

318111



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA

FACTORES LIMNOLÓGICOS Y ECOLÓGICOS ASOCIADOS A LA EXTINCIÓN DE LAS ESPECIES DE PECES *Skiffia francesae* y *Zoogoneticus tequila*.

TESIS



QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTORA EN CIENCIAS  
BIBLIOTECA INSTITUTO DE ECOLOGIA UNAM

DOCTORA EN CIENCIAS

P R E S E N T A

M. C. MARINA YOLANDA DE LA VEGA SALAZAR

DIRECTOR DE TESIS: DR. CONSTANTINO MACIAS GARCIA

MÉXICO. D. F.

MAYO, 2003





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MEXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
COORDINACIÓN

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez  
Director General de Administración Escolar, UNAM  
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 24 de febrero de 2003, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado del Doctorado en Ciencias del alumno(a) **Marina Yolanda De la Vega Salazar**, con número de cuenta 77217374 y número de expediente 30951052, con la tesis titulada: **"Factores limnológicos y ecológicos asociados a la extinción de las especies de peces *Skiffia francesae* y *Zoogoneticus*."**, bajo la dirección del (la) **Dr. Constantino Macías García**.

Presidente:	Dr. Rodolfo Dirzo Minjarez
Vocal:	Dr. Isaías Salgado Ugarte
Vocal:	Dra. Liliana Favari Perozzi
Vocal:	Dra. Eugenia López López
Secretario:	Dr. Constantino Macías García
Suplente:	Dra. Elva Escobar Briones
Suplente:	Dr. Javier Alcocer Durand

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., a 21 de abril de 2003

  
Dra. Tila María Pérez Ortiz  
Coordinadora del Programa

c.c.p. Expediente del interesado

**DEDICADO A MI MADRE**

**Y A TODAS LAS PERSONAS QUE ME  
HAN BRINDADO SU AFECTO**

## Agradecimientos

Deseo expresar mi aprecio a todos aquellos que me ayudaron en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a CONACyT por el financiamiento otorgado para la realización de esta investigación, por medio del proyecto 32005-N otorgado al Dr. Constantino Macías García, que hizo posible la realización de la misma.

Agradezco al Dr. Constantino Macías, al Dr. Rodolfo Dirzo, al Dr. Ignacio Méndez Ramírez y a la Dra. Guillermina Alcaraz por sus valiosas sugerencias en el desarrollo del proyecto. A los miembros del Jurado Dr. Rodolfo Dirzo, Dr. Isaías Salgado, Dra. Liliana Favari, Dra. Eugenia López, Dra. Elva Escobar y Dr. Javier Alcocer por sus útiles comentarios para mejorar este escrito, a la Dra. Eugenia López por su cooperación con los métodos analíticos. A los miembros del comité de candidatura Dr. Julio Lemus, Dra. Maria del Carmen Uribe, Dr. Guillermo Salgado, Dr. Isaías Salgado y Dra. Guillermina Alcaraz por su valioso tiempo y consejos.

En particular agradezco al Dr. Rodolfo Dirzo por sus valiosas sugerencias que ayudaron a mejorar el contenido de este texto, así como a su gran apoyo y consejos, y al Biólogo Edgar Galileo Avila Luna por su invaluable ayuda en el trabajo de campo e identificación de especies de peces.

Finalmente agradezco a mi madre Genny Salazar, a mis hermanos Ageo, Claudia, Isabel, Sandra, Leticia y Roberto, a mis sobrinas, Paulina, Leslie, Genny y Tamara, a Liliana Favari, Guadalupe Barajas y Vinni Madsen por su incondicional apoyo.

## RESUMEN

La biodiversidad en México se caracteriza por sus altos niveles de endemismos en diferentes taxa. Un taxón importante es la familia Goodeidae (Peces), constituida por 36 especies endémicas de México (subfamilia Goodeinae), las cuales se encuentran distribuidas en la zona central del país, que es la más poblada y contaminada a nivel nacional. Las poblaciones de varias especies de goodeidos están desapareciendo en la naturaleza y dos especies fueron recientemente consideradas como extintas, *Skiffia francesae* y *Zoogoneticus tequila*, ambas descritas de una localidad, el Río Teuchitlán en la cuenca del río Ameca, Jalisco. La evaluación cuidadosa del estatus de este taxon es el tema central de esta tesis.

Este estudio se enfoca en cinco aspectos: (1) Llevar a cabo la búsqueda exhaustiva, durante un año, de las dos especies reportadas como extintas, *Skiffia francesae* y *Zoogoneticus tequila* para confirmar su estado de conservación. (2) Determinar las características físicas y limnológicas asociadas a la composición y densidad de las poblaciones de peces, durante un año, en 14 localidades donde se ha referido la presencia de al menos una especie de los géneros *Skiffia* (cuatro especies) o *Zoogoneticus* (dos especies). Esto se hizo para establecer la relación de los factores ambientales y la composición de las especies de peces con la extirpación de las especies de interés central en este estudio, *Skiffia spp.* y *Zoogoneticus spp.* (3) Cuantificar la concentración de contaminantes, específicamente insecticidas y metales pesados, en muestras de agua y sedimento, colectadas en un muestreo puntual (época de secas), en las catorce localidades estudiadas. Esto se hizo con el fin de determinar la relación entre la presencia de contaminantes y la extirpación de especies. (4) Determinar el ensamblaje de peces durante un año (2000 – 2001) y comparar con registros previos, generados a lo largo de 50 años, con el fin de evaluar el efecto de los factores estocásticos, determinísticos y biogeográficos en los cambios históricos de los ensamblajes de peces. Este análisis se planeó

como base para entender los patrones de extinción en el contexto de la comunidad de peces en un sitio seleccionado, la cabecera del Río Teuchitlán. (5) Finalmente establecer el estado de conservación e identificar los riesgos que presentan los peces de la familia Goodeidae que habitan la Mesa Central de México, evaluando la disminución en el número de localidades y el área de distribución, e incorporando una descripción limnológica en 53 localidades. Esta evaluación incluyó una comparación de las colecciones actuales con los registros históricos de la distribución de especies de goodeidos.

Los resultados sobresalientes se enumeran enseguida.

Se encontró una pequeña población de la especie considerada extinta *Zoogoneticus tequila*, pero no se encontró *Skiffia francesae*.

Los estudios de campo y los análisis estadísticos (de componentes principales y de varianza) de las características físicas y limnológicas sugieren que la eutroficación y la fragmentación del hábitat son los principales factores de riesgo para las especies de goodeidos, causando el confinamiento de las especies nativas a manantiales.

El análisis de los contaminantes evaluados indicó que éstos no constituyen un factor de riesgo preponderante al cual se adjudique la extinción local de las especies estudiadas.

El estudio detallado de la cabecera del Río Teuchitlán muestra una constelación de factores actuales e históricos que contribuyeron a incrementar el riesgo de extinción de estos peces. En 1955 se construyó el embalse La Vega en el Río Teuchitlán, causando la degradación y reducción del hábitat por la invasión con *Eichornia crassipes*. En consecuencia, la mayoría de las especies nativas fueron restringidas a los manantiales de la cabecera del río, el cual fue subsecuentemente fragmentado por la construcción de un balneario.

Antes de las primeras introducciones de peces exóticos, en 1978, el ensamblaje de peces en el Río Teuchitlán estaba compuesto de trece especies nativas, representando a cinco familias,

y la familia goodeidae estaba representada con ocho especies. Los cambios antropogénicos que incluyen fragmentación e introducción de especies exóticas principalmente, causaron un severo empobrecimiento del ensamblaje de peces con una pérdida del 35.7% de todas las especies y el 64.3 % de las especies nativas, incluyendo la extinción en la naturaleza de *Skiffia francesae*. Actualmente el ensamblaje de peces está formado por cinco especies nativas y cuatro especies exóticas. Cada fragmento en la cabecera del río Teuchitlán tiene un número de especies que es proporcional a su área. En los manantiales hay poblaciones substanciales de especies nativas, mientras que las exóticas son la fauna dominante en las pozas.

Un análisis de componentes principales de las variables limnológicas indicó que la mayoría de las especies de goodeidos habitan localidades caracterizadas por tener poca degradación ambiental, y sólo pocas especies parecen tener elevada tolerancia a la degradación ambiental. Los resultados de la disminución histórica de localidades y del área de distribución sugieren que el estado de conservación de las especies (de acuerdo con los criterios de la IUCN) es el siguiente: una especie está extinta (*Allotoca catarinae*), una especie está extinta en la naturaleza (*Skiffia francesae*), ocho están en peligro crítico (*Allotoca goslinei*, *A. regalis*, *A. Zacapuensis*, *Hubbsina turneri*, *Characodon audax*, *Ameca splendens*, *Allodontichthys hubbsi* y *Zoogoneticus tequila*), once están en peligro, ocho se consideran como vulnerables, cuatro se pueden considerar en riesgo próximo y sólo dos parecen no enfrentar ningún riesgo.

En conclusión, encontré que la pérdida de hábitat, la introducción de especies exóticas de peces, el ámbito geográfico restringido, la especialización ecológica de las especies y el nivel trófico son los principales factores de riesgo de extinción para las especies estudiadas de la familia Goodeidae. La supervivencia de este grupo requiere acciones manifiestas de conservación.



**ABSTRACT**

Mexican biodiversity is characterised by high levels of endemism in several taxa. An important endemic taxon is the Goodeidae family (Pisces). It consists of around 36 species distributed in the high plateau of Central Mexico (subfamily Goodeinae), which is also the most heavily populated and polluted area in the country. Populations of several species of Goodeids are declining in the wild and two species have recently been considered as extinct: *Skiffia francesae* and *Zoogoneticus tequila*. These species were described from the same type locality, the Teuchitlan River in the Ameca basin in Jalisco State. Careful evaluation of the status of this taxon, is the central aim of this study. This work focused on five aspects: (1) To conduct an exhaustive search for the two species reported as extinct, *Skiffia francesae* and *Zoogoneticus tequila*, during a year, in order to confirm their conservation status. (2) To determine physical and limnological characteristics, associated to the density and composition of fish populations, during one year, in fourteen localities where species of the genera *Skiffia* (four species) and *Zoogoneticus* (two species) had been reported. This search was made to establish the relationship of environmental factors and fish species composition with the extirpation of the *Skiffia spp.* and *Zoogoneticus spp.* (3) To quantify the contaminants concentration, organophosphorous pesticides and heavy metals specifically, in water and mud samples collected once in the dry season from the fourteen localities studied. This research was made in order to determine the relationship between contaminants concentration and species extirpation. (4) To understand the fish assemblage during one year (2000 -2001) and to compare with previous reports obtained during 50 years in order to evaluate the effect of deterministic, stochastic and biogeographic factors on historic changes of fish assemblages. This survey was made in order to understand the threats of extinction in the community context, in one selected locality, the headwaters of the Teuchitlán River. (5) Finally, to

establish the conservation status and to identify the threats for the Goodeidae that inhabited the high plateau in Mexico, through the evaluation of the amount of reduction in the number of localities and the distribution area, and the limnological description in 53 localities. This assessment included the comparison of current collections with historical records of localities and distribution of goodeids.

The main results are the following:

I found an extremely small population of *Zoogoneticus tequila*; in contrast, *Skiffia francesae* was not found.

Field data and statistical analyses (principal component analysis and ANOVA's) of limnological characteristics suggest eutrophication and habitat fragmentation are the main threats to the species studied, driving the confinement of native species into springs.

The quantification of contaminants suggests that these do not constitute a major threat factor leading to the extinction for the studied species.

My detailed study of the headwaters of the Teuchitlán River (TR) shows a constellation of current and historical factors leading to the threat or extinction of these fishes. The establishment of la Vega Dam in the TR resulted in the invasion by *Eichhornia crassipes*, which caused a reduction of suitable habitat. Several native species were then restricted to the headwaters, which were subsequently fragmented by the building of a spa. Before the introduction of exotic fish, first recorded in 1978, TR used to harbour thirteen native species, representing five families, with the Goodeidae being represented by eight species, including three endemic species. The anthropogenic changes in TR, that includes fragmentation and introduction of exotic fish species, caused a severe depauperation of the fish assemblage, with a loss of 35.7% of all fish species, and 64.3% of native fish species, including the extinction in the wild of *Skiffia francesae*. Currently the depauperate assemblage is formed by five

native and four introduced species. In the springs there are substantial populations of native fish, while exotics are the dominant fauna in the ponds. I found that each fragment in the TR holds a number of species proportional to its area.

A principal component analysis of limnological variables showed that most remnant goodeid species inhabit localities characterised by low environmental degradation, while only a few of the species appear to have high tolerance to environmental degradation. The results of the reduction in localities and distribution area, suggest that one species is extinct (*Allotoca catarinae*), one is extinct in the wild (*Skiffia francesae*), eight are critically endangered (*Allotoca goslinei*, *A. regalis*, *Hubbsina turneri*, *Characodon audax*, *Ameca splendens*, *Hubbsina turneri*, *Allodontichthys hubbsi* and *Zoogoneticus tequila*), eleven are endangered, eight can be regarded as vulnerable, four appear near threatened and only two appear to be species under least concern.

In conclusion, habitat loss, introduction of exotic fish species, species with restricted physiographic range, species ecologically specialised and trophic level, are the main factors leading to the threat of extinction of the Goodeidae family. It is necessary to take recovery actions for the conservation of this taxon.

## INTRODUCCION

### **Orígenes de la ictiofauna mexicana**

La orografía del país se ha formado en el transcurso de las últimas eras geológicas, manifestándose en importantes plegamientos y varias depresiones, que se iniciaron en el periodo cretáceo de la era mesozoica y continuaron su proceso formativo hasta el periodo plioceno de la era cenozoica. Movimientos orogénicos posteriores, registrados dentro de la era cenozoica, dieron origen a la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental y a la Sierra Septentrional de Chiapas. El eje Neovolcánico se formó también dentro de esta era como consecuencia de una fractura del relieve formando la frontera de dos regiones, la Neártica y la Neotropical. Al norte del eje Neovolcánico quedaron marcadas varias depresiones que sirvieron de lecho a los lagos del centro de México, formando lo que se denominó la provincia del Lerma- Chapala- Santiago que también delimitan la distribución geográfica de las familias que alojan los peces más representativos de la fauna dulceacuícola de México (De Buen 1947, Tamayo 1962, Barbour 1973).

La fauna dulceacuícola en México es excepcionalmente rica, principalmente por sus altos niveles de endemismos. 506 especies, es decir 6% de las especies conocidas en el planeta, y de ellas 163 especies (32%) son Endémicas de México. Con la quinta parte del área continental de Estados Unidos, México posee una fauna rica y diversificada, compuesta de 506 especies en 47 familias. Esto representa cerca del 60% de las especies de América del Norte (CONABIO 2000).

La historia geológica de México en especial la de la Mesa Central ha tenido un profundo efecto en la composición de su fauna característica. La cuenca del Lerma- Chapala- Santiago, debido a su situación geográfica en el centro del país, goza de características especiales, conducentes al endemismo, incluyendo su precisa delimitación volcánica, una

compleja historia geológica, gran variación altimétrica, climatológica y sismológica. La región fue inicialmente colonizada por especies ancestrales (el goodeido *Tapatia occidentalis* y la especie del género *Chostoma*), y las continuas alteraciones del ambiente acuático por vulcanismos y creación de montañas, crearon las condiciones para el aislamiento geográfico de las poblaciones favoreciendo la especiación, produciendo endemismos a niveles de familia, género y especie (Miller 1986).

Los peces dulceacuícolas son muy útiles en la zoogeografía, ya que son incapaces de escapar de los sistemas de las cuencas en que hallan confinados. Solo pueden dispersarse cuando ocurren cambios fisiográficos o anastomosis de ríos, de tal manera que en general conservan los viejos modelos de distribución. La existencia de cuencas aisladas pero pobladas por especies que indudablemente pertenecen a la fauna Lermense, hace pensar que la cuenca del Lerma tuvo fisonomía o estructura geográfica diferente a la actual (De Buen 1946, De Buen 1947, Tamayo 1962).

El lago de Chapala, ubicado en Jalisco, es el embalse más grande de México, y de acuerdo con la fisiografía del centro del Estado de Jalisco, se deduce que existió un lago mayor, cuya extensión abarcaba otras depresiones estructuralmente relacionadas, que coincidían también con la presencia de otras grandes cuencas lacustres asociadas al Eje Neovolcánico. Esto se confirma también con el patrón de distribución regional de los peces de la familia Atherinidae (De Buen 1947, Barbour 1973).

Probablemente durante el Plioceno tardío, se perdieron las conexiones entre el Río Lerma y el Valle de México y los llanos de Puebla, con la captura de la región norte y este del Valle de México por la cabecera del Río San Juan del Río y Tula (cuenca del Pánuco), y la captura de una porción de la Mesa Central en la cuenca de Ameca. Estos aislamiento parece haber favorecido el florecimiento de las especies nativas de los diferentes grupos.

La fauna ictiológica de la cuenca del Río Lerma-Santiago está formada principalmente por un ensamble autóctono con especies típicas y exclusivamente mexicanas, formado de 56 especies exclusivas, repartidas en seis familias, la mayoría de las familias Atherinidae, Goodeidae, Cyprinidae, y Poecilidae (De Buen 1947, Miller 1986). En la tabla 1 se muestra el grado de endemismo de las familias de peces en la Mesa Central de México. La tabla 1 hace evidente que la cuenca del Lerma Santiago es la más rica en endemismos, con 6 especies, y que por otra parte la familia Goodeidae es la más rica en endemismos, con una manifestación sobresaliente en las cuencas del Lerma Santiago y Ameca. Esto resalta la importancia ecológica y de conservación del sistema de estudio elegido en este trabajo.

Tabla 1. Número de especies endémicas por familia, en las principales cuencas de la mesa central de México.

FAMILIA	Lerma-Santiago	Balsas	Pánuco	Ameca	Nazas	Mezquital	Coahuayana Armeria	Valle de México
Goodeidae	16	3	1	6	1	2	5	1
Ameiuridae	1	2	1	-	-	1	-	-
Atherinidae	18	1	-	-	-	1	-	4
Catostomidae	-	-	1	-	2	2	-	-
Characidae	-	1	-	-	1	-	-	-
Ciclidae	-	2	4	-	-	-	-	-
Cyprinidae	8	1	3	1	7	3	-	2
Persidae	-	-	-	-	1	1	-	-
Poecilidae	2	4	5	-	-	-	-	-

### **Ecosistemas dulceacuícolas**

Los ecosistemas dulceacuícolas se pueden considerar como hábitats aislados que son severamente sobreexplotados y degradados, Estos son sistemas muy diversos, que varían en gran medida en la forma, el tamaño, la composición del sustrato, la dinámica de intercambio de agua, y su biota. En ellos concurren muchos factores y procesos, la mayoría

de ellos interrelacionados y dependientes unos de otros, dando como resultado un amplio espectro de ambientes (Moss 1992, Paine 1986).

Los ecosistemas acuáticos expuestos al efecto de las actividades humanas presentan un marcado deterioro en la calidad del agua necesaria para el mantenimiento de organismos y comunidades acuáticas, debido a la contaminación de aguas superficiales con fertilizantes, detergentes, insecticidas, desperdicios industriales y desechos domésticos.

Uno de los problemas más obvios es la eutroficación de lagos y embalses artificiales. La eutroficación de un ecosistema es el resultado del incremento en la producción primaria por la adición de nutrientes. Sin embargo, otros aspectos del ecosistema son modificados, ya que se genera mucha materia orgánica que no es asimilada por los consumidores, contribuyendo a incrementar la demanda de oxígeno disuelto, y a la acumulación de productos de la respiración y de sedimentos (Okada 1992).

La construcción de embalses ha modificando las características hidrológicas que favorecen la acumulación de sedimentos y la eutroficación del sistema. Ello conduce además al aumento de temperatura, y a la disminución de oxígeno disuelto, condiciones que son ampliamente toleradas por las especies exóticas, pero hace inhabitables los cuerpos de agua para algunas especies de peces poco tolerante a los cambios ambientales (Shields *et al.* 1994).

Las plantas y animales ocupan exitosamente los ambientes naturales en virtud de sus adaptaciones, ya que cada especie cuenta con características biológicas y fisiológicas que les permiten sobrevivir de acuerdo a los factores físicos y químicos presentes en los diferentes ecosistemas. La tolerancia de las especies al medio cambia ampliamente entre organismos acuáticos (Reid y Wood 1976), por lo que es importante realizar estudios ecológicos que permitan conocer los factores críticos para la supervivencia de las especies.

Los cambios en las condiciones fisicoquímicas en muchos ecosistemas acuáticos pueden causar cambios en la composición de las especies. Cuando las condiciones ambientales no son adecuadas, las especies desaparecen localmente y en casos extremos enfrentan peligro de extinción. Debido a las actividades humanas, actualmente los estudios limnológicos incluyen el estudio de la calidad del agua con relación a su uso industrial y agrícola, la sobreexplotación de los recursos, la introducción de especies exóticas y la contaminación química. Dada la complejidad de los ecosistemas dulceacuícolas es difícil predecir el efecto de los contaminantes químicos, ya que el riesgo de los contaminantes depende no sólo de su toxicidad, sino también de la cantidad que es liberada al ambiente, su tendencia a dispersarse, su persistencia y la disponibilidad para los organismos (De la Vega-Salazar *et al.* 1999).

Los ecosistemas dulceacuícolas en México son especialmente vulnerables, debido a la sobreexplotación a que están sometidos. La fauna íctica del país está confinada a fragmentos aislados debido a la gran destrucción del hábitat. (Miller *et al.* 1989, Castro-Aguirre y Balart, 1993, Díaz Prado *et al.* 1993, Soto-Galera *et al.* 1999, López-López *et al.* 2001).

Desafortunadamente, hasta 1993, de las 506 especies de peces nativos, 149 se consideraban en peligro de extinción y al menos 21 especies se habían reportado como extintas (Miller *et al.* 1989, Castro-Aguirre y Balart, 1993). Considerando que se desconoce la situación real de la pérdida de la diversidad en algunas regiones, el primer paso en los planes de conservación exitosa de la biodiversidad es identificar a las especies que están en riesgo, y determinar cuáles son los factores que ponen a las especies en peligro.



Uno de los retos más apremiantes de la ecología actual es comprender en detalle los mecanismos que llevan a la extinción de especies. ¿Por qué en un ambiente dado unas especies prevalecen y otras, aparentemente equivalentes, se extinguen? Esta es una pregunta que se debe contestar como pre-requisito para elaborar programas de conservación que maximicen la riqueza biológica. La falta de antecedentes en las características limnológicas de muchos sistemas acuáticos previos a la extinción de las especies, dificulta el análisis de las posibles causas de su extinción. Sin embargo se reconocen varios factores asociados a la extinción de las especies.

### **Causas de extinción de especies**

Una especie se considera extinta cuando todos los individuos mueren sin producir progenie. La extinción de especies es un proceso natural en el que desaparecen las especies menos adaptadas y persisten las especies mejor adaptadas. La extinción natural, a menos que sea catastrófica, no reduce la diversidad biológica. Cabe resaltar que las extinciones naturales son eventos raros a la escala de tiempo de la vida humana. De los cientos de extinciones de vertebrados que han ocurrido en los últimos siglos, pocas si es que algunas, han sido naturales (Flessa y Jablonski 1983, Soulé 1985, Wilson 1988, WCMC 1992, Meffe y Carroll 1997).

Las observaciones paleontológicas indican que las tasas de especiación y extinción se encuentran relacionadas. La tasa de especiación es una medida de cómo aparecen muchas nuevas especies en un intervalo de tiempo. La vasta diversidad de la biota moderna refleja un ligero exceso de especiación sobre la extinción (Gombridge 1982, Sepkoski 1998).

El tamaño de la población y la distribución de las especies están íntimamente asociados con los patrones predominantes de especiación y extinción. Las características que pueden promover especiación, son el aislamiento geográfico de las poblaciones y poblaciones con

números reducidos de individuos, también pueden promover la extinción (Sepkoski 1998). Se ha intentado explicar cómo las tasas relativas de especiación y extinción varían en una población de tamaño promedio entre las especies. Hay variaciones en la mayoría de los grupos taxonómicos que son correlacionadas al tiempo, geografía, clima y estrategias de historias de vida. Por ejemplo el hecho de que los taxa que tienen mayor habilidad para dispersarse, mantienen poblaciones abundantes y ampliamente distribuidas y tienen mayor capacidad de mantener el flujo génico entre poblaciones, que tiende a inhibir la especiación y extinción (Jablonski y Raup 1995, Gaston 1998, Sepkoski 1998, Lande 1999, Gaston *et al.* 2000, Lockwood 2003).

La especiación tiende a generar gran número de especies con tamaños poblacionales muy reducidos y la extinción es probablemente mayor para las especies en estas condiciones, y solo las especies que poseen estrategias que reducen su vulnerabilidad a la extinción persisten a tamaños pequeños (Gaston 1998).

Simberloff (1974) y Soulé (1985) han planteado que se requiere un tamaño mínimo de la población para prevenir extinciones, y que a menudo está aparejado a un área mínima, por lo que una superficie del hábitat reducida y un incremento en el aislamiento (insularización) son importantes en determinar la extinción. Si, además, las relaciones intra e interespecíficas son consecuencia de una dinámica de metapoblación, una reducción en el tamaño del hábitat que, aunque sea pequeña, aumente el aislamiento de los parches remanentes, puede tener un efecto negativo mayor en el tamaño de la población que la reducción equivalente en el área del hábitat.

El conocimiento de los patrones de extinción a través del tiempo geológico esta basado en el análisis de registros fósiles. Estos registros fósiles indican que las tasas de extinción no han sido constantes a través del tiempo. Al rededor del 60% de las extinciones han ocurrido

en un número relativamente corto de episodios. El periodo más lejano que se tiene evidencia de una gran pérdida de diversidad fue el Precámbrico, hace al rededor de hace 700 millones de años, sin embargo el registro de fósil del Precámbrico es incompleto para seguir un análisis detallado.

El registro fósil del Paleozoico (del Cámbrico al presente) es mucho más detallado. Durante éste tiempo han habido cinco eventos con registros de extinción excepcionalmente altos (extinción en masa), durante los periodos Ordovícico, Devónico, Pérmico, Triásico y Cretáceo. La causa de éstos eventos ha sido sujeta de mucho debate y estudio. Parecen estar asociados con cambios geológicos rápidos y cambios físico globales, incluida la formación del supercontinente Pangea, cambios climáticos, transgresión marina tectónicamente inducida e incremento en la actividad volcánica (Gombridge 1982, Flessa y Jablonski 1983, Jablonski 1986, WCMC 1992). Jablonski (1986) sugirió que la extinción en masa se distingue de la extinción “normal” en que la extinción en masa es aquella que afecta un amplio rango de tipos adaptativos, grupos taxonómicos y áreas geográficas.

Ehrlich y Erlich (1984) estimaron que los niveles actuales de extinción son 40 veces más altos que la extinción normal y pueden aumentar a 400 veces en este siglo, además los modelos biológicos de especiación y los registros paleontológicos, indican que las tasas actuales de especiación están declinando por debajo de las tasas de extinción entre taxa (Sepkoski 1998).

La mayoría de las extinciones registradas recientemente han sido atribuidas a las actividades humanas (Soulé 1985, Williams et al 1989, Moyle y Williams 1990, Friser 1993, Angermeier 1995, Jablonski y Raup 1995). Factores como la degradación y fragmentación del hábitat, competencia con especies introducidas y contaminación han sido implicados en el declive de las poblaciones naturales. Para muchas especies aisladas, la

pérdida de condiciones ambientales adecuadas dentro de su intervalo de tolerancia ha resultado en la extinción de especies (Simberloff y Abele 1982, Thomas 1994).

Los peces han sido más fuertemente afectados por factores artificiales que por factores naturales. La mayoría de las extinciones que se han documentado recientemente, están relacionadas a la pérdida o modificación del hábitat, introducción de especies, contaminación y sobreexplotación (Miller *et al.* 1989, Williams *et al.* 1989, Renthall y Stiassny 1990, Frissell 1993, Angermeier 1995). La capacidad de adaptarse a situaciones artificiales, varía de taxon a taxon, pero es notable que pocos taxa que viven en embalses u otros habitats artificiales, siguen siendo abundantes (Moyle y Williams 1990, Renthall y Stiassny 1990, Angermeier 1995).

La pérdida de especies es solo un componente de la pérdida de biodiversidad. La diversidad genética, la base para los cambios evolutivos y adaptaciones y la diversidad de poblaciones, resultado de adaptaciones locales también se están perdiendo a tasas elevadas (Meffe y Carroll 1997).

Se cree que dos procesos son los que afectan la dinámica de las poblaciones y son los mecanismos fundamentales de la extinción de especies:

1) Los procesos determinísticos (relación causa-efecto), como glaciaciones o intervención humana directa tal como la destrucción del hábitat o la introducción de especies exóticas. Estas invasiones pueden disminuir la diversidad, especialmente si se trata de especies de talla grande, especies en la parte alta de la cadena trófica, o generalistas, ya que pueden ser depredadores de las especies nativas, producen cambios a nivel trófico y pueden llevar parásitos asociados. Tales especies generalmente no tienen competidores ni depredadores naturales por lo que pueden desplazar fácilmente a las especies nativas (Ehrlich *et al.* 1984).

La mayor causa de las extinciones determinísticas es por la destrucción de los ecosistemas naturales a través de diversas actividades humanas como la agricultura, expansión de poblaciones humanas que demandan espacios y servicios, y que generan contaminación con desechos industriales y domésticos.

2) Procesos estocásticos (cambios o eventos al azar), que pueden actuar independientemente o influir en los procesos determinísticos. Se distinguen cuatro tipos de procesos estocásticos.

-Incertidumbre demográfica. Resulta de eventos al azar en la supervivencia y reproducción de la especie; es solo peligrosa para poblaciones relativamente pequeñas (Shaffer 1987).

-Incertidumbre ambiental. Debida a cambios en el clima, en el suministro de alimento, en enfermedades y competidores de las poblaciones, y en las poblaciones de depredadores o parásitos (Shaffer 1987).

-Catástrofes naturales. Inundaciones, incendios, sequías (Shaffer 1987).

- Incertidumbre genética. Muchas especies se encuentran en peligro debido a que su banco genético ha sido severamente reducido a través de la eliminación de la mayoría de sus poblaciones, perdiendo la capacidad de adaptarse a nuevas enfermedades y otros riesgos ambientales (Meffe y Carroll 1997).

### **PATRONES DE VULNERABILIDAD EN PECES**

La extinción de peces, como en otros casos puede ser probablemente el resultado de la acumulación de efectos por impacto antropogénico. La ecología de muchas especies no es bien conocida: éstas tienen gran variedad de formas de reproducirse, gran variación fenotípica y gran diferencia en la susceptibilidad a factores ambientales, lo que dificulta el análisis para establecer los patrones de vulnerabilidad de peces (Allendorf 1988). Sin embargo, la extinción de peces se asocia principalmente a las siguientes causas:

### **Construcción de Presas**

La construcción de presas propicia el aislamiento de las poblaciones y el desplazamiento del hábitat lótico, y es la principal causa de desaparición de especies migratorias, sin embargo también afecta a especies no migratorias porque pueden elevar las tasas de extinción local (Angermeier 1995, Shields *et al* 1994).

