



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO
TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO EN LAS
ASOCIACIONES DE PECES.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

JUAN MANUEL RIVAS GONZÁLEZ

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Estado de México, Febrero 2013



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO
TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO EN LAS
ASOCIACIONES DE PECES**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA

JUAN MANUEL RIVAS GONZÁLEZ

COMITÉ DE TUTORES

Dr. Felipe de Jesús Rodríguez Romero: Tutor Académico

Dr. Oswaldo Hernández Gallegos: Tutor Adjunto

Dr. Christopher M. Taylor: Tutor Adjunto

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca Estado de México, Febrero 2013

DEDICATORIA

*A mi Familia por ser pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación,
tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente
mantenido a través del tiempo.*

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

RESUMEN

El Rio Tilostoc, se encuentra en el centro de México al oeste del Lago Valle de Bravo en la cuenca media del Balsas, a pesar de que es bien sabido que esta cuenca contiene varias especies endémicas y nativas, la composición de especies y estructura de la comunidad en la mayor parte de sus afluentes son en gran medida desconocidas. En este estudio se encontraron las siguientes especies: *Astyanax aeneus*, *Ilyodon whitei*, *Notropis sallei*, *Poecilia maylandi*, *Cichlasoma istlanum*, *Micropterus salmoides*, *Lepomis cyanelus*, *Oreochromis urolepis hornorum*, *Oreochromis mossambicus*, *Heterandria bimaculata*, *Poeciliopsis gracilis*, *Xiphophorus helleri*. Con seis especies nativas y seis exóticas respectivamente. Además, como para la mayoría de los ambientes acuáticos en el mundo, las actividades antropogénicas representan una amenaza constante y creciente para el sistema. Se utilizó un análisis de ordenación, correlación y regresión para identificar los patrones importantes de distribución taxonómicos y tróficos y sus asociaciones con variables ambientales medidas. El Análisis de escalamiento multidimensional no métrico indicó que las asociaciones tróficas y taxonómicas correspondían de manera similar a los gradientes ambientales medidos, especialmente la elevación y la velocidad del agua. También comparamos la estructura trófica del ensamble de peces del Rio Tilostoc con el arroyo Los Terreros, un sistema templado de tamaño similar y riqueza de especies pero con un grupo taxonómicamente diferente. Se sugiere que la estructura debería ser similar a pesar de las fuertes diferencias históricas en la riqueza de las especies regionales. Las dos cuencas fueron significativamente diferentes indicando una fuerte restricción histórica en la estructura trófica. Tuvimos precaución con la presunción de las categorías de grupos tróficos que representaban una libre función taxonómica de restricción. La matriz trófica del Rio Tilostoc se correlacionó fuertemente con la matriz taxonómica ($r = 0,88$). Los

dos grupos, taxonómicos y tróficos son muy útiles para estudios comparativos ecológicos y las matrices tróficas permitieron la comparación entre distintas regiones históricas, mientras que las matrices taxonómicas permiten correlaciones a nivel de conjunto, con variables ambientales medidas que pueden ayudar a los esfuerzos de conservación.

ABSTRACT

The Tilostoc River, in central Mexico is located west of Valle de Bravo Lake in the Middle Balsas Basin. Although it is well established that this basin contains several endemic and native species, the species composition and community structure in most of its tributaries are largely unknown. This study found the following species: *Astyanax aeneus*, *Ilyodon whitei*, *Notropis sallei*, *Poecilia maylandi*, *Cichlasoma istlanum*, *Micropterus salmoides*, *Lepomis cyanelus*, *Oreochromis urolepis hornorum*, *Oreochromis mossambicus*, *Heterandria bimaculata*, *Poeciliopsis gracilis*, *Xiphophorus helleri*. Additionally, as for most of the aquatic environments across the globe, anthropogenic activities represent a constant and increasing threat to the system. We used ordination, correlation and regression analyses to identify important trophic and taxonomic distributional patterns, and their associations with measured environmental variables. Nonmetric multidimensional scaling analysis indicated that trophic and taxonomic assemblages corresponded similarly to measured environmental gradients, especially elevation and current velocity. We also compared the trophic structure of the Rio Tilostoc fish assemblages to that of Terreros Creek, a temperate system of similar size and species richness, but with a taxonomically different group of species. We hypothesized that trophic structure would be similar despite strong historical differences in regional species pools. The two basins were significantly different indicating strong historical constraint on trophic structure. We issue caution with the assumption that trophic group categories represent ecological function free of taxonomic constraint. Our Rio Tilostoc trophic matrix was strongly correlated with the taxonomic matrix ($r = 0.88$). Both taxonomic and trophic groupings are useful for comparative ecological studies and trophic matrices allow for comparisons among historically distinct regions, while taxonomic matrices allow for

assemblage-level correlations with measured environmental variables that can aid conservation efforts.

AGRADECIMIENTOS

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgar la beca Número 177028, para el desarrollo de este Posgrado.

Debo agradecer, de manera especial y sincera, al Dr. Felipe de Jesús Rodríguez Romero por aceptarme para realizar esta tesis doctoral bajo su dirección, por orientarme también en mi formación como investigador. Las ideas propias, siempre enmarcadas en su conocimiento y rigurosidad, han sido la clave del trabajo que hemos realizado juntos, el cual no se puede concebir sin su siempre oportuna participación.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Dr. Christopher M. Taylor por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia que me brindó durante mi estancia en el Departamento de Recursos Naturales de Texas Tech University, U.S.A.

Asimismo, agradezco al Dr. Osvaldo Hernández Gallegos su valiosa participación en este comité tutorial y sus atinados comentarios al manuscrito.

También agradezco a la Dra. Ma. de Lourdes Ruiz Gómez por su valiosa aportación para la integración de la tesis, así como por sus atinadas sugerencias.

Agradezco de igual manera al M. en C. Topiltzin Contreras, al Biol. Ignacio Preciado, y al Pte. de Biol Diego Viveros por su invaluable ayuda en el trabajo de campo, así como también a mis compañeros del Departamento de Recursos Naturales de Texas Tech. University, Marshall Bayle, Christopher Cheek, Stretch Compton y Seiji Miyazono por su colaboración en los análisis de datos.

Quiero extender un sincero agradecimiento a mis tíos J. Leonor, Luis, Guadalupe y Ma. de Jesús Rivas, quienes han brindado apoyo moral para llegar al final de esta meta.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
INTRODUCCION GENERAL	11
JUSTIFICACION	13
HIPÓTESIS	14
OBJETIVOS	14
Objetivo general	14
Objetivos específicos	14
MATERIAL Y MÉTODOS.....	15
Área de estudio.....	15
Régimen de muestreo.....	17
Análisis de datos	18
RESULTADOS.....	20
CAPITULO I ENVIRONMENTAL CORRELATES OF FISH ASSEMBLAGE ATTRIBUTES IN THE TILOSTOC RIVER OF CENTRAL MEXICO.....	20
CAPITULO II. COMPARACIÓN DE LOS PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE LOS PECES NATIVOS Y EXÓTICOS DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO. / COMPARATIVE ASSESSMENT OF FRESHWATER FISH DISTRIBUTION PATTERNS BETWEEN NATIVE AND EXOTIC IN TILOSTOC RIVER ESTADO DE MEXICO, MEXICO.....	44
DISCUSIÓN GENERAL	73
CONCLUSION GENERAL	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

LISTA DE TABLAS

CAPITULO I

Table 1--Total counts, relative and total abundance of each species collected during 3 seasons in three localities of the Tilostoc River, State of Mexico. (Pag.36).

Table 2--Pearson values correlations of selected environmental variables for the Taxonomic and Trophic groups in the Río Tilostoc, Estado de Mexico. (Pag.37).

CAPITULO II

Tabla 1. Lista de la Ictiofauna del río Tilostoc. (N) Nativa; (E) Endémica; (I) Introducida. List of the ichthyofauna of the river Tilostoc. (N) native, (E) Endemic, (I) Introduced. (Pag. 71).

Tabla 2. Tabla con valores numéricos Cluster Bray-Curtis. (SBL=Santa Bárbara Lluvias, SBS=Santa Bárbara Estiaje, PBL=Planta de Bombeo Lluvias, (PBS=Planta de Bombeo Estiaje, STL=Santo Tomás Lluvias, STS=Santo Tomás Estiaje) Table with numeric values Cluster Bray-Curtis. (SBL=Santa Bárbara Rain Season, SBS=Santa Bárbara Dry Season, PBL=Planta de Bombeo Rain Season, (PBS=Planta de Bombeo Dry Season, STL=Santo Tomás Rain Season, STS=Santo Tomás Dry Season). (Pag. 72).

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

FIG. 1-- (A) Map of Tilostoc River showing the location of sampled sites in central Mexico. Sites include Santa Barbara (SB), Planta de Bombeo (PB) and Santo Tomas de los Platanos (STP). (B) Map of Los Terreros Creek showing the location of sampled sites in central Mexico. Modified from Ruiz-Gomez, et al. 2008. (Pag.40).

FIG. 2--Nonmetric multidimensional scaling (NMS) analysis based on the taxonomic matrix of species abundances. Coding for samples in panels A, B, and C refer to three seasons, three sites and four habitats (respectively) in the Tilostoc River in Central Mexico. For seasons (A), Rainy = open circles; Dry = solid squares; Early Rain = solid circles; For Sites (B), Santa Barbara = solid squares; Planta de Bombeo = empty circles; Santo Tomas de los Platanos = solid circles; For Habitat (C) Channel = solid squares; Riffle = solid circles; Pool = empty circles; Backwater = empty squares. The first and second axes accounted for 63.7 and 17.8 % (respectively) of variation in the original data matrix. (Pag. 41).

FIG. 3--Nonmetric multidimensional scaling (NMS) based on a matrix of trophic groupings. Coding for samples in panels A, B, and C refer to fish groups values from three seasons, three sites, and four habitats (respectively) in the Tilostoc River in Central Mexico. For seasons (A), Rainy = open circles; Dry = solid squares; Early Rain = solid circles; For Sites (B), Santa Barbara = solid squares; Planta de Bombeo = empty circles; Santo Tomas de los Platanos = solid circles; For Habitat (C) Channel = solid squares; Riffle = solid circles; Pool = empty circles; Backwater = empty squares. The first and second axes accounted for 57.5 and 31.1 % (respectively) of variation in the original data matrix. (Pag. 42).

FIG. 4--Nonmetric multidimensional scaling (NMS) analysis based on trophic groups from the Tilostoc and Terreros systems, Balsas and Lerma basins respectively, central Mexico. Tilostoc River = solid circles; Terreros Creek = empty circles. First and third axes accounted for 21.8 and 49.7 % (respectively) of variation in the original data matrix. (Pag. 43).

CAPITULO II

Fig. 1 Mapa del río Tilostoc en el Estado de México, mostrando las localidades muestreadas que incluyen a Santa Bárbara, Planta de Bombeo y Santo Tomás de los Plátanos. Map of the river Tilostoc in the State of Mexico showing the locations sampled, including Santa Barbara, Planta de Bombeo and Santo Tomas de los Platanos. (Pag. 68).

Fig. 2 Análisis de agrupamiento de localidades por variables ambientales. Cluster analysis of environmental variables localities. (Pag.69).

Fig. 3. Análisis de componentes principales hábitats y especies. (Ae=Astyanax aeneus, Ci=Cichlasoma istlanum, Hb=Heterandria bimaculata, Iw=Ilyodon whitei, Lc=Lepomis cyanellus, Ms=Micropterus salmoides, Ns=Notropis sallei, Ouh=Oreochromis urolepis hornorum, Pm=Poecilia maylandi, Pg=Poeciliopsis gracilis, Xh=Xiphophorus helleri). Principal component analysis by habitats and species. (Ae=Astyanax aeneus, Ci=Cichlasoma istlanum, Hb=Heterandria bimaculata, Iw=Ilyodon whitei, Lc=Lepomis cyanellus, Ms=Micropterus salmoides, Ns=Notropis sallei, Ouh=Oreochromis urolepis hornorum, Pm=Poecilia maylandi, Pg=Poeciliopsis gracilis, Xh=Xiphophorus helleri). (Pag. 70).

**ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO
DE MÉXICO BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.**

INTRODUCCION GENERAL

En la actualidad la biología está pasando por un proceso de fortalecimiento debido a la enorme cantidad de enfoques y aplicaciones que pueden usarse en el estudio de los diferentes sistemas biológicos. Típicamente un grupo de investigación que trabaja en un ecosistema o en un grupo taxonómico debe utilizar enfoques, tanto geográficos como paleontológicos, ecológicos y genéticos para poder hacer contribuciones importantes a la teoría de la evolución o a la teoría y las aplicaciones de la biología de la conservación. Esta moderna época de síntesis está caracterizada porque las aplicaciones y los conocimientos en otras áreas de la biología son necesarios para llevar a cabo inferencias y conclusiones que se pueden obtener de los datos. (Piñero, 2007).

Al igual que muchos otros países, México sufre las consecuencias de un modelo poco sustentable de desarrollo, tales como la sobreexplotación de los recursos naturales, la contaminación y la pérdida de biodiversidad (INEGI 2000). En este sentido, los ecosistemas dulceacuícolas se encuentran entre los más impactados por las actividades humanas, ya que ríos, lagos, presas y mares reciben de manera directa los contaminantes provenientes de las actividades domésticas, industriales y agropecuarias, además de extracción del agua, actividades agrícolas, incursiones marinas y la introducción de especies exóticas (Contreras-Balderas *et al.* 2008). Estas modificaciones han traído pérdida de especies endémicas importantes desde el punto de vista de la conservación (Matthews 1998, Wooton 1990). Del número total de especies descritas de peces de agua

dulce en México, 20 ya se han extinguido (4%) y más del 36% están gravemente amenazadas (Contreras-MacBeath 2005). Las tasas observadas de extinción en México se encuentran entre las más altas del mundo (Harrison & Stiassny 1999).

Aunado a esto, el desconocimiento de la distribución y riqueza de especies (Contreras-MacBeath 2005), así como de la dinámica de los ecosistemas acuáticos, pone de manifiesto la importancia de realizar estudios que evalúen la condición ecológica de los ríos, para poder llevar a cabo estrategias de conservación, de biodiversidad y manejo de pesquerías, que necesariamente involucraría trabajo a diferentes niveles (especies, grupo de especies, microcuencas de diferentes tamaños, paisajes, bioregiones) como lo menciona Moyle (1994).

