearns, SC. 1992. The evolution of life histories. Oxford University Press. USA.

- Stearns, SC and RF Hoekstra. 2000. *Evolution. An introduction*. Oxford University Press. USA.
- Tamaru, SC; B Cole; R Bailey; C Brown and H Ako. 2001. *A Manual for Commercial Production of the Swordtail, *Xiphophorus helleri**. University of Hawaii Sea Grant Extension Service School of Ocean Earth Science and Technology CTSA Publication Number 128. Hawaii, USA.
- Tavolga, WN. 1949. Embryonic Development of the platyfish (*Platypoecilus*), the swordtail (*Xiphophorus*), and their hybrids. *Am. Mus. Nat. His.* 94 Article 4: 161-230.
- Thibault, RE and RJ Schultz. 1978. Reproductive adaptations among viviparous fishes (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). *Evolution* 32:320-333.
- Turner, CL. 1933. Viviparity superimposed upon ovo-viviparity in the Goodeidae, a family of Cyprinodont Teleost fishes of the Mexican Plateau. *Journal of Morphology.* 55:207-251.
- Turner, CL. 1947. Viviparity in teleost fishes. *Sc. Month.* 65:508-518.
- Uribe, AMC. 2001. Diversidad Morfológica de los Sistemas Reproductivos de vertebrados. *In: Nuevos Retos de la Docencia y la Investigación en Histología*. Uribe, AMC y M García Lorenzana (eds.) Sociedad Mexicana de Histología, A. C. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Uribe, MC; De la Rosa, G; Guerrero, SM; García Alarcón, A y Aguilar, ME. 2004. Estructura del ovario de teleósteos vivíparous. Gestación intraovárica: intraluminal en *Ilyodon whitei* (goodeidae), e intrafolicular en *Poeciliopsis gracilis* (Poeciliidae). En: Lozano Vilano, ML y Contreras Balderas, AJ (eds). *Homenaje al Doctor Andrés Reséndez Medina*, UANL. México. pp: 31-45.
- Vargas, M y A De Sostoa. 1996. Life history of *Gambusia holbrooki* (Pisces: Poeciliidae) in the Elbro Delta (NE Iberian Peninsula). *Hydrobiologia.* 341:215-224.
- Vallowe, HH. 1953. Some physiological aspects of reproduction in *Xiphophorus maculatus*. *Biol. Bull.* 104, 240-249.
- Van Doorn, GS; U Dieckmann and FJ Weissing. 2004. Sympatric speciation by sexual selection: a critical reevaluation. *Am. Nat.* 163:709-725.
- Waters, EW and DC Erman. 1990. *Research Methods: Concept and Design*. *In: Schreck CB y PB. Moyle (eds.) Methods for Fish Biology*. Capítulo 16. American Fisheries Society.
- Wootton, JR. 1990. *Ecology of Teleost Fishes*. Fish and Fisheries Series 1. Chapman & Hall. USA.

Wourms, PJ 1981. Viviparity: The Maternal-Fetal Relationship in Fishes. *Am. Zool.* 21:473-515.

Wourms, PJ and J Lombardi. 1992. Reflections on the evolution of piscine viviparity. *Am. Zool.* 32:276-293.

Wootton, JR. 1984. Introduction: Tactics and strategies in fish reproduction. 1-12 pp. *In* Potts, W. G. and Wootton, J. R. Editors. *Fish reproduction: Strategies and tactics*. Academic Press. Great Britain.

Zar, JH. 1996. *Biostatistical analysis*. 3rd edition. Prentice Hall. New Jersey.

Anexo 1.

Jul-03 / Inicio de lluvias						
Especies	Río Atlapexco	Puente Calnalí	Río Calnalí	Río Tula	Arroyo Tenango	Totales
<i>Xiphophorus birchmanni</i>	4	27	14			45
<i>Xiphophorus cortezi</i>				3		3
<i>Xiphophorus malinche</i>						0
						48

Nov-03 / Inicio del estiaje						
Especies	Río Atlapexco	Puente Calnalí	Río Calnalí	Río Tula	Arroyo Tenango	Totales
<i>Xiphophorus birchmanni</i>		84		11		95
<i>Xiphophorus cortezi</i>	10				4	14
<i>Xiphophorus malinche</i>						0
						109

Feb-04 / Estiaje						
Especies	Río Atlapexco	Puente Calnalí	Río Calnalí	Río Tula	Arroyo Tenango	Totales
<i>Xiphophorus birchmanni</i>		119	20		10	149
<i>Xiphophorus cortezi</i>	14	5			2	21
<i>Xiphophorus malinche</i>		11				11
						181

Abr-04 / Fin de estiaje						
Especies	Río Atlapexco	Puente Calnalí	Río Calnalí	Río Tula	Arroyo Tenango	Totales
<i>Xiphophorus birchmanni</i>		7	16		17	40
<i>Xiphophorus cortezi</i>	16	14	15		28	73
<i>Xiphophorus malinche</i>		17	16		22	55
						168

Jul-04 / Lluvias						
Especies	Río Atlapexco	Puente Calnalí	Río Calnalí	Río Tula	Arroyo Tenango	Totales
<i>Xiphophorus birchmanni</i>	2	38	30	28	5	103
<i>Xiphophorus cortezi</i>	10	16	3		31	60
<i>Xiphophorus malinche</i>		7	25		11	43
						206

Anexo 2.

Promedios de datos morfométricos por temporada.

Temporada	<i>X. birchmanni</i>				<i>X. cortezi</i>				<i>X. malinche</i>			
	Lp (mm)		Peso (g)		Lp (mm)		Peso (g)		Lp (mm)		Peso (g)	
	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂
Inicio lluvias	35.57	35.81	1.25	1.29	41.27	---	2.17	---	---	---	---	---
	±4.89	±4.90	±0.54	±0.63	±0.88		±0.05					
Inicio estiaje	33.86	33.37	1.16	1.16	23.65	25.40	0.35	0.52	---	---	---	---
	±8.38	±7.36	±0.92	±0.81	±0.22	±3.70	±0.02	±0.18				
Estiaje	41.53	45.13	2.14	2.77	30.28	29.25	0.89	0.76	38.68	41.54	1.67	2.30
	±8.44	±7.10	±1.04	±1.21	±6.86	±3.10	±0.67	±0.19	±4.13	±7.76	±0.60	±1.16
Inicio lluvias	44.32	45.28	3.22	3.47	32.19	31.82	1.12	1.17	41.71	39.10	2.83	2.18
	±7.18	±8.16	±1.64	±2.24	±5.10	±7.17	±0.62	±0.84	±9.07	±8.60	±1.80	±1.26
Lluvias	39.39	45.28	2.78	3.47	35.27	37.97	1.81	2.01	35.60	34.75	1.68	1.66
	±11.18	±8.16	±2.19	±2.24	±10.60	±5.87	±1.35	±0.087	±6.45	±8.11	±0.97	±1.11
Promedios	38.93	40.97	2.11	2.43	31.02	24.89	1.13	0.89	38.66	38.46	2.06	2.05