### **Intervalo fisiográfico limitado**

Las especies que ocupan pocas provincias fisiográficas presentan mayor probabilidad de extinción. Para especies con distribución geográfica muy reducida (menos de 10 Km), la vulnerabilidad es exacerbada por la amenaza de eventos catastróficos naturales o antropogénicos (Angermeier 1995, Jablonski y Raup 1995, IUCN 2001).

### **Grado de especialización**

Las especies que se encuentran distribuidas en una sola fisiografía o tipo de hábitat, debido a que están más especializadas a factores asociados con el alimento, la hidrología, la composición del sustrato, la química del agua, o régimen de temperatura, tienden a ser extirpadas más frecuentemente que las especies generalistas. Las especies especialistas pueden ser vulnerables a cambios sucesionales en hábitats fragmentados, por el colapso en relaciones mutualistas o redes alimenticias. Cualquier alteración del hábitat principalmente por impacto antropogénico puede causar la extinción de las poblaciones (Angermeier 1995).

### **Talla**

Al contrario de lo que ocurre con otros vertebrados, especies de tamaño pequeño son más propensas a la extinción. Esto ha sido atribuido a que las especies pequeñas tienen una menor capacidad que las grandes de dispersarse o recolonizar a grandes distancias (Angermeier 1995).

### **Insularización**

El efecto de la reducción del área y el mayor aislamiento en que se encuentran los fragmentos de hábitat, reduce la tasa de migración, además de que fragmentos pequeños soportan pocos individuos. Consecuentemente, eventos estocásticos demográficos eventualmente pueden conducir a la desaparición local de las especies (i.e., extirpación). Cualquier impacto antropogénico parece reducir significativamente las poblaciones, y si el impacto se mantiene, la extinción (i.e., a nivel global) es inminente (Thomas 1994, Angermeier 1995).

Varias consecuencias genéticas asociadas al aislamiento parecen incluir las siguientes: (1) Divergencia local vía selección natural o recambio genético (2) Poco o ningún flujo genético con la pérdida moderada de variabilidad genética entre las poblaciones y (3) poca o ninguna posibilidad de recolonizar hábitats aislados después de extinciones locales; resultando en la segregación de las poblaciones que enfrentan la amenaza de no poder preservar la diversidad genética (Meffe y Vrijenhoek 1988).

### **Selección Sexual**

La selección sexual tiende a favorecer cualquier modificación que aumente la atracción de un sexo por otro. Las características sexuales secundarias son típicamente estructuras que incrementan la probabilidad de obtener parejas reproductivas. El desarrollo de ornamentos en machos representa costos elevados por diversos factores. La magnitud y desarrollo de los ornamentos se ha asociado a la producción de testosterona que puede comprometer el sistema inmune de los machos (Folsted v Karter 1992). El dimorfismo sexual permite la depredación diferencial por sexo con un incremento en la mortalidad de machos. En consecuencia, las preferencias de apareamiento de las hembras se relajan cuando los machos son escasos. El sistema de apareamiento de las poblaciones describe la relación

entre sexos y el número de parejas atraídas por los miembros de cada sexo. Para un número dado de adultos sexualmente maduros, potencialmente reproductivos, idealmente la mayor diversidad genética se mantiene cuando todos los individuos se reproducen y son igualmente exitosos. En sistemas de apareamiento en los que se compete por la pareja se puede reducir el éxito reproductivo. El sistema de apareamiento puede crear diferencias en el tamaño real de la población y el tamaño efectivo de la población ( $N_e$ ) cuando algunos adultos son excluidos, como ocurre en sistemas poliginos o poliandrios, en los cuales el tamaño efectivo cae considerablemente en comparación con los sistemas monógamos o promiscuos. Dado que el tamaño efectivo de la población decrece como una función de la intensidad de la selección sexual, el número absoluto de individuos que pueden constituir una población viable aumenta. Es obvio que el sistema de apareamiento tiene un gran efecto en el tamaño efectivo de la población, al menos en la época de reproducción (Parker y Wayte 1997).

### **Factores de riesgo de la familia Goodeidae**

En la ictiofauna mexicana sobresale la presencia de la familia Goodeidae, característica de la Mesa Central, con 36 especies nativas. Los goodeidos son peces vivíparos que presentan gran variedad de historias de vida y morfología como resultado de su especialización, actualmente debido al impacto antropogénico, las condiciones ambientales son desfavorables para los organismos dulceacuícolas, por lo que muchas especies nativas de goodeidos han desaparecido localmente (Miller y Williams 1989, López-López *et al.* 1991, Webb y Miller 1998; Soto Galera *et al.* 1999, López-López *et al.* 2001).

Estudios realizados en el Río Teuchitlán, Jalisco, describen la presencia de especies endémicas de las familias Cyprinidae y Goodeidae (Miller y Fitzsimons 1971, Kingston 1978, Webb y Miller 1998, López-López *et al.* 2001). Esta última, está representada por



ocho especies, entre las que destacan las especies endémicas *Ameca splendens*, y *Zoogoneticus tequila*. Ambas especies son exclusivas de su localidad tipo. El Río Teuchitlán, el cual ha sido sometido a diversos deterioros entre los que sobresalen la construcción del embalse la Vega en 1955 y la introducción de especies exóticas. Esto ha causado el declive de las especies nativas (López- López et al. 2001, López- López *et al.* 2003), incluyendo la supuesta extinción en la vida silvestre de dos especies endémicas de Goodeidos, *Skiffia francesae* y *Zoogoneticus tequila* (Webb y Miller 1998). Sin embargo persisten especies de goodeidos, incluso del mismo género de una de las especies reportadas como extintas, junto con especies exóticas (Kingston 1978, Webb y Miller 1998), lo que hace a esta localidad un caso interesante de estudio para evaluar posibles causas de extinción de especies de Goodeidos.

## OBJETIVO

El objetivo de este estudio es evaluar el papel de los factores limnológicos, estocásticos, determinísticos y biogeográficos en la extinción de las especies de peces *Skiffia francesae* y *Zoogoneticus tequila*.

### Objetivos particulares

- 1.- Llevar a cabo la búsqueda exhaustiva, durante un año, de las dos especies reportadas como extintas, *Skiffia francesae* y *Zoogoneticus tequila*, para confirmar su estado de conservación.
- 2.- Determinar las características físicas y limnológicas y la composición y densidad de las poblaciones de peces, durante un año, en 14 localidades (Figura 1) donde se ha reportado la presencia de al menos una especie de los géneros *Skiffia* o *Zoogoneticus*. El objetivo de esto fue establecer la relación de los factores ambientales y la composición de las especies de peces con la extirpación de las especies de interés central en este estudio, *Skiffia spp.* y *Zoogoneticus spp.*
- 3.- Cuantificar la concentración de contaminantes, específicamente insecticidas y metales pesados, en muestras de agua y sedimento, colectadas en un muestreo puntual (época de secas), en las catorce localidades estudiadas. Esto se hizo con el fin de determinar la relación entre la presencia de contaminantes y la extirpación de especies.
- 4.- Determinar el ensamblaje de peces durante un año (2000 – 2001) y comparar con reportes previos, generados a lo largo de 50 años, con el fin de evaluar el efecto de los factores estocásticos, determinísticos y biogeográficos en los cambios históricos de los ensambles de peces. Este análisis se hizo como base para entender los riesgos de extinción en el contexto de la comunidad de peces en un sitio seleccionado, la cabecera del Río Teuchitlán.
- 5.- Establecer el estado de conservación e identificar los riesgos que presentan los peces de la familia Goodeidae que habitan la Mesa Central de México, evaluando la disminución en el número

de localidades y el área de distribución, e incorporando una descripción limnológica en 53 localidades. Esta evaluación incluyó una comparación de las colecciones actuales con registros históricos de la distribución de especies de goodeidos.

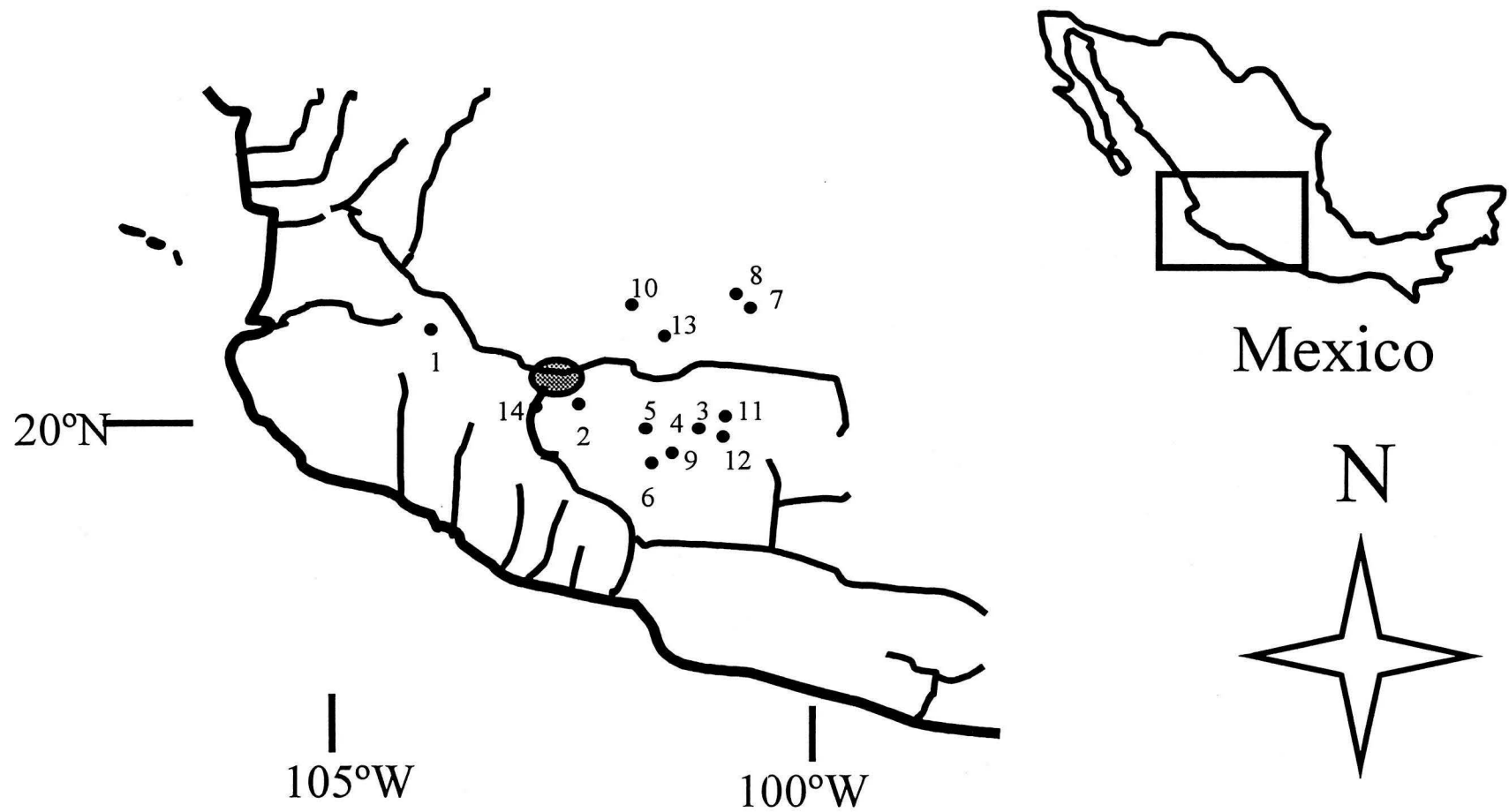


Figura 1. Localidades estudiadas: 1. Teuchitlán, 2.Orandino, 3.Mintzita, 4.Cointzio 5.Zacapu 6.Zirahuen, 7.La Laja Atotonilco, 8. La Laja Dolores Hidalgo, 9.M. Chapultepec, 10.San Francisco del Rincón 11.Alvaro Obregón., 12.Rio Grande de Morelia, 13.Rio Turbio, 14.Rio Santiago.

## **METODO**

En esta sección solamente describo los aspectos más generales de los métodos utilizados. En cada uno de los capítulos subsecuentes, preparados a manera de artículos, presento los detalles metodológicos correspondientes, (a menos que se trate de un artículo de revisión).

### **FACTORES AMBIENTALES**

- Características físicas de las localidades estudiadas.

Se determinaron los siguientes parámetros: Temperatura, la velocidad de la corriente de agua, la transparencia con el disco de Secchi, la profundidad, el tipo y área del hábitat.

- Parámetros limnológicos en las localidades estudiadas.

Se evaluaron los parámetros que permiten evaluar el grado de eutroficación como medida del deterioro ambiental: Oxígeno, pH, turbidez, concentración de nitratos, nitritos, amonio y fosfatos totales y clorofila.

- Acumulación de contaminantes.

Se cuantificó específicamente la concentración de insecticidas organofosforados y metales pesados (cobre, cadmio, plomo, arsénico y mercurio) en agua y sedimento, como medida de la contaminación, en las 14 localidades estudiadas.

### **COMPOSICION BIOTICA**

- Colecta de peces para determinar la riqueza específica y densidad de todas las especies de peces en los sitios de colecta.

Mediante el arrastre del chinchorro se colectaron los peces que viven en la orilla, empleando el mismo esfuerzo de colecta en todas las localidades estudiadas. Para colectar a los peces que no viven en la orilla, se colocó una red agallera durante 4 horas por la mañana. Los peces colectados se identificaron y contaron en el sitio de colecta.

- Riqueza específica y abundancia de plancton en las localidades estudiadas.

Se filtraron de 50 a 100 L de agua superficial, dependiendo del grado de eutroficación del cuerpo de agua, en cada una de las localidades estudiadas. Estas muestras se emplearon para realizar la identificación y conteo de fitoplancton y zooplancton.

- Cuantificar la dieta de las especies piscívoras que forrajean bajo el agua (peces y culebras).

Se colectaron los peces de mayor talla capturados con la red agallera, los cuales se identificaron, se registró su longitud y se obtuvo el contenido estomacal, para ser revisado posteriormente en el laboratorio. Se colectaron las culebras piscívoras, revisando 100 m de orilla del cuerpo de agua, a las culebras capturadas se les determinó sexo, longitud y se obtuvo el contenido estomacal.

Para este estudio se utilizó siempre el mismo método, lo que varió fue la forma de analizar los resultados de acuerdo con los objetivos planteados en cada caso.

Durante el desarrollo del estudio se revisaron otras localidades, principalmente debido a la búsqueda que se realizó para encontrar poblaciones de *Skiffia francesae*, *S. bilineata* y *Zoogoneticus quitzeoensis*, motivo por el cual se tenía información de la situación de otras especies de goodeidos, adicionales a las que formaban parte del estudio central, lo que motivó a realizar una evaluación de la situación de la mayoría de las especies de la familia, por lo que este estudio se extendió a un muestreo puntual en un número adicional de localidades con el fin de establecer el estado de conservación que presentan los peces de la familia Goodeidae que habitan la Mesa Central de México. Para ello se evaluaron los mismos factores físicos y limnológicos y se determinó la presencia/ausencia de las especies de goodeidos.

Los resultados obtenidos en este estudio se presentan en cuatro escritos, tres de ellos enviados para publicación:

1.- "Threatened fishes of the world: *Zoogoneticus tequila* (Webb and Miller 1998) (Goodeidae)". *Environmental Biology of Fish* (en prensa).

En este capítulo se describe el estado de conservación de *Zoogoneticus tequila*.

2.- “Ecological evaluations of local extinction: The case of two genera of endemic Mexican fish, *Zoogoneticus and Skiffia*”. Biodiversity and Conservation (en prensa).

En este capítulo se presentan los resultados de la relación de los factores ambientales, la composición de las especies de peces y la presencia de contaminantes con la extirpación de las especies de *Skiffia y Zoogoneticus*.

3.- “Depauperation of a fish assemblage in the Teuchitlán River, Mexico: Stochastic and deterministic factors.” Ecology of Freshwater Fish (en revisión).

En este escrito se reportan los resultados del efecto de los factores estocásticos, determinísticos y biogeográficos en la extinción de especies de peces en un sitio seleccionado, la cabecera del Río Teuchitlán.

4.- “Estado de Conservación de los Peces de la Familia Goodeidae (CYPRINODONTIFORMES), que Habitan la Mesa Central de México ”

En éste se reporta el estado de conservación de los peces de la familia Goodeidae que habitan la Mesa central de México.

Los manuscritos se presentan en esta tesis a manera de capítulos de la misma, y son seguidos por una breve discusión general.

### Literatura citada

- Allendorf F. W. (1988) Conservation Biology of Fishes. *Conserv. Biol.* 2, 145-148.
- Angermeier P. L. (1995) Ecological Attributes of Extinction-Prone Species: Loss of Freshwater Fishes of Virginia. *Conserv. Biol.* 9: 143-158.
- Barbour C. D. (1973) *A biogeographical history of Chirostoma (Pisces: Atherinidae): A species flock from the mexican plateau.* *Copeia* 1973 (3): 533-556.
- Castro-Aguirre J. L., Balart E. F. (1993) La ictiología de México: pasado, presente y futuro. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. (XLIV)*: 327-343
- CONABIO (2000) Estrategia Nacional Sobre Biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México 103p.
- De Buen (1946) Icteogeografía continental mexicana. *Rev. Soc. Méx. Hist. Nat.* VII:87-138
- De Buen F. (1947) Investigaciones sobre la ictiología mexicana. *An. Inst. Biol. Mex.* XVIII: 292-335.
- De la Vega-Salazar M. Martínez Tabche L. Macías García C., Diaz-Pardo E. (1999) Methyl Parathion Impact on Water, Sediments and Benthic Macroinvertebrates from the Ignacio Ramirez dam, Mexico. *Toxicol. Environ. Chem.* 71:81-93.
- Díaz-Prado E. Godines-Rodríguez M. A. López-López E., Soto-Galera E. (1993) Ecología de los peces de la cuenca del río Lerma, México. *An. Esc. Nac. Cien. Biol. Méx.* 39: 103-127
- Erlich P., Erlich A. (1984). *Extinction.* Random House, New York, 103-126.
- Flessa K. W., Jablonski D. (1983) Extinction is here to stay. *Paleobiology* 9: 315-321.
- Folstad, Y., Karter A. J. (1992) Parasites, bright males, and immunocompetence handicap. *Am. Nat.* 139: 603-622.



- Frissell C. (1993) Topology of extinction and endangerment of native fishes in the Pacific Northwest and California ( U. S. A.). *Conserv. Biol.* 7:342-354.
- Gaston K. J. (1998) Species-range size distribution: products of speciation, extinction and transformation. *Phil. Trans. R. Soc. Lon. B* 353: 219-230.
- Gaston K. J., Blackburn T. M., Greenwood J. J. D., Gregory R. D., Quinn R. M., Lawton J. H. (2000) Abundance-occupancy relationships. *J. Appl. Ecol.* 37: 39-59.
- Groombridge B. (1982) *Global Biodiversity. Status of the Earth's Living Resources.* World Conservation Monitoring Centre Chapman and Hall, Londres, 192-247.
- IUCN (2001) *IUCN Red List Categories and Criteria: Versión 3.1.* IUCN Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 30 p.
- Jablonki D. (1986) Background and Mass Extinctions: The Alternation of Macroevolutionary Regimes. *Science* 231, 129-133.
- Jablonski D., Raup D. M. (1995) Selectivity of End-Cretaceous marine bivalve extinctions. *Science* 268: 389-391.
- Kingston D. I. (1978) *Skiffia francesae*, a New Species of Goodeids Fish from Western México. *Copeia* 1978 (3): 503-508.
- Lande R. (1999) Extinction risk from antropogenic, ecological, and genetic factors. En Landweber L. F. y Dobson A. P. (Eds.) *Genetics and the extinction of species.* Princeton University Press. Princeton, New Jersey pp. 1-22.
- López-López E., Díaz-Pardo E. (1991) Cambios distribucionales en los peces del río de La Laja (Cuenca Río Lerma), por efecto de disturbios ecológicos. *An. Esc. Nac. Cien. Biol. Méx.* 35: 91-116.
- López-López E., Favari-Perozzi L., Martínez-Tabche L., Madrigal M., Soto-Galera E. (2003) Hazard assessment of a mixture of pollution from a sugar industry to three species

- of Western Mexico by the responses of enzymes and lipid peroxidation. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 70: 739-745.
- López-López E., Paulo- Maya J. (2001) Changes in the fish assemblage in the upper Río Ameca México. *J. Freshw. Ecol.* 16: 179-187.
- Lockwood R. (2003) Abundance not linked to survival across the end-Cretaceous mass extinction: Patterns in North American bivalves. *PNAS* 4: 2478-2482.
- Meffe G. K., Carroll C. R. (1997) *Principles of Conservation Biology*. Sinauer Associates, Inc. Publ. 123-158.
- Meffe G. K., Vrijenhoek R. C. (1988) Conservation Genetics in the Management of Desert Fishes. *Conserv. Biol.* 2,157-170.
- Miller R. R. (1986) Composition and derivation of the freshwater fish fauna of Mexico. *An. Es. Nac. Cienc. Biol. Mex.* 30: 121-153.
- Miller, R. R., Fitzsimons, J. M. 1971. *Ameca splendens*, a new genus and species of Goodeid fish from Western México, with remarks on the classification of the Goodeidae. *Copeia* 1971 (1): 1-13.
- Miller R. R., Williams J. D., Williams J. E. (1989) Extinction of North American fishes during the past century. *Fisheries* 14: 22-38
- Moss B. (1992) *Ecology of Fresh Waters. Man and Medium*. Blackwell Scientific Publications 417 p.
- Moyle P. B., Williams J. E. (1990) Biodiversity loss in the temperate Zone: Decline of the Native Fish Fauna of California. *Conserv. Biol* 4: 275-284.
- Okada M. (1992) *Environmental engineering course Water pollution control*. Japan International Cooperation Agency.

- Paine A. Y. (1986) *The Ecology of Tropical Lakes and Rivers*. John Wiley & Sons. P 5-49.
- Parker P. G., Wayte T. A. (1997) Mating systems, effective population size, and conservation of natural populations. in Clemmons J. R., Buchholz R. (eds) *Behavioral Approaches to Conservation in the Wild*. Cambridge University Press, 243-261.
- Reid G. K., Wood R. D. (1976) *Ecology of Inland Waters and Estuaries*. 2nd Ed. Litton Educational Publishing, Inc.
- Reinthal P. N., Stiassny M. L. (1991) The freshwater fishes of Madagascar: A study of an Endangered Fauna with recommendations for a conservation strategy. *Conserv. Biol* 5:231-243.
- Sepkoski Jr J. J. (1998) Rates of speciation in the fossil record. *Phil. Trans. R. Soc. Lon.* B 353: 315-326
- Shaffer M. (1987) Minimum viable populations: coping with uncertainty. In Soulé, M. E. (Ed.) *Viable Populations for Conservation*. Cambridge University Press. Cambridge, New York Pp 70-86.
- Shields F. D., Knight S., Cooper C. M. (1994) Effects of Channel Incision on Base Flow Stream Habitats and Fishes. *Environ. Manag.* 18: 43-57.
- Simberloff D. S. (1974) Equilibrium Theory of Island Biogeography and Ecology *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 5, 161-180.
- Simberloff D., Abele L. G. (1982) Refuge Design and Island Biogeographic Theory: Effects of Fragmentation. *Am. Nat.* 120, 41-50.
- Soto- Galera E., Paulo- Maya J., Lopez-Lopez E., Serna-Hernández J. A., Lyon J. (1999) Changes of fish fauna as indicator of aquatic ecosystem condition in Río Grande de Morelia- Lago de Cuitzeo basin, Mexico. *Environ. Management.* 24: 133-140.

- Soulé M. E. (1985) What is Conservation Biology? *BioScience* 35,727-734.
- Tamayo J. (1962) *Geografía general de México V-3*. Instituto Mexicano de Investigaciones Económica. México. 2ª Edn. 325 .
- Thomas C. D. (1994) Extinction, colonization, and metapopulation: Environmental tracking by rare species. *Conserv. Biol.* 8: 373-378.
- Webb S. A., Miller R. R. (1998) Zoogoneticus tequila a new Goodeid fish (Cyprinodontiformes) from the Ameca Drainage of Mexico, and rediagnosis of the Genus. *Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan* 725, 1-23.
- Williams J. E., Johnson J. E., Hendrickson D. A., Contreras Balderas S., Williams J. D., Navarro-Mendoza M., McAllister D. E., Deacon J. E. (1989) Fishes of North America endangered, Threatened, or of special concern;1989. *Fisheries* 14: 2-20.
- Wilson E. O. Peter F. M. (Ed.) (1988) *Biodiversity*. National Academy Press. Washington, 521 p.
- (WCMC) World Conservation Monitoring Centre (1992) *Global Biodiversity. Status of the Earth's Living Resources*. Chapman and Hall. London

Threatened fishes of the world: *Zoogoneticus tequila* (Webb and Miller 1998)  
(Goodeidae)

En este escrito se reporta el estado de conservación de *Zoogoneticus tequila* y los riesgos que enfrenta la única población que existe de la especie.

**Common name:** Picote de Tequila. **Conservation status:** Endemic, endangered (Mexican NOM-059-Ecol-1994 SEMARNAP México). This species should be included in Appendix 1 of CITES, and can be regarded as endangered (IUCN). Because it was deemed extinct in the field, it does not appear in such lists. **Identification:** Adult male size is  $28.2 \text{ mm} \pm 10$  with cream-coloured terminal bands in the dorsal, anal and pelvic fins of adult males. It is distinguished from his only congeneric species (*Z. quitzeensis*) by a prominent subterminal crescent-shaped orange-yellow band in the caudal fin of males. In addition, adults lose the large patches of melanin on the caudal peduncle and lack the stripe on the lateral surface of the snout. **Distribution:** The species was described from specimens collected at Teuchitlán, Jalisco, México, in 1990, that were either preserved in museums or used to breed aquarium stocks (Webb and Miller 1998). Since no wild specimens had been found in the field post 1992, it was supposed extinct in nature. However we suspected that sampling has been confined to areas accessible by roads (e. g. Soberón *et al.* 2000). We conducted a series of surveys around Teuchitlán to determine whether *Z. tequila* and the also extirpated *Skiffia francesae* could still be found in the wild. We found an extremely small population of *Z. tequila* in an isolated water body, but *S. francesae* was not found. **Abundance:** The only extant population is composed of less than 500 individuals of all ages (< 50 adults). As it is found in a single spring-fed pool, it appears to be extremely vulnerable. **Habitat and ecology:** The spring pool measures 4 m in diameter and has an average depth of ca. 20 cm. It has a gentle current and is oligotrophic, without submerged vegetation and with highly oxygenated water. The bottom is lined with pebbles and sediment, and temperature fluctuates between 24 and 27°C. **Reproduction:** The species is matrotrophic; embryos develop in the cavity of the single, median ovary common to the Goodeidae (sensu Uyeno *et al.* 1983). *Zoogoneticus tequila* is reported to reach sexual

maturity at 6-10 weeks of age, gestation lasts for 6-8 weeks in aquarium. Such females produce 10 to 29 offspring per brood and breeding is thought to occur in summer (Webb and Miller 1998), but we found pregnant females in winter in the wild. **Threats:** The species faces several threats. Webb & Miller (1998) reported that the type locality was turbid and with substantial amounts of sediments, and harboured four introduced species (*Xiphophorus maculatus*, *Tilapia aurea*, *Lepomis macrochirus* and *Cyprinus carpio*; our surveys found also *X. helleri* and *P. reticulata*). They concluded that exotics were involved in the extinction of *Z. tequila*, but no information exists on the ecology of that locality in the past, making it difficult to determine which factors contributed to the decline of the populations of *Z. tequila*. Mexican fish have been affected by the introduction of, for instance, carp, but some times the introduction may have been innocuous (Zambrano *et al.* 1999).

We propose that *Z. tequila* in the past has always been vulnerable because of its confinement to a small area at the headwaters of a river. Its populations must have been both small and fragmented among several spring pools. Compounding threats are habitat fragmentation (springs been turned into spas), introduction of exotics and intensive collection by specialised aquarium hobbyists and academics. **Conservation action:** We recommend that the legal status of *Z. tequila* be modified to reflect the finding of this last population, and that measurements are taken for its protection, coupled with breeding programmes for future re-introductions in the original, larger pools inhabited by this fish. **Conservation recommendations:** Contingent on the change in the legal status of this species, we recommend that all international traffic from México must be banned, and that traffic with aquarium stocks abroad be strictly regulated under the supervision of international conservation agencies.

- Soberón, J. M., J. B. Llorente and L. Oñate 2000. The use of specimen-label database for conservation purposes: an example using Mexican Papilionid and Pierid butterflies. *Biol. Conserv.* **9**:1441-1446.
- Uyeno, T., Miller, R. R., and Fitzsimons J. M. 1983. Kariology of the cyprinodontoid fishes of the Mexican family Goodeidae. *Copeia* 1983 (2): 497-510.
- Webb, S. A. and Miller R.R. 1998. *Zoogoneticus tequila*, a new Goodeid fish (CYPRINODONTIFORMES) from the Ameca drainage of México, and a rediagnosis of the genus. *Occ. Pap. Mus. Zool. Univ. Mich.* **725**: 1-23.
- Zambrano L., M. R. Perrow, C. Macías-García, and V. M. Aguirre Hidalgo. 1999 Impact of introduced carp (*Cyprinus carpio*) in subtropical shallow ponds, *J. Aqua. Eco. Stress Rec.* **6**: 281-288.





ECOLOGICAL EVALUATION OF LOCAL EXTINCTION: THE CASE OF TWO  
GENERA OF ENDEMIC MEXICAN FISH, *Zoogoneticus* and *Skiffia*.

En este estudio se reportan los resultados de la evaluación realizada durante un año, de los factores ambientales y la composición y la densidad de las especies de peces presentes en 14 localidades, donde se han reportado al menos una especie de los géneros *Zoogoneticus* y *Skiffia*.

Un análisis de componentes principales y de varianza, permitió identificar los factores asociados con la extirpación de las especies estudiadas.

**Abstract.** The Goodeidae is a family of endemic fish from central Mexico. Populations of several species are declining in the wild and two have been reported extinct; *Skiffia francesae* and *Zoogoneticus tequila*. Both species were native to just one locality, Teuchitlan, in the Ameca basin. It is difficult to infer the causes of extinction since limnological data from Teuchitlán prior to the extinction events are not available, and because there are no replicate populations. As an alternative approach, we explored the potential links between key environmental variables and events of local extinction of any species in the two genera (four *Skiffia* spp and two *Zoogoneticus* spp). In fourteen localities known to harbour populations of fish of at least one of the six focal species, we conducted limnological surveys in the rainy and in the dry season, and quantified population densities of endemic and introduced fish. In addition, we quantified the concentration of agricultural pollutants in water and mud samples taken from every locality in the dry season. We found that all the focal species face some conservation threat, but also discovered an extremely small population of the reputedly extinct *Zoogoneticus tequila*; in contrast, *Skiffia francesae* was not found. Eutrophication and habitat fragmentation appear to be the main threats to the focal species, with habitat fragmentation dramatically reducing population size and driving populations into refuges where they face stochastic extinction.

**Key words:** Eutrophication, extinction, Goodeidae, habitat fragmentation, introduced fish, *Skiffia francesae*, *Zoogoneticus tequila*.