Por consiguiente, con el fin de abordar una de las problemáticas concernientes a la conservación y conocimiento de los ecosistemas, menos atendidas y conocidas en México, la investigación realizada en este proyecto, se enfoca en la dinámica poblacional de los peces que se encuentran en un ecosistema acuático que ha sido alterado por la invasión de un número de especies no nativas en los últimos 50 años, así como por las actividades de extracción y represamiento del caudal natural. Así, el Capítulo I, analiza las correlaciones ambientales del ensamble de peces en este sistema y el Capítulo II hace una comparación de los patrones de distribución de los peces nativos y exóticos en el río Tilostoc, este río se encuentra en el Área Natural Protegida Valle de Bravo Estado de México, ambos capítulos se enfocan en un área para la conservación de la flora y fauna, y la importancia que tiene este sistema para la extracción de agua por el sistema Cutzamala y la utilización del vital líquido en la Ciudad de México.

JUSTIFICACION

La Cuenca de Río Balsas es una de las regiones hidrológicas más grandes de México, biogeográficamente tiene gran relevancia desde el punto de vista de la fauna de peces, pues es de las regiones biogeográficas de Norteamérica con uno de los índices más altos de endemismo, la fauna de esta región combina componentes de especies de origen neártico y neotropical (Miller, 1986), por lo que la estructura de sus comunidades se torna ecológica e históricamente muy compleja. Particularmente, el medio balsas presenta una serie de problemas causados por las actividades humanas que han ido impactando el sistema de manera negativa, como son las tres presas que se encuentran a lo largo de su cauce y es así como en muchos de los arroyos del mundo se han construido presas, alterando fuertemente los ecosistemas, ya que; la presencia de una presa, crea una discontinuidad en la estructura y función natural de un arroyo. (Ward and Stanford 1983) así como también genera cambios en las condiciones físicas, químicas y biológicas antes y después de la presa. Uno de los impactos más grandes es la creación de una barrera para la migración de peces y nutrientes hacia arriba y hacia abajo de la presa. (Poof and Hart 2002). La fragmentación de las poblaciones reduce el flujo genético, que resulta en una disminución de la población y eventualmente efectos deletéreos de entrecruzamiento. Este impacto de las presas en la fragmentación de las poblaciones, ha recibido considerable atención y ha sido usado como un argumento para la remoción de dichas presas. (Heinz Center 2002) Aun así; el impacto de la alteración del hábitat de las poblaciones de peces ha recibido poca atención. (Hayes, *et al* 2006). El presente estudio trata de indagar cómo han sido afectadas las poblaciones de peces por estas razones.

HIPÓTESIS

Se sugiere que la estructura del ensamble será similar a estudios de otros ambientes tropicales, y que esta sea una consecuencia de las diferencias históricas en la riqueza específica de las especies regionales, que pudieran presentar una fuerte restricción histórica en la estructura trófica, por la estrecha relación que guardan a partir de las asociaciones con otros peces de amplia distribución, y además como una consecuencia del aislamiento por barreras geográficas artificiales, así como la historia geológica y evolutiva del sistema donde viven.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar el tipo de ensamble de peces del Río Tilostoc y la relación que guarda con los parámetros bióticos y abióticos del sistema.

Objetivos específicos

- Correlacionar los atributos ambientales y la estructura del ensamble de peces del Río Tilostoc.
- Comparar los patrones de distribución de los peces nativos y exóticos del Río Tilostoc

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

La Cuenca del Río Balsas, en el centro de México, comprende uno de los sistemas hidrológicos más grandes del país, la cuenca de drenaje abarca un área de aproximadamente 112 km² y por su extensión y características geográficas el sistema de ríos tributarios está seccionado en tres grandes porciones, el Bajo, Medio y Alto Balsas, el primero corresponde principalmente a la desembocadura de la cuenca hacia el Océano Pacífico, ubicada en el costado noroeste de la cuenca. La porción central corresponde en gran medida al sistema de ríos en las tierras bajas dentro del territorio del Estado de Guerrero, mientras que la porción alta, de interés en este análisis, se ubica hacia el sureste de la cuenca y es considerada como el nacimiento hidrológico de la misma, está integrada por los ríos Mixteco, Atoyac y Amazucac, de los cuales el primero drena de los escurrimientos de la Sierra Mixteca entre Guerrero y Oaxaca, mientras que el río Atoyac, escurre de las faldas de la porción volcánica central y recorre en su longitud la mayor parte del estado de Puebla, el drenaje formado por el sistema hidrológico Chontalcoatlán-Amacuzac, corresponde a los ríos que se originan en los terrenos altos que forman los flancos australes de la zona neovolcánica, en la Sierra de Temascaltepec, Estado de México y tiene un recorrido de norte a sur de aproximadamente 240 km de longitud, desde su nacimiento hasta su conexión con el afluente principal de la corriente formadora del río Balsas. (Cotler, 2010).

La Cuenca del Balsas está dividida en tres porciones o también llamadas subregiones de planeación que son Alto Balsas, Medio Balsas y Bajo Balsas. El Río Tilostoc está ubicado dentro de las coordenadas extremas 19°12'57.99"N, 100°19'0.29"O en extremo noroeste, 19° 8'59.89"N, 100°19'6.62"O en el extremo suroeste, 19° 9'9.14"N, 100°10'54.16"O en el extremo sureste; y 19°12'57.24"N, 100°10'54.59"O en el extremo noreste, esto es; en la parte media de la Cuenca

del Balsas está caracterizada por ser uno de los más importantes reservorios de biodiversidad a nivel nacional. Situado al oeste del lago de Valle de Bravo; el Río Tilostoc fluye de este a oeste y cuenta con una longitud aproximada de 20 km, en donde se le une el Río Ixtapan del Oro para posteriormente unirse al cauce principal del Río Tuzantla.

El Río Tilostoc forma parte del importante Sistema Hidráulico Cutzamala, el cual abastece a 11 delegaciones del Distrito Federal y 11 municipios del Estado de México, es uno de los sistemas de abastecimiento de agua potable más grandes del mundo, no sólo por la cantidad de agua que suministra (aproximadamente 480 millones de metros cúbicos anualmente), sino por el desnivel (1100 m) que se vence. El sistema está integrado por siete presas derivadoras y de almacenamiento, 6 estaciones de bombeo y una planta potabilizadora.

Es importante señalar que este río se encuentra dentro del Área Natural Protegida Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec, que tiene su origen en el Decreto Presidencial del 15 de Noviembre de 1941. Años después fue necesario recategorizar aquellas áreas naturales protegidas, cuya categoría era distinta a las contenidas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) de 1996. Así, el 23 de junio de 2005 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el Acuerdo por el que se determina como Área Natural Protegida de competencia federal, con la categoría de Área de Protección de Recursos Naturales Zona Protectora Forestal los terrenos constitutivos de las cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec, Estado de México; desde entonces la superficie de dicha área es de 172,879 hectáreas y su polígono se observa en la figura 5.

En el decreto de esta ARNP se dicta que cuenta con una alta diversidad aunque; no menciona información alguna de peces. Y le corresponden selvas bajas caducifolias, relictos de selvas medianas caducifolias, matorrales subtropicales,

bosques de encinos, bosques de pino-encino, bosques mesófilos de montaña, relictos xerófilos y bosque de abeto (DOF 23 de Junio de 2005)

Régimen de muestreo

La metodología empleada para este proyecto se dividió en tres etapas: la primera comprendió la fase de colecta, en la que se visitaron una serie de tres sitios a lo largo del Río Tilostoc, Santa Teresa, Colorines (Planta de Bombeo) y Santo Tomás de los Plátanos (Fig. 6) con una distancia entre los sitios de colecta de cinco a 10 Km. aproximadamente. En cada uno de los sitios realizamos dos etapas de colecta, una para cada una de las dos temporadas climáticas de la región: estiaje y lluvias.

La colecta se llevó a cabo utilizando diversos métodos ictiológicos típicos, tales como red de mano (red de cuchara) y chinchorro de 3 metros de ancho de boca y con luz de 0.5 centímetros. Con la finalidad de estandarizar los muestreos, éstos se llevaron a cabo hasta que los esfuerzos reiterados de pesca no arrojaran nuevas especies o no aparecieran cambios importantes en la composición de las mismas.

Asimismo, se midieron ciertas variables en cada una de las tres localidades como son, temperatura ambiente, porcentaje de nubes, velocidad de la corriente, con ayuda de un flujómetro, la profundidad máxima usando una sonda de profundidad, y con ayuda de una sonda multiparamétrica, se midió el oxígeno disuelto, la temperatura del agua, el total de sólidos disueltos y la conductividad; también se registraron los valores de altitud y geoposición.

En cada uno de los sitios seleccionados se escogieron tramos del río de entre 150 a 200 metros de longitud, que incluyeran todos los hábitats posibles (rápidos, pozas, márgenes y remansos laterales). Los organismos capturados fueron fijados *in situ* en formalina al 10%, etiquetado y transportado al laboratorio. Una vez separados los lotes, el material fue determinado a nivel de especie usando las claves disponibles para cada grupo (Meek 1904, Bussing 2002, Armbruster & Page 2006, Chávez *et al.* 2006, Miller 2009).

La segunda fase consistió en la identificación a nivel de especie, de los ejemplares colectados con base a los criterios de Günther (1868), Álvarez del Villar (1970), y Meek (1904), así como cuantificación de la abundancia relativa por especie. Los ejemplares colectados fueron depositados en el Centro de Investigaciones en Recursos Bióticos de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Análisis de datos

Para el primer artículo se utilizó el escalamiento multidimensional no métrico (NMS) para evaluar la variación temporal en los ensambles en cada sitio y para examinar las diferencias de la comunidad en general, y comparar la estructura trófica de las comunidades de peces del Río Tilostoc con la del arroyo Los Terreros, un arroyo templado de tamaño similar y con riqueza de especies, pero con un grupo taxonómicamente diferente de especies. NMS es una técnica de ordenación indirecta diseñada para resumir los datos complejos de la comunidad (Gauch 1982). Debido a que no se basa en ningún supuesto de distribución (McCune y Grace 2002), NMS es muy adecuado para su uso con datos ecológicos y no está plagado de problemas de los métodos de ordenación tales como el análisis de correspondencias y análisis de correspondencia sin tendencia (Wartenberg *et al.*, 1987; Jackson y Somers 1991; Legendre y Legendre, 1998). La técnica se basa en un algoritmo iterativo de búsqueda que minimiza la salida

de monotonidad en la relación entre la disimilitud en la matriz de datos original y las distancias en el espacio de ordenación reducida (McCune y Grace 2002). Esto proporcionó una imagen interpretable y conveniente del ensamble de peces a través de gradientes espaciales y temporales. Antes de ejecutar el procedimiento de NMS, se calcularon las distancias Bray-Curtis entre todas las unidades de la muestra, y se siguió el procedimiento general esbozado por NMS McCune y Grace (2002). Los análisis se realizaron con el software PC-ORD (McCune y Mefford 2006).

Para el segundo artículo se realizó un análisis estadístico con ayuda de tres diferentes software informáticos que se enfocó a evaluar la diversidad ictiológica de la composición, riqueza, equidad, diversidad y abundancia de peces de la cuenca en dos temporadas. Para determinar cómo es la distribución y los diferentes patrones estacionales.

Las fechas de cada una de las colectas fueron en octubre, representando la temporada de lluvias, y en mayo representando la temporada de estiaje.

Para determinar la diversidad para cada estación de colecta y para cada temporada del año se utilizó el Índice de Diversidad de Shannon.

$$H' = \sum_{i=1}^s (P_i) (\log_2 P_i)$$

H' = La diversidad de especies.

S = El número de especies.

P_i = La proporción de individuos en el total de la muestra que pertenece a la especie.

RESULTADOS

Artículo aceptado en la revista: *Southwestern Association of Naturalists*

CAPITULO I ENVIRONMENTAL CORRELATES OF FISH ASSEMBLAGE ATTRIBUTES IN THE TILOSTOC RIVER OF CENTRAL MEXICO

Juan Manuel Rivas-González*, Felipe de Jesús Rodríguez-Romero, María de Lourdes Ruiz-Gómez, Diego Alfonso Viveros-Guardado, Christopher M. Taylor.

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario # 100 Centro, Toluca, Estado de México. C. P. 50000 (JMARG,FJRR,MLRG)

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Av. Universidad 1001. Col. Chamilpa. Cuernavaca, Morelos. C. P. 62209.(DAVG)

Abernathy Fish Technology Center, United States Fish and Wildlife Service, 1440

Abernathy Creek Road, Longview, WA 98632 (CMT)

*Correspondent: manuel.rivas@uaem.mx

ABSTRACT – The Tilostoc River, in central Mexico is located west of Valle de Bravo Lake in the Middle Balsas Basin. Although it is well established that this basin contains several endemic and native species, the species composition and community structure in most of its tributaries are largely unknown. Additionally, as for most of the aquatic environments across the globe, anthropogenic activities represent a constant and increasing threat to the system. We used ordination, correlation and regression analyses to identify important trophic and taxonomic distributional patterns, and their associations with measured environmental variables. Nonmetric multidimensional scaling analysis indicated that trophic and taxonomic assemblages corresponded similarly to measured environmental

gradients, especially elevation and current velocity. We also compared the trophic structure of the Rio Tilostoc fish assemblages to that of Terreros Creek, a temperate system of similar size and species richness, but with a taxonomically different group of species. We hypothesized that trophic structure would be similar despite strong historical differences in regional species pools. The two basins were significantly different indicating strong historical constraint on trophic structure. We issue caution with the assumption that trophic group categories represent ecological function free of taxonomic constraint. Our Rio Tilostoc trophic matrix was strongly correlated with the taxonomic matrix ($r = 0.88$). Both taxonomic and trophic groupings are useful for comparative ecological studies and trophic matrices allow for comparisons among historically distinct regions, while taxonomic matrices allow for assemblage-level correlations with measured environmental variables that can aid conservation efforts.

Keywords: Stream fish assemblages; trophic structure; nonmetric multidimensional scaling.

RESUMEN – El Rio Tilostoc, se encuentra en el centro de México al oeste del Lago Valle de Bravo en la cuenca media del Balsas, A pesar de que es bien sabido que esta cuenca contiene varias especies endémicas y nativas, la composición de especies y estructura de la comunidad en la mayor parte de sus afluentes son en gran parte desconocidas. Además, como para la mayoría de los ambientes acuáticos en el mundo, las actividades antropogénicas representan una amenaza constante y creciente para el sistema. Se utilizó un análisis de ordenación, correlación y regresión para identificar los patrones importantes de distribución taxonómicos y tróficos y sus asociaciones con variables ambientales medidas. El Análisis de escalamiento multidimensional no métrico indicó que las asociaciones tróficas y taxonómicas correspondían de manera similar a los gradientes ambientales medidos, especialmente la elevación y la velocidad del

agua. También comparamos la estructura trófica del ensamble de peces del Rio Tilostoc con el arroyo Los Terreros un sistema templado de tamaño similar y riqueza de especies pero con un grupo taxonómicamente diferente de especies. Hipotetizamos que la estructura debería ser similar a pesar de las fuertes diferencias históricas en la riqueza de las especies regionales. Las dos cuencas fueron significativamente diferentes indicando una fuerte restricción histórica en la estructura trófica. Tuvimos precaución con la presunción de las categorías de grupos tróficos que representaban una libre función taxonómica de restricción. La matriz trófica del Rio Tilostoc se correlacionó fuertemente con la matriz taxonómica ($r = 0,88$). Los dos grupos, taxonómicos y tróficos son muy útiles para estudios comparativos ecológicos y las matrices tróficas permitieron la comparación entre distintas regiones históricas, mientras que las matrices taxonómicas permiten correlaciones a nivel de conjunto, con variables ambientales medidas que pueden ayudar a los esfuerzos de conservación.

Palabras clave: Ensamblajes de peces de arroyo, estructura trófica; escalamiento multidimensional no métrico.

Mexico is considered a megadiverse country regarding its biological resources and biodiversity hotspots (Mittermeier and Mittermeier, 1997). Mexico's aquatic ecosystems are highly diverse and varied, containing about 2,212 fish species (CONABIO, 1998). Freshwater ecosystems in Mexico alone harbor approximately 560 species. Historical differences among river basins contribute to high levels of endemnicity; for example, the Lerma-Chapala-Santiago system contains 57 extant species, 33 of which are endemic to the basin (Miller, 2005).

Mexico suffers from many of the environmental issues and problems that are common across the globe, including overexploitation of natural resources, pollution and the concomitant loss of biodiversity (OCDE 1998, INEGI, 2000). Freshwater ecosystems are among the most impacted because they receive

pollutants from domestic, industrial and agricultural activities. Rivers and streams have also undergone considerable de-watering for municipal and agricultural use, and are struggling with the impacts of exotic species (Contreras-Balderas et al., 2008). These changes have amounted to devastating losses of biodiversity (Matthews, 1998; Wootton, 1990), and extinction rates in Mexico are among the highest in the world (Harrison & Stiassny, 1999). Contreras-MacBeath (2005) reported that 20 species of freshwater fishes in Mexico are already extinct (4%) and over 36% are seriously threatened with extinction.

Within the context of this freshwater biodiversity loss, it is imperative that we continue to identify important environmental factors (including stressors) that contribute to the distribution and abundance patterns of freshwater fishes. In the tropics and subtropics of Mexico, natural variation in precipitation leads to fairly predictable changes in discharge regimes and habitat availability, which impact stream fish communities. In the dry season, rivers are reduced to small, often isolated pools that limit dispersal opportunity; whereas in the rainy season the water volume increases, forming a continuum that facilitates dispersal (Wootton, 1992; Matthews, 1998 and Moyle and Cech, 2000). Other factors influencing distribution and abundance of fishes include anthropogenic impacts to stream connectivity (such as dams and dewatering), which disrupt the natural flow regime and alter the dynamics of local immigration and extinction (Taylor et al., 2005).

Unfortunately, there is a lack of information on fish diversity and distributions in much of Mexico, and biodiversity losses are accumulating faster than documentation in surveys and inventories (Contreras-MacBeath, 2005); as a consequence, the direct effects of environmental and anthropogenic disturbances in structuring Mexican fish assemblages are poorly understood.

The objectives of our study were to examine the role of local environmental factors in structuring Tilostoc River fish assemblages, as defined taxonomically and based on trophic groupings. We also compared the trophic structure of Tilostoc River fish assemblages to those in Terreros Creek, a temperate system in

the Lerma River basin similar in size to the Tilostoc River, approximately 86 km north of our study sites. These two systems have historically distinct fish faunas with only one shared species. However, because species composition is potentially related to environmental factors, such as climate, habitat type, etc., we predicted that the trophic structures would not be historically constrained and would show considerable similarity, as species may consume similar types of prey and have similar population dynamics.

MATERIALS AND METHODS – The Tilostoc River is located in the state of Mexico, west of Valle de Bravo Lake in the middle Balsas Basin (Figure. 1A). The river drains 32 km² and has a length of about 20 km, until confluenting with the Tuzantla River. The region has an average annual rainfall of 33 cm, an average temperature 22 ° C, 1.646 mm of annual evaporation and has a humid semi-hot climate.

We sampled three sites along the Tilostoc River: 1) Santa Teresa (19° 12' 50.4" N; 100° 11' 52.5" W), 2) Planta de Bombeo (19° 10' 28.5" N; 100° 17' 21.3" W) and 3) Santo Tomas de los Platanos (19° 10' 2.60" N; 100° 18' 33.0" W). Each site was separated by at least 10km. Santa Teresa, the higher locality (1726 m) is characterized by a homogeneous channel with constant current velocity and dominated by sand-rock substratum. The riparian vegetation consisted mainly of grass, Eucalyptus, and thorny shrubs. On the other hand, Planta de Bombeo (1048 m), in the middle of the altitudinal range, is highly impacted by human activities, including heavily disturbed riparian vegetation. The construction of a dam modified the channel and water flow, which has become slower. The dominant substratum in this site is sand-rock. Lastly, Santo Tomas de los Platanos, the lowest site (1010 m), is the least disturbed locality surrounded by well-preserved riparian vegetation. The habitat structure was diverse, mainly dominated by several riffle-pool sequences, which allowed the establishment of different microhabitats.

The area presents two marked seasons during the year, depending on the amount of precipitation in a given month. This is important to understand habitat dynamics on the river, as they can change dramatically depending on the season. During the dry season the flow is interrupted and several isolated pools appear, whereas during the rainy season, the river is characterized by continuous flow. The rainy season runs from June to September, whereas the dry season occurs from October through April. In order to determine whether the two seasons had an impact on assemblage structure, we surveyed the localities on three occasions: at the start of the rainy season (July), during the rainy season (September), and at the end of the dry season (May)

We sampled fishes with a seine of 3.0-m (length) by 1.5- m (depth) by 5.0-mm (mesh size) in size. At each site we made approximately 12 seine hauls depending on site and season, and we covered all habitat types that occurred. The number of hauls varied depending on sites, season and habitat availability. As the sampling sites were physically quite similar across localities, we are confident that seining effort and abundance data provide a good representation of fish assemblage structure at sampled localities. All fishes collected were field-fixed in 10% formalin solution and transported to the lab for enumeration and identification. The specimens were deposited in the Ichthyological Collection of the Center for Biological Resources Research, Autonomous University of the State of Mexico.

Trophic characterization for each species from both systems was determined for adult stages, based on published data for the surrounding area (Billard, 1997; Contreras-MacBeath and Soto, 1991; Bussing 1998; Froese and Pauly, 2011; Mills and Vevers, 1989; Trewavas, 1983; Trujillo, 1998a, 1998b; Trujillo and Diaz-Pardo 1996. Trujillo and Toledo, 2007; Zarat and Rand, 1971). We classified these species into five trophic guilds: detritivores, omnivores, insectivores, herbivores and piscivores (Table 1). At each site we measured several environmental variables including temperature (°C), dissolved oxygen (mg/l), pH, conductivity (mS/cm) and total dissolved solids (mg/l). We

characterized the types of habitat (riffle, pool, backwater or channel) in each site according to Hawkins et al., (1993) and recorded altitude, maximum flow velocity (m/s), maximum depth (m) and substrate (sand, sand-rock, silt-rock, silt-sand, and silt-sand-rock).

For our comparative analysis of trophic structure, we used data from Los Terreros Creek, a third and fourth order stream (Figure. 1B) located about 80 kilometers from the Tilostoc River in the Lerma Basin. Like the Tilostoc River, Los Terreros Creek has been impacted by human activities such as grazing, introduction of exotic species (*C. carpio* and *C. humboldtianum*) and the construction of a dam that has interrupted the natural water course (Ruiz-Gomez et al., 2008). In this system, sampling was conducted by seine during the dry and the rainy seasons. Sampling techniques and details are described in (Ruiz-Gomez et al., (2008).

The count data for site-specific species and trophic group (only for adult stages) abundances were square root transformed to reduce the effects of highly abundant species on the analyses. We used nonmetric multidimensional scaling (NMS) to assess temporal variation in assemblages at each site and to examine among-site differences in overall assemblage structure, and to compare the trophic structure of Tilostoc River fish assemblages to that of Los Terreros Creek, a temperate stream of similar size and species richness, but with a taxonomically different group of species. NMS is an indirect ordination technique designed to summarize complex community data (Gauch 1982). Because it is not based on any distributional assumptions (McCune and Grace 2002), NMS is well suited for use with ecological data and is not plagued with problems of other ordination methods such as correspondence analysis and detrended correspondence analysis (Wartenberg et al., 1987; Jackson and Somers 1991; Legendre and Legendre 1998). The technique is based on an iterative search algorithm that minimizes departure from monotonicity in the relationship between dissimilarity in the original data matrix and distances in the reduced ordination space (McCune

and Grace 2002). This provided a convenient and interpretable picture of fish assemblage change across spatial and temporal gradients. Before running the NMS procedure, we computed Bray-Curtis distances among all sample units, and followed the general NMS procedure outlined by McCune and Grace (2002). The analyses were run with PC-ORD software (McCune and Mefford 2006).

We performed Multiresponse permutation procedures (MRPPs) to examine the importance of spatial (sites), temporal (seasons) and habitat type in separating fish assemblages. MRPP is a non-parametric procedure for testing differences between two or more groups; the advantage of this method is that it does not involve assumptions (such as multivariate normality and homogeneity of variances) that are seldom met with ecological community data (McCune and Grace, 2002). As the trophic matrix was built from the taxonomic matrix, we anticipated some degree of redundancy in the two matrices; we used the Mantel test with a permutation procedure to evaluate the independence of taxonomic and trophic matrices. Finally, we compared our trophic groups from the Tilostoc River basin to those from Los Tereros Creek in the Lerma River basin, which has different biogeographic history and only shares one species with the Tilostoc River.

RESULTS – We collected a total of 3868 fishes representing five orders (Cypriniformes, Cyprinodontiformes, Characiformes, Perciformes, Siluriformes), seven families (Cyprinidae, Goodeidae, Poeciliidae, Characidae, Centrarchidae, Cichlid, and Ictaluridae), and 12 species (Table 1).

Nonmetric multidimensional scaling and correlation analyses indicated that trophic and taxonomic assemblages varied in similar ways. This was not surprising, as taxonomic and trophic matrices were strongly correlated (Mantel matrix correlation) with each other ($R = 0.88$; $P < 0.0001$, based on 10000 permutations).

Taxonomic and trophic analyses suggested that local assemblage structure was influenced predominantly by site-specific differences (spatial effects) ($A = 0.211$, $P = 0.001$ and $A = 0.303$, $P = 0.001$; respectively). There was no significant influence of season ($A=0.009$, $P=0.595$ and $A=-0.025$, $P=0.685$) or habitat type ($A=0.021$, $P=0.250$ and $A=-0.023$, $P=0.062$). Nonmetric multidimensional scaling performed on the taxonomic matrix produced two axes representing gradients in fish assemblage structure. Environmental correlations with these axes are shown in table 2. Together, both axes cumulatively accounted for 81.5% of the variation in the original taxonomic matrix. The second axis accounted for most of the variation (63.7%), and was strongly correlated with water temperature ($r = 0.51$), largely separating site 1 (Santa Barbara) from the other sites (Figure 2). The first axis accounted for 17.8% of the variance and was associated with elevation and current velocity ($r = 0.88$ and 0.42 , respectively). The analysis of the trophic matrix produced similar results (Table 2). Two axes accounted for 88.6% of the variation. The second axis (31.1% of the variation) separated site 1 from the other sites (Figure 3), and it was strongly correlated with elevation and current velocity ($r = 0.70$ and 0.51 , respectively). The first axis, representing 57.5% of the variation was also strongly associated with elevation ($r = 0.84$) and flow velocity ($r = 0.52$).

For the basin-level comparison using trophic matrices, two axes accounted for 77.5% of the variation. The first axis represented 21.8% of the variation whereas the third axes accounted for 49.7 %. The MRPP analysis indicated a significant difference in trophic groups between the two basins ($A = 0.224$, $p = 0.0001$) (Figure 4).

DISCUSSION – Many systems in Central Mexico have been severely impacted by anthropogenic activities such as water extraction, the construction of dams and the introduction of exotic species. Such changes potentially contribute to the organization of fish assemblage structure. In addition, biotic and natural abiotic factors such as water chemistry, habitat structure, predation, competition,

etc. also affect local species abundances and distributions. Furthermore, spatial and temporal patterns of fish assemblage structure may depend on the type of biological data used (taxonomic or functional groupings). Trophic groups are often thought to reflect ecological relationships better than taxonomic groups, especially when assessing the functional effects of environmental impacts (Higgins, 2010). However, if the trophic matrix is built from the taxonomic matrix, some level of dependency will always be present. Recently, it has been suggested that despite correlations between functional and taxonomic groupings, the functional structure of assemblages largely depends on within-community (alpha diversity) components, whereas the taxonomic structure is more dependent on among-community (beta diversity) components; therefore, both groupings have ecological value (Hoeinghaus et al., 2007; Higgins, 2010).

Our NMS analyses suggested that trophic and taxonomic groups responded similarly to environmental conditions, with current velocity, temperature and elevation showing strong associations in both analyses. Elevation was the strongest correlate of assemblage structure in both trophic and taxonomic analyses, regardless of season or microhabitat type. The highest site (Santa Barbara), which was in close proximity to the dam, was the most differentiated fish assemblage. This site contained only two species, both of them introduced. Numerous studies have described the impact of dam construction on the establishment of exotic species, and their appearance has coincided with reservoir construction in Mexico (Ruiz, 1998; Prenda et al., 2002). Thus, we reiterate the importance of documenting the influence of human disturbances on the structure and composition of fish assemblages throughout Mexico to prevent further biodiversity loss.