## Introduction

Current patterns of fish extinction are probably the result of anthropogenic factors, but apart from the obvious cases of over fishing, the precise threats to fish populations are not always evident, in part because the ecology of many fish species is not well known. Different types of fishes utilise different reproductive strategies and foraging modes, occupy every part of the aquatic habitats within aquatic environments, and vary enormously in size. This extreme variation makes it difficult to characterise the patterns of fish vulnerability (Allendorf 1988). Some factors, however, are often related to local extinction of freshwater fish. One is channel incision of streams, which affects migrant species and causes isolation between populations of other species, increasing the risk of local extinction (Shields *et al.* 1994; Angermeier 1995). Loss of habitat because of anthropogenic impacts is particularly crucial for species with restricted physiological tolerance. In general, fragmentation causes isolation, and it reduces both the population size and migration rate between populations (Thomas 1994, Angermeier 1995) thus preventing genetic interchange between them (Meffe and Vrijenhoek 1988).

Predisposition to extinction is the other part of the equation. Some feeding modes may promote bioaccumulation of pollutants (i.e filter feeding), sexual dimorphism may increase vulnerability to exotic predators, and restricted habitat preferences may limit the options to respond to habitat deterioration. One key attribute is brood size. Species that produce few offspring per season are susceptible to extinction because they have a reduced capability of dispersion and re-colonization than more “r” – type species (Efford *et al.* 1997; Macías-García *et al.* 1998).

Inevitably, a combination of mounting human pressure on water resources on the one hand, and of intrinsic vulnerability of fish species on the other, is deemed to promote

high rates of local extinction. Such conditions are met in Central México. México has a rich fauna of freshwater fishes (ca. 375 species, 60% endemic). In the last few decades many species have been reported as threatened by water pollution, habitat destruction and by the introduction of non-native fish and their parasites (Miller *et al.* 1989; Castro and Balart 1993; Espinosa-Perez *et al.* 1993). The relative weight of these threats on particular species, however, has seldom been quantified.

The family Goodeidae (Cyprinodontoidei) is a characteristic component of the ichthyofauna of Central México. It consists of around 36 species of viviparous topminnows, most of which are sexually dimorphic and largely omnivorous (Meek 1902). Population densities of several goodeids appear to be declining in the wild, although quantitative assessments are not available, and two species have been reported extinct in nature: *Skiffia francesae* and *Zoogoneticus tequila* (Kingston 1978; Webb and Miller 1998). Captive populations of both species are maintained in specialised aquaria. With the possible exception of *Goodea atripinnis*, which may support commercial fisheries, Goodeid fish have no significant economic value, but there is a moderate demand for some species, including *Zoogoneticus* spp. and *Skiffia* spp. by specialised aquarium hobbyists.

The two extinct species were described from the same type locality, the Teuchitlán River in the Mexican State of Jalisco, where it is still possible to find goodeids, including *Zoogoneticus quitzeensis*, and the threatened *Ameca splendens*. The causes of those extinctions are unknown. As a rule, population and species extinction is normally deterministic, and a major review revealed that most animal extinctions are caused by direct hunting, introduction of species and habitat deterioration (Thomas 1994). In assessing which of these lead to the extinction of two fish species at Teuchitlán we face the complication that there are no previous limnological data from the locality with which to

compare its current condition. Thus, in order to understand the possible causes of extinction of these two species, we followed an approach that compares several localities in their limnology and in the conservation status of all species belonging to the genera *Skiffia* and *Zoogoneticus*.

There are currently four species recognised in the genus *Skiffia*. *S. lermæ* and its sister species *S. bilineata* were the two most widely distributed species of the genus, being originally found in several localities of the States of Michoacán, Jalisco and Guanajuato. *Skiffia multipunctata* has always had a somewhat restricted distribution in the State of Michoacán, and its sister species, the reputedly extinct *S. Francesae*, was found only in one locality, as mentioned above (but there is an unconfirmed report from a second locality). The genus *Zoogoneticus* encompasses the widespread and common *Z. quitzeoensis*, and the restricted *Z. tequila*, presumed extinct (Meek 1902; Hubbs 1924; Hubbs and Turner 1939; De Buen 1941; Turner 1946; Kingston 1978; Radda 1984; Lyons *et al.* 1995; Webb and Miller 1998). By assessing the current conservation status and ecological conditions of several populations of these six species we aimed at shedding light on the possible causes of local extinction in these two genera.

## Methods

Data were collected from fourteen localities including ponds, rivers, springs, lagoons and dams where at least one species of *Skiffia* or *Zoogoneticus* had been reported. Some of the focal species have been reported from other localities not included in this study, but we used the fourteen places that were either the most commonly (often the earliest) reported habitats of these species, or were reported from the more reliable sources (see Table 1). In each locality, we surveyed environmental variables commonly used to characterise the

habitat and those used to assess water quality. We also quantified the fish concentration of every fish species found in these localities and assessed the concentration of agrochemical pollutants in water and sediment.

To characterise the habitat we measured flow speed (General Oceanics Inc.<sup>®</sup> current meter), water depth and area of the water body (BRUSHNELL<sup>®</sup> YARDAGE PRO 500 laser rangefinder). Chlorophyll *a* concentration, an index of phytoplankton biomass and primary productivity, was determined using the Colorimetric method (Quarmby and Allen 1989) from 100 l of filtered water taken at the water surface.

To assess water quality we measured temperature and dissolved oxygen at the surface and bottom of the water body (La Motte<sup>®</sup> DO 4000 dissolved oxygen meter), Secchi disk transparency, turbidity (HANNA<sup>®</sup> HI93703 turbidimeter), pH (HANNA<sup>®</sup> Checker) as well as ammonia, nitrate, nitrite and phosphorus concentrations (HANNA<sup>®</sup> C 100 multiparameter bench spectrophotometer).

The abundance of small fish (< 7.0 cm standard length [SL]) was assessed hauling for three meters a 5.5-m long seine net (0.4 cm mesh) in three separate transects. A 20-m long multi-mesh gill-net composed of four 5-m long sections with 1.27, 5.71, 7.62 and 8.9 cm mesh was used to sample large fish (7 - 40 cm SL). This was placed in the water body for 4 hours of daylight. Fish species were identified and the number of fish of each species in the sample was recorded.

At the beginning of the study, all 14 localities were visited, and their environmental variables and the fish concentration of each species present were assessed. There was a complete absence of vertebrates in three of the fourteen localities. Later analyses showed that there was no dissolved oxygen in either surface or bottom samples from those water bodies, which receive domestic and industrial drainage. These localities were consequently

dropped from the analyses, since their inclusion would provide no further insight on the causes of local extinction in fish (while the link between massive eutrophication/pollution, and local vertebrate extinction is not in doubt). The eleven remaining localities were sampled twice per season during one year, starting in July 2000 and ending in August 2001 (two visits in summer 2000, two in autumn 2000, two in winter 2000-2001, two in spring 2001 and one in summer 2001). In each visit, we conducted the assessments described above (habitat characterisation, water quality and fish concentration).

In addition, samples from one visit during the dry season were used to quantify concentration of pollutants in water and mud. We determined the concentration of organophosphorous pesticides and of heavy metals (Copper, Cadmium, Lead, Arsenic, mercury) as follows. Organophosphorous pesticides were extracted with Ethyl Acetate-Hexane 70:30, and the extracts were analysed by gas Chromatography with a Varian<sup>®</sup> model STAR-3400, fitted with a Thermionic Specific Detector (TSD) and a fused silica column (DB-1701) (30 m long, 0.53 mm internal diameter) using Nitrogen as carrier gas at 25.4 ml/min (USDA 1991). Trace Heavy metal analyses were made using an Atomic Absorption Spectrophotometer 250 PLUS fitted with a Varian<sup>®</sup> hydruce generator (OMA 1990, USDA 1986, USDA 1991).

## **Results**

In eight localities, we found at least one species of the genera studied. In three localities we did not find any species of the genera. All species of the genera showed a reduction in the number of localities reported historically, considering this reduction and according to the IUCN Red List specifications, all species therefore fall in some category of threat (Table 2).

*Skiffia lermae* had been reported in seven of the 14 localities surveyed, and it persists in only three of them, where it is found at relatively high population densities (Table 2), thus it faces relatively low risk. *Skiffia multipunctata* was expected to occur in three of our 14 localities, and we found it only in one of them, where it is present at a high population density (Table 2). This species can be considered rare and vulnerable. *Skiffia bilineata* should have been present in five of our 14 localities, but we found it in only two. In one locality the population density was very low, and in the other it was not very abundant either (Table 2), thus it is endangered. *Skiffia francesae*, previously known from only one of the localities, was not found, thus we performed an extensive search through one year, and now we concur with previous reports of it as extinct in nature (Table 2).

*Zoogoneticus quitzeoensis* had been reported to inhabit 10 of the 14 localities in this survey, and was found in five of them, being generally abundant. Thus we can consider the species in relatively low risk (Table 2). An important finding was the discovery of an extremely small population of *Z. tequila*, in a very small pond; consequently, the conservation status of this species now should change from extinct to in extreme danger of extinction (De la Vega Salazar *et al.* in press; Table 2).

Localities where at least one focal species was extirpated included rivers, lakes, dams and springs, suggesting that habitat type *per se* does not explain local extinction. In order to evaluate the association between our several limnological variables and the prevalence of the focal species, we first performed a principal component analysis (PCA; Figure 1). The first two PC's explained 53.4% of the variance in our data, and when localities were plotted in the corresponding cartesian space, two sites where focal goodeid species are not longer found (Dolores Hidalgo and Atotonilco) and those where *S. bilineata* persists (Alvaro Obregon and Cointzio) were clearly separated from the localities



where the other focal species are present. A third locality without focal goodeids (Zirahuén) is clustered with localities with focal goodeids. This sustains commercial fisheries of the exotic bass and carp (Table 1). The first component (30.7% variance explained) gives large loadings to water transparency (+) and ammonium concentration (-). The second component (22.7%) gives large loadings to water current (+), nitrates (+), oxygen (-), pH (-) and turbidity (-). These results suggested that some localities without focal goodeids are particular and can be treated as one category, and we conservatively included Zirahuén in this group. They also revealed that *Skiffia bilineata* inhabits environments that are limnologically different from those where the other focal species of *Skiffia* and *Zoogoneticus* persist. Consequently we divided the localities into three categories: without focal goodeids, with *S. bilineata*, and with focal goodeids. We then compared the physicochemical attributes of these three groups of localities using ANOVAs.

Concentration of dissolved oxygen was somewhat higher in localities where there are goodeids ( $7.9 \pm 0.83$  ppm) than in localities where there are not ( $5.5 \pm 1.14$  ppm), while localities with *S. bilineata* had intermediate concentrations of dissolved oxygen ( $6.3 \pm 1.98$  ppm; Figure 2a). Localities did not differ in pH ( $7.8 \pm 0.5$  throughout), or in phosphorous concentration (Figure 2a).

While phosphorous has been associated with eutrophic conditions in subtropical ponds, trophic condition of our localities was more similar to that described in temperate regions, with nitrogen compounds being directly associated with eutrophication. We found that *S. bilineata* inhabits localities with higher concentrations of nitrates ( $5.57 \pm 1.39$  ppm) than either localities with- ( $1.97 \pm 0.21$  ppm; Figure 2b) or without other goodeid species ( $1.39 \pm 0.17$  ppm). Concentrations of ammonia were higher in localities without goodeids ( $2.05 \pm 1.64$  ppm) than in localities with goodeids ( $0.28 \pm 0.01$  ppm) or with *S. bilineata*

( $0.56 \pm 0.01$  ppm) although the later difference was not significant (Figure 2b).

Transparency was higher at localities with goodeids (100%), whereas the highest turbidity was found in localities with *Skiffia bilineata* ( $57.14 \pm 14.29$  FTU; Figure 2c).

The abundance of introduced fish species was also associated with the prevalence of Goodeid species. Exotics were found in ten localities (Table 1), and there was a non-significant tendency for the proportion of introduced species to be inversely correlated to the proportion of endemic species ( $p = 0.1$ ; Figure 3).

The habitat characteristics of the 14 localities are shown in Table 3. To assess the association between habitat size and abundance of Goodeid fish we used the data for *Z. quitzeoensis* because we had more localities with this (5) than with any other species. There was a large gap in our sample regarding habitat size, thus we searched for a locality of intermediate size, in which *Z. quitzeoensis* occurred. We found Camécuaro, and there we sampled fish concentration once in the dry season (January 2002), and added that estimate to our analysis. Habitat size was positively (and very significantly) correlated with the abundance of the widespread *Z. quitzeoensis* (Figure 4).

Pesticides were not detected in water or mud from any locality. Concentration of heavy metals in water and mud was below the toxicity levels reported for fish (i.e. Pärt *et al.* 1985; Welch and Lindell 1992), and did not differ between localities with- (Cu, not detected (ND)-0.3 PPM; Cd, ND-0.01 PPM; Pb, ND-0.03 PPM; As, ND-0.06 PPM; Hg ND-0.7 PPB) and without goodeids (Cu, ND-0.2 PPM; Cd, ND-0.01 PPM; Pb, ND-0.01 PPM; As, ND-0.006 PPM; Hg, ND-0.3 PPB).

## Discussion

All the species except for *Z. tequila* have experienced local extinction in  $\geq 50\%$  of the sites in our sample where they were expected to occur, and the latter species is so scarce that it has been deemed extinct, the possibility of which is a very real threat. Given the range of environmental conditions in which the five species persist, it cannot be argued that the two genera are composed of particularly specialised species. Nonetheless, the alarming rate of local extinction that we report must be regarded as a very serious warning for the health of freshwater environments in Central México.

The focal species seem vulnerable to some environmental conditions. In localities where they persist the concentration of dissolved oxygen was usually high. In addition, where goodeids were present, the water was more transparent and nitrogen concentrations were lower. Habitats with extant goodeids did not change seasonally and typically had moving water. All this suggests that the Goodeid species included in this study have a somewhat restricted range of tolerance to environmental degradation. One exception was *Skiffia bilineata*, which seems to tolerate high turbidity, larger seasonal changes and more eutrophic environments.

The presence of introduced fish species appears to be a risk factor, since densities of Goodeid species were lower (or they were absent, as in Zirahuen, where the environmental conditions are similar to those of localities with focal goodeids), where introduced species were abundant or where there was more than one introduced species. Introduction of exotic species may promote local extinction, principally when the introduced fish are trophic generalists or have larger sizes than the native species, because they can act as predators and induce changes in the trophic web. In addition, exotic fish can introduce new parasites.

Big species usually (consistently in the case of Central México) do not have competitors or natural predators in the new habitat, thus they can and do alter the species composition and may promote local extinction of native species (Ehrlich *et al.* 1981; Efford *et al.* 1997; Zambrano *et al.* 1999)

The Teuchitlán River is the locality of origin of the two species that were reported extinct. During recent years this river has been degraded after a dam was built, and exotic poeciliids, sunfish, carp and tilapia have been introduced (although our results do not demonstrate that this is a significant risk factor). Our data suggest that habitat degradation may have been the reason why the extant endemic goodeids are now confined to a small area at the headwaters of the river. Once confined to the springs, the populations of these fish have been fragmented as a consequence of the springs being transformed into spas, which prevents the movement of fish between pools. If the habitat size effect on population size showed in Figure 4 is a generality, then the fragmentation of, for instance, the headwaters of Teuchitlán may have been a contributing factor in the decline of the endemic goodeids. When local populations become isolated, they face a higher probability of extinction, as shown by other studies in several regions, which have documented local extinction due to habitat fragmentation (Sheldon 1988; Noss and Csuti 1994).

### **Conclusion**

All species of *Skiffia* and *Zoogoneticus* are in some level of conservation concern principally from anthropogenic impact. Our data show that eutrophication and high degrees of habitat fragmentation are the main local threats for species of *Skiffia* and *Zoogoneticus*, driving populations to refugia where they face stochastic extinction, while a role of exotic species in this process remains to be demonstrated. Suitable Goodeid habitat seems largely confined to the headwaters of streams, which appear to be overexploited and are disturbed.

Local extinction is not necessarily immediate, however, even for very small isolated populations. Our finding of a minute surviving population of *Z. tequila* suggests that the focal species of the Goodeidae are at least sufficiently resilient to survive through population bottlenecks and habitat shrinking. This is encouraging and should promote energetic pursuit of conservation measures, including a ban on all trade in wild specimens of *Zoogoneticus* and *Skiffia* species. We propose that the limnological restoration of Goodeid refugia, coupled with water quality monitoring and population management to minimise inbreeding, may effectively promote the conservation and eventual recovery of Goodeid species (see Thomas 1994).

#### **Acknowledgements**

CONACYT (32005-N) grant to CMG supplied funds and facilities for this research. The authors thank Rodolfo Dirzo, Anne E. Magurran, Guillermina Alcaraz, Ignacio Mendez, Eugenia Lopez, Vinni Madsen and one anonymous referee for advice in several parts of this project. This work is submitted as partial fulfilment of the senior author's PhD Thesis, who was beneficiary of a scholarship from CONACyT.

#### **References**

- Allendorf FW (1988) Conservation biology of fishes. *Conservation Biology* 2: 145-148
- Alvarez J and Cortes MT (1962) Ictiología Michoacana I.- Claves y catálogos de las especies conocidas. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México* XI : 79-142
- Angermeier PL (1995) Ecological attributes of extinction-prone species: loss of freshwater fishes of Virginia. *Conservation Biology* 9: 143-158
- Castro-Aguirre and JL Balart EF (1993) La ictiología de México: pasado, presente y futuro. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural (XLIV)*: 327-343

- De Buen F (1941) Un nuevo género de la familia Goodeidae perteneciente a la fauna ictiológica Mexicana. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México* 2: 133-140
- De La Vega-Salazar MY Avila-Luna E and Macías-García C (in press) Threatened fishes of the world: *Zoogoneticus tequila*. *Environmental Biology of Fishes*
- Díaz-Prado E Godines-Rodríguez MA López-López E and Soto-Galera E (1993) Ecología de los peces de la cuenca del río Lerma, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México* 39: 103-127
- Efford IE Macías-García C and Williams J D (1997) Facing the challenges of invasive alien species in North America. *Global Biodiversity* 7: 25-30
- Erlich PR and Erlich AH (1981) *Extinction: the Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Random House, New York
- Espinosa-Pérez H Gaspar-Dillanes MT and Fuentes-Mata P (1993) Listados faunísticos de México. III. Los peces dulceacuícolas Mexicanos. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F.
- Hubbs CL (1924) Studies of the fishes of the order Cyprinodontes. V. Notes on species of *Goodea* and *Skiffia*. *Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan* 148, 8 pp
- Hubbs CL and Turner CL (1939) Studies of the fishes of the order Cyprinodontes. XVI. A revision of the Goodeidae. *Miscellaneous Publications of the Museum of Zoology, University of Michigan* 42, 80 pp
- Kingston DY (1978) *Skiffia francesae*, a new species of goodeid fish from Western Mexico. *Copeia* 3: 503-508

- López-López E and Díaz-Pardo E (1991) Cambios distribucionales en los peces del río de La Laja (Cuenca Río Lerma), por efecto de disturbios ecológicos. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México* 35: 91-116
- Lyons JS Navarro-Perez P Cochran Santana E and Guzman Arroyo M (1995) Index of biotic integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and river in West-Central Mexico. *Conservation Biology* 9: 569-584
- Macías Garcia C. Saborio E and Barea C (1998) Does male-biased predation lead to male scarcity in viviparous fish? *Journal of Fish Biology* 53 (Suppl. A): 104-117
- Meffe GK and Vrijenhoek RC (1988) Conservation genetics in the management of desert fishes. *Conservation Biology* 2: 57-170
- Meek SE (1902) A contribution to the ichthyology of Mexico. Field Columbian Museum, Publication 65 Zoological Series, 3(6): 63-128
- Meek SE (1904) The fresh water fishes of Mexico north of the Isthmus of Tehuantepec. Field Columbian Museum, Publication Zoological Series, V
- Miller RR Williams D and Williams JE (1989) Extinctions of North American fishes during the past century. *Fisheries* 14(6): 22-38
- Noss RF and Csuti B (1994) Habitat fragmentation. In Meffe GK and Carroll CR (eds) *Principles of Conservation Biology*, pp 237-264. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts
- Official Methods of Analysis (OMA) (1990) Association of Official Analytical Chemistry 15<sup>th</sup> Ed. Washington, USA, VI Chapter 9: 237-273
- Pärt P Svanberg O and Bergström E (1985) The Influence of surfactants on gill physiology and cadmium uptake in perfused rainbow trout gills. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 9: 135-144

- Quarmby C and Allen SE (1989) Organic Constituents. In Allen SE (ed) Chemical analysis of ecological materials, pp 160-200. Blakwel Scientific Publications, Oxford
- Radda AC (1984) Synopsis der Goodeiden Mexikos. Killifische aus aller welt. Verlag Otto Hofmann. Vienna, Austria
- Shields FD Knight S and Cooper CM (1994) Effects of channel incision on base flow stream habitats and fishes. *Environmental Management* 18: 43-57
- Sheldon A (1988) Conservation of stream fishes: Patterns of diversity, rarity, and risk. *Conservation Biology* 2: 149-156
- Thomas CD (1994) Extinction, colonization, and metapopulations: environmental tracking by rare species. *Conservation Biology* 8: 373-378
- Turner CL (1946) A contribution to the taxonomy and zoogeography of the goodeid fishes. Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan 495. 15pp
- USDA (1991) Chemistry Laboratory Guidebook Revision. Food Safety and Inspection Service Science. United States Department of Agriculture
- USDA (1986) Determination of Mercury in Liver, Muscle, Kidney or Air by Atomic Absorption Spectrophotometry. Chemistry Laboratory Guidebook Revision. Food Safety and Inspection Service Science. United States Department of Agriculture
- Uyeno T Miller RR and Fitzsimons JM (1983) Kariology of the cyprinodontoid fishes of the Mexican family Goodeidae. *Copeia* 1983 (2): 497-510
- Webb SA and Miller RR (1998) *Zoogoneticus tequila* a new goodeid fish (Cyprinodontiformes) from the Ameca drainage of Mexico, and rediagnosis of the genus. Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan 725  
23 pp



Welch EB and Lindell T (1992) Ecological effects of wastewater. Applied limnology and pollutant effects. Chapman and Hall, London

Zambrano L Perrow MR Macías Garcia C and Aguirre-Hidalgo V (1999) Impact of introduced carp (*Cyprinus carpio*) in subtropical shallow ponds in Central Mexico. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery* 6: 281-288

Table 1. Relationship between abundance of introduced and focal fish in the 14 localities sampled. Proportion of fish is expressed in relation to the total number of fish caught.

Localities	INTRODUCED SPECIES	Relative abundance <sup>1</sup> (%)	FOCAL SPECIES <sup>2,4</sup>	Relative abundance (%)	Abundance of fish (all spp.)/m <sup>2</sup>
M. Chapultepec	----	0.0	<i>S. lermae</i> (1956) <sup>5,6,10,17</sup>	60.0	6.0
Zacapu	<i>Cyprinus carpio</i>	0.1	<i>S. lermae</i> (1969) <sup>5</sup> <i>S. multipunctata</i> (A) (1997) <sup>15</sup> <i>Z. quitzeoensis</i> (1969) <sup>5</sup>	20.0 60.0	7.5
Mintzita	<i>Poecilia reticulata</i> <i>C. carpio</i>	5.0 1.0	<i>S. lermae</i> (1968) <sup>5</sup> <i>Z. quitzeoensis</i> (1968) <sup>5</sup>	50.5 20.0	9.02
Orandino	<i>Xiphophorus helleri</i> <i>Poecilia sphenops</i>	3.0 0.5	<i>S. multipunctata</i> (1969) <sup>5,11,13</sup> <i>Z. quitzeoensis</i> (1969) <sup>5,13</sup>	15.0 10.0	18.0
Cointzio	<i>Micropterus salmoides</i> <i>C. carpio</i>	10.0 10.0	<i>S. bilineata</i> (1957) <sup>5</sup> <i>S. lermae</i> (A) (1969) <sup>5</sup> <i>Z. quitzeoensis</i> (A) (1955) <sup>5</sup>	10.0	1.6
Teuchitlan <sup>3</sup> S-2	<i>Poecilia spp.</i>	20.0	<i>Z. quitzeoensis</i> (1949) <sup>5,14,17</sup> <i>Ameca splendens</i> <i>S. francesae</i> (A) (1955) <sup>5,12,17</sup>	6.0 30.0 0.0	7.8
D	<i>Lepomis macrochirus</i> <i>Poecilia spp.</i>	25.0 30.0	<i>Z. quitzeoensis</i> (1949) <sup>5,14,17</sup> <i>A. splendens</i>	0.0 0.0	2.6
Tequila	<i>P. reticulata</i>	60.0	<i>Z. tequila</i> (1955) <sup>5,14</sup>	10.0	6.1
Aalvaro Obregon	<i>C. carpio</i> <i>P. sphenops</i>	20.0 30.0	<i>S. bilineata</i> (1971) <sup>5,17</sup> <i>Z. quitzeoensis</i> (A) (1977) <sup>5</sup> <i>S. lermae</i> (A) (1969) <sup>5</sup>	15.0	7.0
L. Atotonilco	<i>X. helleri</i>	31.0	<i>S. lermae</i> (A) (1902) <sup>6,8,9,16,17</sup>	0.0	11.6
S. F. Rincon	<i>L. macrochirus</i>	20.0	<i>Z. quitzeoensis</i> (1970) <sup>5,10,11,17</sup>	1.0	9.3
L. Hidalgo	----	----	<i>S. lermae</i> (A) (1902) <sup>6,8,9,16,17</sup>	0.0	1.8
Zirahuen	<i>M. salmoides</i> <i>C. carpio</i>	20.0 40.0	<i>S. lermae</i> (A) (1901) <sup>6,7,8,11</sup>	0.0	1.6
R. G.	----	----	<i>S. bilineata</i> (A) (1941) <sup>10,11,17</sup>	0.0	0.0
Morelia	----	----	<i>Z. quitzeoensis</i> (A) (1940) <sup>10,11</sup>	0.0	0.0
R. Santiago	----	----	<i>Z. quitzeoensis</i> (A) (1901) <sup>5,11</sup> <i>S. multipunctata</i> (A) (1947) <sup>5,11</sup> <i>S. bilineata</i> (A) (1932) <sup>5,11</sup>	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0
Rio Turbio	----	----	<i>S. bilineata</i> (A) (1962) <sup>9,10,11,18</sup>	0.0	0.0

<sup>1</sup> Percents do not add to 100 because here we only show the proportion of fish belonging to the focal species, as opposed to the proportion of either native fish, or fish of any Goodeid species.

<sup>2</sup> A = absent. This is specified when the species was expected to be present.

<sup>3</sup> Depth and topography prevented fish sampling at spring S-1.

<sup>4</sup> Year of first register. <sup>5</sup> Zoology Museum, Michigan University. <sup>6</sup> Smithsonian Institution

<sup>7</sup> Meek 1902, 1904. <sup>8</sup> Hubbs and Turner 1924, 1939. <sup>9</sup> Rada 1984. <sup>10</sup> De Buen 1941

<sup>11</sup> Alvarez and Cortes 1962. <sup>12</sup> Kingston 1978. <sup>13</sup> Lyon et al 1995. <sup>14</sup> Weeb and Miller 1998

<sup>15</sup> B. J. Turner pers. com. <sup>16</sup> López-López et al 1991. <sup>17</sup> Uyeno et al 1983. <sup>18</sup> Diaz-Pardo et al 1993.

Table 2. Conservation status of focal species following the definitions in the IUCN Red List Categories. We sampled at 14 sites where one or more species of *Zoogoneticus* or *Skiffia* had been reported. Absence was recorded after failing to collect any fish of the focal species in four visits.

SPECIES	Visited sites where the focal species had been reported	Visited sites where the focal species was found	Conservation status
<i>Skiffia lermae</i>	7	3	Lower risk
<i>Zoogoneticus quitzeoensis</i>	10	5	Lower risk
<i>Skiffia bilineata</i>	5	2	Endangered
<i>Skiffia multipunctata</i>	3	1	Rare and vulnerable
<i>Zoogoneticus tequila</i>	1	1	Critically Endangered
<i>Skiffia francesae</i>	1	0	Extinct in the wild

Table 3. Habitat characteristics of the localities studied; where there is variation in the parameters it is given the mean  $\pm$  standar deviation. The last row shows data from Camécuaro, a locality added at the end of the study (see text for explanation).

LOCALITY	LOCATION	HA <sup>1</sup>	AREA (m <sup>2</sup> )	TR (%) <sup>2</sup>	DEEP (m)	WATER FLOW (cm/seg)	ED <sup>3</sup>
ALVARO OBREGON	N 19° 59' 47" W 101° 51' 52"	R	-----	66.6 $\pm$ 37.6	0.57 $\pm$ 0.26	18.0 $\pm$ 0.0	E
CHAPULTEPEC	N 19° 34' 22" W 101° 31' 17"	S-L	3255	90.4 $\pm$ 25	4.25 $\pm$ 0.8	12.22 $\pm$ 8.06	E
COINTZIO	N 19° 36' 33" W 101° 16' 53"	D	162500	22 $\pm$ 38	1.16 $\pm$ 0.06	0.0	H
LAJA Atotonilco	N 21° 00' W 100° 20'	R	-----	100	0.53 $\pm$ 0.36	11.52 $\pm$ 13.63	E
LAJA Dolores Hidalgo	N 21° 12' W 100° 24'	R	-----	56 $\pm$ 52	0.38 $\pm$ 0.17	4.55 $\pm$ 5.06	H
MINTZITA	N 19° 34' 22" W 101° 31' 17"	S-L	50000	100	1.61 $\pm$ 0.7	10.16 $\pm$ 7.14	O
ORANDINO	N 19° 57' 26" W 102° 19' 36"	S-D	26740	100	1.4 $\pm$ 0.32	8.33 $\pm$ 5.8	E
SN. FCO. RINCON	N 21° 03' W 101° 48'	S-L	10512	100	0.85 $\pm$ 0.22	9.0 $\pm$ 1.0	O
TEUCHITLAN <sup>4</sup>	N 20° 45' W 103° 50'						
S-1		S	254.5	100	1.56 $\pm$ 0.12	16.5 $\pm$ 3.5	O
S-2		S	128	100	1.06 $\pm$ 0.05	13 $\pm$ 10.4	O
D		D	418	100	0.5	0.0	O
Tequila		S	15.4 $\pm$ 7. 8	100	0.2 $\pm$ 0.05	3 $\pm$ 2.2	E
ZACAPU	N 19° 42' 19" W 101° 58' 22"	S-D	225000	93	4.3 $\pm$ 3.8	10.8 $\pm$ 7.5	O
ZIRAHUEN	N 19° 38' W 101° 44'	L	941250	100	3.9 $\pm$ 2.9	0.0	O
RIO G. DE MORELIA	N 19° 44' W 101° 11'	R	-----	50	0.5	2.5	H
RIO SANTIAGO	N 20° 20' W 102° 45'	R	-----	20	1.5	0	H
RIO TURBIO	N 20° 44' W 101° 49'	R	-----	100	0.2	0	H
CAMECUARO	N 19° 54' 07" W 102° 12' 30"	S-L	112500	100	2.0	2.0	O

<sup>1</sup> Habitat type: D = Dam, L = Lagoon, R = River, S = Spring.

<sup>2</sup> TR = Transparency.

<sup>3</sup> Eutrophication degree: E= Eutrophic, H = Hyperretrophic, O = Oligotrophic.

<sup>4</sup> Habitats sampled at this locality were two springs (S-1 and S-2) without *Z. tequila*, one spring with *Z. tequila* (Tequila) and a dam (D).