When comparing the two central Mexico river basins, significant differences were found based on trophic guild structure, indicating the importance of historic constraints on trophic structure as well as taxonomy. Only one species, *Notropis sallei*, was shared among basins. *Notropis sallei* is an endemic species with a

restricted geographic distribution in central Mexico. The major threats to *N. sallei* are those associated with constructions of dams (Diaz-Pardo et al., 1993), a shared characteristic of both basins in our study. We found two endemic species in the Tilostoc River (Balsas Basin), *Ictalurus balsanus*, which was the only piscivorous species present and *Ilyodon whitei*, the only herbivore. In the Lerma Basin, Terreros Creek contained two species of the genus *Chirostoma* (*C. humboldtianum* and *C. jordani*), which were the only zooplanktivorous species found in this study. When comparing species richness between both systems, we observed 12 in the Tilostoc River and only five in Los Terreros Creek; however, both basins were similar in the proportion of native to introduced species. Regarding species introductions, in the Tilostoc River two species (*Micropterus salmoides* and *Lepomis cyanellus*) were introduced as sport fishes, whereas *Oreochromis urolepis hornorum* was introduced as a food fish. Similarly, *Cyprinus carpio* and *Chirostoma humboldtianum* were introduced as food fishes in Terreros Creek. Thus, although the basins share a similar combination of physical and environmental characteristics, anthropogenic effects and historical constraints strongly influenced the ecological patterns we found and provided a unique combination of attributes that determined assemblage structure within these basins. Our study presents the first description and classification of fish assemblages inhabiting the Tilostoc River in the middle Balsas Basin. The challenge of conserving tropical biodiversity in a world of rapidly growing human populations requires accurate inventories of species and their habitats, but also the understanding of the mechanisms that create and maintain biodiversity patterns. The Tilostoc River in the State of Mexico is one of the few rivers in the Balsas Basin that have not been adequately surveyed regarding fish biodiversity, despite the fact that it provides Mexico City with municipal water supply.

We thank T. Contreras-MacBeath, and I. Preciado-Chino for help in the field, and landowners along the Tilostoc River for allowing access. Fernando Mendez provided data of Los Terreros Creek. Funding was provided by The National Council on Science and Technology (CONACYT). M. Beierle (Texas Tech University) produced the map shown in Figure 1 (Data source: ESRI Data & Maps 2008).

LITERATURE CITED

- BILLARD, R. 1997. Les poissons d'eau douce des rivières de France. Identification, inventaire et répartition des 83 espèces. Lausanne, Delachaux & Niestlé.
- BUSSING, W.A. 1998. Peces de las aguas continentales de Costa Rica [Freshwater fishes of Costa Rica]. 2nd Ed. San José Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- CONABIO. 1998. La diversidad Biológica de México: estudio de país, 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- CONTRERAS-BALDERAS S., G. RUIZ-CAMPOS, J. J. SCHMITTER-SOTO, E. DÍAZ-PARDO, T. CONTRERAS-MACBEATH, M. MEDINA-SOTO, L. ZAMBRANO-GONZÁLEZ, A. VARELA-ROMERO, R. MENDOZA-ALFARO, C. RAMÍREZ-MARTÍNEZ, M. A. LEIJA-TRISTÁN, P. ALMADA-VILLELA, D. A. HENDRICKSON, AND J. LYONS. 2008. Freshwater fishes and water status in México: A country-wide appraisal. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 11(3):246–256.
- CONTRERAS-MACBEATH, T. 2005. Fish conservation in Mexico with emphasis in livebearing species. Pages 401-414 in Viviparous fishes(M. C. Uribe and H. J. Grier editors). New Life Publishers.
- CONTRERAS-MACBEATH, T. Y E. SOTO GALERA. 1991. Peces Dulceacuícolas Mexicanos VI. Ictalurus balsanus (PISCES: ICTALURIDAE). *Zoología Informa*. 23:10.
- DÍAZ PARDO, E., M.A. GODÍNEZ RODRÍGUEZ, E. LÓPEZ-LÓPEZ AND E. SOTO-GALERA. 1993. Ecología de los peces de la cuenca del río Lerma, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, México* 39:103-127.
- FROESE, R. AND D. PAULY. Editors. 2011. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (08/2011).

- GAUCH, H.G. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge University Press, New York.
- HARRISON, I.J. AND M.L.J. STIASSNY. 1999. The quiet crisis a preliminary listing of the freshwater fishes of the world that are extinct or "missing in action". Pages 271-331 in *Extinctions in Near Time* (McPhee, R. editor). Kluwer Acad./Plenum Publ.
- HAWKINS, C.P., KERSHNER, J. L., BISSON, P. A., BRYANT, M. D., DECKER, L.M., GREGORY, S. V. MCCULLOUGH, D. A., OVERTON, C.K., REEVES, G. H., STEEDMAN, R. J., AND YOUNG, M. K. A. 1993 Hierarchical Approach to Classifying Stream Habitat Features. In: *Fisheries*, June, Vol. 18, No. 6: 3-12.
- HIGGINS, C, L. 2010. Patterns of functional and taxonomic organization of stream fishes:
inferences based on a, b, and g diversities. *Ecography* 33: 678-687.
- HOEINGHAUS, D. WINEMILLER, K, AND BIRNBAUM, J. 2007 Local and regional determinants of stream fish assemblage structure: inferences based on taxonomic vs. functional groups. *Journal of Biogeography*. 34, 324–338. USA
- INEGI. 2000. *Indicadores de desarrollo sustentable en México*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática e Instituto Nacional de Ecología.
- JACKSON, D.A., AND SOMERS, K.M. 1991. Putting things in order: the ups and downs of detrended correspondence analysis. *Am. Nat.* 137: 704-712.
- LEGENDRE, P. AND LEGENDRE, L. 1998. *Numerical ecology*. 2nd English ed. Elsevier Science BV, Amsterdam, the Netherlands.
- MATTHEWS, W. J. 1998. *Patterns in freshwater fish ecology*. University of Oklahoma, Chapman & Hall, U.S.A.
- MCCUNE, B., AND GRACE, J.B. 2002. *Analysis of ecological communities*. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon.

**ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO
BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.**

- MCCUNE, B., AND MEFFORD, M.J. 2006. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 5. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon. U.S.A.
- MILLER, R. R. 2005. Freshwater Fishes of México. The University of Chicago Press. U.S.A.
- MILLS, D. AND G. VEVERS. 1989. The Tetra encyclopedia of freshwater tropical aquarium fishes. Tetra Press, New Jersey.
- MITTERMEIER, R. Y C. GOETTSCH, MITTERMEIER. 1997. Megadiversidad. Los países biológicamente más ricos del mundo. CEMEX, México.
- MOYLE, P. B. & J.J. CECH, JR. 2000. Fishes-and introduction to ichthyology, 2nd. Ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- OCDE. 1998. Análisis del desempeño ambiental, México. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
- PRENDA, J. CLAVERO, M. BLANCO, F. REBOLLO, A. 2002. CONSECUENCIAS ecológicas de la creación de embalses en el ámbito mediterráneo: el caso de los peces. In Actas del III Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua, Moral L (coord.), Sevilla; 497–503.
- RUIZ, A. 1998. Fish species composition before and after construction of a reservoir on the Guadalete River (Spain). Archiv fu.r Hydrobiologie 142: 353–369.
- RUIZ-GOMEZ, L. MENDEZ-SANCHEZ, J. RODRIGUEZ-ROMERO, F. TAYLOR, C. 2008. Spatiotemporal changes in fish assemblages of Los Terreros creek, an isolated stream system in headwaters of the Lerma River, central Mexico. The Southwestern Naturalist 53(2):224–229.
- TAYLOR, C. M., HOLDER, T. L., FIORILLO, R. A., WILLIAMS, L. R., THOMAS, R. B., WARREN, M. L., 2005. Distribution, abundance, and diversity of stream fishes under variable environmental conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 63: 43-54.
- TREWAVAS, E. 1983. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Mus. Nat. Hist., London, UK.

- TRUJILLO JIMENEZ, P. 1998. Trophic spectrum of the cichlids *Cichlasoma* (Parapetenia) *istlanum* and *Cichlasoma* (Arconcentrus) *nigrofasciatum* in the Amacuzac River, Morelos, Mexico. *Journal of Freshwater Ecology*. 13 (4):465-473.
- TRUJILLO, P. 1998. Dinámica Trófica de la Ictiofauna del río Amacuzac, Morelos. M.S. Tesis, Facultad de Ciencia Biológicas, UAEM, Morelos, México.
- TRUJILLO JIMENEZ, P. & E. DIAZ-PARDO. 1996. Espectro trófico de *Ilyodon whitei* (Pisces:Goodeidae) en el río del Muerto, Morelos. *Rev. Biol. Trop.* 44:755-761.
- TRUJILLO JIMENEZ, P, TOLEDO BETO, H. 2007 Alimentación de los peces dulceacuícolas tropicales *Heterandria bimaculata* y *Poecilia sphenops* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). *Rev. Biol. Trop* [online]. 55(2):603-615.
- WARTENBERG, D., FERSON, S., AND ROHLF, F.J. 1987. Putting things in order: a critique of detrended correspondence analysis. *Am. Nat.* 129: 434-48.
- WOOTTON, R. J. 1990. Ecology of teleost fishes. Chapman and Hall, New York., 404 pp.
- WOOTTON, R.J. 1992. Constraint in the evolution of fish life histories. *Netherlands J. Zool.*, 42: 291-303.
- ZARET, T.M. & A.J. RAND. 1971. Competition in tropical stream fish communities. *Ecology* 59:507-515.

ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.

Table 1--Total counts, relative and total abundance of each species collected during 3 seasons in three localities of the Tilostoc River, State of Mexico.

Species	Trophic group	Sta. Barbara			Pta. de Bombeo			Sto. de los Platanos			Relative abundance	Total abundance
		Rain	Dry	Early rain	Rain	Dry	Early rain	Rain	Dry	Early rain		
<i>Astyanax aeneus</i>	Omnivore	0	0	0	0	0	0	24	1570	70	0.4301	1664
<i>Cichlasoma istlanum</i>	Omnivore	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0.0002	1
<i>Heterandria bimaculata</i>	Insectivore	17	1	0	28	29	78	255	26	86	0.1344	520
<i>Ictalurus balsanus</i>	Piscivore	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0.0010	4
<i>Ilyodon whitei</i>	Herbivore	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0.0002	1
<i>Lepomis cyanellus</i>	Piscivore	0	0	0	34	0	0	0	1	1	0.0093	36
<i>Micropterus salmoides</i>	Piscivore	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0.0007	3
<i>Notropis sallei</i>	Insectivore	0	0	0	4	14	74	0	0	0	0.0237	92
<i>Oreochromis urolepis hornorum</i>	Detritivore	0	0	0	12	0	8	3	0	0	0.0059	23
<i>Poecilia maylandi</i>	Detritivore	0	0	0	30	8	120	1	14	3	0.0455	176
<i>Poeciliopsis gracilis</i>	Detritivore	0	0	0	165	152	667	64	3	38	0.2815	1089
<i>Xiphophorus hellerii</i>	Omnivore	0	0	0	2	0	8	145	16	88	0.0669	259

**ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO
EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.**

TABLE 2--Pearson values correlations of selected environmental variables for the Taxonomic and Trophic groups in the Río Tilostoc, Estado de Mexico.

Variables	Taxonomic		Trophic	
	NMS 1	NMS 2	NMS 1	NMS 2
Elevation m	0.880	-0.188	0.845	0.701
Width m	0.391	-0.386	0.307	-0.210
Temperature °C	-0.401	-0.174	-0.244	-0.257
Current velocity m/s	0.420	-0.461	0.523	0.518
Depth m	0.230	0.305	0.127	-0.078
Dissolved oxygen	0.018	-0.250	-0.003	0.372
Water temperature °C	-0.645	0.507	-0.679	-0.664
Total dissolved solids mg/l	-0.395	-0.327	-0.253	-0.029
Conductivity mS/cm	-0.455	-0.083	-0.330	-0.257

List of Figures

FIG. 1-- (A) Map of Tilostoc River showing the location of sampled sites in central Mexico. Sites include Santa Barbara (SB), Planta de Bombeo (PB) and Santo Tomas de los Platanos (STP). (B) Map of Los Terreros Creek showing the location of sampled sites in central Mexico. Modified from Ruiz-Gomez, *et al.* 2008.

FIG. 2--Nonmetric multidimensional scaling (NMS) analysis based on the taxonomic matrix of species abundances. Coding for samples in panels A, B, and C refer to three seasons, three sites and four habitats (respectively) in the Tilostoc River in Central Mexico. For seasons (A), Rainy = open circles; Dry = solid squares; Early Rain = solid circles; For Sites (B), Santa Barbara = solid squares; Planta de Bombeo = empty circles; Santo Tomas de los Platanos = solid circles; For Habitat (C) Channel = solid squares; Riffle = solid circles; Pool = empty circles; Backwater = empty squares. The first and second axes accounted for 63.7 and 17.8 % (respectively) of variation in the original data matrix.

FIG. 3--Nonmetric multidimensional scaling (NMS) based on a matrix of trophic groupings. Coding for samples in panels A, B, and C refer to fish groups values from three seasons, three sites, and four habitats (respectively) in the Tilostoc River in Central Mexico. For seasons (A), Rainy = open circles; Dry = solid squares; Early Rain = solid circles; For Sites (B), Santa Barbara = solid squares; Planta de Bombeo = empty circles; Santo Tomas de los Platanos = solid circles; For Habitat (C) Channel = solid squares; Riffle = solid circles; Pool = empty circles; Backwater = empty squares. The first and second axes accounted for 57.5 and 31.1 % (respectively) of variation in the original data matrix.

FIG. 4--Nonmetric multidimensional scaling (NMS) analysis based on trophic groups from the Tilostoc and Terreros systems, Balsas and Lerma basins respectively, central

**ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO
EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.**

Mexico. Tilostoc River = solid circles; Terreros Creek = empty circles. First and third axes accounted for 21.8 and 49.7 % (respectively) of variation in the original data matrix.

ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.

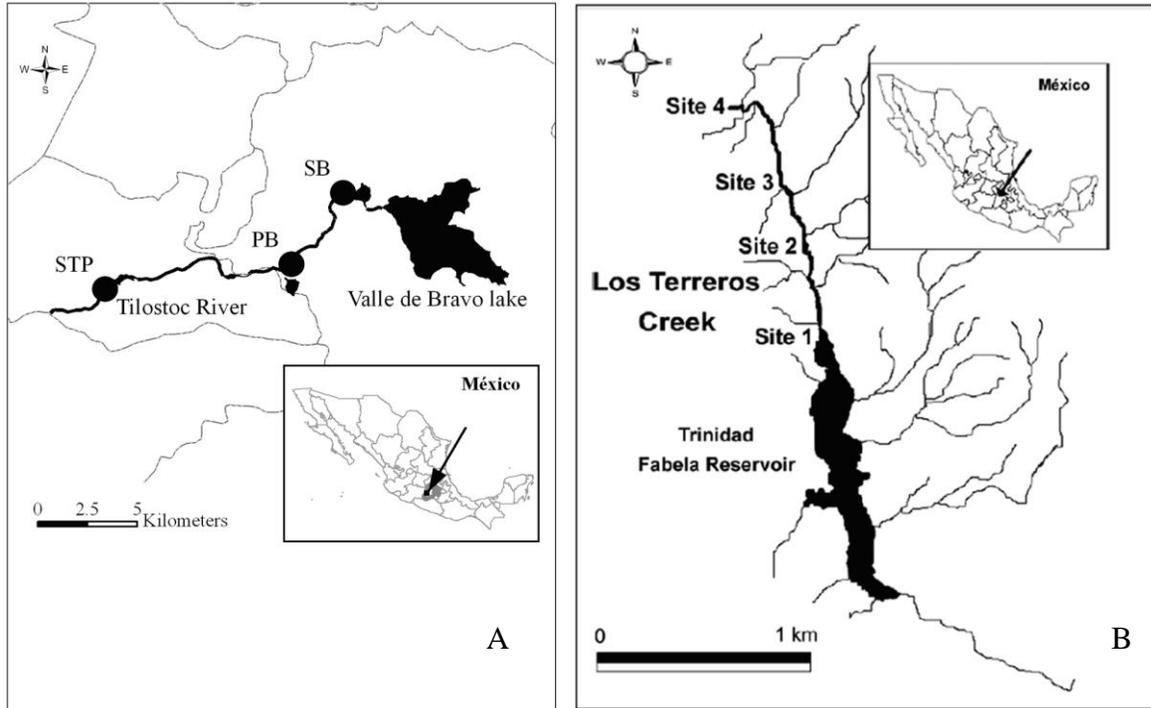
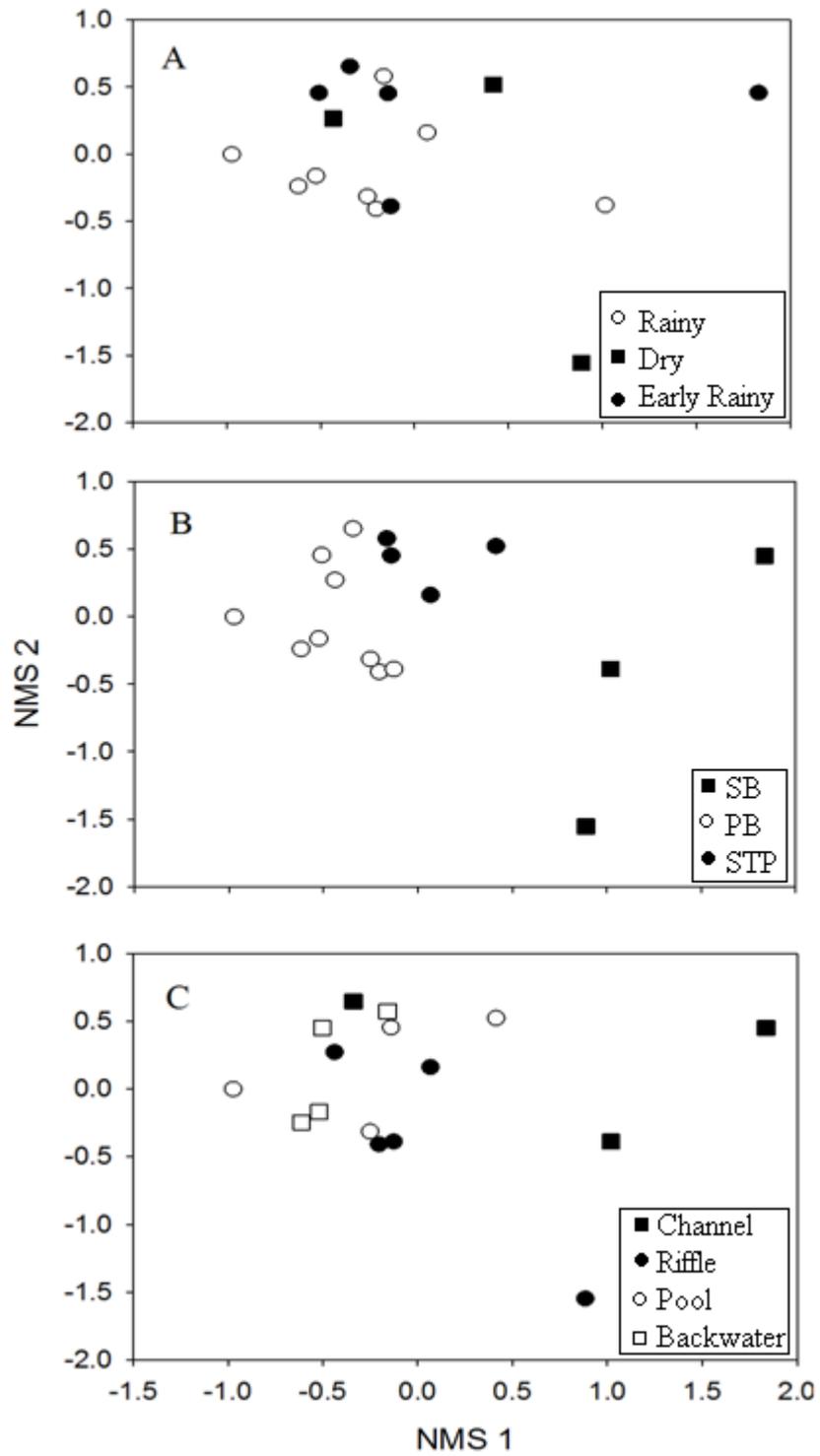


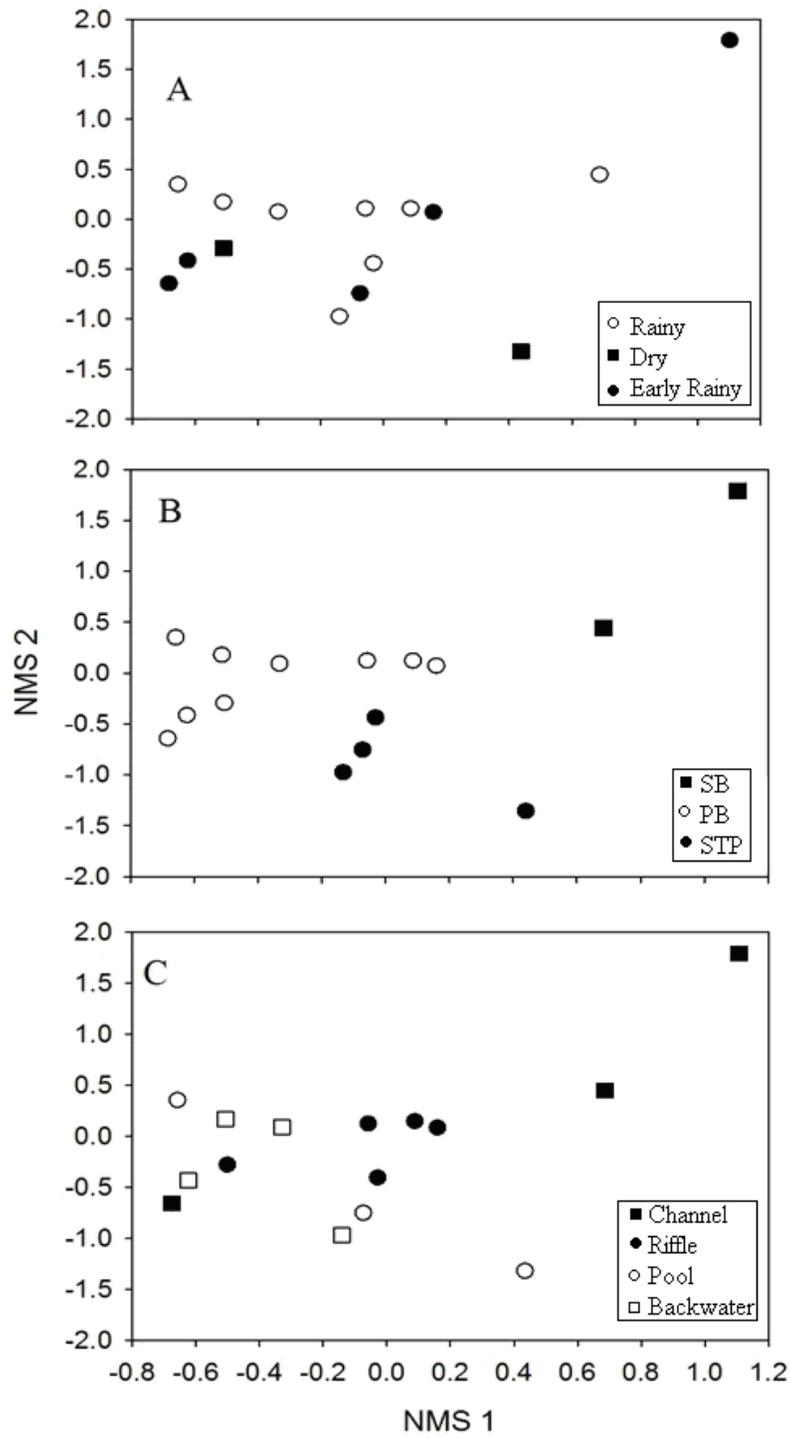
FIG 1--

ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.



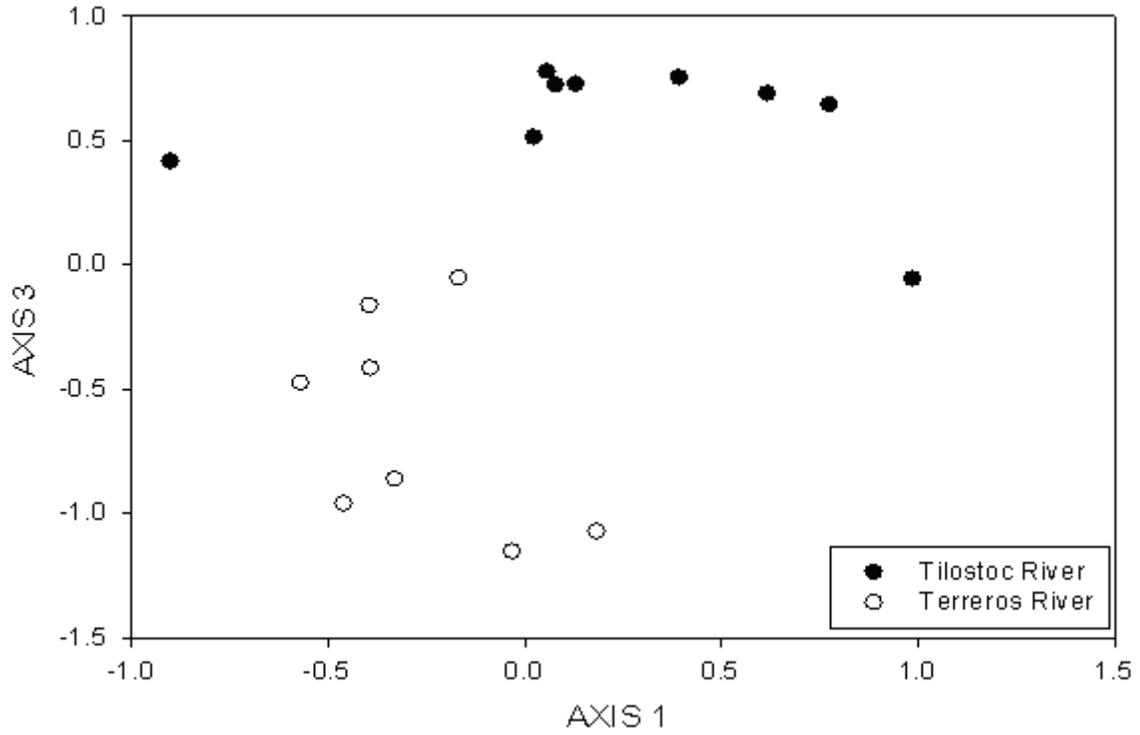
FIG—2

ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.



FIG—3

ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.



FIG—4

Artículo enviado a la Revista Chilena de Historia Natural

**CAPITULO II. COMPARACIÓN DE LOS PATRONES DE DISTRIBUCIÓN DE
LOS PECES NATIVOS Y EXÓTICOS DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE
MÉXICO, MÉXICO. / COMPARATIVE ASSESSMENT OF FRESHWATER FISH
DISTRIBUTION PATTERNS BETWEEN NATIVE AND EXOTIC IN TILOSTOC
RIVER ESTADO DE MEXICO, MEXICO.**

DISTRIBUCION DE PECES NATIVOS Y EXOTICOS, RIO TILOSTOC.

JUAN M. RIVAS-GONZÁLEZ^{1*}, DIEGO A. VIVEROS-GUARDADO² & FELIPE DE J.
RODRÍGUEZ-ROMERO³.

^{1,3} Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario
100 Centro, Toluca, Estado de México. C. P. 50000

² Universidad Autónoma del Estado de Morelos Av. Universidad 1001. Col. Chamilpa.
Cuernavaca, Morelos. C. P. 62209.

*Autor correspondiente: manuel.rivas@uaem.mx,
fjrr@uaemex.mx, yotengo@hotmail.com

RESUMEN

Se evaluó la diversidad ictiofaunística del Río Tilostoc a través de la identificación de especies en tres estaciones de muestreo, se calculó la riqueza específica, la abundancia relativa, la distribución de las especies nativas y exóticas a lo largo del río, el índice de diversidad de Shannon y se estimó la equidad presente para cada estación, en las dos temporadas del año en tres localidades. Se realizaron colectas a lo largo del río en estiaje y lluvias; y se midieron los parámetros fisicoquímicos, temperatura, sólidos totales disueltos, conductividad, velocidad de la corriente, oxígeno disuelto. Para caracterizar la estructura del hábitat las siguientes variables fueron tomadas: altitud sobre el nivel del mar, velocidad del flujo de corriente, profundidad máxima y tipo de sustrato, el cual fue dividido en cinco tipos. Se fijaron los especímenes en una solución de formaldehído al 10%. Las siguientes especies fueron encontradas en el sistema: *Astyanax aeneus*, *Ilyodon whitei*, *Notropis sallei*, *Poecilia maylandi*, *Cichlasoma istlanum*, *Micropterus salmoides*, *Lepomis cyanellus*, *Oreochromis urolepis hornorum*, *Oreochromis mossambicus*, *Heterandria bimaculata*, *Poeciliopsis gracilis*, *Xiphophorus helleri*. Con seis especies nativas y seis exóticas respectivamente.