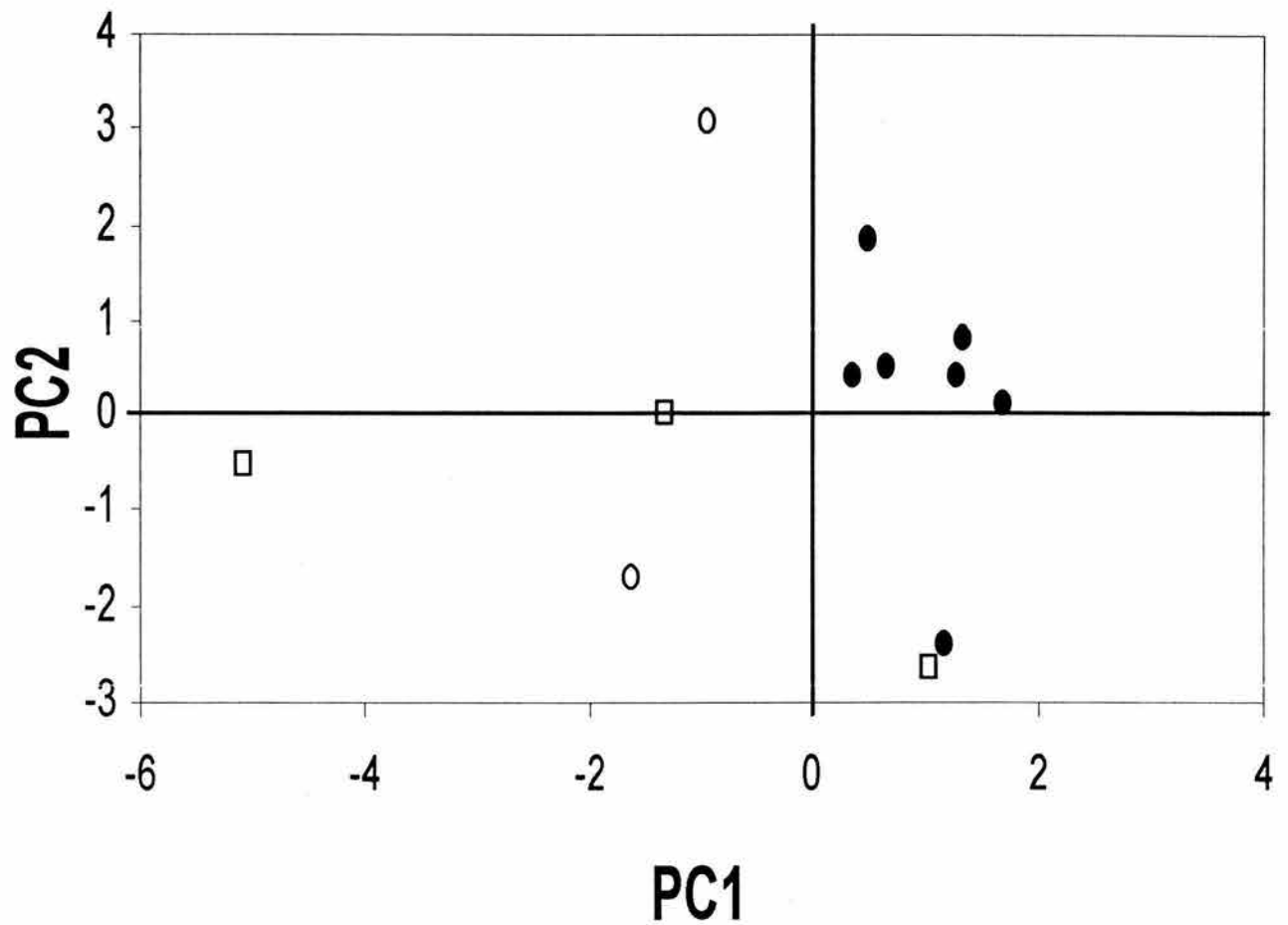


Figure 1. Principal component analysis of physicochemical variables surveyed in the localities studied. ● = Localities with focal goodeids, □ = localities without focal goodeids, ○ = localities with *Skiffia bilineata*.

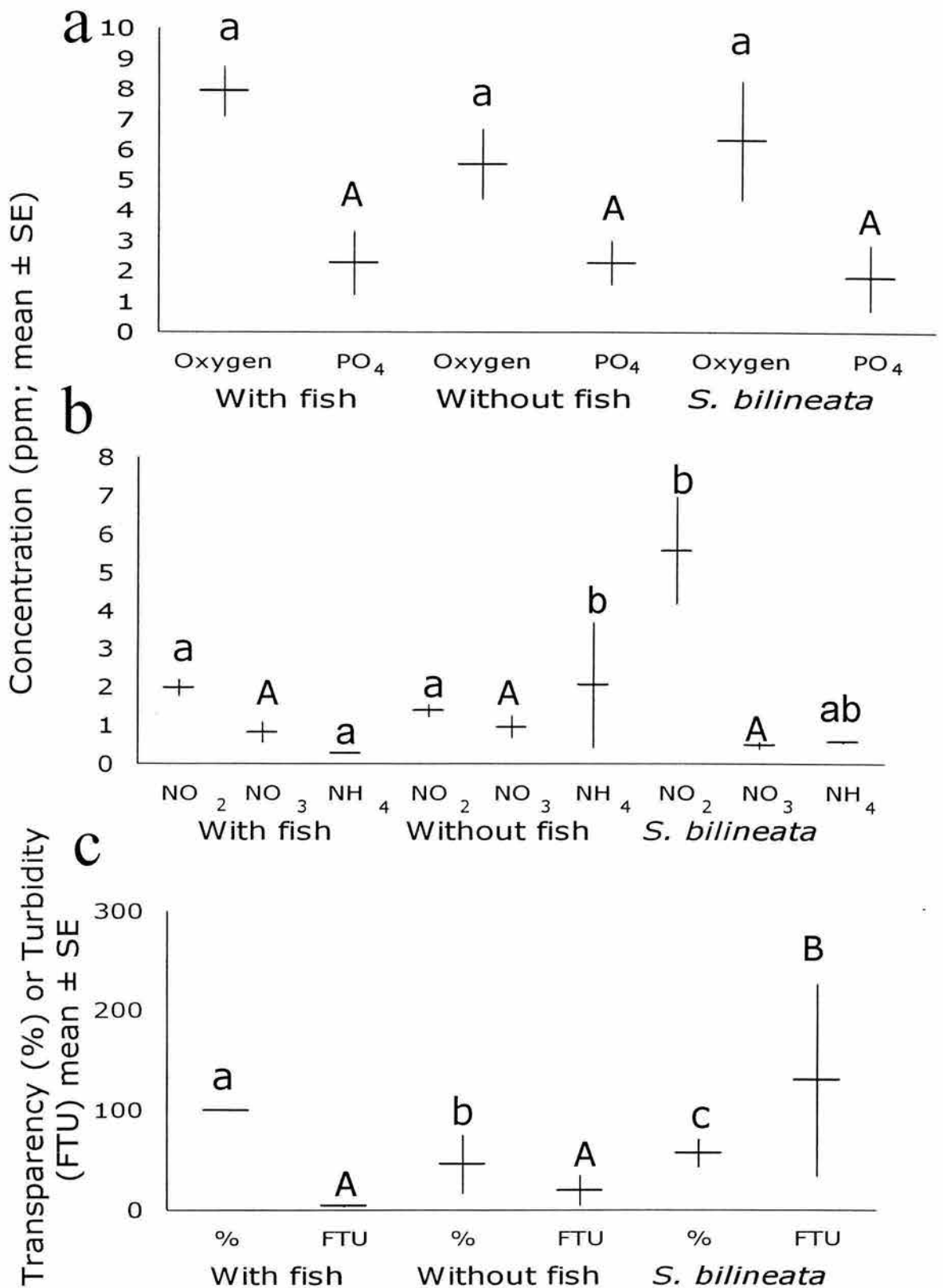


Figure 2. Concentration of limnological elements in 11 localities, in relation to fish composition (see text). For each parameter, different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) between groups of localities from ANOVA's. **a**) Concentration of dissolved O<sub>2</sub> and PO<sub>4</sub>. (O<sub>2</sub>,  $F_{(2,10)} = 2.97$ ,  $p = 0.057$ ; PO<sub>4</sub>,  $F_{(2,10)} = 0.05$ ,  $p = 0.95$ ). **b**) Concentration of dissolved Nitrogen salts. (NO<sub>2</sub>,  $F_{(2,10)} = 4.31$ ,  $p = 0.017$ ; NO<sub>3</sub>,  $F_{(2,10)} = 0.8$ ,  $p = 0.45$ ; NH<sub>4</sub>,  $F_{(2,10)} = 6.66$ ,  $p = 0.002$ ). **c**) Water transparency (%) and turbidity (FTU). (Transparency,  $F_{(2,10)} = 236$ ,  $p < 0.000$ ; turbidity,  $F_{(2,10)} = 63.7$ ,  $p < 0.000$ ).

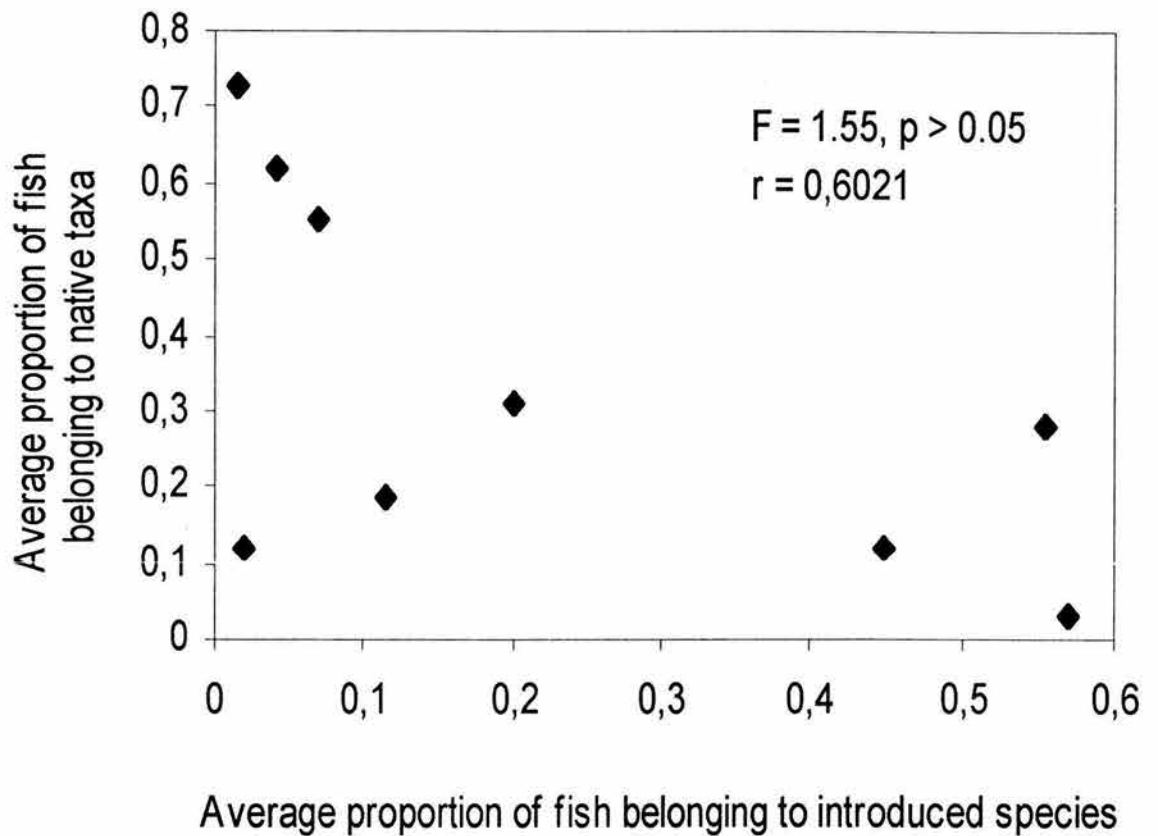


Figure 3. Association between the average proportion of fish belonging to exotic species, and the proportion of fish of the Goodeidae, in the 11 localities with fish. Note that a negative correlation is not a necessary result, since we are not including a third category (native, non-goodeid fish) in this plot.

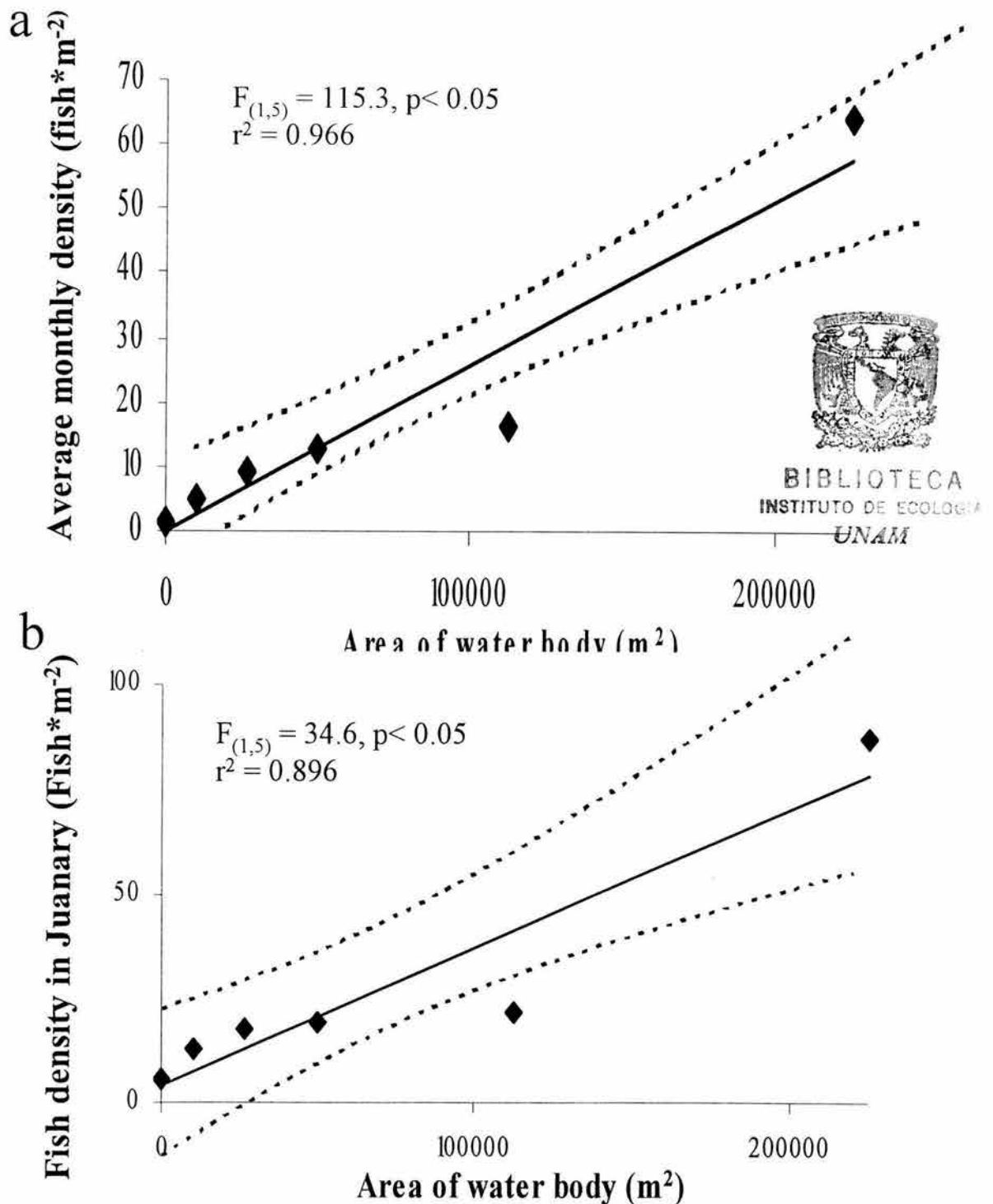


Figure 4. Concentration of fish (*Z. quitzeoensis*) as a function of the surface area of the water body. In (a) we present the average concentration of fish from the five localities of the study, plus the concentration of fish in the sixth (extra) locality sampled in January 2002. The association using only the data from January 2001 and the sixth (extra) locality sampled in January 2002 (b) is still strong and very significant.



DEPAUPERATION OF THE FISH ASSEMBLAGE IN THE TEUCHITLAN RIVER,  
MEXICO: STOCHASTIC AND DETERMINISTIC FACTORS

En este escrito se reportan los resultados de los cambios ocurridos en el ensamblaje de peces en la cabecera del río Teuchitlán, donde se han producido diversas modificaciones y el deterioro ambiental en los últimos 50 años. Aquí se analiza la relación entre los factores determinísticos (introducción de especies exóticas y fragmentación), factores estocásticos (competencia y depredación), factores biogeográficos (relación área/número de especies) con los cambios en el ensamblaje de peces.

The Teuchitlán River (TR), a small tributary of the Pacific-draining Ameca, is unique in that it harboured three endemic fish species in its 15 km of length. Yet, the three have been frequently believed extinct; two (*A. splendens* and *Z. tequila*) are severely endangered, while *S. francesae* is extirpated from nature. To understand the threats of extinction in the context of the community of fish at Teuchitlán, we evaluated the effect of deterministic and stochastic factors on changes in the fish assemblage. We studied the fish community and described the study site through a one-year cycle. Our data of the fish community were then compared to those from previous reports. In order to establish assemblage rules we used bibliographic data and our observations of feeding habits and habitat segregation. Before the introduction of exotic fish, first recorded in 1978, TR used to harbour thirteen native species, representing five families, the Goodeidae being represented by nine species including three endemics. The river was subsequently dammed and the resulting pond invaded by *Eichhornia crassipes*, which caused a reduction of suitable habitat. Several native species were then restricted to the headwaters, which were subsequently fragmented by the building of a spa. We found that anthropogenic changes in TR caused a severe depauperation of the fish assemblage, with a loss of 35.7% of all fish species, and 64.3% of native fish species, including the extinction in the wild of *Skiffia francesae*. Currently the depauperate assemblage is formed of five native and four introduced species. In the springs, there are substantial populations of native fish, while exotics are the dominant fauna in the ponds. We found that each fragment in the TR holds a number of species proportional to its area. This historical review supports the idea that fish assemblages do not occur randomly; feeding habits and habitat preferences are important in their establishment. Richer native fish sites generally have less than 10% of introduced species, and native species can occur principally in undisturbed natural habitats. Changes caused by stochastic (reduction and fragmentation of habitat) and deterministic (competition) factors took place in the TR.

Depauperation of natural populations is associated with stochastic factors that include physical disturbance and changes in habitat, and deterministic factors that include both competition and predation. Natural and experimental evidence indicates that resource limitation and species interactions (competition and predation) often play a significant role in structuring freshwater communities. Some studies suggest that fish communities are structured, by distinct habitat partitioning and efficient resource use mediated by horizontal and vertical segregation of habitat (Werner 1986).

The assemblage itself possesses emergent properties that operate given a particular species composition and historical context. Assembly rules are based primarily on food resources and their availability. However, biotic interactions and physicochemical characteristics have effects on fish assemblages (Grossman et al. 1982, Edds 1993).

Species invasion or extinction, or environmental perturbation may have strong effects in assemblage composition (Drake 1990, Sousa 1984). The introduction of new species as a result of speciation or invasion can alter assembly patterns. In some cases, introductions have evidently led to species replacements (Grossman et al. 1982, Edds 1993).

The Teuchitlán River (TR) in Jalisco, México, is the type locality of several native fish species. The viviparous Goodeidae, endemic to México, is represented with eight species, three of them with very restricted distributions. *Ameca splendens* was described from the Teuchitlán and Ameca Rivers, and currently the only locality is the TR. *Skiffia francesae* was described in the TR and in springs in Etzatlán, and *Zoogoneticus tequila* was described only from specimens originating at TR; the last two species were reported extinct in the wild (Webb and Miller 1998). Conservation of these fish requires a good understanding of the factors that promote extinction.

The compositions of fish communities together with habitat descriptions of TR have been reported since 1955 (Miller and Fitzsimons 1971, Kingston 1978, Webb and Miller 1998). The historical reports and our data on fish composition, habitat description and limnologic characteristics, make the Teuchitlán River a useful study case on changes of fish assemblage structure and environmental disturbance.

The aim of this study was to assess the effect of changes in habitat and limnological characteristics on changes of species composition of the fish assemblage in the TR, in order to evaluate the response of fish communities to perturbation and determine the contribution of deterministic and stochastic factors in the extinction and extirpation of native species.

### **Study area**

The study site is the headwaters of TR at 20° 45' N, 103° 50' W. The Teuchitlán river starts 15 km above its confluence with the Ameca River. In 1955, a dam (La Vega dam) was built, and exotic fish species were introduced into the dam probably at that time (Figure 1).

Five decades ago, the TR was reported as beginning in large springs which formed a stream that averaged 6 m wide and up to 1.2 m deep. The bottom was mostly deep sediment and silt but with some sand, gravel, volcanic rocks, and boulders. In the main channel the current was moderate; where the stream expanded below a stone bridge, it formed a pool measuring about 21.5 X 18 m. Aquatic vegetation included some *Pistia*, locally abundant *Potamogeton*; many rooted *Ceratophyllum* and a small amount of floating water hyacinths (*Eichornia crassipes*), with green algae on the rocks (Miller and Fitzsimons 1971).

The TR was turned into a spa probably 30 years ago, and the construction of little pools isolated the springs. Currently the headwaters of the TR is totally fragmented (Figure 2), constituted by two pools (springs 1 and 2) with clear running water, 1.6 m deep, and a

rocky bottom covered by green alga. Then the stream expands forming three shallow ponds with no water current, separated by concrete walls. Shallow ponds have clear water, with no current and with a bottom covered of deep sediment, which causes high turbidity when disturbed. Pond 1 is about 19 X 22 X 0.5 m deep. Pond 2 is about 50 X 40 X 1.0 m deep. Pond 3 is about 19 X 153 X 1.5 m deep. Only pond 3 has aquatic vegetation, composed of abundant elodea (*Elodea densa*). Close by, below the level of the ponds, the stream is very shallow and totally covered with water hyacinth (*Eichornia crassipens*) and does not appear to contain fish (P4). Along the TR, there are some little springs that feed it. We studied six localities in the TR, two springs (S1 and S2) and three ponds (P1, P2, P3) in the headwaters, and a little isolated spring (S3) where we found a minute population of *Zoogoneticus tequila* (De la Vega-Salazar et al. 2003 a).

## **Methods**

### **Sampling**

We made nine visits to each fragment in the TR (6 sites) from July 2000 to August 2001. The abundance of small fish (< 7.0 cm standard length [SL]) was assessed hauling a 5.5-m long seine net (0.4 cm mesh) for three meters in three separate transects. A 20-m long multi-mesh gill net composed of four 5-m long sections with 1.27, 5.71, 7.62 and 8.9 cm mesh was used to sample large fish (7 - 40 cm [SL]). This was placed in the water body for 4 hours during daylight. Fish species were identified and the number of fish of each species in the sample was recorded. Small fish were returned to their collection site alive; large fish (>10 cm [SL]) were used to obtain the stomach contents and quantify the degree of predation on small fish. We also searched for piscivorous snakes (*Thamnophis* sp) and other predators.

### **Habitat characteristics**

To characterise the habitat we measured the area of the water body (BUSHNELL® YARDAGE PRO 500 laser rangefinder), depth, temperature at the surface and bottom (La Motte® DO 4000 dissolved oxygen meter), current speed (General Oceanics Inc.® current

meter). Diversity and abundance of phytoplankton were assessed filtering 50-100 l (depending on the eutrophication degree) taken at the water surface, with an 80 µm plankton net.

### **Water quality**

To assess water quality we measured Secchi disk transparency, and at the surface and bottom of the water body we quantified dissolved oxygen (La Motte<sup>®</sup> DO 4000 dissolved oxygen meter), turbidity (HANNA<sup>®</sup> HI93703 turbidimeter), pH (HANNA<sup>®</sup> Checker) as well as ammonia, nitrate, nitrite and phosphorus concentrations (HANNA<sup>®</sup> C 100 multiparameter bench spectrophotometer).

We obtained the rainfall charts from Ameca and Guadalajara weather stations for the years 1981 to 1996 (Sistema Meteorológico Nacional, Comisión Nacional del Agua), which spans the period when the events of local extinction occurred at TR.

No information exists on the ecology and limnology of the TR in the past, making it difficult to determine the effect of deterministic factors in the extinction of species. Thus, we followed an approach that compares the current limnological characteristics in the TR and eleven localities where species of the genera *Skiffia* and *Zoogoneticus* persist or were reported. In each visit, we assessed habitat characterisation, water quality and fish population densities, simultaneously sampled. In addition, samples from one visit during the dry season were used to quantify concentrations of organophosphorous pesticides and heavy metals in water and sediment (De la Vega-Salazar et al. 2003 b).

### **Habitat segregation**

Fish species were classified into feeding groups and the habitat distribution in the water body, using reported data and our observations of habitat use.

## Results

Our data of limnology and water quality in the headwaters of the TR and other localities (Table 1) show that there are no differences between localities inhabited by *Skiffia* and *Zoogoneticus* species, and the TR. The worst conditions were present in spring 3, a locality inhabited by *Zoogoneticus tequila*, since this small spring almost disappeared during the dry season. The main difference between fragments in the headwaters of TR is the standing water in ponds and sediment accumulation. The mean monthly precipitation in the Ameca and Guadalajara (Figure 3) and annual precipitation in both zones (Figure 4) were rather similar through the revised period.

We have data on fish species richness at TR from 1955-1966 (Miller and Fitzsimons 1971), 1976 (Kingston 1978), 1978-1985, and 1992 (Webb and Miller 1998) and 2000-2001 (our samples). The fish assemblage reported in 1955 by Miller y Fitzsimons (1971) was composed of 13 native and endemic species with high abundance (Table 2). Since 1976, Kingston (1978) reported 13 native species and the introduction of two exotics. Webb and Miller (1998) reported 12 native species during 1978-1985, two species previously reported (*Chapalichtys sp.* and *Chirostoma jordani*) were not found, and they documented the presence of *Allophorus robustus* and *Allotoca maculata*, previously reported in the Ameca River, together with four exotic species. In 1992 Webb and Miller (1998) reported 10 native species and five exotic species. In our samples species richness is made of only five native and four exotic species (Table 2, Figure 5).

Currently the fish distribution is not homogeneous in the fragments of TR. Native species are mainly in springs, and exotic species are the prevalent fish in ponds (Figure 6).

Average fish abundance is higher in springs (8.6 o/m<sup>2</sup>), than in lagoons (4.0 o/ m<sup>2</sup>)

Based on literature reports and on our observations on feeding habits in the assemblage of native species, we classified the fish species in herbivorous, carnivorous and omnivorous and considering the distribution of fish by kind of habitat, depth and water current, we propose a possible pattern of habitat segregation in the TR (Figure 7). The initial assemblage had four carnivorous, three herbivorous and six omnivorous species. In 1976 the number of species in carnivorous and omnivorous groups increased after the introductions, but the proportion in each group is almost constant. In 1985-1992 increased the number and proportion of omnivorous and the herbivorous decreased. Currently there are only one herbivorous (*Ameca splendens*, but note that this species is living in a isolated spring where it found a refuge and can accept other kinds of food in captivity) and eight omnivorous species, four of which are exotics. All the carnivorous species were extirpated (Figure 8).

In order to know the relationship between the area of water bodies and the richness of fish species we made a regression using data of the six localities where the species assemblage is composed of native species principally, and in the fragments at the TR. We found a strong positive regression between the size (area) of the habitat and the richness of species  $r^2 = 0.7$ ,  $p < 0.05$  (Figure 9). In this plot, one data print appears to be an outlier. It corresponds to Orandino, a locality characterised by high productivity and higher fish abundance than any of the other localities, this conducted to obtain the correlation between the abundance of phytoplankton and the richness of fish species. In fact the plot of richness as a function of abundance of phytoplankton (Figure 10), shows a significant correlation  $r^2 = 0.41$ ,  $p < 0.05$ .

Using data of the 11 localities studied we found that the prevalence of introduced species (as percentage of total) is inversely related to the number of native species, the exponential



association being significant. Goodeide fish  $r = 0.55$ ,  $p < 0.05$ , exotic fish  $r = -0.65$ ,  $p < 0.05$ , (Figure 11).

Data of stomach content of the introduced sunfish *Lepomis macrochirus* in the TR and in San Francisco del Rincon (Lerma basin) show that this fish is not an important predator of native fish (Table 3). Other introduced species have small size or are largely omnivorous; we did not see any other predator in the headwaters of the TR, probably because of the permanent presence of people.

Pesticides were not detected in samples of water and sediment from any locality, and concentrations of heavy metals were below the toxic level (Pärt et al. 1985; Welch and Lindell 1992)

## Discussion

Water quality in the headwaters of the TR seems adequate to support the existence of native fish (De la Vega *et al.* 2003 b). The little spring, locality where was found (extirpated from most of the headwaters), features worse physicochemical and limnological conditions than those described for the ponds. This indicates that the detriment in water quality was not the cause of extirpation for *Zoogoneticus tequila*. With the exception of the extremely tolerant *Goodea atripinnis* and *Poeciliopsis infans*, native species were confined to the springs.

There is no evidence of catastrophic events like extreme drought or flood, or massive death from pollutant spillage, which may be associated to the extinction of fish (Sousa 1984, Grossman *et al.* 1982). Instead our historical review shows that a chain of anthropogenic events in the TR caused a severe depauperation of the fish assemblage (losing 35.7% of all fish species and 64.3% of native species), including the extinction in the wild of the

endemic *Skiffia francesae*. Two predominant disturbances have occurred: reduction and fragmentation of the habitat, and introduction of exotic species.

Kingston (1978) reported first introductions in 1976, however the depauperation of the fish assemblage was not reported until 1985 (Webb and Miller, 1998). It is important that the first species to be introduced (*Cyprinus carpio* and *Xiphophorus maculatus*) were not successfully established, and currently are not part of the fish assemblage, and it is also interesting to note that there are fewer exotic species in rich communities (Figure 11). Both observations agree with the hypothesis that a stable and undisturbed system can resist introductions (Fox and Fox 1986). Such a protective role of diversity might stem from a lower probability of losing all the supporting species when more species are present (Nijs and Impens 2000). Many species have successfully invaded terrestrial and aquatic communities, but primarily in disturbed habitats and on depauperated islands successful introductions may lead to extinction of native forms (Ricklefs 1987).

Our data indicate that predation was not an important factor in depauperation of fish assemblage in the TR. In the different years studied we found a different assemblage of species, however, trophic structure of an assemblage may remain constant even if the taxonomic composition does not (Figure 8). At high levels of native species extirpation we found the extirpation of specialist species (carnivorous and herbivorous). Reduction and fragmentation of the habitat and the successful introduction of exotic species (*Lepomis macrochirus*, *Poecilia sphenops* and *Tilapia aurea*) at the TR, could increased competition and contributed to the local extirpation of native (Grossman et al. 1982, Fox and Fox 1986, Drake 1991, Wotton 1998).