Palabras Clave: Ictiofauna, represa, correlación, biodiversidad.

ABSTRACT

We assessed the ichthyofaunistic diversity of River Tilostoc through species identification in three sampling sites, we calculated species richness, relative abundance, the distribution of native and exotic species along the river, the diversity index of Shannon, the evenness, and measured the physicochemical parameters as temperature, total dissolved solids, conductivity, current velocity, dissolved oxygen. To characterize habitat structure the following variables were taken: Height above sea level, maximum depth, and type of substrate which was divided into five types. Specimens were preserved in a 10% formaldehyde solution. The following species were collected: *Astyanax aeneus*, *Ilyodon whitei*, *Notropis sallei*, *Poecilia maylandi*, *Micropterus salmoides*, *Lepomis cyanelus*, *Oreochromis urolepis hornorum*, *Cichlasoma istlanum*, *Oreochromis mossambicus*, *Heterandria bimaculata*, *Poeciliopsis gracilis*, *Xiphophorus helleri*. with six native species and six exotic respectively.

Keywords: Ichthyofauna, dam, correlation, biodiversity.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos en México son de suma importancia, se cuenta con 10,000 Km de costas que incluyen mares templados en el norte de la Península de Baja California, arrecifes rocosos en el Pacífico y arrecifes de coral en el Caribe, contando con un registro de 2.212 especies de peces (CONABIO 1998). Una situación similar ocurre con los ecosistemas acuáticos dulceacuícolas, donde existen poco más de 495 especies (Miller 2005). Al igual que muchos otros países, México sufre las consecuencias de un modelo poco sustentable de desarrollo, tales como la sobreexplotación de los recursos naturales, la contaminación y la pérdida de biodiversidad (INEGI 2000). En este sentido, los ecosistemas dulceacuícolas se encuentran entre los más impactados por las actividades humanas, ya que ríos, lagos, presas y mares reciben de manera directa los contaminantes provenientes de las actividades domésticas, industriales y agropecuarias, además de extracción de agua, actividades agrícolas, incursiones marinas y la introducción de especies exóticas (Contreras-Balderas *et al*, 2008). Estas modificaciones han traído pérdida de especies endémicas importantes, desde el punto de vista de la conservación (Matthews, 1998; Wooton, 1990). Del número total de especies descritas de peces de agua dulce en México, 20 ya se han extinto (4%) y más del 36% están gravemente amenazadas (Contreras-MacBeath, 2005). Las tasas observadas de extinción en México se encuentran entre las más altas del mundo (Harrison y Stiassny, 1999). La Ictiofauna de los sistemas fluviales se distribuye heterogéneamente a lo largo de su recorrido, presentando patrones comunitarios, tales como el incremento de la riqueza específica,

abundancia y diversidad, en el sentido de la corriente (Vannote *et al* 1980, Welcomme 1985). Estos patrones han sido explicados por la mayor disponibilidad de hábitat y nivel trófico de las aguas en las zonas bajas de los ríos (Welcomme 1985). Las alteraciones de tipo antropogénico no son las únicas que se presentan y modifican las características de un río, sino también las naturales, como la presencia de las temporadas de estiaje y lluvias, ya que de éstas depende su estructura física, así como las características fisicoquímicas del agua. En la temporada de secas, algunos ríos se ven reducidos a pequeños charcos con escaso flujo de agua, por lo que el área de distribución de los peces se limita a pequeñas zonas a lo largo del río, y por el contrario, en la temporada de lluvias el volumen de agua se incrementa, formando un flujo continuo y es cuando el movimiento y dispersión de los individuos se facilita (Matthews, 1998, Moyle & Cech, 2000). Por lo tanto, los cambios en la distribución de las especies están relacionados con la variación en los factores ambientales (Matthews, *op cit.*), ya que el movimiento de los peces está fuertemente influenciado por los patrones temporales a los que está sujeto el ambiente acuático (Wootton, 1998). Aunado a esto, el desconocimiento de la distribución y riqueza de especies (Contreras-MacBeath, 2005), así como de la dinámica de los ecosistemas acuáticos, pone de manifiesto la importancia de realizar estudios que evalúen la diversidad ictiofaunística para poder llevar a cabo estrategias de conservación de biodiversidad y manejo de pesquerías. Cada comunidad de peces es el resultado de una combinación única de factores históricos, zoogeográficos, físicos, químicos y biológicos (Moyle & Cech, 2000). Por lo tanto, estudios cuyo objetivo es la evaluación ecológica de los ríos deben incluir

información, no sólo de la riqueza de especies, sino de la composición y dinámicas, que han permitido la persistencia de las especies en los ecosistemas. Por otro lado, modificaciones antropogénicas han afectado la distribución natural de las especies endémicas, restringiéndolas hacia las zonas alejadas de carreteras y caminos, haciendo difícil el acceso a ellas. Por todo lo anterior, estudios recientes y completos acerca de la riqueza de especies y sus interacciones en los ecosistemas acuáticos mexicanos son escasos. Debido a lo anterior las características del hábitat, incluyendo las condiciones de calidad del agua, tienen fuerte influencia en las comunidades de peces de agua dulce (Harris 1994). El entendimiento de la dinámica de los hábitats de peces bajo una variedad de condiciones es esencial para el exitoso manejo de las comunidades de peces. (Naiman & Laterell, 2005, Rice 2005 Rayner, 2006). Algunos aspectos relacionados con los patrones de distribución espaciales y temporales en el río Champotón en Campeche, México han sido estudiados por López-López y colaboradores en 2009, destacando los análisis multivariados de componentes principales y las gráficas de Cluster Bray-Curtis para poder explicar el ensamble ictifaunístico a lo largo del río, así como también Trujillo y colaboradores en 2001 realizaron estudios de distribución en el Rio Amacuzac en Morelos, México. En muchos de los arroyos del mundo se han construido presas, alterando fuertemente los ecosistemas, ya que; la presencia de una presa, crea una discontinuidad en la estructura y función natural de un arroyo. (Ward & Stanford 1983), así como también genera cambios en las condiciones físicas, químicas y biológicas antes y después de la presa. Uno de los impactos más grandes es la creación de una barrera para la

migración de peces y nutrientes hacia arriba y hacia abajo de la presa. (Poof & Hart 2002). La fragmentación de las poblaciones reduce el flujo genético, que resulta en una disminución de la población y eventualmente efectos deletéreos de entrecruzamiento. Este impacto de las presas en la fragmentación de las poblaciones, ha recibido considerable atención y ha sido usado como un argumento para la remoción de dichas presas. (Heinz Center 2002) Aun así; el impacto de la alteración del hábitat de las poblaciones de peces ha recibido poca atención. (Hayes, *et al* 2006). En este sentido y a pesar de su gran área de drenaje, la cuenca del río Balsas presenta una fauna disminuida, alrededor de 30 especies; incluyendo aquellas de origen marino (Miller, 2005).

MÉTODOS

El río Tilostoc se encuentra ubicado al oeste del lago de Valle de Bravo, se localiza al norte del Estado de México dentro de la región centro sur de la República Mexicana dentro de las coordenadas extremas 19°12'57.99"N, 100°19'0.29"O en extremo noroeste, 19° 8'59.89"N, 100°19'6.62"O en el extremo suroeste, 19° 9'9.14"N, 100°10'54.16"O en el extremo sureste; y 19°12'57.24"N, 100°10'54.59"O en el extremo noreste; cuenta con una longitud de aproximadamente 20 km, donde se une al río Ixtapan del Oro que fluye hasta unirse al cauce principal del río Tuzantla perteneciente a la Cuenca del Balsas en su parte media (Fig.1), Ésta ocupa en su totalidad un área 31,951 km², con un volumen de precipitación 32,558 mm³, precipitación media anual 1,019 mm, precipitación mínima anual 479 mm, precipitación máxima anual 1,619 mm, temperatura media 20 a 22 °C Evaporación anual 1,646 mm, evaporación en almacenamientos 669 Mm³/año y clima semicálido subhúmedo Awo (w) (e)g.

El Medio Balsas se inicia a una altura de 500 msnm. Aguas abajo de la confluencia del río Amacuzac. Cubre un área de cuenca de 31,951 km². El río Tilostoc forma parte del importante Sistema Hidráulico Cutzamala, el cual abastece a 11 delegaciones del Distrito Federal y 11 municipios del Estado de México, es uno de los sistemas de abastecimiento de agua potable más grandes del mundo, no sólo por la cantidad de agua que suministra (aproximadamente 480 millones de metros cúbicos anualmente), sino por el desnivel de 1,100 metros que se vence. El sistema está integrado por siete presas derivadoras y de almacenamiento, seis estaciones de bombeo y una planta potabilizadora. Es importante señalar que el río Tilostoc se encuentra dentro del Área

Natural Protegida Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec, (LGEEPA, 1996). El proyecto se dividió en tres etapas: la primera comprendió la fase de colecta, en la que se visitaron tres sitios a lo largo del río Tilostoc, Santa Teresa, Colorines (planta de bombeo) y Santo Tomás de los Plátanos que presentan una distancia de aproximadamente 7 kilómetros entre ellos. Se realizó una colecta para cada uno de estos en las estaciones de estiaje y lluvias. Los hábitats en los cuales se colectó se caracterizaron de acuerdo a Hawkins 1993. En cada sitio de colecta se tomaron diferentes factores ambientales. Parámetros fisicoquímicos del agua usando un equipo HACH (HACH SenSION5) como la Temperatura del agua (C°), Oxígeno disuelto (mg/l), pH, Conductividad (mS/cm) Total de sólidos disueltos (mg/l). Para caracterizar la estructura del hábitat se tomaron las siguientes variables: altura sobre el nivel del mar (m) usando un altímetro, velocidad de corriente (m/s) usando un flujómetro digital, y la Profundidad máxima (m) usando una varilla marcada, así como el tipo de sustrato. Los tres sitios de colecta a lo largo del río se trabajaron durante la temporada de lluvias del 11 al 13 de Septiembre, y para la temporada de estiaje la colecta se realizó del 15 al 17 de Mayo. Los peces fueron colectados usando un chinchorro de 3 X 1.5 metros y una luz de malla de 0.5 centímetros, y una red de cuchara. Con la finalidad de estandarizar los muestreos, éstos se llevaron a cabo hasta que los esfuerzos reiterados de pesca no arrojaran nuevas especies o no aparecieran cambios importantes en la composición de las mismas. Los organismos fueron fijados en una solución de formaldehído (CH₂O) al 10% y transportados al laboratorio para su identificación taxonómica, llevada a cabo con la ayuda de claves especializadas: Álvarez del Villar (1970) Castro-Aguirre (1978),

Castro-Aguirre *et al.* (1999) y Miller *et al.* (2005). Los organismos colectados fueron depositados en la Colección Ictiológica del Centro de Investigaciones en Recursos Bióticos de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Para la tercera fase se utilizaron los Softwares BioDiversity Pro, Past, y XLSTAT se evaluó la diversidad ictiológica, la composición, riqueza, equidad, diversidad y abundancia de peces colectados para determinar cómo es la distribución y los diferentes patrones estacionales. Para determinar la diversidad para cada estación de colecta y para cada temporada del año se utilizó el Índice de Diversidad de Shannon.

S

$$H' = \sum_{i=1} (P_i) (\log_2 P_i)$$

i=1

H' = La diversidad de especies.

S = El número de especies.

P_i = La proporción de individuos en el total de la muestra que pertenece a la especie.

RESULTADOS

Con base en el análisis de la biodiversidad de las especies de peces en el río Tilostoc, se colectaron un total de 2,622 organismos representando 11 especies que pertenecen a seis Familias Cyprinidae, Goodeidae, Poeciliidae, Cichlidae, Centrarchidae, y Characidae, siendo esta última la que mayor jerarquía presenta con la especie *Astyanax aeneus* seguida de *Poeciliopsis gracilis*; en contraparte se observó que las especies con menor jerarquía fueron *Cichlasoma istlanum* e *Ilyodon whitei* ya que sólo se capturó un organismo de cada una de estas especies. (Ver Tabla 1).

Caracterización por estaciones del año:

Temporada de Lluvias. La curva de rango abundancia primeramente representa la riqueza de especies, y el ordenamiento que tienen estas a partir de su abundancia. Para el caso de lluvias, se reportaron 11 especies con 788 organismos en total. En la Figura 8 se observa que la especie con mayor jerarquía es *Heterandria bimaculata* seguida de *Poeciliopsis gracilis* y que va disminuyendo hasta encontrar dos jerarquías mínimas representadas por *Cichlasoma istlanum* e *Ilyodon whitei*.

Temporada de Estiaje. Comparando con la temporada de lluvias, en la cual se reportaron 11 especies; para la temporada de estiaje se presentó una baja considerable, ya que sólo se reportan siete especies. Para el caso de la abundancia ésta aumentó de 788 organismos en temporada de lluvias a 1,834 para temporada de estiaje. La especie con mayor jerarquía es *Astyanax aeneus* seguida de *Poeciliopsis gracilis*, la jerarquía con menos peso es la representada por *Lepomis cyanellus*.

Caracterización por localidades:

Santa Bárbara temporada de lluvias. Los resultados arrojados para la localidad de Santa Bárbara en época de lluvias muestran sólo dos especies *Heterandria bimaculata* y *Micropterus salmoides* la primera presenta mayor jerarquía, ya que obtuvo una abundancia mayor que *Micropterus salmoides*.

Santa Bárbara temporada de estiaje. Peculiarmente en la localidad Santa Bárbara representada en la figura 12 en época de estiaje se muestra sólo una barra ya que; únicamente se encontró una especie (*Heterandria bimaculata*) y sólo un organismo.

Planta de bombeo en temporada de lluvia. Para esta localidad se observa un aumento significativo en la riqueza de especies (siete especies) y podemos definir a la especie *Poeciliopsis gracilis* como la de mayor jerarquía frente a las demás. Observando una disminución considerable entre *Poeciliopsis gracilis* y *Lepomis cyanellus* de casi 0.7 puntos. Al final se observa a *Xiphophorus helleri*, la especie con menor dominancia.

Planta de Bombeo en temporada de estiaje. La especie con mayor jerarquía es *Poeciliopsis gracilis* seguido de *Heterandria bimaculata* y en la extrema izquierda se encuentra *Poecilia maylandi* con el mínimo valor.

Santo Tomás en temporada de lluvias. En la curva de rango abundancia se observa que la especie *Heterandria bimaculata* es la que tiene mayor jerarquía mientras que *Cichlasoma istlanum*, *Ilyodon whitei* y *Poecilia maylandi* comparten el lugar más bajo de la gráfica.

Es importante señalar que para este caso se observa de nueva cuenta el aumento en la riqueza de especies; en esta misma temporada (lluvias) en la localidad Planta de Bombeo, se registraron siete especies, mientras que en Santo Tomás se registraron ocho especies. El aumento en riqueza es de una especie, aunque en realidad se pierden dos de la localidad Planta de Bombeo (*Lepomis cyanellus* y *Notropis sallei*) y se agregan tres diferentes (*Astyanax aeneus*, *Cichlasoma istlanum* e *Ilyodon whitei*).

Santo Tomás en temporada de estiaje. Esta es una localidad muy peculiar, ya que se encontró una abundancia de *Astyanax aeneus* de 1,570 (la mayor entre todas las colectas) y al otro extremo se encontró sólo un organismo de *Lepomis cyanellus*, al graficar la curva de rango abundancia, *Astyanax aeneus* presenta una marcada ventaja (traducida a jerarquía) sobre las otras cinco especies, aunque *Lepomis Cyanellus* sólo presentó un organismo.

En el análisis de agrupamiento de localidades por variables ambientales se observa que hay un par de localidades que difieren mucho entre sí que son Santa Bárbara en temporada de estiaje y Santa Bárbara en temporada de lluvias que en la Figura 17 presentan un valor de similitud entre ellas de 6.25%; mientras que las localidades que más se parecen son Planta de Bombeo en temporada estiaje y Planta de Bombeo en temporada de lluvias con una similitud entre ellas de 80.75% descrito en la Tabla 2.

En el análisis de componentes principales que agrupan las especies dependiendo el hábitat donde se colectaron. Se observa que la especie *Micropterus salmoides* (Ms) está fuertemente relacionada al canal, al igual que *Astyanax aeneus* (Ae) está

relacionada al canal, *Cichlasoma istlanum* (Ci) e *Ilyodon whitei* (Iw) al remanso ya que sólo se encontraron en este hábitat. Es importante señalar también la posición de *Oreochromis urolepis hornorum* (Ouh) que tiene una relación inversa al canal ya que este fue el único hábitat en el que no estuvo presente. (Fig.3)

DISCUSIÓN

La riqueza de especies relativamente baja, pero alta abundancia de algunas, muchas de las cuales tienen una amplia gama en los límites de tolerancia a la fluctuación de las condiciones abióticas, así fue la estructura general del ensamble del río Tilostoc. La estructura del ensamble de peces del río Tilostoc consistió aproximadamente en los mismos grupos ecológicos que se reportan para la cuenca del Balsas por Miller (2005). Esta contribución al conocimiento del ensamble de peces del río Tilostoc es una de las primeras para el medio Balsas. Vannote (1980) & Welcomme (1985) concluyen que se presentan patrones en las comunidades de los ríos, como: el incremento en la riqueza específica a manera que el río desciende en un gradiente altitudinal. Esto se comprueba en este estudio observando la riqueza específica de la primera localidad (Santa Bárbara) con dos especies; es superada por la de la segunda (Planta de bombeo) con siete especies; y esta a la vez es superada por la riqueza específica de la tercera localidad (Santo Tomás) con nueve especies reportadas. La situación de *Notropis sallei* es especial ya que; a pesar de la idea que los organismos migrarán río abajo; los organismos colectados de esta especie se encontraron únicamente en la localidad Planta de Bombeo que se encuentra en la mitad del río y en la localidad siguiente

(Santo Tomás) su presencia fue nula. Winemiller (2008) señala que los peces con requerimientos de hábitat especializados pueden tener una dispersión limitada en la naturaleza “parches de mosaico ribereño”, situación que nos hace pensar que esta especie ha quedado aislada por la construcción de presas en este sistema. Lo anterior se aplica a *Micropterus salmoides*, especie que se colectó en la localidad Santa Bárbara (primera localidad), y para Planta de bombeo y Santo Tomás su presencia fue nula. A pesar de que es una especie introducida para la pesca deportiva, se cree que la presencia de esta especie sea a causa de una dispersión accidental desde el Lago de Valle de Bravo. Sin embargo, presas abajo no se colectó esta especie por el posible bloqueo que causan éstas. La construcción de represas ha tenido importantes impactos en los ensambles de peces a lo largo del río, puesto que han modificado el sistema natural, al mismo tiempo que han afectado gravemente los ciclos migratorios de algunas especies, ya que algunos huevos y larvas de algunas especies necesitan ir a la deriva río abajo, pero debido a la construcción de represas quedan atrapados en los embalses donde son consumidos por depredadores. (Contreras Macbeath en conferencia de prensa 2009). La correlación de temperaturas entre la primera localidad y segunda localidad es en promedio de 4.5°, en cuanto a la altitud hay una diferencia de 666 metros, lo que posiblemente esté influyendo de manera determinante en la composición del ensamble de peces, tan marcadamente diferente, en número de especies, reportando dos en Santa Bárbara (primera localidad) y siete en Planta de bombeo (segunda localidad) aún cuando *Micropterus salmoides* no se encuentra en la segunda localidad.

El repentino aumento en la población de *Astyanax aeneus* en la localidad Santo Tomás en la temporada de estiaje se entiende como un “bloom” es decir, cuando las condiciones ambientales permiten el crecimiento demográfico de una especie exponencialmente.

Se encontró una correlación significativa en la estructura del ensamble de peces y las condiciones ambientales que están relacionadas con el gradiente fluvial del río Tilostoc. La relación de la distribución de las especies con la altitud del río Tilostoc está correlacionada entre sí. De acuerdo al presente estudio, posiblemente el límite de distribución de la especie *Notropis sallei* de la familia Cyprinidae y endémica de la Cuenca del Balsas se encuentra gravemente amenazada debido a que la única población que se encontró en el río Tilostoc a los 1,048 msnm es en la localidad Planta de Bombeo.

El río Tilostoc posee pendientes pronunciadas, caídas de agua de más de 7 m y enormes crecidas en la época de lluvias. La presencia de *Heterandria bimaculata* y *Micropterus salmoides* en la parte superior de este río apoya la idea de su gran capacidad de colonización, adaptación y supervivencia en condiciones poco favorables. Por su lado, *Astyanax aeneus* pese a ser bastante similar a *Notropis sallei* de acuerdo a su grupo trófico y las características ambientales observadas en la zona, parecería que a 1,048 m de altitud existiría un límite en la distribución para el resto de las especies registradas. Estas diferencias ecológicas pueden explicar diferentes patrones en las especies que habitan los mismos arroyos. Los resultados en nuestro estudio en la

composición y estructura del ensamble a través del río Tilostoc, se apoyan en Tuomisto (2007).

Se reporto que en la parte más alta del río sólo se obtuvieron dos especies, en la segunda siete especies y en la tercera nueve especies. Al aumentar la riqueza específica también aumentó el número de organismos es decir se encontró la sucesión gradual de dominancia en el ensamble.

Así mismo se presentaron casos en los cuales la dominancia para algunas especies era casi nula; esto se dio en los casos en que sólo se encontró un solo organismo de alguna especie. Por el contrario la zonación del río en forma de parches; al correr un análisis de componentes principales reveló la afinidad que cada especie tiene con los hábitats. *Astyanax aeneus* por ejemplo prefiere hábitats de pozas, aunque *Poecilia maylandi* y *Lepomis cyanellus* también presentan afinidad a este hábitat no es tan marcada. *Oreochromis urolepis hornorum* se encontró en remansos, pozas y rápidos pero no en canal. El caso de *Notropis sallei* es similar al de *Oreochromis urolepis hornorum* aunque posee cierta afinidad hacia el rápido. *Ilyodon whitei* y *Cichlasoma istlanum* sólo estuvieron presentes en el remanso. *Xiphophorus helleri* se encontró en rápidos, pool y remanso; este último es el que más afinidad representa con esta especie, para el caso de *Poeciliopsis gracilis* se encontró en pozas, rápidos, y remansos siendo este último el hábitat con el cual esta especie tiene más afinidad, no se encontró en canales. Por último se presenta a *Heterandria bimaculata* que fue la única especie que se encontró en todas las localidades y en todos los hábitats, considerándose una especie oportunista. Los valores de la dominancia encontrada por localidades revelan

que en Santa Bárbara se encuentra la mayor dominancia de parte de alguna especie, esto es indudable ya que; en esta localidad se encontraron sólo dos especies; la presencia de *Heterandria bimaculata* es más representativa que la de *Micropterus salmoides*. Al examinar el análisis de biodiversidad mediante el índice de Shannon, la localidad Planta de Bombeo es la más diversa y la abundancia es más estable que en Santa Bárbara en la cual sólo existen dos especies, y en Santo Tomás, que aunque presenta la mayor riqueza específica; la abundancia de *Astyanax aeneus* es por mucho; mayor. En este sentido

La localidad Planta de Bombeo es la que tiene mayor equitatividad. Nuestro estudio sugiere que los patrones de dispersión de los peces exóticos en el río Tilostoc son generados por humanos mediada por la limitación de la dispersión, mientras que los patrones espaciales de los recambios para el resultado de peces nativos tanto de limitación, así como de la dispersión son en relación con los acontecimientos históricos (aislamientos geográficos).

El reto de conservar la biodiversidad tropical en un mundo de rápido crecimiento de las poblaciones humanas, requiere de inventarios precisos de las especies y sus hábitats, pero también de la comprensión de los mecanismos que crean y mantienen los patrones de biodiversidad. El río Tilostoc en el Estado de México es uno de los pocos ríos en la cuenca del Balsas que no han sido estudiados en cuanto a biodiversidad se refiere, a pesar de la importancia que representa para la Ciudad de México en el abasto de agua potable.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de Topiltzin Contreras MacBeath e Ignacio Preciado Chino por su valiosa ayuda en las colectas de campo así mismo a los propietarios de las tierras a lo largo del Río Tilostoc por permitir el acceso. El financiamiento fue proporcionado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)

LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ DEL VILLAR J 1970 Peces Mexicanos (Claves). México: Serie Investigaciones Pesqueras, Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras.
- CASTRO-AGUIRRE J L 1978 Catálogo sistemático de los peces marinos que penetran a las aguas continentales de México, con aspectos zoogeográficos y ecológicos. Departamento de Pesca, México, Serie Científica 19.
- CASTRO-AGUIRRE J L, H ESPINOSA PÉREZ Y J J SCHMITTER-SOTO 1999 *Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México*. México, Editorial Noriega-Limusa.
- CONABIO 1998 La diversidad Biológica de México: estudio de país, 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- CONTRERAS-BALDERAS S, G RUIZ-CAMPOS, J J SCHMITTER-SOTO, E DÍAZ-PARDO, T CONTRERAS-MACBEATH, *et al* (2008) Freshwater fishes and water status in *Mexico: A country-wide appraisal*. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, (3): 246–256.
- CONTRERAS-MACBEATH T, MEJIA H M, CARRILLO R W (1998) Negative impact on the aquatic ecosystems of the state of Morelos, Mexico from introduced aquarium and other commercial fish. *Aqua Science Conservation* 2: 67–78.

CONTRERAS-MACBEATH T (2005) Fish conservation in Mexico with emphasis in livebearing species. In: Viviparous fishes. Edited by M. C. Uribe and H. J. Grier. New Life Publishers. 401-414 pp.

DOF 2002 Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección Ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación Segunda Sección. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Marzo.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN 2005 Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. ACUERDO por el que se determina como Área Natural Protegida de competencia federal, con la categoría de Área de Protección de Recursos Naturales Zona Protectora Forestal los terrenos constitutivos de las cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostóc y Temascaltepec, Estado de México. México.

GÜNTHER A 1868 An account of the fishes of the states of Central America, based on collection made by Capt. J M Dow, F. Godman, Esq., and O. Salvin Esq. Transactions Zoology London 6 (14): 377:499.

HARRIS J H 1994 Fish/habitats associations in NSW rivers. Pages 107-107 in G. J. Brierley and F. Nagel, editors. Geomorphology and River Health, Macquarie University.

HARRISON I J & M.L.J. STIASSNY (1999) Chapter 12: 271-331. The quiet crisis a preliminary listing of the freshwater fishes of the world that is extinct or “missing in action”. In: McPhee, R. (ed.), Extinctions in Near Time. Kluwer Acad. /Plenum Publ.

HEINZ CENTER 2002 Dam removal: science and decision making. H. John Heinz Space Center for Science, Economics, and the Environment. Washington, DC.

HAYES D *et al* 2006 Effects of Small Dams on Cold Water Stream Fish Communities. American Fisheries Society Symposium. USA.

HAWKINS C P, KERSHNER J L, BISSON P A, BRYANT M D, DECKER L M, & YOUNG M K A Hierarchical Approach To Classifying Stream Habitat Features. In: Fisheries June 1993 Vol. 18 6: 3-12.

INEGI. 2000 XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

JELKS H L, WALSH S J, BURKHEAD N M, CONTRERAS-BALDERAS S, DÍAZ-PARDO E, *et al* (2008) Conservation status of imperiled North American freshwater and diadromous fishes. Fisheries 33(8): 372–407.

LÓPEZ-LÓPEZ E, SEDEÑO-DÍAZ J E, LÓPEZ-ROMERO F y TRUJILLO-JIMÉNEZ P (2009) Spatial and seasonal distribution patterns of fish assemblages in the río Champotón, southeastern México. Fish Biology Fisheries 21: 127–142.

MATTHEWS W J 1998 Patterns in freshwater fish ecology. London: Chapman and Hall.

- MEEK S E 1904 The freshwater fishes of México north of the Isthmus of Tehuantepec. Field Columbian Museum. Publications Zoological Series. Chicago U.S.A V: 5, 1-123
- MILLER R R 2005 Freshwater Fishes of Mexico. The University of Chicago Press. 490 pp.
- MOYLE P B, CECH J J 2000 Fishes An introduction to ichthyology. Prentice Hall, Fourth Edition.
- NAIMAN R J & J J LATTERELL 2005 Principles for linking fish habitat to fisheries management and conservation. Journal of Fish Biology 67: 166-185.
- POFF N L & D D HART 2002 How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal. Bioscience 52: 659–668.
- RAYNER T 2006 The Trophic Ecology of the freshwater Fishes of an Australian Rainforest River. Thesis for degree of Doctor of Philosophy in the School of Marine and Tropical Biology James Cook University. Australia.
- RICE J C 2005 Understanding Fish Habitat Ecology to Achieve conservation. Journal of Fish Biology 67: 1-22.
- TUOMISTO H (2007) Interpreting the biogeography of South America. Journal of Biogeography 34: 1294–1295.
- VANNOTE R L, MINSHALL G W, CUMMINS K W, SEDELL K R & CUSHING C E 1980 The River Continuum Concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 37: 130-137.