Area of habitat is a fundamental correlate of species richness (McArthur and Wilson 1963, Simberloff 1974, Simberloff and Abele 1982, Flessa and Jablonski 1983). Our data

confirm that area is very important to maintain freshwater fish species richness. In a fragmentation process, there remain small islands which conserve favourable conditions, but can hold only few species and at low population densities. The random sample hypothesis and the theory of island biogeography predict that for probabilistic reasons, the rarest species are most likely to be the first species to disappear as the proportion of suitable habitat declines (Connor and McCoy 1979, Andr en 1996). These isolated fragments have important implications in biological conservation (Paterson 1987, Wright and Reeves 1992). The problem is that protected species in each fragment are species that were abundant and generalist in continuous habitat, but those isolated fragments can hold only few species at small population sizes. The combination of relatively small populations and stochastic variability increase the probability of extinction (Shaffer 1981, Thomas 1994).

## **Conclusion**

The evidence shows that *Zoogoneticus tequila* and *Ameca splendens*, formerly abundant at the TR, are currently confined to isolated fragments. It is recommendable to take special care for *Zoogoneticus tequila* since the size of its population is extremely low (probably < 50 adult fish).

The richness of fish species was strongly correlated to locality size. Richer native fish sites generally have less than 10% of introduced species, and native species can occur mainly in undisturbed natural habitats. Changes caused by stochastic (reduction and fragmentation of habitat) and deterministic factors (competition) increased by the introduction of exotic fish substantially affect the fish species composition in the TR.

Our data suggest that extinction was not the result of one disturbance alone; extinction was probably by the reduction and fragmentation of habitat and probably competitive

exclusion, most likely produced when stochastic and deterministic processes acted together. Reported evidence show that limited resources and species introductions frequently can increment the intensity of intra- and inter- specific competition and cause the extinction of species (Werner 1986).

**Acknowledgements** – We are very grateful to Edgar Avila-Luna for his valuable assistance in fieldwork, and Alfonso Valiente, Rodolfo Dirzo, Ignacio Méndez, Jose Luis Ozorno and Hector Gómez de Silva for their comments on the manuscript. CONACYT grant number 32005-N supported this research.

## References

- Andrén, H. 1996. Population responses to habitat fragmentation: Statistical power and the random sample hypothesis. - *Oikos* 76: 235-242.
- Connor, E. F. and McCoy, E. D. 1979. The statistics and biology of the species-area relationship. - *Am. Nat.* 113: 791-833.
- De la Vega-Salazar, M.Y., Avila-Luna, E. and Macías-García, C. 2003 a. Threatened fishes of the word: *Zoogoneticus tequila*. – *Environ. Biol. Fish.* (in press).
- De la Vega-Salazar, M.Y., Avila-Luna, E., and Macías-García, C. 2003 b. Ecological evaluation of local extinction: The case of two genera of endemic fish, *Zoogoneticus* and *Skiffia*. - *Biodiversity and Conserv.* (in press).
- Drake, J. A. 1990. Communities as assembled structures: Do rules govern patten? - *TREE* 5: 159-164.
- Drake, J. A. 1991. Community-assembly mechanics and the structure of an experimental species ensemble. - *Am. Nat.* 137: 1-26
- Edds, D. R. 1993. Fish assemblage structure and environmental correlates in Nepal's Gandaki River.- *Copeia* 1: 48-60.

- Flessa, K., W. and Jablonski D. 1983 Extinction is Here to stay. *Paleobiology* 9: 315-321.
- Fox, M. D., and Fox, B. J. 1986. The susceptibility of natural communities to invasion. –  
In: Groves, R. H. and Burdon, J. J. (eds.), *Ecology of Biological invasions: An Australian perspective*. Australian Academy of Science Canberra. p. 57-66.
- Grossman, G. D. Moyle, P. and Whitaker J. 1982. Stochasticity in Structural and  
Funcional Characteristics of an Indian Stream Fish Assemblaje: A Test of  
Community Theory. - *Am. Nat* 120: 423-454.
- Kingston, D. I. 1978. *Skiffia francesae*, a new species of Goodeid fish from Western  
México. - *Copeia* 1978 (3): 503-508.
- MacArthur, R. H. and Wilson, E. O. 1963. An equilibrium theory of insular zoogeography.  
- *Evolution* 17: 373-387.
- Miller, R. R. and Fitzsimons, J. M. 1971. *Ameca splendens*, a new genus and species of  
Goodeid fish from Western México, with remarks on the classification of the  
Goodeidae. - *Copeia* 1971(1): 1-13.
- Nijs, I. and Impens, I. 2000. Biological diversity and probability of local extinction of  
ecosystems. – *Funct. Ecol.* 14: 46-54.
- Pärt, P. Svanberg, O. and Bergström, E. 1985. The Influence of surfactants on gill  
physiology and cadmiun uptake in perfused rainbow trout gills. - *Ecotoxicology and  
Environmental Safety* 9: 135-144
- Patterson, B. D. 1987. The Principle of nested subsets and its implications for biological  
conservation. - *Conserv. Biol.* 4: 323-334.
- Ricklefs, R. 1987. Community diversity: Relative roles of local and regional processes. -  
*Science* 235:167-171.

- Shaffer, M. L. 1981 Minimum Population Sizes for Species Conservation. – *BioScience*: 131-134.
- Simberloff, D. S. 1974. Equilibrium Theory of Island Biogeography and Ecology. - *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 5: 161-182.
- Simberloff, D. and Abele, L. G. 1982. Refuge Design and island Biogeographic Theory: Effects of fragmentation. - *Am. Nat.* 120: 41-50.
- Sousa, W. P. 1984. The Role of Disturbance in Natural Communities. - *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 15: 353-391.
- Thomas, C. D. 1994. Extinction, Colonization, and Metapopulations: Environmental Tracking by Rare Species. - *Conserv. Biol.* 8: 373-378.
- Webb, S. A. and Miller, R. R. 1998. *Zoogoneticus tequila* a new Goodeid fish (Cyprinodontiformes) from the Ameca Drainage of Mexico, and rediagnosis of the Genus. - *Occ. Pap. Mus. Zool Univ. Mich.* 725: 1-23.
- Werner E. 1986. Species interactions in freshwater fish communities. - In Diamond, J. and Case, T. (eds.) *Community ecology*. Harper & Row Publishers, Inc. N. Y. pp.344-357.
- Wootton, J. T. 1998. Effects of disturbance on species diversity: A multitrophic perspective. - *Am. Nat* 152: 803-825.
- Wright, D. H. and Reeves, J. H. 1992. On the meaning and measurement of nestedness of species assemblages. - *Oecologia* 92: 416-428.

Table 1. Principal habitat characteristics in localities where species of *Skiffia* or *Zoogoneticus* were present, assessed during 2000-2001, including six fragments of the Teuchitlán River.

LOCALITY	HABITAT	AREA (m <sup>2</sup> )	TRANSPARENCY (%)	DEPTH (m)	CURRENT (cm/seg)	DISOLVED O <sub>2</sub> (PPM)	T (° C)	EUTROPHIC STATUS
Chapultepec	S-L	3255	90.4	4.25±0.8	12.22±8.0	7.89±4.4	18.8±1.8	E
Mintzita	S-L	50000	100	1.61±0.7	10.16±7.14	7.35±3.5	21.5±1.0	O
Orandino	S-D	26740	100	1.4±0.32	8.33±5.8	15.04±2.8	24.12±2.2	E
San. F. Rincón	S	10512	100	0.85±0.22	9.0±1.0	6.96±5.2	25.4±2.6	O
Zacapu	S-D	225000	93	4.3±3.8	10.8±7.5	11.45±5.8	18.7±1.5	O
Teuchitlán	M1	254.5	100	1.6	16.5±3.5	6±2	26±3	O
	M2	128	100	1.0	13±10.4	6±2	25±1.5	O
	L1	418	100	0.5	0	6±3	27±1.5	O
	L2	2180	100	0.8	0	8±5	26±1.5	O
	L3	6730	100	1.3	0	8±4	28±3	O
	M3	40	100	0.2	2.5±2.5	5.5±4.5	24.5±2.5	E-H

Habitat: D = Dam, L = Lagoon, R = River, S = Spring. Trophic status: E = Eutrophic, H = Hypereutrophic, O = Oligotrophic.

Table 2. Changes in species assemblage in the Teuchitlán River, during the period 1955-2001.  
Data from Miller and Fitzimons (1971), Kingston (1978) and Webb and Miller (1998)

FAMILY	SPECIES	1955-1966	1976	1978-1985	1992	2000-2001
Cyprinidae	<i>Algancea tinella</i>	+	+	+	+	
	<i>Hybopsis spp.</i>	+				
	<i>Yuriria alta</i>		+	+	+	
	<i>Notropis amecae</i>	+	+	+	+	
Ictaluridae	<i>Ictalurus dugesi</i>	+	+	+	+	
Goodeidae	<i>Ameca splendens</i>	+	+	+	+	+
	<i>Zoogoneticus quitzeoensis</i>	+	+	+	+	+
	<i>Xenotoca melanosoma</i>	+	+	+	+	
	<i>Chapalichthys spp.</i>	+	+			
	<i>Goodea atripinnis</i>	+	+	+	+	+
	<i>Allophorus robustus</i>			+		
	<i>Allotoca maculata</i>				+	
	<i>Skiffia francesae</i>	+	+	+		
	<i>Zoogoneticus tequila</i>	+	+	+		+
	Poeciliidae	<i>Poeciliopsis infans</i>	+	+	+	+
Atherinidae	<i>Chirostoma jordani</i>	+	+			
EXOTIC	<i>Poecilia sphenops</i>			+	+	+
	<i>Tilapia aurea</i>			+	+	+
	<i>Xiphophorus maculatus</i>		+	+	+	
	<i>Lepomis macrochirus</i>			+	+	+
	<i>Cyprinus carpio</i>		+		+	
	<i>Poecilia reticulata</i>					+



Table 3. Stomach content in the exotic fish *Lepomis macrochirus*.

Locality	Size (cm)				Stomach contents (%)			
	$\bar{x}$	$\sigma$	Min.	Max.	Algae	Vegetal	Invertebrates	Fish
Teuchitlan	14.53	3.5	12.0	25.5	100	100	11.76	5.9
San.F. Rincón	14.1	1.2	12.0	15.5	100	100	10	0.0

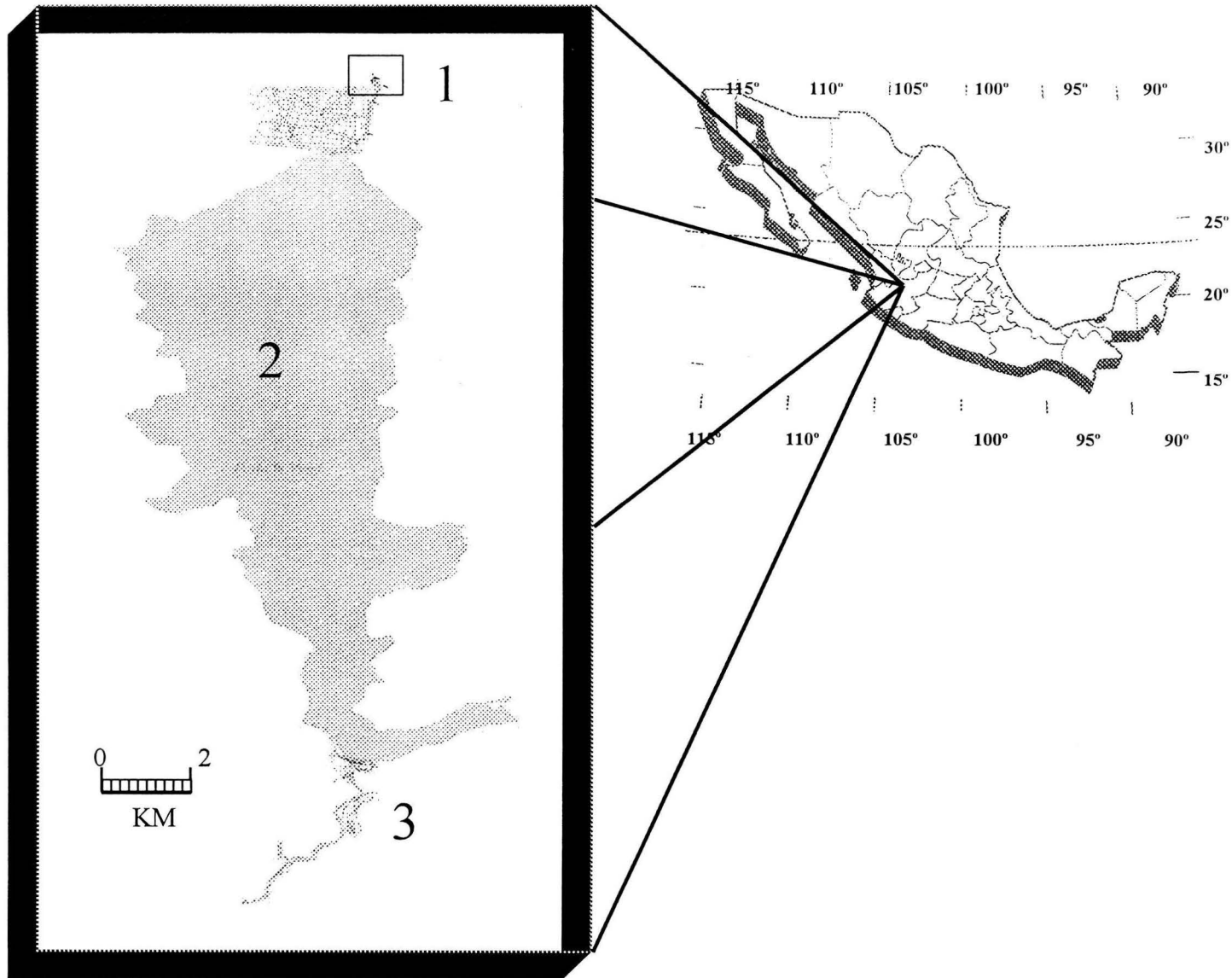


Fig. 1. Map of the study area showing: 1 Headwaters of the Teuchitlan River, 2 la Vega Dam, 3 Ameca River.

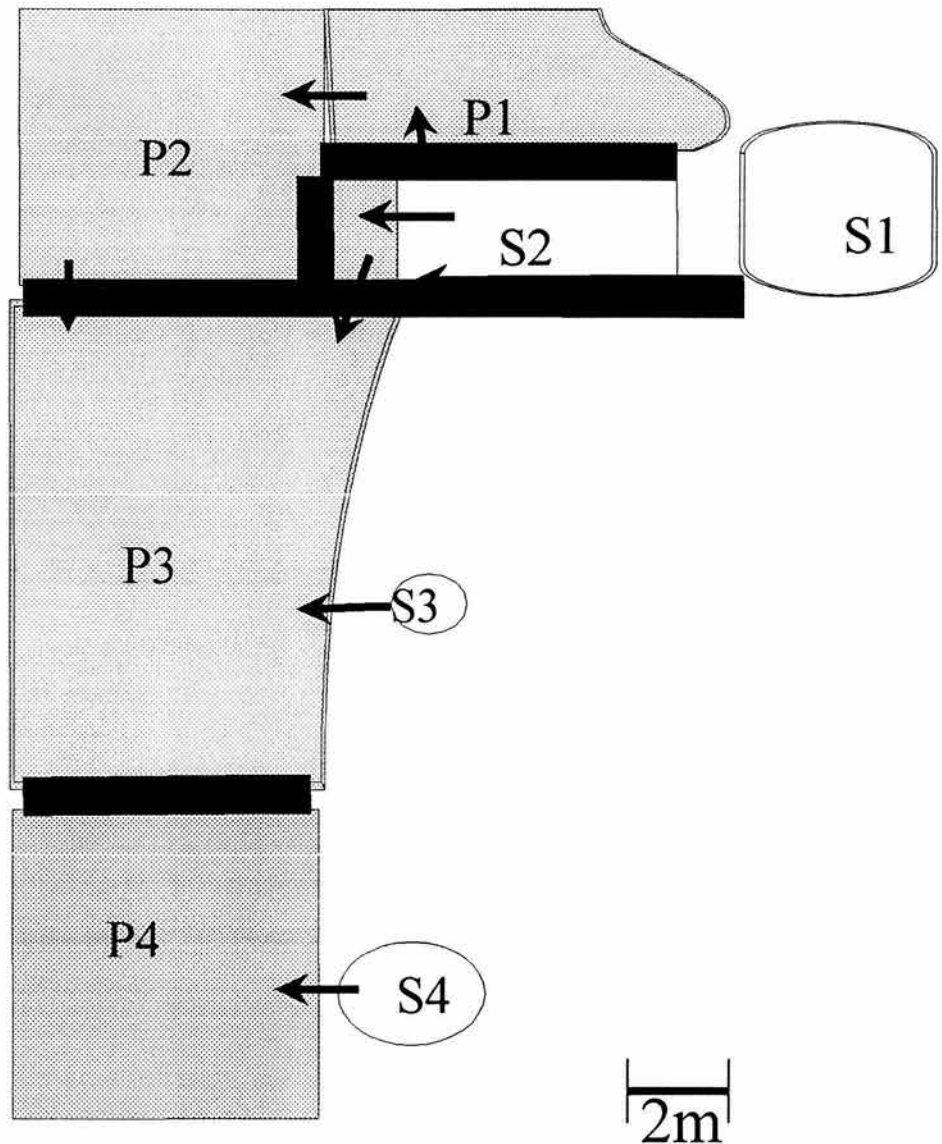


Figure 2. Diagram of fragments in the headwaters of the Teuchitlan River. S = springs, P = ponds. Arrows indicate direction of water movement.

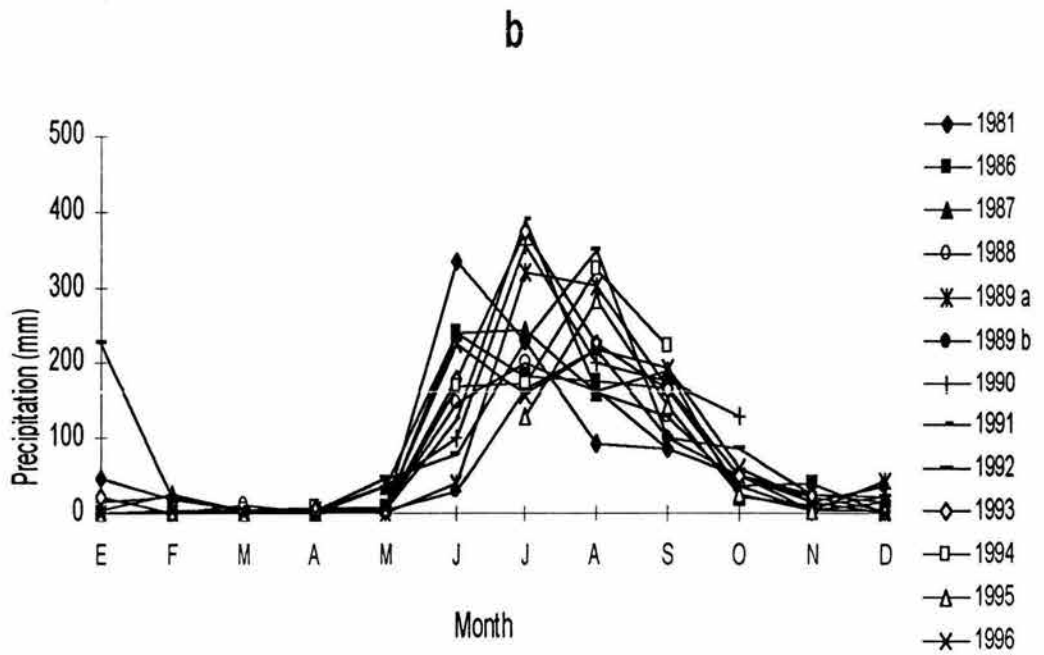
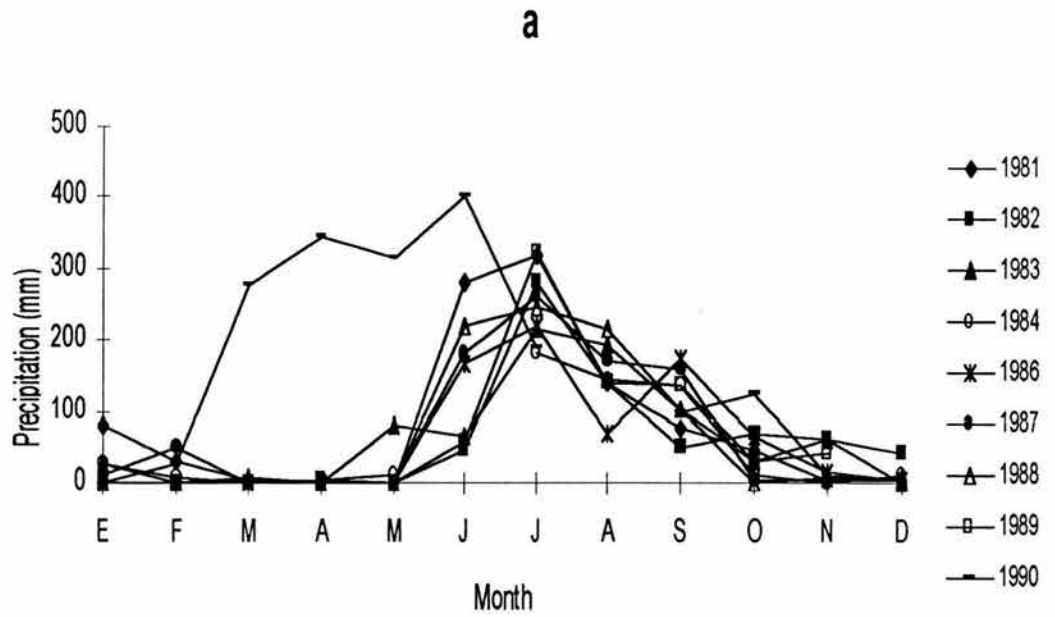


Figure 3. Monthly rainfall in the meteorological stations (a) Ameca, Jalisco, during years 1981 – 1990, and Guadalajara, Jalisco, during years 1981-1996 (b).

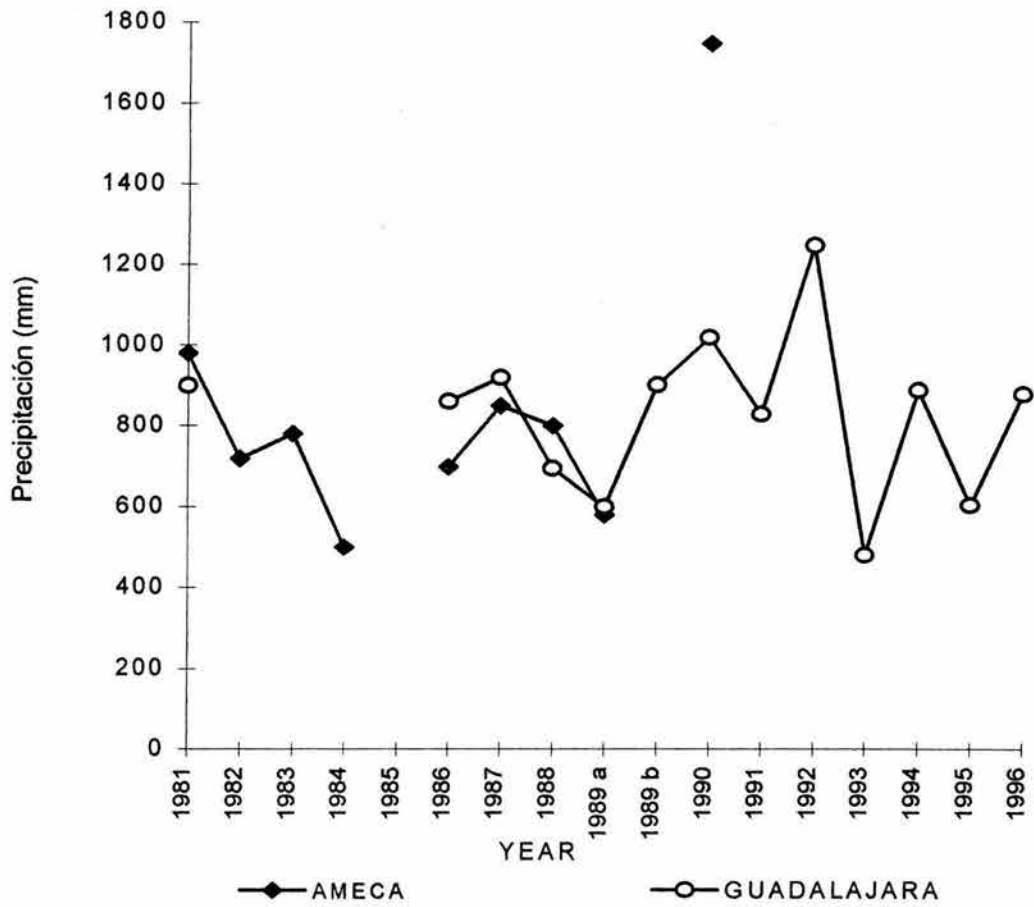


Figure 4. Annual rainfall in the meteorological zones in Ameca and Guadalajara, during years 1981 - 1996.

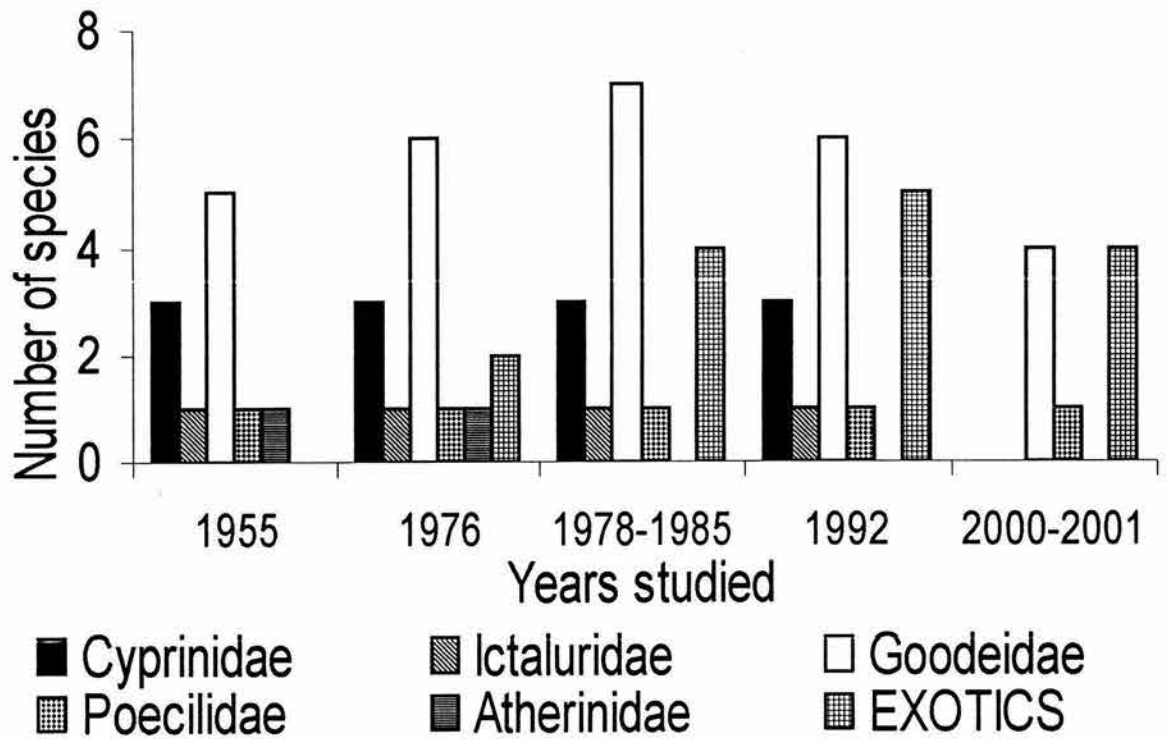


Fig. 5. Number of native species by family and number of total exotic species during the years studied. T = Total number of species.

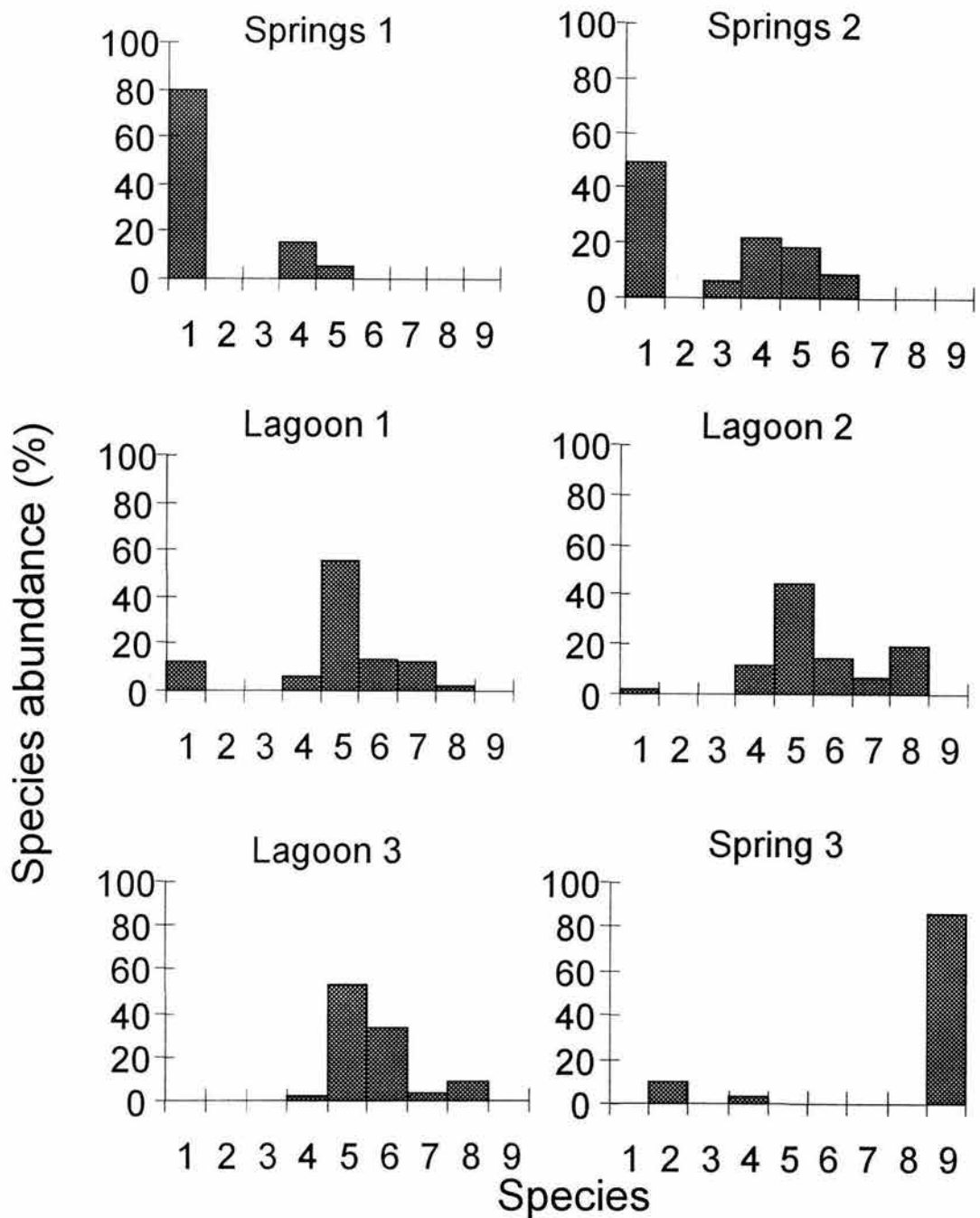


Figure 6. Comparison on the proportion of species abundance in each fragment studied at the headwater of the Teuchitlan River. Species order: 1. *Ameca splendens* N, 2. *Zoogoneticus tequila* N, 3. *Zoogoneticus quitzeoensis* N, 4. *Goodea atripinnis* N, 5. *Poeciliopsis infans* N, 6. *Poecilia sphenops* E, 7. *Lepomis macrochirus* E, 8. *Tilapia aurea* E, 9. *Poecilia reticulata* E. (N = Native, E = exotic)

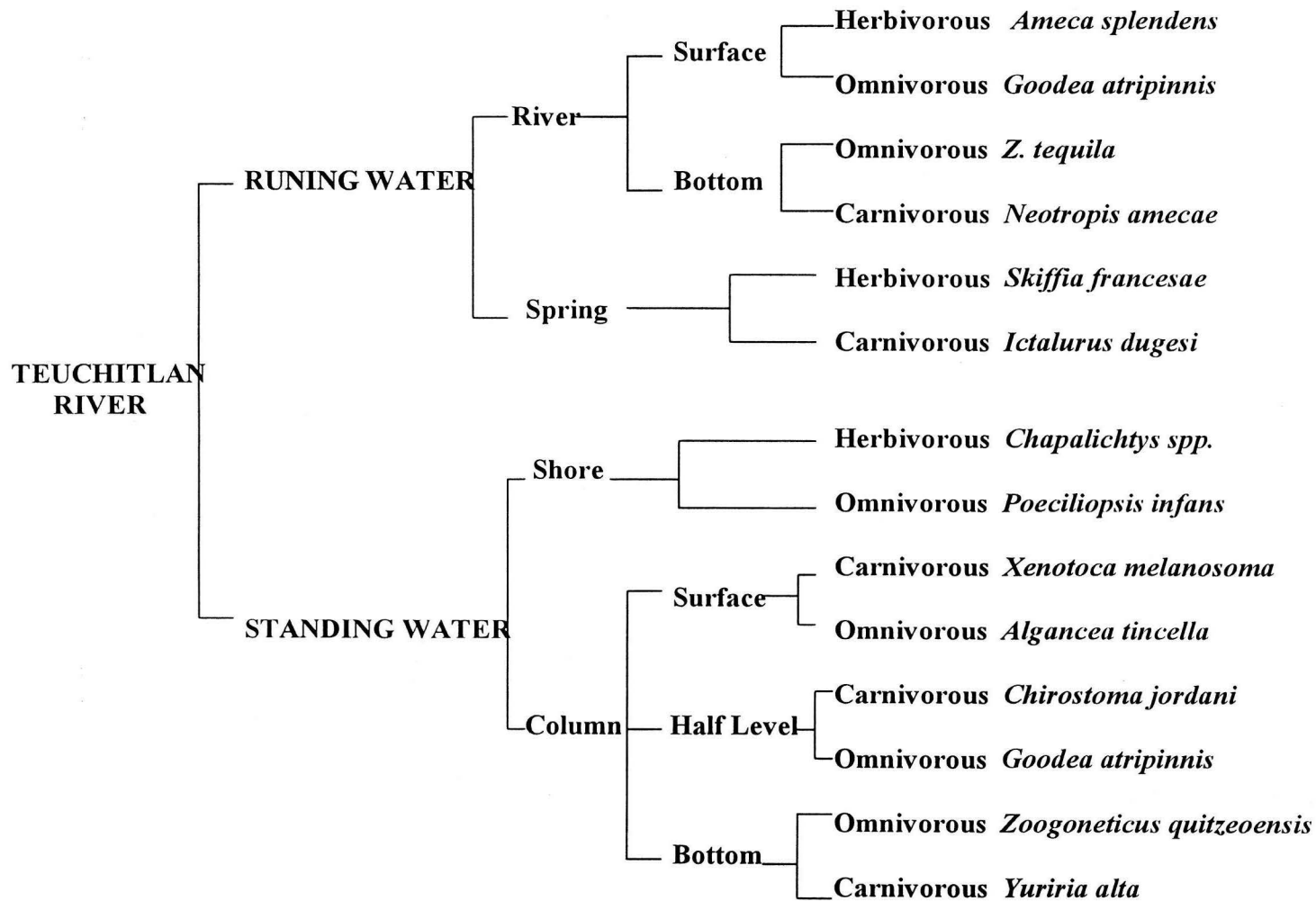


Figure 7. Habitat segregation in the Teuchitlan River by depth, water flow and resource partition in the native species assemblage.



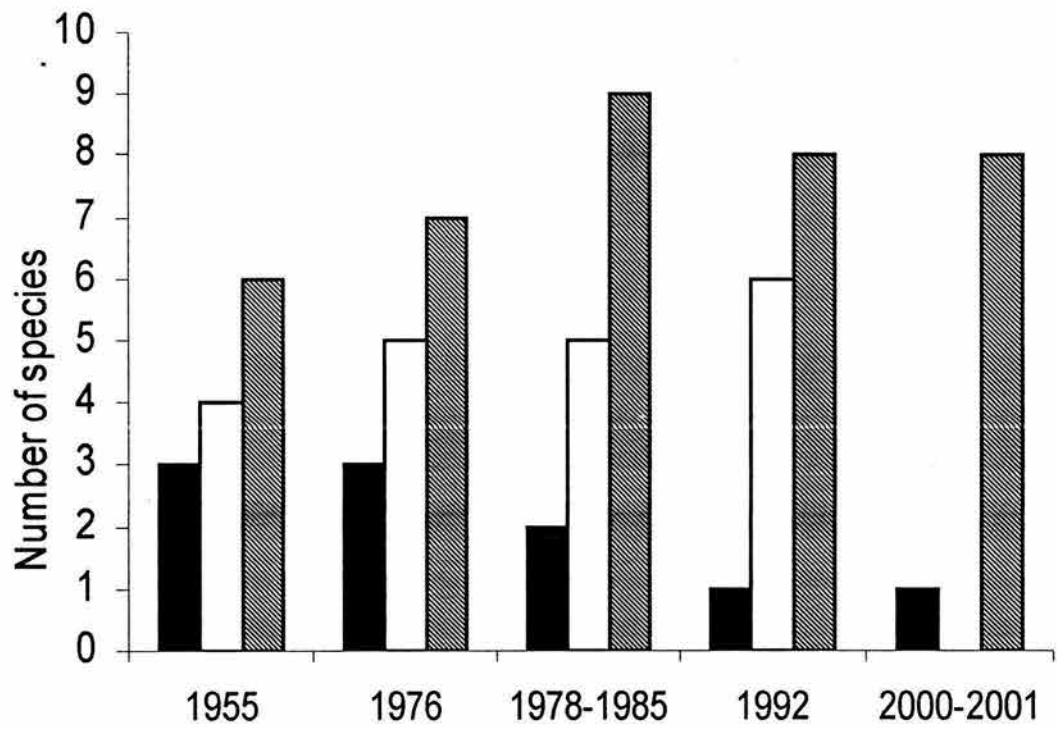


Fig. 8. Comparison of trophic structure in assemblage reported during different years revised at the Teuchitlan River.

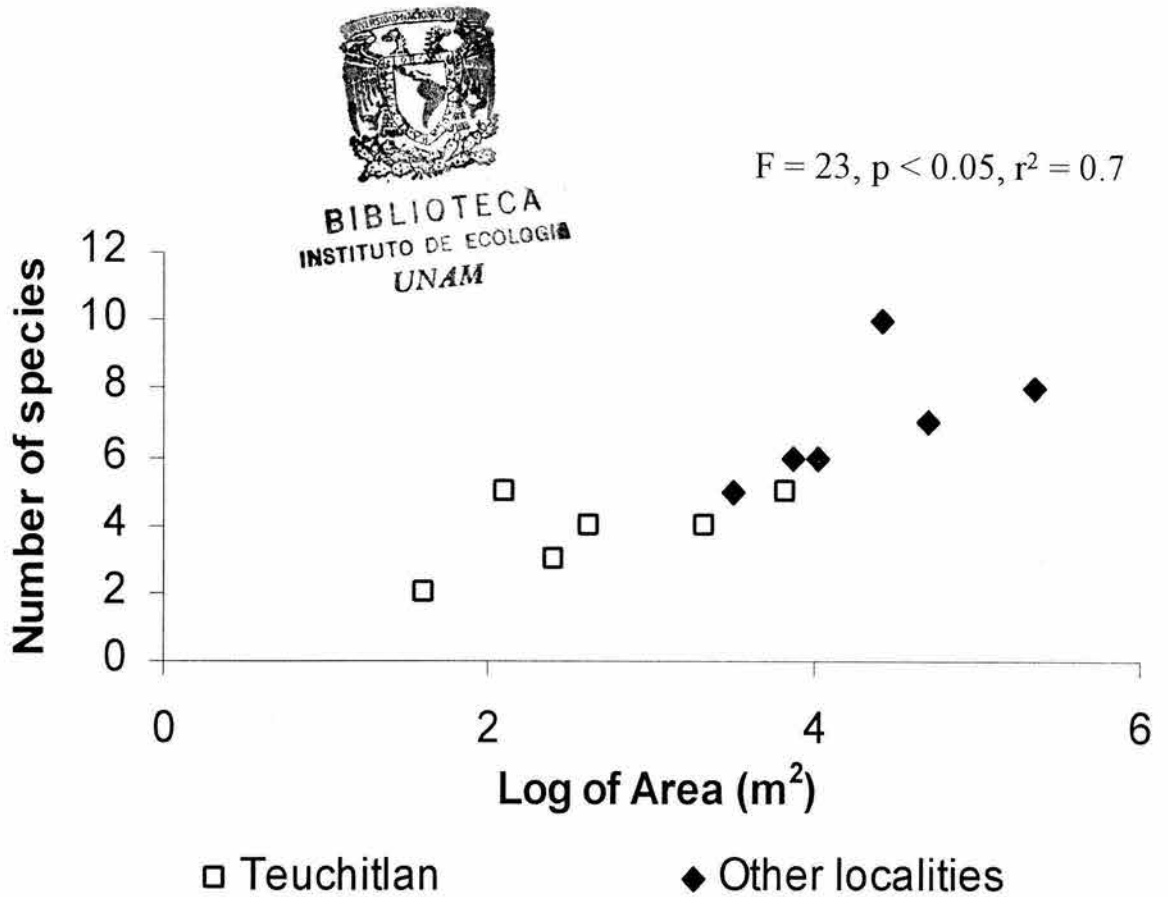


Figure 9. Relationship between fish species richness and Area (log) in all localities studied. In the Teuchitlan River each fragment is consider as a data separately.

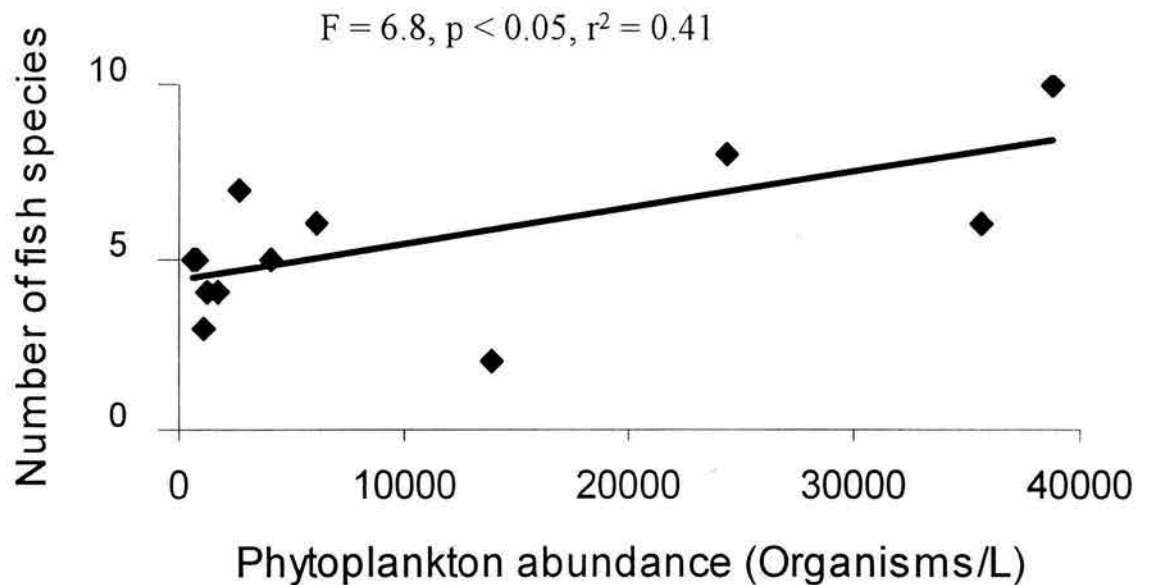


Figure 10. Relationship between fish species richness and phytoplankton abundance in all localities studied.

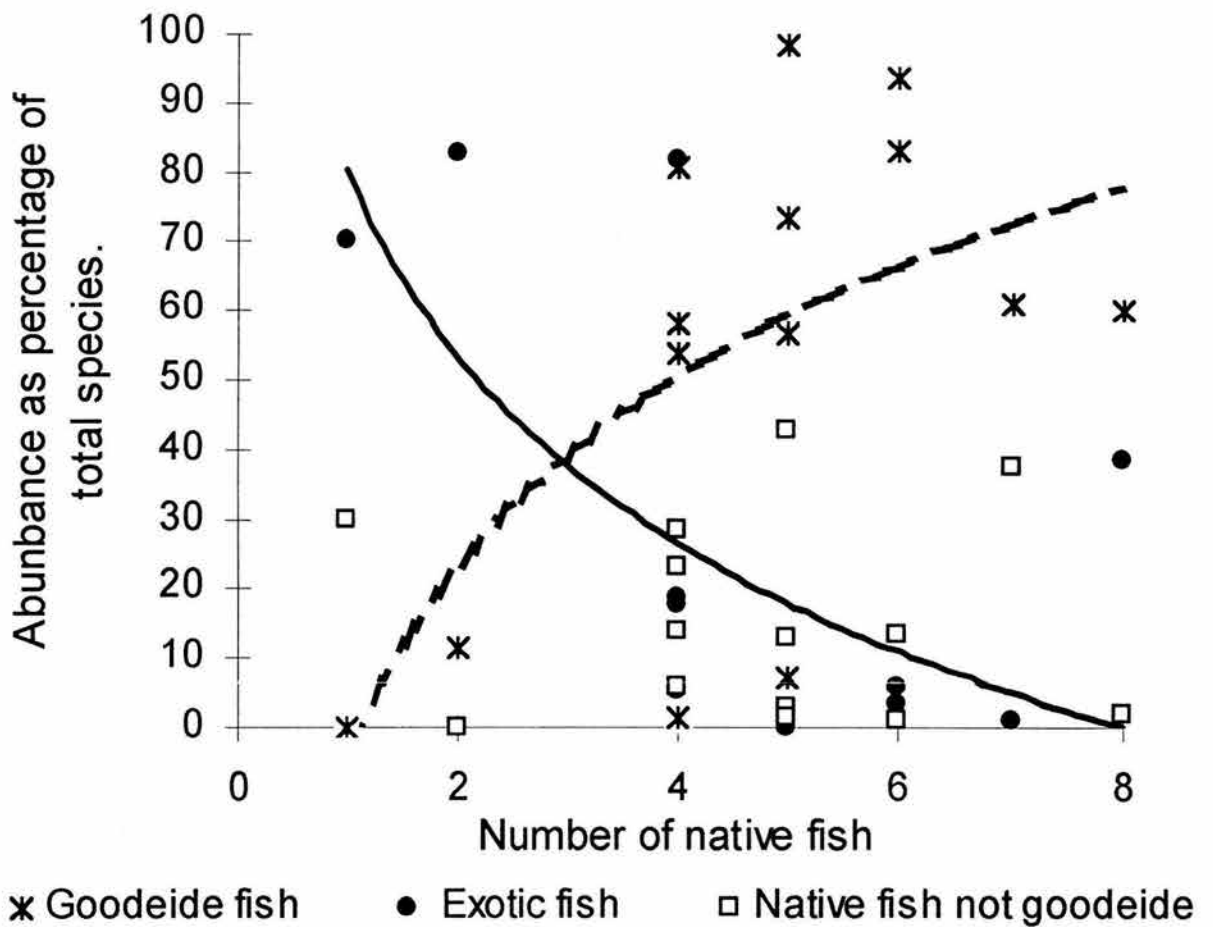


Figure 11. Inverse relationship between goodeidae and exotic fish abundance in function of richness of native fish in localities studied. Noted the reduced incidence of exotic species when increase richness of native fish. Goodeide fish  $p < 0.05$ ,  $r = 0.55$ , exotic fish ( $p < 0.05$ ,  $r = -0.55$ ).

## ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS PECES DE LA FAMILIA GOODEIDAE (CYPRINODONTIFORMES), QUE HABITAN LA MESA CENTRAL DE MÉXICO.

Se reporta el estado de conservación que presentan los peces de la familia Goodeidae ,  
subfamilia Goodeinae, que habitan la Mesa Central de México de acuerdo con los criterios  
establecidos por la IUCN (2001).

## RESUMEN

México cuenta con una gran diversidad biológica; su riqueza biológica no solo radica en su diversidad, sino también en el hecho de que un elevado número de especies son endémicas del país. Destaca la presencia de un grupo autóctono característico de nuestra ictiofauna, la familia Goodeidae, con cerca de 36 especies. Debido al impacto antropogénico, las condiciones ambientales son desfavorables para los organismos dulceacuícolas, por lo que las especies de peces desaparecen localmente, y/o viven en peligro de extinción. La familia Goodeidae se distribuye en la mesa central de México, y destacan las cuencas del Lerma-Santiago, Balsas y Pánuco, reportadas dentro de las más contaminadas del país, donde se distribuyen más del 75% de las especies de Goodeidos, especies que además presentan características fisiológicas que posiblemente pueden poner en peligro su supervivencia por bioacumulación de contaminantes. Sin embargo, el estado de conservación actual de los Goodeidos se desconoce. Este estudio se llevó a cabo para conocer el estado de conservación de la familia e identificar los factores de riesgo que enfrentan los Goodeidos que habitan la Mesa Central de México. Se estudiaron 53 localidades (45% de localidades históricamente reportadas). En cada localidad se determinó la presencia-ausencia de la especie reportada y se caracterizó el sitio limnológicamente. El 65% (24) de las especies presentaron una disminución en el número de localidades. Cinco especies (14%) presentan el 100% de reducción en el número de localidades; tres especies (8%) más del 75% de reducción en el número de localidades y siete especies (19.5%) más del 50% en la reducción del número de localidades. La disminución en el número de localidades ha llevado a una reducción en el área de distribución a 14 especies (39%) de Goodeidos. Sobresalen cuatro especies con el 100% de reducción: *Allotoca catarinae*, *Allotoca dugesi*, *Allodontichthys hubbsi*, *Skiffia francesae*. *Hubbsina turneri* con el 99.8% de reducción, *Xenotoca melanosoma* y *Zoogoneticus tequila* con el 90%, *Skiffia lermae* 86%, *Skiffia bilineata* 80%, *Xenotoca eiseni* 75%. Mis resultados sugieren

que: Una especie, *Allotoca catarinae* está extinta; una especie está extinta en la naturaleza (*Skiffia francesae*); ocho se encuentran en la categoría de críticamente en peligro; once se encuentran en peligro, ocho pueden ser consideradas como vulnerables, cuatro se pueden considerar en riesgo próximo y sólo dos parecen estar sin ningún riesgo. Los principales factores de riesgo para los Goodeidos son el deterioro ambiental y el ámbito geográfico reducido.

## INTRODUCCION

México cuenta con una gran diversidad biológica. Se estima, con base en el conocimiento de algunos grupos de organismos como plantas, aves, mamíferos y reptiles, que en su territorio se encuentra cerca del 10% de todos los organismos de la tierra (Mittermeier y Mittermeier 1992, Rzedowski 1991), pero su riqueza biológica no solo radica en su diversidad, sino también en el hecho de que un elevado número de especies son endémicas del país (Mittermeier y Mittermeier 1992, Ceballos 1993).

La fauna de peces dulceacuícolas en México es excepcionalmente rica, ya que tiene alrededor de 506 especies de peces (Castro y Balart 1993), mientras que Estados Unidos y Canadá, que juntos son 10 veces más grandes que México en extensión territorial y además cuentan con grandes recursos de agua superficial como son Los Grandes Lagos entre otros, tienen 792 especies de peces (Lydeard y Mayden 1995). Esto habla de la importancia de la ictiofauna de México, debido a la riqueza de especies, pero principalmente a los altos niveles de endemismos.

Entre los géneros mejor representados está el ciclido *Cichlasoma* con 40 especies, el ciprínido *Notropis* con 25, el aterínido *Chirostoma* con 19, el poecílido *Gambusia* con 19, y el ciprinodóntido *Cyprinodon* con 18, entre otros. Destaca la presencia de un grupo autóctono característico de nuestra ictiofauna, la familia Goodeidae, con cerca de 36 especies, todas endémicas, así como un alto grado de endemismos en representantes de otras familias como Cyprinidae (con 39 especies endémicas), Poeciliidae (con 36), Atherinidae (con 25),

Cyprinodontidae (con 19), Cichlidae (con 19) entre otras. Debido al impacto antropogénico, las condiciones ambientales son desfavorables para los organismos dulceacuícolas, por lo que las especies de peces desaparecen localmente, y/o viven en peligro de extinción. Esta situación se refleja por el hecho de que en los 1960s solo cuatro especies fueron reportadas como extinciones recientes y 36 especies estaban claramente en peligro; en 1979 la lista de The American Fisheries Society's indicaba 67 especies de peces en peligro y amenazadas; una década después, este número había aumentado a 123 especies, lo que representa un aumento del 83% en 10 años; el número reportado hasta 1993 excedía de 135 especies amenazadas o en peligro y al menos 16 especies extintas. Estos números pueden incrementarse ya que muchas especies no han sido estudiadas en cuanto a su estado de conservación (Castro y Balart 1993, Contreras y Lozano 1994).

El sistema Lerma-Chapala-Santiago, que constituye el recurso hidrológico más importante de la Mesa Central, ha pasado por una larga historia de inestabilidad geológica, cambios fisiográficos y anastomosis de ríos, que han dado lugar a la dispersión de grupos de especies primarios y al desarrollo de una fauna característica. Como resultado, en la actualidad esta zona presenta endemismos a nivel de familia, género y especie, como es el caso del género *Chirostoma* con 18 especies, la familia Goodeidae con 15, y los ciprínidos de los géneros *Algansea* y *Yuriria* con siete y una especies, respectivamente, que en conjunto son las dominantes y características de la Mesa Central (Díaz-Prado *et al.* 1993).

Tradicionalmente la Mesa Central se ha caracterizado por una gran explotación de recursos naturales, y se han introducido peces exóticos con fines piscícolas como son los del género *Tilapia* y *Cyprinus carpio*. Situación que ha sido favorecida por los grandes asentamientos urbanos como es el caso de las ciudades de Toluca, Querétaro, Salamanca, Guadalajara, Guanajuato y Morelia, entre otras, constituyendo esta región una de las más densamente pobladas de la República

Mexicana; así también, ha tenido lugar el desarrollo de zonas agrícolas, pecuarias, corredores industriales de gran importancia económica y la refinería petrolera de Salamanca, con la mayor producción hasta 1980, Todo esto ha contribuido a que los cuerpos de agua de las cuencas del Lerma-Chapala-Santiago figuren como los más contaminados del país. El daño más grave es causado por los desechos líquidos que arrojan las decenas de industrias instaladas a lo largo de su cause, a las que se agregan obras hidráulicas, y extracción de mantos acuíferos, lo que ha provocado la desaparición de la fauna y flora de sus aguas en algunas de sus porciones (Miller *et al.* 1989, Díaz Prado *et al.* 1993, Soto-Galera *et al.* 1999, López-López *et al.* 2001). Entre las corrientes más contaminadas del país se encuentran las cuencas de los ríos Lerma-Chapala-Santiago, Balsas, Blanco, Pánuco, Nazas y Bravo (Vázquez Gutiérrez 1993).

La distribución histórica de los Goodeidos ha sido ampliamente estudiada (Bean 1899, Meek 1902; Meek 1904; Hubbs 1924; Hubbs and Turner 1939; De Buen 1941; Turner 1946; Alvarez y Cortés 1962; Kingston 1978; Radda 1984; Lyons *et al.* 1995; Webb and Miller 1998), por lo que se conoce su área de distribución y un gran número de localidades donde han sido reportados.

La familia Goodeidae se distribuye en la Mesa Central de México (Fig. 1), destacan las cuencas del Lerma-Santiago, Balsas y Pánuco, reportadas dentro de las más contaminadas del país (Vázquez Gutiérrez 1993), donde se distribuyen más del 75% de las especies de Goodeidos, especies que además presentan características fisiológicas que posiblemente pueden poner en peligro su supervivencia por bioacumulación de contaminantes (De la Vega-Salazar *et al.* 1997). Sin embargo el estado de conservación actual de los Goodeidos se desconoce, por lo que es importante determinar el efecto del deterioro ambiental que enfrenta la zona central de México en la conservación de especies endémicas de México. El presente estudio se llevó a cabo para conocer el estado de conservación de los peces de la familia Goodeidae con énfasis en la zona de la Mesa Central, e identificar los factores de riesgo que enfrentan.



## MÉTODOS

El género *Goodea* no fue incluido en esta revisión, ya que existe un gran número de localidades reportadas (alrededor de 100), además es posible encontrar peces de este género casi en cualquier cuerpo de agua dentro de su área de distribución, donde generalmente es muy abundante, por lo que no hay duda de que esta especie es muy tolerante a la degradación ambiental y no enfrenta ningún riesgo. Por tanto, en este estudio se enfocaron los esfuerzos en conocer la situación del resto de las especies de la familia.

### Estado de conservación

De las 53 localidades estudiadas (Tabla 1), 11 se estudiaron durante un año (dos visitas por estación del año, de julio del 2000 a agosto del 2001), como parte de otro estudio dirigido a caracterizar limnológicamente a éstas localidades (De la Vega *et al.* 2003 a). En las restantes localidades se realizó un muestreo puntual en el otoño-invierno del 2001 (Tabla 1).

Con base a los registros históricos de las localidades donde se han encontrado poblaciones de Goodeidos, seleccioné 53 de ellas (Tabla 1), correspondientes al 45 % de las localidades reportadas como hábitat para los Goodeidos estudiados. A partir de esta muestra intenté determinar la proporción en la reducción del número de localidades y del área de distribución de las especies (Figura 2). Analicé al menos el 45% de las localidades conocidas para cada especie (Tabla 2), revisando principalmente aquellas donde estaba reportada más de una especie de goodeido o que se sabía presentaba algún grado de deterioro ambiental. En el caso de las especies con un área de distribución reducida o pocas localidades (tres o menos), se revisaron todas las localidades. Cuando no se encontró a la especie reportada se revisaron todas las localidades, para incrementar la certeza de ausencia de la especie en todo su ámbito.

En las localidades estudiadas determiné la presencia de las especies de goodeidos mediante el arrastre de un chinchorro de 5.5-m longitud (0.4 cm luz de malla). Dependiendo del tamaño de la

localidad, seleccioné un número de sitios de muestreo que cubriera todo el perímetro del cuerpo de agua o hasta encontrar a la especie focal. En cada punto seleccionado realice de 3 a 10 arrastres, dependiendo de la dificultad para capturar los peces del sitio. Únicamente se determinó presencia – ausencia de las especies estudiadas.

### **Estudio limnológico**

Para caracterizar el hábitat medí la velocidad de flujo con un medidor de corriente (General Oceanics Inc.®), La concentración de clorofila  $\alpha$ , una aproximación de la biomasa fitoplanctónica, la determiné usando el método colorimétrico de Quarmby and Allen (1989), tomando como muestra 100 L de agua superficial filtrada, con una red de plancton de 80  $\mu\text{m}$  de poro.

Determiné la calidad del agua midiendo el oxígeno disuelto en la superficie y fondo del cuerpo de agua (oxímetro La Motte® DO 4000). La transparencia fue medida con el disco de Secchi. También medí la turbidez (Turbidímetro HANNA® HI93703), el pH (HANNA® Checker) y la concentración de amonio, nitratos, nitritos y la concentración de fosfatos totales (espectrofotómetro multiparamétrico HANNA® C 100).

Con las variables limnológicas de las localidades estudiadas apliqué un análisis de componentes principales (Statistica 2000) con el fin de agrupar a las localidades estudiadas por su nivel de degradación ambiental, principalmente por el nivel de eutroficación midiendo el incremento en la productividad primaria (Reid y Wood 1976, Nemerow 1991, Okada 1992), considerando a las localidades con mayor eutroficación, acumulación de sedimentos muy turbias y con baja concentración de oxígeno disuelto como localidades con mayor degradación ambiental ya que son características que se han reportado en localidades donde se han extirpado gran número de especies nativas (Miller *et al.* 1989, Díaz Prado *et al.* 1993, Soto-Galera *et al.* 1999, López-López *et al.* 2001).

### **Clasificación de especies por su tolerancia a la degradación ambiental**

Con las variables limnológicas apliqué un análisis de componentes principales (Statistica 2000) para evaluar la asociación entre las características de las diferentes localidades y la presencia o ausencia de las especies reportadas históricamente.

Catalogué a las especies considerando su tolerancia a la degradación ambiental:

- Las especies sensibles a la degradación ambiental, cuando sólo ocurren en localidades sin degradación ambiental y fueron extirpadas de localidades con degradación ambiental.
- Las especies con tolerancia media a la degradación ambiental son las que no están restringidas a localidades sin degradación ambiental y fueron extirpadas de localidades con mayor degradación ambiental.
- Las especies tolerantes a la degradación ambiental son especies que también se encuentran en localidades con mayor degradación ambiental.

### **RESULTADOS**

En las localidades donde no se encontraron las especies buscadas, la ausencia es reforzada por criterios como son: sitios que no tienen condiciones para mantener peces como son las localidades sin agua o sin oxígeno; que reciben principalmente descargas de aguas residuales; o que se ha reportado su ausencia en otros trabajos recientemente publicados (López- López *et al.* 1991, Díaz-Prado *et al.* 1993, Soto- Galera *et al.* 1999, López-López *et al.* 2001).

Algunas especies se encontraron en localidades no registradas históricamente (Tabla 2). Estos datos no se consideran en el cambio del número de localidades ya que se desconoce si son nuevas localidades o si sólo son sitios que no se habían estudiado anteriormente, y porque pudieran encubrir el resultado de la reducción en el número de localidades, sólo se consideran para determinar el área de distribución actual de cada especie.

Considerando los registros históricos, hay especies con amplia distribución geográfica, especies

con distribución media, y especies con distribución reducida, en los tres grupos se presenta la reducción en el número de localidades y área de distribución (Fig. 2 y 3, Tabla 3), la mayoría de las especies de goodeidos (42%), presentan una reducción en el número de localidades donde se encuentran actualmente (Fig. 2). El 65% (24) de las especies presentaron una disminución en el número de localidades (Tabla 3, Fig. 3). Cuatro especies (11%) presentan el 100% de reducción en el número de localidades, tres especies (8%) más del 75% de reducción en el número de localidades y siete especies (19.5%) más del 50% en la reducción del número de localidades (Tabla 3).

La disminución en el número de localidades ha llevado a una reducción en el área de distribución a 14 especies (39%) de Goodeidos. Sobresalen cuatro especies con el 100% de reducción: *Allotoca catarinae*, *Allotoca dugesi*, *Allodontichthys hubbsi*, *Skiffia francesae*. *Hubbsina turneri* con el 99.8% de reducción, *Xenotoca melanosoma* y *Zoogoneticus tequila* con el 90%, *Skiffia lermae* 86%, *Skiffia bilineata* 80% y *Xenotoca eiseni* 75% (Tabla 3).

En el análisis de componentes principales de las variables limnológicas evaluadas, los dos primeros componentes principales explican el 47% de la varianza. Las localidades estudiadas se agrupan en 3 regiones (Fig. 5). Las localidades con concentraciones de oxígeno disuelto altas, aguas muy transparentes y niveles bajos de eutroficación (I), localidades con altos niveles de eutroficación, concentraciones bajas de oxígeno disuelto y altos niveles de turbidez (III), y un tercer grupo (II) con sitios que presentan un grado intermedio entre las características mencionadas (Fig. 5). El análisis de varianza or grupo de localidades mostro que hay diferencias significativas para la transparencia, oxígeno disuelto, velocidad de flujo, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub> y Clorofila (Tabla 4).

En el análisis de componentes principales de la distribución de las especies por localidades, los tres primeros componentes principales explican el 48% de la varianza. Las especies se agrupan también en 3 zonas (Fig. 6). El primer grupo está formado por las especies que habitan

localidades eutroficadas y muy turbias y especies que fueron extirpadas de este tipo de localidades (I), en el segundo grupo encontré a las especie que habitan localidades oligotróficas, muy oxigenadas y transparentes (III), en el tercer grupo se encuentran especies que toleran un grado intermedio de eutroficación (II) y algunas fueron extirpadas de sitios más eutroficados (Fig. 6) Con base en el análisis de componentes principales de las variables limnológicas y la distribución de especies por localidad (Figs. 5 y 6) y considerando las características de las localidades donde fueron extirpadas algunas especies, se pueden clasificar a las especies de goodeidos en tres grupos: Especies sensibles a la degradación ambiental, incluyendo a *A. splendens*, *A. zonistius*, *H. turneri*, *I. xantusi*, *S. lermae* y *S. multipunctata*. Las especies con tolerancia media a la degradación ambiental: *A. polylephys*, *X. captivus*, *X. eiseni*, *X. melanosoma*, *Z. tequila*, *Z. quitzeoensis*. Las especies tolerantes a la degradación ambiental: *A. diasi*, *A. dugesi*, *A. goslinei*, *A. robustus*, *C. encaustus*, *G. multirradiatus*, *G. viviparus*, *S. bilineata*, *X. variata* (Tabla 5).

Algunas de las especies que tienen mayor tolerancia a la degradación ambiental son las especies que tienen mayor área de distribución, sin embargo varias de estas especies también han sido extirpadas de varias localidades principalmente por degradación ambiental (Tabla 3).

Hay un cuarto grupo de especies que sólo se encuentran en sitios oligotróficos, pero no hay evidencia de que fueran extirpadas de localidades con algún grado de degradación ambiental. Estas especies pueden estar limitadas a esas localidades por barreras geográficas, pero también pudieron no haber colonizado otras localidades por limitaciones fisiológicas.

## DISCUSION

Los resultados mostrados se obtuvieron revisando únicamente las localidades reportadas y no se realizó una búsqueda exhaustiva, con excepción de *Skiffia francesae* y *Zoogoneticus tequila* (De la Vega- Salazar *et al.* 2003 a y b). En el caso de *Allotoca catarinae* no se considera la posibilidad de encontrarla en otras localidades ya que las características fisiográficas y la degradación ambiental

de las zonas circundantes son barreras importantes para pensar que la especie encontrara refugio en zonas cercanas.

Con base en la reducción en el área de distribución de cada especie y la reducción en el número de localidades donde actualmente se encuentran las especies de goodeidos, estos se pueden considerar en diferentes niveles de riesgos (Apéndice 1) de acuerdo con los criterios establecidos por la International Union for the Conservation of Nature. (IUCN 2001)

Los resultados sugieren que:

Una especie muy probablemente está extinta, *Allotoca catarinae*; una especie está extinta en la naturaleza; *Skiffia francesae*; ocho se encuentran en la categoría de críticamente en peligro (Tabla 6); once se encuentran en peligro, ocho pueden ser consideradas como vulnerables, cuatro se pueden considerar en riesgo próximo y solo dos parecen estar sin ningún riesgo. De una especie, *I. Whitei*, no se tienen datos suficientes.

La principal característica entre las especies extintas (*Allotoca catarinae* y *Skiffia francesae*) y las especies en peligro extremo (*Allotoca goslinei*, *Allotoca regalis*, *Allotoca zacapuensis*, *Ameca splendens*, *Allodontichthys hubbsi*, *Hubbsina turneri*, *Characodon audax* y *Zoogoneticus tequila*) es su ámbito geográfico restringido, lo que confirma que para las especies de Goodeidos, las especies que tienen un ámbito geográfico restringido se encuentran en mayor riesgo.

El primer paso para la conservación de las especies es identificar a las especies en peligro y los factores de riesgo. Este estudio permite identificar a las especies de Goodeidos que se encuentran en riesgo. Aunque la degradación ambiental es el principal factor causante del declive de estas especies, hay otros factores importantes como son: el ámbito geográfico limitado, la especialización ecológica y posiblemente otros factores inherentes a la biología de las especies, como ocurre en el caso del género *Allotoca*, el cual consta de siete especies, de las cuales una está extinta y tres se encuentran en peligro extremo y dos en peligro (Tabla 5 y 6). Otros factores se

han reconocido como causantes de extirpación de especies, particularmente la fragmentación e introducción de especies exóticas (López- López *et al.* 1991, Díaz-Prado *et al.* 1993, De la Vega-Salazar *et al.* 2003a), que pueden incrementar el riesgo para las especies estudiadas, por lo que deberán hacerse estudios más detallados e implementar programas específicos para cada especie con el fin de conservarlas.

Las actividades antropogénicas han ocasionado que gran número de cuerpos de agua tengan gran acumulación de sedimentos y eutroficación, características que han propiciado que las especies sensibles y con tolerancia media a la degradación ambiental estén siendo extirpadas de muchas localidades, por lo que actualmente gran número de especies de Goodeidos se encuentran en riesgo, principalmente por que no existen medidas efectivas que detengan el deterioro ambiental y menos aun que lo reviertan. En toda la zona estudiada se observaron problemas de degradación ambiental sin embargo las cuencas del Lerma-Chapala-Santiago y de Ameca son las que presentan mayor degradación y donde se han extirpado gran número de especies de Goodeidos,

Este estudio confirma que la mayoría de las especies de goodeidos que habitan la Mesa Central de México, enfrentan algún riesgo de extinción. Tanto los cuerpos de agua, como las especies, deben ser contemplados en las estrategias de conservación con programas específicos con el fin de proteger el hábitat, y para asegurar la conservación de la flora y fauna de aguas dulces.

## REFERENCIAS

- Alvarez J., Cortés M. T. (1962) Ictiología Michoacana I.- Claves y catálogos de las especies conocidas. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México XI : 79-142
- Bean B. A. (1899). Notes on a collection of fishes from Mexico, with description of a new species of *Platypoecilus*. Proceedings. U. S. National. Museum. XXI No 1159: 539-542.
- Castro-Aguirre J. L., Balart E. F. (1993) La ictiología de México: pasado, presente y futuro.

Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural (XLIV): 327-343

- Ceballos G. (1993) Especies en peligro de extinción. Revista Difusión Ciencias. No especial 7: 5-10.
- Contreras B., Lozano V. (1994) Water, Endangered Fishes, and Development Perspectives in Arid Lands of Mexico. *Conservation Biology* 8: 379-387.
- De Buen F. (1941) Un nuevo género de la familia Goodeidae perteneciente a la fauna ictiológica Mexicana. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México* 2: 133-140
- De la Vega-Salazar, M.Y. Avila-Luna E., Macías-García, C. 2003 a Ecological evaluation of local extinction: The case of two genera of endemic fish, *Zoogoneticus* and *Skiffia*. *Biodiversity and Conservation*. (in press).
- De la Vega-Salazar M.Y. Avila-Luna E., Macías-García C. 2003 b Threatened fishes of the word: *Zoogoneticus tequila*. *Environmental Biology of Fishes* (in press)
- De la Vega-Salazar M. Martínez-Tabche L., Macías-García C. (1997) Bioaccumulation of Methyl Parathion and its Toxicology in Several Species of the Freshwater Community in Ignacio Ramirez dam in Mexico. *Ecotoxicology and environmental Safety* 38, 53-62
- Díaz-Prado E. Godines-Rodríguez M. A. López-López E., Soto-Galera E. (1993) Ecología de los peces de la cuenca del río Lerma, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México* 39: 103-127
- Hubbs C. L. (1924) Studies of the fishes of the order Cyprinodontes. V. Notes on species of *Goodea* and *Skiffia*. *Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan* 148, 8 pp
- Hubbs C. L., Turner C. L. (1939) Studies of the fishes of the order Cyprinodontes. XVI. A revision of the Goodeidae. *Miscellaneous Publications of the Museum of Zoology, University of Michigan* 42, 80 pp



- IUCN (2001) IUCN Red List Categories and Criteria: Versión 3.1. IUCN Species Survival Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 30 p
- Kingston D. I. (1978) *Skiffia francesae*, a new species of goodeid fish from Western Mexico. *Copeia* 1978 (3): 503-508
- López-López E., Díaz-Pardo E. (1991) Cambios distribucionales en los peces del río de La Laja (Cuenca Río Lerma), por efecto de disturbios ecológicos. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas México* 35: 91-116
- López-López E., Paulo- Maya J. (2001) Changes in the fish assemblage in the upper Río Ameca México. *J. Freshw. Ecol.* 16: 179-187.
- Lydeard C., Mayden R. L. (1995) A Diverse and Endangered Aquatic Ecosystem of the Southeast United States. *Conservation Biology* 9: 800-805.
- Lyons J. S. Navarro-Pérez P. Cochran Santana E., Guzman Arroyo M. (1995) Index of biotic integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and river in West-Central Mexico. *Conservation Biology* 9: 569-584
- Meek S. E. (1902) A contribution to the ichthyology of Mexico. *Field Columbian Museum, Publication 65 Zoological Series*, 3(6): 63-128
- Meek S. E. (1904) The fresh water fishes of Mexico north of the Isthmus of Tehuantepec. *Field Columbian Museum, Publication Zoological Series*, V
- Miller R. R. Williams D., Williams JE (1989) Extinctions of North American fishes during the past century. *Fisheries* 14(6): 22-38
- Mittermeier R. A., Mittermeier C. (1992). La Importancia de la Diverdidad Biológica de México En: Sarukkán J. y Dirzo R. (eds) México Frente a los Retos de la Biodiversidad. CONABIO, México, pp.63-73.
- Nemerow N. L. (1991) Stream; Lake, Estuary and Ocean Pollution. *Environmental Engineering*

Series. Van Nostrand Reinhold. New York. 472 p.

-Okada M. (1992) Environmental engineering course Water pollution control. Japan International Cooperation Agency.

-Quarmby C., Allen S. E. (1989) Organic Constituents. In Allen S. E. (ed) Chemical analysis of ecological materials, pp 160-200. Blakwel Scientific Publications, Oxford

-Radda A. C. (1984) Synopsis der Goodeiden Mexikos. Killifische aus aller welt. Verlag Otto Hofmann. Vienna, Austria

-Reid G. K., Wood R. D. (1976) Ecology of Inland Waters and Estuaries. 2nd Ed. Litton Educational Publishing, Inc.

-Rzedowski J. (1991) Diversidad y Orígenes dela Flora Fanerogámica de México. Acta Botánica Mexicana 14: 3-21.

-Soto- Galera E., Paulo- Maya J., Lopez-Lopez E., Serna-Hernández J. A., Lyon J. (1999) Changes of fish fauna as indicator of aquatic ecosystem condition in Río Grande de Morelia- Lago de Cuitzeo basin, Mexico. Environ. Management. 24: 133-140.

-Turner C. L. (1946) A contribution to the taxonomy and zoogeography of the goodeid fishes. Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan 495. 15pp

-Vázquez-Gutiérrez F. (1993) Desarrollo industrial de las cuencas en México. Curso de Limnología Aplicada. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. P 34-39

-Webb S. A., Miller R. R. (1998) *Zoogoneticus tequila* a new goodeid fish (Cyprinodontiformes) from the Ameca drainage of Mexico, and rediagnosis of the genus. Occasional Papers of the Museum of Zoology, University of Michigan 725. 23 pp

**Tabla 1. Lista de localidades estudiadas.** Incluyendo once localidades estudiadas de julio del 2000 a agosto del 2001<sup>1</sup> (De La Vega-Salazar *et al.* 2003 a). Una localidad fue estudiada en dos estaciones en 1996 (De la Vega-Salazar *et al.* 1997)<sup>2</sup>. Nueve localidades se revisaron una vez en el 2000<sup>3</sup>, el resto de localidades se estudiaron una vez en otoño – invierno 2001.

	LOCALIDAD	TIPO DE HABITAT
1	Teuchitlán <sup>1</sup>	Manantial
2	Cuitzeo <sup>3</sup>	Laguna
3	Zirahuén <sup>1</sup>	Laguna
4	Molino de Chapultepec <sup>1</sup>	Manantial
5	San Sebastian <sup>3</sup>	Presa
6	Alvaro Obregón <sup>1</sup>	Canal de Riego
7	Pátzcuaro <sup>3</sup>	Laguna
8	La Maiza <sup>3</sup>	Manantial
9	Ameca	Río
10	Zacapu <sup>1</sup>	Manantial-Laguna
11	Tocumbo	Manantial
12	Opopeo	Manantial
13	Anteojitos	Manantial
14	Pte. Dávalos	Río
15	Tamazula. Pte Contla	Río
16	Pihuamo	Río
17	Tuxpan	Río
18	Colima	Río
19	Ayuquila	Río
20	Comala	Río
21	Salado	Río
22	Turbio (Ocotlán) <sup>3</sup>	Río
23	Chapala <sup>3</sup>	Laguna
24	Cointzio <sup>1</sup>	Presa-Laguna
25	Orandino <sup>1</sup>	Manantial-Presa
26	San. Francisco Rincón <sup>1</sup>	Manantial
27	Mintzita <sup>1</sup>	Manantial-Laguna
28	Jaripo	Laguna
29	Camecuaro	Manantial- Río
30	Hurtado	Presa
31	El Toboso	Manantial
32	Amado Nervo	Río
33	27 de Noviembre	Río
34	I. Ramirez <sup>2</sup>	Presa
35	San Juanico	Presa
36	Xochimilco	Canales
37	Chapultepec	Lago
38	Rio Grande Morelia	Río
39	Salado	Río
40	Tuxcacuesco	Río
41	Ayuquila	Río
42	El Seco	Río
43	Purificación	Río
44	Pte. Matlala	Río
45	Corralejo	Presa
46	Laja <sup>1</sup>	Río
47	Tierra Quemada	Río
48	Molino viejo	Presa
49	Chorritos	Río
50	Teuchitlan tequila <sup>1</sup>	Manantial
51	Yuriña <sup>3</sup>	Laguna
52	Magdalena <sup>3</sup>	Laguna
53	Santiago <sup>3</sup>	Río

**Tabla 2. Número de localidades conocidas y estudiadas para cada especie**

ESPECIE	Número de localidades conocidas	Número de localidades estudiadas	Porcentaje de localidades estudiadas	Número de Localidades nuevas
<i>Allotoca catarinae</i>	1	1	100	-
<i>Allotoca diazi</i>	5	3	60	2
<i>A. dugesi</i>	10	5	50	1
<i>A. goslinei</i>	2	2	100	-
<i>A. maculata</i>	2	2	100	-
<i>A. regalis</i>	1	1	100	1
<i>A. zacapuensis</i>	1	1	100	-
<i>Ameca splendens</i>	2	2	100	-
<i>Allodontichtys hubbsi</i>	3	3	100	-
<i>A. polylepis</i>	2	2	100	2
<i>A. tamazulae</i>	6	4	67	-
<i>A. zonistius</i>	8	5	62	-
<i>Allophorus robustus</i>	30	15	50	3
<i>Ataeniobius toweri</i>	3	2	66	-
<i>Chapalichthys encaustus</i>	5	3	60	2
<i>C. pardalis</i>	2	1	50	1
<i>Characodon audax</i>	1	1	100	-
<i>C. lateralis</i>	10	5	100	-
<i>Girardinichthys multiradiatus</i>	10	5	50	3
<i>G. viviparus</i>	8	4	50	-
<i>Hubbsina turneri</i>	7	7	100	-
<i>Ilyodon furcidens</i>	18	9	50	6
<i>I. whitei</i>	8	2	25	-
<i>I. xantusi</i>	10	5	50	2
<i>Skiffia bilineata</i>	9	9	100	1
<i>S. francesae</i>	2	2	100	-
<i>S. lermæ</i>	8	8	100	-
<i>S. multipunctata</i>	8	7	88	1
<i>Xenoophorus captivus</i>	8	4	50	1
<i>Xenotoca eiseni</i>	20	9	45	2
<i>X. melanosoma</i>	21	10	48	6
<i>X. variata</i>	20	10	50	6
<i>Xenotaenia resolanae</i>	10	2	20	-
<i>Zoogoneticus tequila</i>	1	1	100	-
<i>Z. quitzeoensis</i>	26	13	50	3

**Tabla 3. Proporción de la reducción de localidades y área de distribución de las especies estudiadas**

ESPECIE	Reducción Localidades Estudiadas %	Causas de extirpación			Area de Distrib. Histórica (Km <sup>2</sup> )	Area de Distrib. Actual (Km <sup>2</sup> )	Reducción del área de distrib. (%)
		D	E	ND			
1 <i>Allotoca catarinae</i>	100	X	-	-	1	0	100
2 <i>Allotoca diazi</i>	60	-	X	-	3750	3750	0
3 <i>A. dugesi</i>	66	-	X	-	30	20	66
4 <i>A goslinei</i>	100	-	X	-	50	0	100
5 <i>A. maculata</i>	0	-	-	-	30	30	0
6 <i>A. regalis</i>	100	-	-	X	2	2	0
7 <i>A. zacapuensis</i>	0	-	-	-	2	2	0
8 <i>Ameca splendens</i>	50	X	X	-	10	1	90
9 <i>Allodontichtys hubbsi</i>	100	-	-	X	25	0	100
10 <i>A. polylepis</i>	100	-	X	-	1000	1000	0
11 <i>A. tamazulae</i>	75	-	-	X	75	25	66
12 <i>A. zonistius</i>	25	-	X	-	150	150	0
13 <i>Alloophorus robustus</i>	47	-	X	-	6000	4000	33
14 <i>Ataeniobius toweri</i>	0	-	-	-	100	100	0
15 <i>Chapalichthys encaustus</i>	33	-	X	-	100	100	0
16 <i>C. pardalis</i>	0	-	-	-	30	30	0
17 <i>Characodon audax</i>	0	-	-	-	10	10	0
18 <i>C. lateralis</i>	0	-	-	-	1400	1400	0
19 <i>Girardinichthys multiradiatus</i>	0	-	-	-	3000	3000	0
20 <i>G. viviparus</i>	25	-	-	X	3000	3000	0
21 <i>Hubbsina turneri</i>	86	-	X	-	1500	2	99
22 <i>Ilyodon furcoidens</i>	50	X	X	-	750	450	40
23 <i>I. whitei</i>	DI	-	-	X	280	DI	DI
24 <i>I. xantusi</i>	40	-	X	-	20	20	0
25 <i>Skiffia bilineata</i>	66	-	X	-	1000	200	80
26 <i>S. francesae</i>	100	-	X	-	5	0	100
27 <i>S. lermae</i>	63	-	X	-	75	40	46.6
28 <i>S. multipunctata</i>	43	-	X	-	105	60	43
29 <i>Xenophorus captivus</i>	0	-	-	-	100	100	0
30 <i>Xenotoca eiseni</i>	57	-	-	X	200	50	75
31 <i>X. melanosoma</i>	85	-	-	X	200	20	90
32 <i>X variata</i>	30	-	X	-	180	180	0
33 <i>Xenotaenia resolanae</i>	DI	-	-	-	50	50	0
34 <i>Zoogoneticus tequila</i>	0	X	-	-	4	0.40	90
35 <i>Z. quitzeoensis</i>	30	-	X	-	180	135	25

DI = Datos insuficientes

Causas de extirpación de especies por localidad. D = Desaparición o fragmentación de hábitat. E = Eutroficación y contaminación de hábitat, ND = No determinado.

**Tabla 4. Variables limnológicas por grupos de localidades, donde se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).**

GRUPO DE LOCALIDADES	Turbidez UFT	Oxígeno PPM	NH <sub>4</sub> PPM	PO <sub>4</sub> PPM	Clorofila PPM	Vel. de Flujo cm/seg
I	x= 3.09 $\sigma$ = 1.9	x= 12.46 $\sigma$ = 4.21	x= 0.06 $\sigma$ = 0.09	x= 0.94 $\sigma$ = 2.2	x= 0.039 $\sigma$ = 0.017	x = 19.0 $\sigma$ = 18.3
II	x= 19.96 $\sigma$ = 6.17	x= 6.09 $\sigma$ = 1.65	x= 0.47 $\sigma$ = 0.38	x= 1.63 $\sigma$ = 2.4	x= 0.16 $\sigma$ = 0.11	x= 5.2 $\sigma$ = 7.9
III	x= 303.09 $\sigma$ = 191.3	x= 4.09 $\sigma$ = 4.46	x= 6.21 $\sigma$ = 4.7	x= 2.7 $\sigma$ = 2.8	x= 0.34 $\sigma$ = 0.17	x= 0.20 $\sigma$ = 0.63
I	F = 3.23 P = 0.002	F = 13.17 P = 0.001	F = 1.06 P = 0.33	F = 1.48 P = 0.17	F = 4.52 P = 0.02	F = 5.3 P = 0.006
II	F = 12.52 P = 0.001	F = 10.62 P = 0.0001	F = 1.16 P = 0.299	F = 2.12 P = 0.62	F = 2.65 P = 0.71	F = 4.03 P = 0.011
III	F = 5.62 P = 0.001	F = 2.31 P = 0.06	F = 3.23 P = 0.023	F = 3.03 P = 0.014	F = 3.78 P = 0.032	F = 8.4 P = 0.001

Tabla 5. Características biológicas de las especies de goodeidos

ESPECIE	Tolerancia a la degradación ambiental	Hábitos alimenticios	Número de crios por evento reproductivo
1 <i>Allotoca catarinae</i>	S	-	-
2 <i>Allotoca diazi</i>	T	C	-
3 <i>A. dugesi</i>	T	C	8-37
4 <i>A. goslinei</i>	T	-	-
5 <i>A. maculata</i>	M	C	-
6 <i>A. regalis</i>	S	-	-
7 <i>A. zacapuensis</i>	S	-	-
8 <i>Ameca splendens</i>	S	H/O	38
9 <i>Allodontichtys hubbsi</i>	S	-	-
10 <i>A. polylepis</i>	M	-	-
11 <i>A. tamazulae</i>	S	-	-
12 <i>A. zonistius</i>	S	C	-
13 <i>Allophorus robustus</i>	T	C	24
14 <i>Ataeniobius toweri</i>	S	-	9
15 <i>Chapalichthys encaustus</i>	T	H/O	-
16 <i>C. pardalis</i>	S	-	11
17 <i>Characodon audax</i>	S	-	-
18 <i>C. lateralis</i>	S	O	15
19 <i>Girardinichthys multiradiatus</i>	T	-	20
20 <i>G. viviparus</i>	T	C	15
21 <i>Hubbsina turneri</i>	S	C	31
22 <i>Ilyodon furcidens</i>	S	O	-
23 <i>I. whitei</i>	S	O	30
24 <i>I. xantusi</i>	S	-	-
25 <i>Skiffia bilineata</i>	T	H/O	14
26 <i>S. francesae</i>	S	H	11
27 <i>S. lermae</i>	S	H/O	9
28 <i>S. multipunctata</i>	S	O	28
29 <i>Xenoophorus captivus</i>	M	-	-
30 <i>Xenotoca eiseni</i>	M	H/O	30
31 <i>X. melanosoma</i>	M	C	-
32 <i>X. variata</i>	T	O	30
33 <i>Xenotaenia resolanae</i>	S	-	-
34 <i>Zoogoneticus tequila</i>	M	O	12
35 <i>Z. quitzeoensis</i>	M	O	18
36 <i>Goodea atripinnis</i>	T	O	20

Tolerancia: S= sensible, M= media, T = tolerante

Hábitos alimenticios: H= herbívoros, C = carnívoros, O = Omnívoros.

**Tabla 6. Categorías de riesgo para las especies de la familia Goodeidae**

ESPECIE	EXTINCTA	PELIGRO CRITICO	EN PELIGRO	VULNERABLE	RIESGO PROXIMO	SIN RIESGO
<i>Allotoca catarinae</i>	X					
<i>Allotoca diazi</i>				X		
<i>A. dugesi</i>			X			
<i>A. goslinei</i>		X				
<i>A. maculata</i>			X			
<i>A. regalis</i>		X				
<i>A. zacapuensis</i>		X				
<i>Ameca splendens</i>		X				
<i>Allodontichtys hubbsi</i>		X				
<i>A. polylepis</i>			X			
<i>A. tamazulae</i>			X			
<i>A. zonistius</i>			X			
<i>Alloophorus robustus</i>					X	
<i>Ataeniobius toweri</i>			X			
<i>Chapalichthys encaustus</i>			X			
<i>C. pardalis</i>					X	
<i>Characodon audax</i>		X				
<i>C. lateralis</i>				X		
<i>Girardinichthys multiradiatus</i>						X
<i>G. viviparus</i>				X		
<i>Goodea</i>						X
<i>Hubbsina turneri</i>		X				
<i>Ilyodon furcidens</i>				X		
<i>I. xantusi</i>			X			
<i>Skiffia bilineata</i>			X			
<i>S. francesae</i>	X					
<i>S. lermae</i>			X			
<i>S. multipunctata</i>				X		
<i>Xenoophorus captivus</i>				X		
<i>Xenotoca eiseni</i>				X		
<i>X. melanosoma</i>			X			
<i>X. variata</i>					X	
<i>Xenotaenia resolanae</i>				X		
<i>Zoogoneticus tequila</i>		X				
<i>Z. quitzeoensis</i>					X	





Fig. 1. Area de distribución de los peces de la familia Goodeidae (área sombreada), que incluye las principales cuencas de la zona central de México: 1. Ameca, 2. Balsas, 3. Coahuayana, 4. Lerma-Chapala-Santiago, 5. Mezquital, 6. Pánuco.

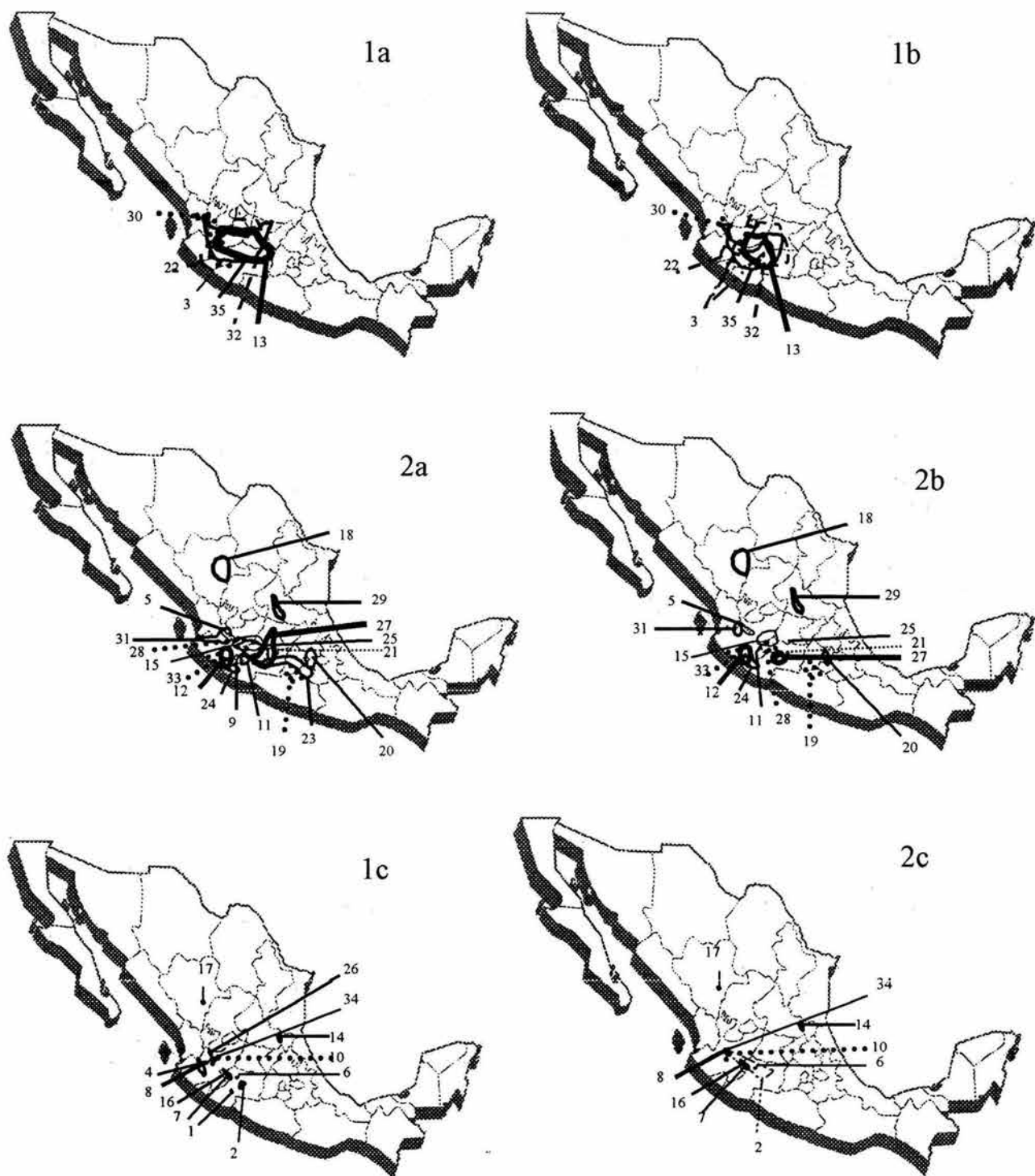


Figura 2. Area de distribución de las especies de Goodeidos estudiada  
 a) Distribución histórica, b) distribución actual. 1. Especies de amplia  
 distribución, 2. Especies de distribución media y 3. Especies de distribución  
 restringida. (Para la relación en el número de especies ver tabla 3).

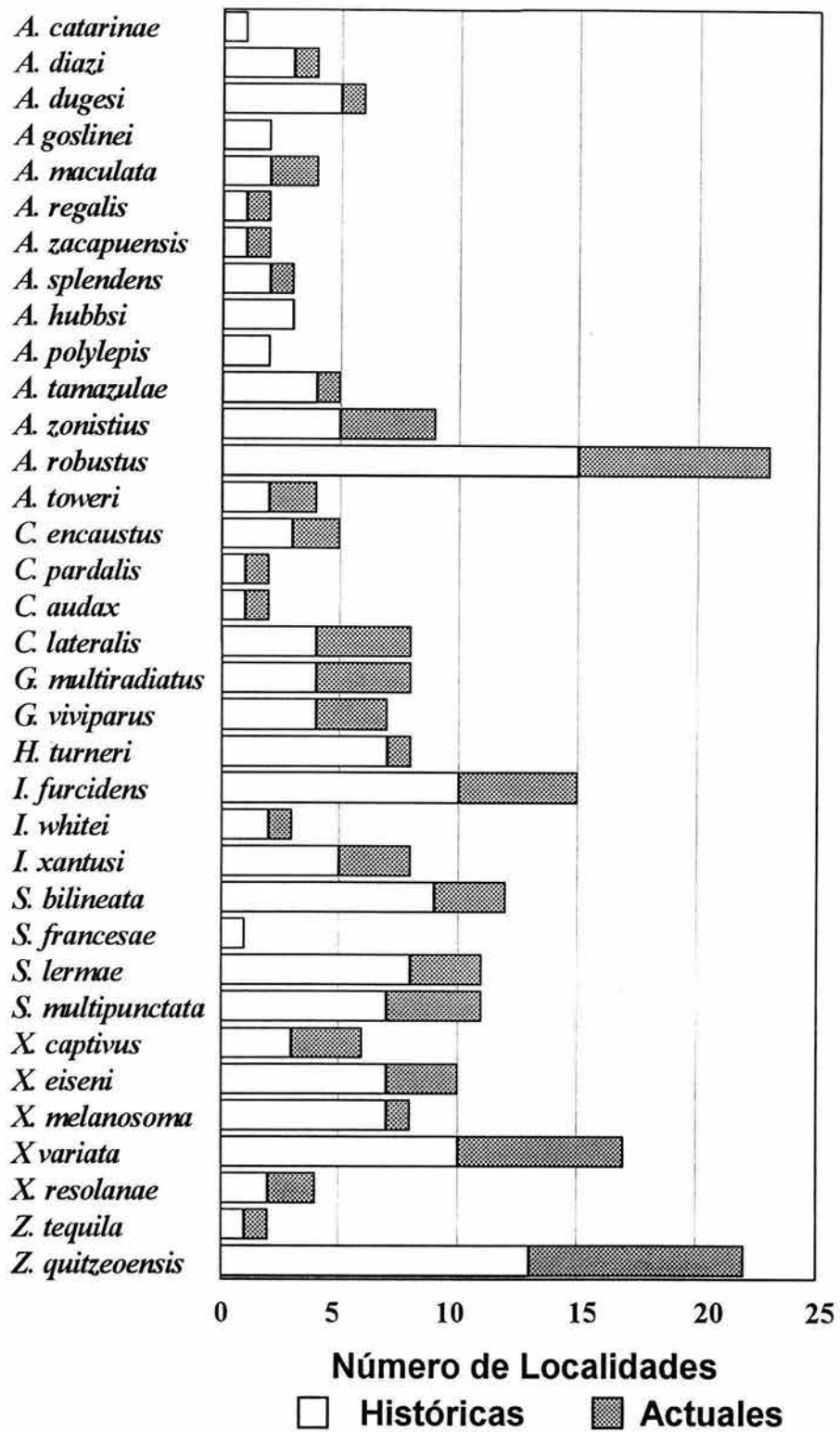


Figura 3. Relación entre el número de localidades actuales y el número de localidades reportadas históricamente, en las especies estudiadas.

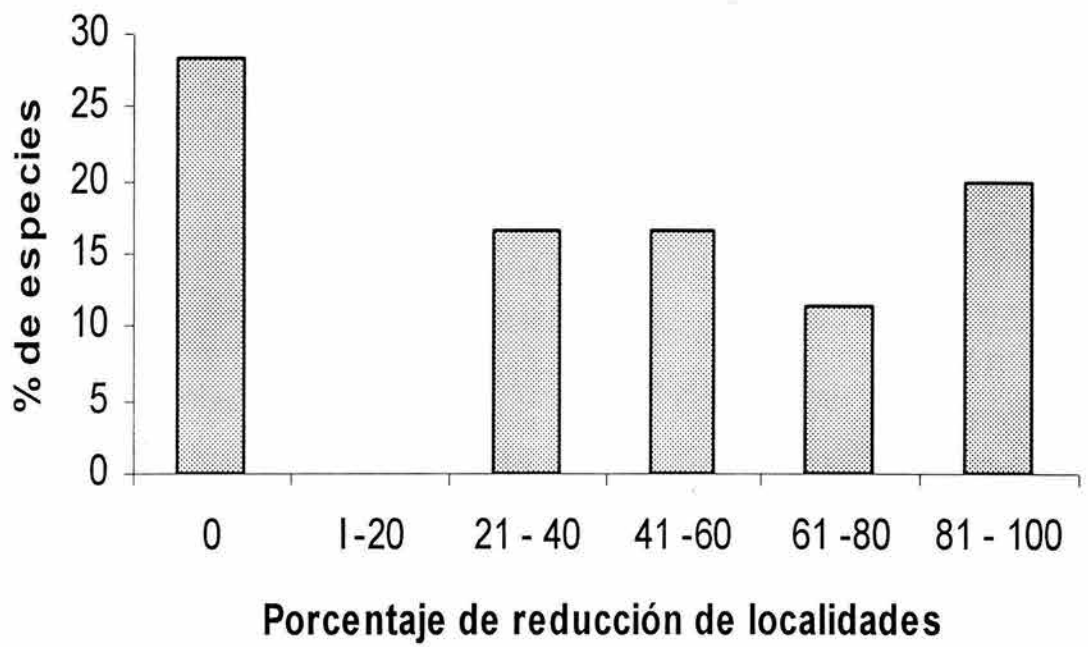


Figura 4. Frecuencia de la proporción de reducción de localidades estudiadas para las especies de Goodeidos

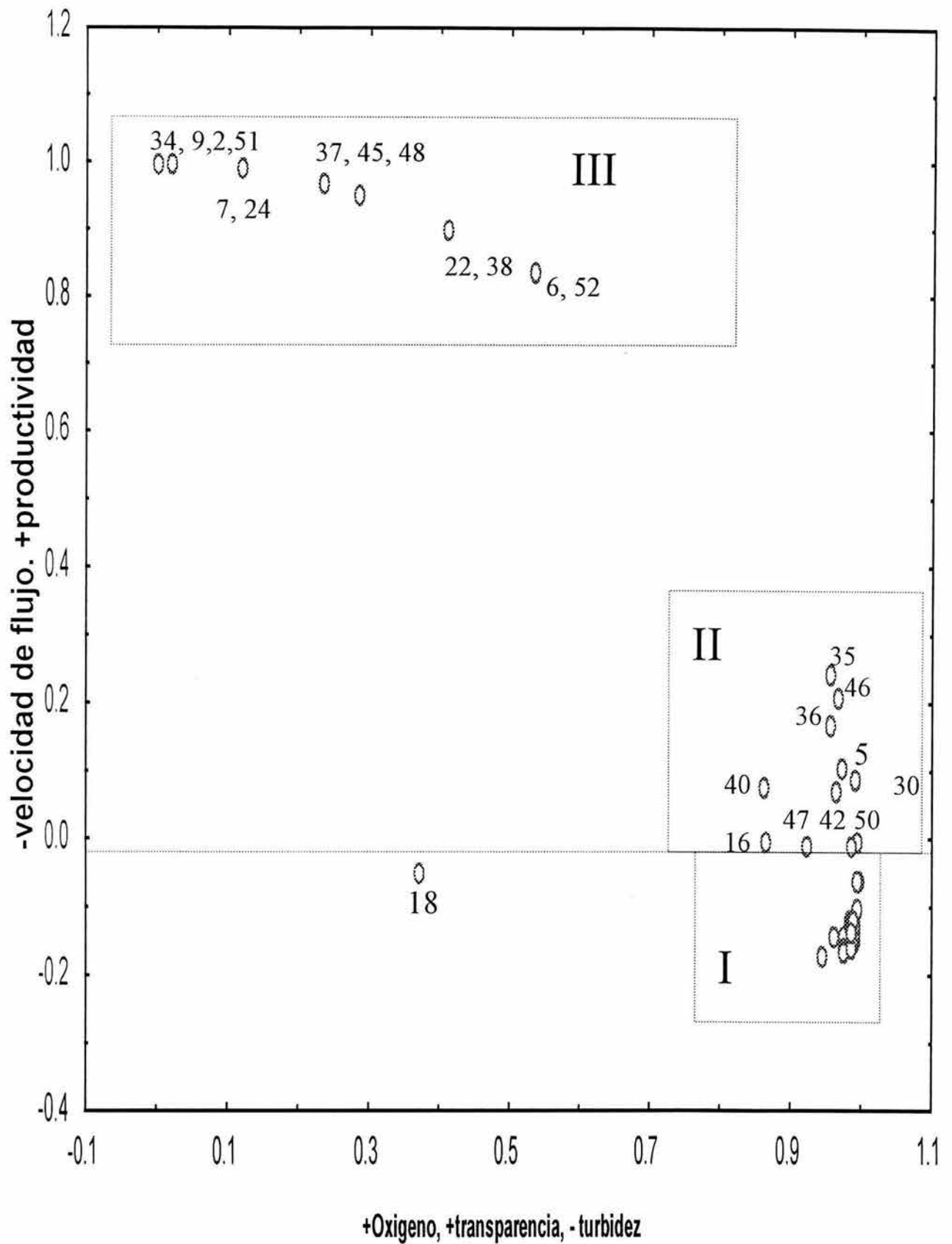


Figura 5. Análisis de componentes principales de las variables fisicoquímicas evaluadas en las localidades estudiadas. (Para la relación de los números de las localidades ver Tabla 1)

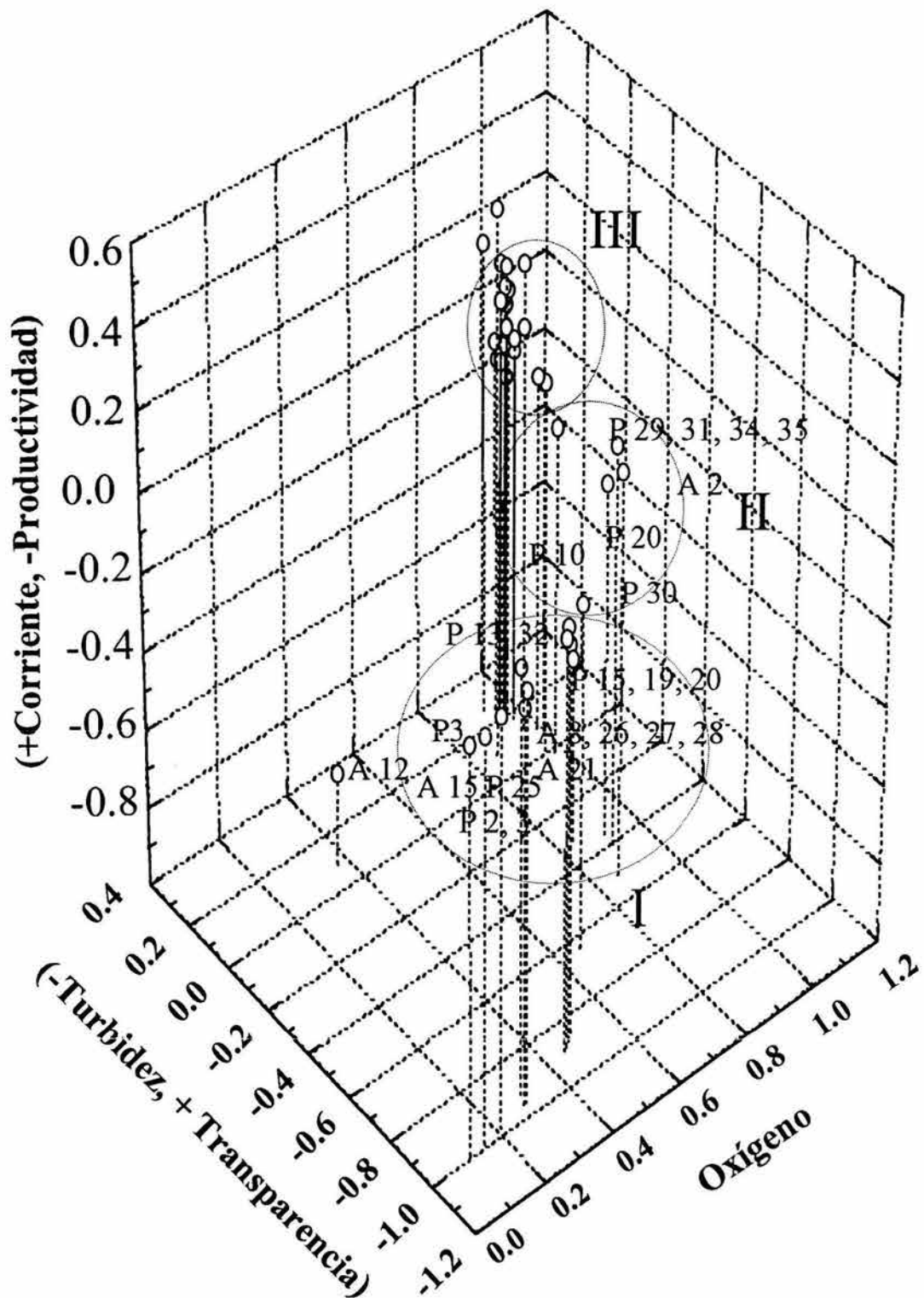


Figura 6. Ubicación de las especies en los ejes del análisis de componentes principales de la distribución de especies en las las localidades estudiadas. Para la relación de números de las especies ver Tabla 3. P= Presencia, A = Ausencia de especies por tipo de localidad: I = Localidades con mayor de degradación ambiental, II= Localidades con degradación ambiental intermedia, III= Localidades con poca degradación ambiental

## DISCUSION GENERAL

Para poder establecer estrategias de conservación es necesario entender los procesos de extinción. El análisis en la extinción local puede permitir entender los procesos de extinción a mayor escala (Angermeier 1995). El estudio de la extinción local en el Río Teuchitlán puede contribuir a entender estos procesos.

Este estudio muestra que la mayoría de las especies de Goodeidos (94%), están en algún nivel de riesgo, ya que 58% se encuentran en mayor riesgo, incluyendo la extinción de dos especies.

Muchas de las especies de Goodeidos parecen vulnerables a ciertas condiciones ambientales. En las localidades donde persisten, las concentraciones de oxígeno disuelto fueron altas, el agua muy transparente y se encontraron bajas concentraciones de nitrógeno. No se presentan cambios estacionales severos y típicamente tienen corriente de agua. Todo esto sugiere que varias de las especies de Goodeidos principalmente de los géneros *Skiffia* y *Zoogoneticus*, con excepción de *Skiffia bilineata*, tienen un rango de tolerancia restringido y son muy susceptibles a los efectos de la degradación ambiental.

Dado el ámbito de condiciones ambientales en que persisten la mayoría de las especies de Goodeidos, se puede decir que la mayoría de ellas son particularmente especialistas; además, la alarmante tasa de extinción local que se reporta en este estudio, refleja un muy serio peligro para la salud de los ecosistemas dulceacuícolas en la zona central de México.

Varias de las especies que están en mayor riesgo tienen un área de distribución muy restringida. Solo los manantiales están quedando como refugio para algunas de las especies

en riesgo, pero éstos habitats solo pueden mantener pocas especies y en densidades poblacionales reducidas.

La presencia de peces introducidos parece un factor de riesgo, ya que la proporción de Goodeidos fue baja cuando las especies introducidas eran abundantes o cuando se encontraron más de una especie de ellas.

Los resultados obtenidos indican que ni la depredación en general ni la depredación diferencial por sexo (Apéndice 3), son factores de riesgo en el Río Teuchitlán, ni en las localidades estudiadas durante un año, con excepción de Zirahuén.

Tanto la revisión histórica del cambio en el ensamblaje de especies en el Río Teuchitlán, como el ensamblaje de las once localidades estudiadas, sugiere que las comunidades que mantienen elevada riqueza de especies nativas son menos susceptibles a la invasión de especies exóticas.

La revisión histórica que realicé muestra que una cadena de eventos antropogénicos en el Río Teuchitlán han causado el empobrecimiento del ensamblaje de peces en un 64.3% de especies nativas, contribuyendo la extinción en la naturaleza de *Skiffia francesae* y la extirpación de *Zoogoneticus tequila* de la cabecera del Río Teuchitlán y siendo confinada a un refugio de escasos 4 m<sup>2</sup> que en época de secas se reduce a la mitad.

No hay evidencia de eventos catastróficos como desecación o inundación extremas, o mortalidad masiva por contaminación que pudieran ser las causas de la extirpación de las especies nativas en el Río Teuchitlán.

En el caso de *Zoogoneticus tequila* se puede excluir al deterioro en las características fisicoquímicas y limnológicas como causa de la extirpación, ya que las condiciones ambientales en las que persiste esta especie son peores que las que prevalecen en el Río (Apéndice 2). En el caso de *Skiffia francesae* no tengo suficiente evidencia para asegurar



nada al respecto, sin embargo la especie estaba en los manantiales y el deterioro ambiental pudo haber contribuido a su extinción.

El Río Teuchitlán es un sitio oligotrófico, donde han ocurrido principalmente dos deterioros, la reducción y fragmentación del hábitat e introducción de especies exóticas, que pudieron haber causado la desaparición de nichos ecológicos. Adicionalmente, la introducción exitosa de las especies exóticas, pudo incrementar la competencia intra e inter específica y promover la extinción local de las especies nativas, principalmente para las especies especialistas como ocurrió al desaparecer las especies herbívoras y carnívoras y permanecer las especies omnívoras en el Río Teuchitlán.

Se pueden reconocer varios factores potencialmente responsables de las extirpaciones de peces. La mayoría son el resultado de múltiples efectos acumulados, principalmente de impactos antropogénicos. Cuando interactúan los procesos estocásticos y determinísticos, aumenta la probabilidad de extinción, ocasionando que no solo las especies poco tolerantes se encuentren en riesgo. Este estudio permitió además, establecer varias asociaciones entre atributos ecológicos y la extirpación de peces.

La riqueza de especies mostró ser directamente proporcional al área del hábitat y a la abundancia de fitoplancton.

El deterioro ambiental al que están sometidas las especies nativas en México incluye la pérdida del hábitat a través de la degradación acuática, la desecación, la contaminación, la fragmentación de los cuerpos de agua y la introducción de especies; esto reduce el número de especies que pueden mantener los ecosistemas, aumentando las presiones de selección para las especies.

La distribución de especies en un hábitat limitado o un área geográficamente restringida, la especialización ecológica y la posición trófica son las principales causas de riesgo tanto para las especies de Goodeidos, como para otras especies de peces (Allendorf 1988, Sheldon 1988).

Las especies tolerantes y generalistas son las que prevalecen. Todo esto está llevando a la simplificación de los ecosistemas, poniendo en peligro su función. La fragilidad de éstos ecosistemas se incrementa por el hecho de que la diversidad en forma de especies e interacciones bióticas han sido destruida y no son fáciles de reconstruir (Wilson y Peter 1988).

El deterioro ambiental está causando que las especies nativas se encuentren confinadas a fragmentos aislados. Sin embargo el hallazgo de la pequeña población de *Zoogoneticus tequila* sugiere que las especies de Goodeidos son suficientemente “resilientes” para sobrevivir después de que las poblaciones pasan por un cuello de botella y la reducción del hábitat. Esto motiva a promover enérgicas medidas encaminadas a la conservación de especies en riesgo.

Los ecosistemas dulceacuícolas en México son específicamente vulnerables debido a la degradación y sobreexplotación a que están sometidos, lo que dificulta establecer estrategias de conservación para las especies de Goodeidos. Sin embargo se deben establecer programas específicos con el fin de proteger la calidad del agua y el hábitat, y para asegurar la conservación de la flora y fauna de aguas dulces.

Durante las últimas décadas, los cuerpos de agua en México han sido manipulados de diversas maneras, causando un fuerte deterioro en las características físicas y químicas, así como cambios en los ensamblajes de comunidades acuáticas de animales y plantas. Con este trabajo estoy documentando el efecto de estos cambios y los resultados no son

alentadores, por lo que es necesario incluir consideraciones de planes de conservación, dado que la fauna de peces es de considerable importancia. En esencia es necesario mantener la integridad ecológica de los cuerpos de agua, incluyendo aspectos de la calidad del agua, estructura del hábitat, dinámica productiva e hidrológica e interacciones bióticas. Con base en este estudio, propongo las siguientes recomendaciones, con el propósito de conservar especies nativas y ecosistemas acuáticos.

- 1.- Reconocer la necesidad de establecer un marco de protección legal y de la importancia de crear reservas para proteger comunidades acuáticas nativas.
- 2.- Crear programas coordinados de restauración y conservación de cuerpos de agua, acompañados de programas que eviten la contaminación de los mismos.
- 3.- Evaluar el beneficio real de crear presas. Dado que muchas presas están secas o tienen gran acumulación de sedimentos, y tienen baja biodiversidad de peces, predominando las especies exóticas, y la calidad de sus aguas es inadecuada para consumo humano. Su supuesto beneficio, a costa de la biodiversidad es cuestionable. Un análisis bio-económico ayudaría a definir el manejo y usos más pertinentes de estos sistemas.
- 4.- Evitar la introducción de especies exóticas en áreas donde la conservación sea la meta principal. Es necesario evaluar si la introducción de especies exóticas es realmente benéfica como resultado del incremento en la productividad y palatabilidad, y qué tanto es compatible con las preferencias culturales. La pesquería tradicional puede ser mejor alternativa, principalmente por que no reducen la productividad y la biodiversidad.
- 5.- En todas las áreas, la fauna nativa y la dinámica de los cuerpos de agua deben ser cuidadosamente estudiados antes de la introducción o manipulación de cuerpos de agua.
- 6.- No se deben otorgar permisos de acuicultura en cuerpos de agua con especies nativas, particularmente si se trata de especies exóticas como Tilapia (*Oreochromis*) o carpa (*C.*

*carpio*), ya que se sabe que ocasionan gran deterioro ambiental en los cuerpos de agua donde son introducidos.

En conclusión, los factores predominantes, responsables de la extinción y extirpación de las especies estudiadas y que deben ser considerados, incluyen los siguientes:

- Factores antropogénicos: El deterioro ambiental que ha enfrentado el Río Teuchitlán ha causado la severa reducción y fragmentación del hábitat; Esto, junto con la introducción de especies, incrementan la posibilidad de extinción de las especies.
- Factores estocásticos (competencia, probablemente tamaño poblacional reducido).
- Factores biogeográficos, ya que al reducirse severamente el área, se reduce el número de especies que puede mantener el sistema (relación número de especies/área), y el aislamiento de las poblaciones que produce el efecto de insularización.
- Factores biológicos de las especies que determinan su susceptibilidad a la degradación; el nivel trófico, ya que las especies con mayor nivel trófico son las que presentan mayor riesgo.

Estos factores en su conjunto determinan qué especies tienen mayor posibilidad de extinguirse y cuáles tienen mayor posibilidad de mantenerse.

#### REFERENCIAS

- Angermeier P. L. (1995) Ecological Attributes of Extinction-Prone Species: Loss of Freshwater Fishes of Virginia. *Conservation Biology* 9, 143-158
- Allendorf FW (1988). Conservation biology of fishes. *Conservation Biology* 2: 145-148
- Sheldon A (1988) Conservation of stream fishes: Patterns of diversity, rarity, and risk. *Conservation Biology* 2: 149-156
- Wilson E. O. y Peter F. M. (Ed.) (1988) Biodiversity. National Academy Press. Washington, 521 p.

## **Apéndice 1. Categorías y criterios de especies en peligro de extinción (IUCN)**

Antes de 1994 las categorías de especies en peligro usadas por la IUCN Red Data Books no habían sido modificadas por cerca de 30 años. Por lo que se reconoció la necesidad de revisarlas. La última versión se obtiene de la reunión del Criteria Review Working Group, en febrero del 2000, donde los criterios incluyen valores cuantitativos, asociados con las categorías de riesgo. 1.- Población y tamaño poblacional. 2.- Subpoblaciones. 3.- Individuos maduros, Generación (tasa de reproducción). 4.- Fragmentación. 5.- Extensión de ocurrencia. 6.- Área de ocupación. 7.- Localidad. 8.- Análisis cuantitativo (Análisis de la variabilidad de la población PVA), entre otros, estableciendo las siguientes categorías (IUCN 2001).

**EXTINCTO (EX)** Un taxón está extinto cuando no hay duda razonable de que el último individuo ha muerto. Se presume que un taxón está extinto cuando se han hecho esfuerzos exhaustivos en hábitats conocidos o posibles, a tiempos apropiados a la forma de vida e historia de vida del taxón, y se ha fallado en encontrar un individuo.

**EXTINCTO EN LA NATURALEZA (EW).** Cuando se sabe que solo sobrevive en cultivo, en cautiverio o como una población naturalizada fuera de su rango pasado.

**EN PELIGRO CRÍTICO (CR).** Un taxón se encuentra en esta categoría cuando la evidencia disponible indica que algunos de los criterios permiten considerar que enfrenta un riesgo **extremadamente alto** de extinción en la naturaleza.

**EN PELIGRO (EN).** Un taxón se encuentra en esta categoría cuando la evidencia disponible indica que algunos de los criterios permiten considerar que enfrenta un riesgo **muy alto** de extinción en la naturaleza.

**VULNERABLE (VU).** Un taxón se encuentra en esta categoría cuando la evidencia disponible indica que algunos de los criterios permiten considerar que enfrenta un riesgo **alto** de extinción en la naturaleza.

**RIESGO PROXIMO (NEAR THREATENED NT).** Un taxón se encuentra en ésta categoría cuando no califica para ninguna de las categorías anteriores, pero esta cerca de calificar, o se considera que puede calificar en el futuro cercano.

**MENOR PREOCUPACION (LEAST CONCERN LC).** Un taxón se encuentra en ésta categoría cuando no califica para ninguna de las categorías anteriores. Taxa ampliamente distribuidos y abundantes son incluidos en esta categoría.

**DATOS DEFICIENTES (DD).** Cuando hay datos insuficientes de un taxón para hacer suposiciones directas o indirectas de riesgo de extinción.

**NO EVALUADO (EN).** Cuando un taxón no se ha evaluado contra ningún criterio.

Los criterios se cuantifican y se aplican para establecer la categoría de riesgo de acuerdo con la siguiente tabla.

Nivel Riesgo	Criterio A	Criterio B	Criterio B	Criterio C	Criterio D	Criterio E
	Reducción tamaño población %	Rango Geográfico Extensión ocurrencia Km <sup>2</sup>	Rango Geográfico Area de Ocupación Km <sup>2</sup>	Tamaño población No de individuos	Individuos maduros No de Individuos	Análisis cuantitativo (PVA) % de reducción
<b>CR</b>	≥80 ≥90	100	10	250	50	50 <sup>1</sup>
<b>EN</b>	≥50 ≥70	5000	500	2500	250	20 <sup>2</sup>
<b>VU</b>	≥30 70≥	20 000	2000	10 000	1000	10 <sup>3</sup>

1. En diez años o tres generaciones

2. En 20 años o cinco generaciones.

3. En 100 años.

IUCM (2001) IUCN Red list categories and criteria: Version 3.3. IUCN Species Survival

Commission. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 30 pp.

## Apéndice 2. Características limnológicas en los fragmentos del Río Teuchitlán.

Las condiciones ambientales que persisten en el río Teuchitlán son adecuadas para mantener poblaciones de peces nativos (Figura 1), las principales modificaciones se presentan por la acumulación de sedimentos y la disminución en la velocidad de la corriente de agua. Sin embargo, las condiciones ambientales en el manantial donde se encontró una pequeña población de *Zoogoneticus tequila* presentan mayor degradación ambiental que la que se presenta actualmente el Río Teuchitlán (Figura 2).

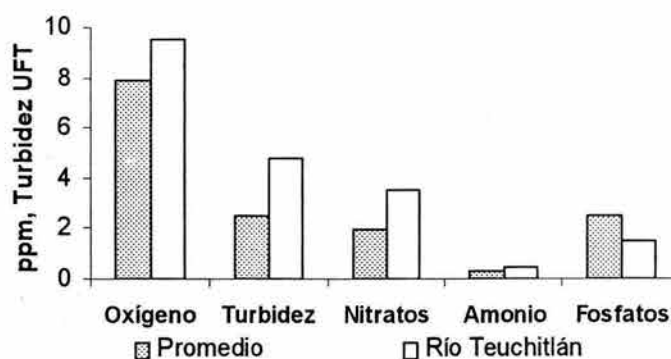


Figura 1. Comparación de algunas variables limnológicas en el Río Teuchhitlán y el promedio de cada parámetro de todas las localidades estudiadas durante un año.

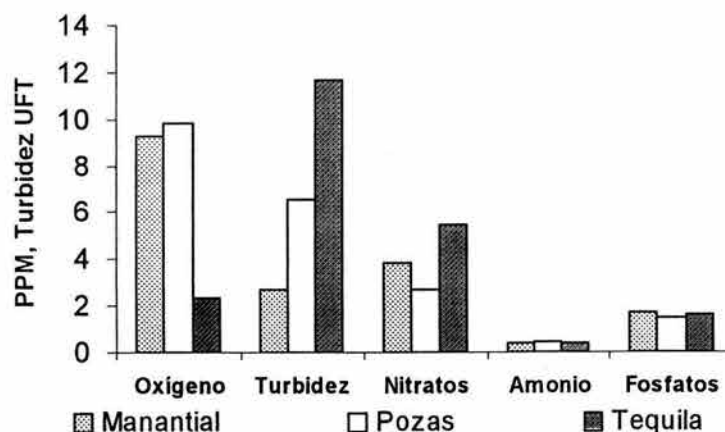


Figura 2. Comparación de algunas variables limnológicas en los diferentes fragmentos del Río Teuchitlán.

Por lo que se descarta que la degradación ambiental fuera la causa de extirpación de *Zoogoneticus tequila* de la cabecera del Río Teuchitlán.

### Apéndice 3. Depredación diferencial por sexo.

Evalué el grado de depredación por culebras en las localidades estudiadas con el fin de determinar si la depredación es mayor en machos que en hembras, examinando los contenidos estomacales de las culebras capturadas.

En cinco de las catorce localidades visitadas durante un año, fue posible observar culebras. De un total de 13 culebras capturadas, sólo el 30.7 % tenía contenido estomacal. El 23% comió algún tipo de pez, mientras que el 7.7% consumió machos de goodeidos y 7.7% hembras de goodeidos.

#### Número de culebras en las localidades estudiadas y número de estómagos con algún tipo de alimento.

LOCALIDAD	NUMERO DE CULEBRAS OBSERVADAS	NUMERO DE CULEBRAS CAPTURADAS	NUMERO DE CULEBRAS CON CONTENIDO ESTOMACAL	NUMERO DE CONTENIDOS ESTOMACALES CON PEZ
Atotonilco	2	2	1	1 <i>C. carpio</i>
Orandino	15	7	1	1 Machos
Zacapu	2	2	1	0
Mintzita	4	1	0	0
M. Chapultepec	1	1	1	1 Hembras

La proporción promedio de adultos machos fue mayor en localidades con culebras (0.47) que en localidades sin culebras (0.38), la diferencia no fue significativa. La mayor proporción de machos adultos se encontró en Orandino, localidad con la mayor densidad de culebras (*Z. quitzeoensis* 0.54 y *Skiffia francesae* 0.496).

Nuestros resultados no apoyan la hipótesis de mayor depredación en machos de goodeidos en las localidades estudiadas.