WARD J V & J A STANFORD 1983 The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. In: T D FONTAINE & S M BARTELL Editors. Dynamics of lotic ecosystems. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan. pp 29–42.

WELCOMME R L River fisheries. FAO Fisheries Technical, 1985 262: 1-318.

WOOTTON R J Ecology of teleost fishes. Chapman and Hall, New York. 1990, 404 pp.

WOOTTON R J 1998 Ecology of teleost fishes. Second edition. London, United Kingdom Kluwer Academic Publishers.

ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.

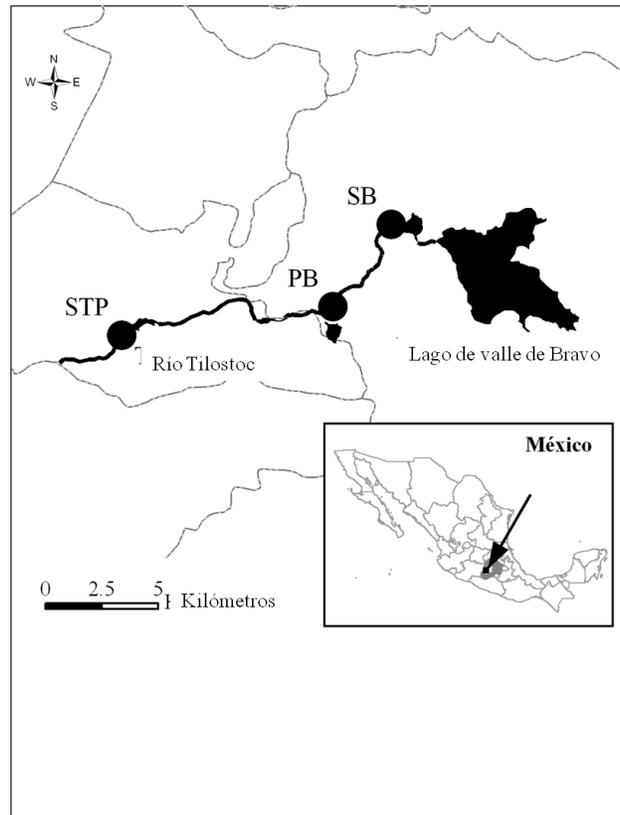


Fig. 1 Mapa del río Tilostoc en el Estado de México, mostrando las localidades muestreadas que incluyen a Santa Bárbara, Planta de Bombeo y Santo Tomás de los Plátanos.

Map of the river Tilostoc in the State of Mexico showing the locations sampled, including Santa Barbara, Planta de Bombeo and Santo Tomas de los Platanos.

ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.

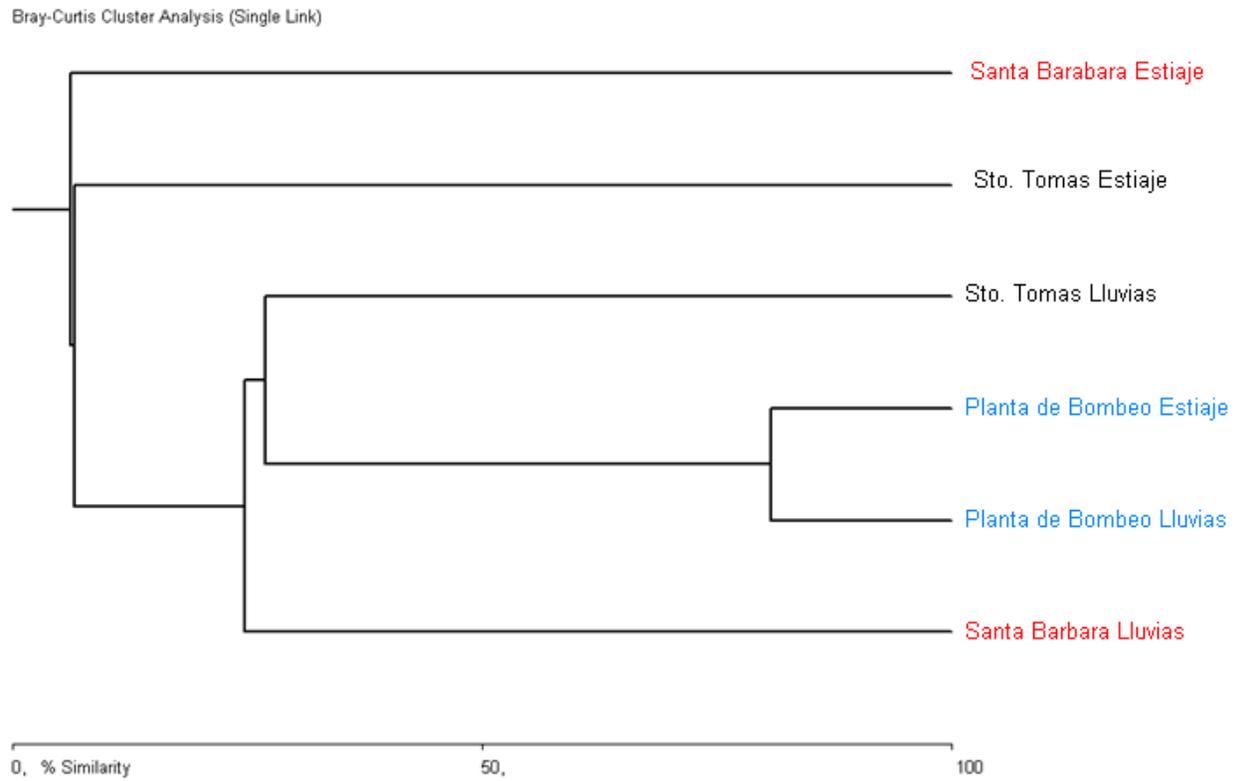


Fig. 2 Análisis de agrupamiento de localidades por variables ambientales.

Cluster analysis of environmental variables localities.

ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.

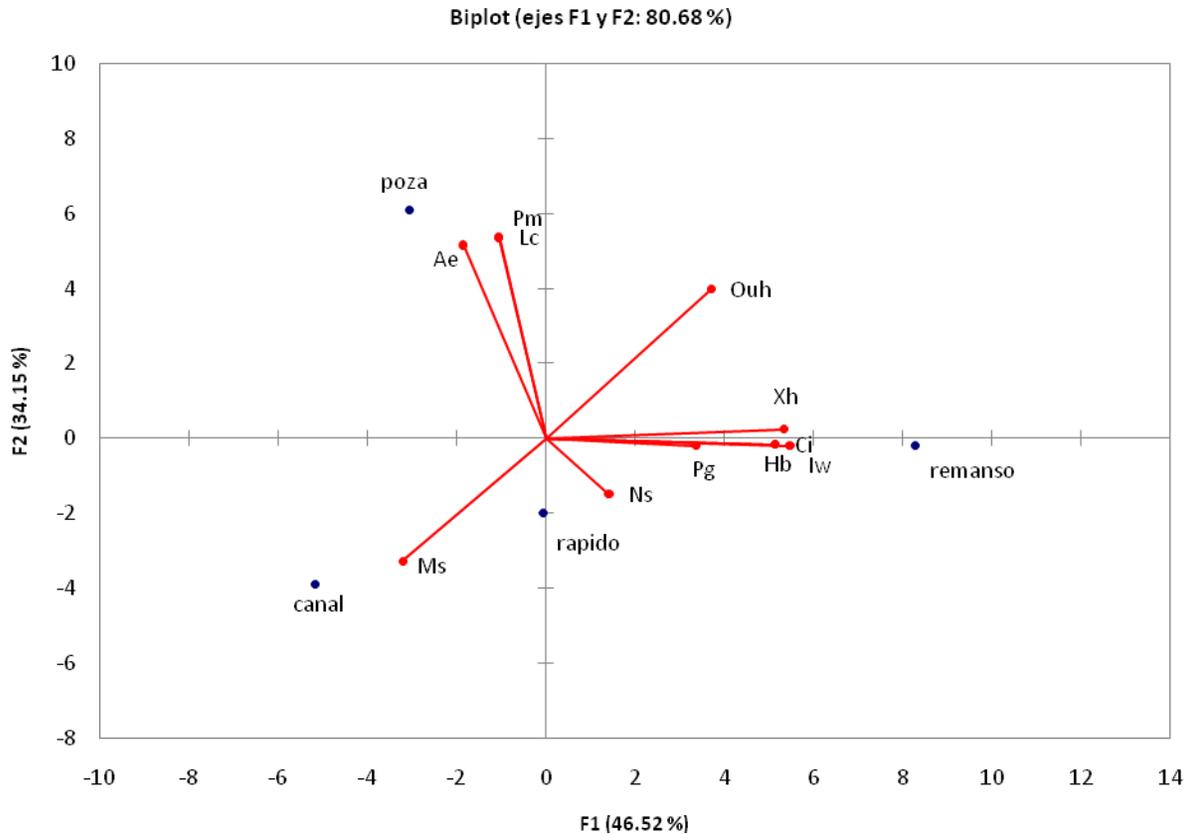


Fig. 3. Análisis de componentes principales hábitats y especies. (Ae=*Astyanax aeneus*, Ci=*Cichlasoma istlanum*, Hb=*Heterandria bimaculata*, Iw=*Ilyodon whitei*, Lc=*Lepomis cyanellus*, Ms=*Micropterus salmoides*, Ns=*Notropis sallei*, Ou=*Oreochromis urolepis hornorum*, Pm=*Poecilia maylandi*, Pg=*Poeciliopsis gracilis*, Xh=*Xiphophorus helleri*).

Principal component analysis by habitats and species. (Ae=*Astyanax aeneus*, Ci=*Cichlasoma istlanum*, Hb=*Heterandria bimaculata*, Iw=*Ilyodon whitei*, Lc=*Lepomis cyanellus*, Ms=*Micropterus salmoides*, Ns=*Notropis sallei*, Ou=*Oreochromis urolepis hornorum*, Pm=*Poecilia maylandi*, Pg=*Poeciliopsis gracilis*, Xh=*Xiphophorus helleri*).

ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.

Tabla 1. Lista de la Ictiofauna del río Tilostoc. (N) Nativa; (E) Endémica; (I) Introducida.

List of the ichthyofauna of the river Tilostoc. (N) native, (E) Endemic, (I) Introduced.

Familia	Especies	Distribución natural	Estatus
CYPRINIFORMES			
Cyprinidae	<i>Notropis sallei</i> (N) (Günther, 1868)	Cuenca Río Lerma, Cuenca Media Río Balsas	Amenazado (NOM-ECOL-059 2001)
CYPRINODONTIFORMES			
Goodeidae	<i>Ilyodon whitei</i> (E) (Meek, 1904)	Río Balsas, México	Vulnerable (Jelks <i>et al.</i> 2008)
Poeciliidae	<i>Poecilia maylandi</i> (N) Meyer, 1983	Río Balsas, México	No evaluada
	<i>Poeciliopsis gracilis</i> (I) (Heckel, 1848)	Centroamérica	Abundante (Contreras-MacBeath <i>et al.</i> 1998)
	<i>Heterandria bimaculata</i> (I) (Heckel, 1848)	Golfo de México de Veracruz al norte de Belice	Abundante (Contreras-MacBeath <i>et al.</i> 1998)
	<i>Xiphophorus helleri</i> (I) (Heckel, 1848)	Golfo de México de Veracruz el norte de Belice	Abundante (Contreras-MacBeath <i>et al.</i> 1998)
CHARACIFORMES			
Characidae	<i>Astyanax aeneus</i> (N) (Günther, 1860)	Grijalva-Usumacinta, Yucatán, Papaloapan-Coatzacoalcos, Cuenca del Balsas	Abundante (López-López <i>et al.</i> 2009)
PERCIFORMES			
Centrarchidae	<i>Lepomis cyanellus</i> (I) Rafinesque, 1819	Norteamérica	No evaluada
	<i>Micropterus salmoides</i> (I) (Lacepède, 1802)	Norteamérica	No evaluada
Cichlidae	<i>Cichlasoma istlanum</i> (N) (Jordan & Snyder, 1989)	Armería-Coahuayana, Balsas	Vulnerable (Jelks <i>et al.</i> 2008)
	<i>Oreochromis urolepis hornorum</i> (I) (Trewavas, 1966)	África	No evaluada

**ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO
BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.**

Tabla 2. Tabla con valores numéricos Cluster Bray-Curtis. (SBL=Santa Bárbara Lluvias, SBS=Santa Bárbara Estiaje, PBL=Planta de Bombeo Lluvias, (PBS=Planta de Bombeo Estiaje, STL=Santo Tomás Lluvias, STS=Santo Tomás Estiaje)

Table with numeric values Cluster Bray-Curtis. (SBL=Santa Bárbara Rain Season, SBS=Santa Bárbara Dry Season, PBL=Planta de Bombeo Rain Season, (PBS=Planta de Bombeo Dry Season, STL=Santo Tomás Rain Season, STS=Santo Tomás Dry Season)

Matriz de Similaridad	SBL	SBS	PBL	PBS	STL	STS
SBL	*	6.25	18.30	24.78	11.04	3.13
SBS	*	*	0.72	.098	0.40	0.12
PBL	*	*	*	80.75	25.48	4.82
PBS	*	*	*	*	26.97	4.03
STL	*	*	*	*	*	6.59
STS	*	*	*	*	*	*

DISCUSIÓN GENERAL

En uno de los primeros trabajos sobre ecología de ríos, Kenneth Cummins 1974, sentó las bases para futuros estudios sobre la estructura y función de los ecosistemas fluviales, él resaltó la importancia de los procesos orientados a preguntas en ecología de arroyos, particularmente los relacionados a la función del ecosistema. Más importante aún, él desarrolló un esquema de clasificación para grupos alimenticios funcionales de macro invertebrados, y fue parcialmente independiente de identidades taxonómicas. Las principales categorías que él sugiere fueron trituradores, herbívoros, colectores y predadores.

Varios intentos se han llevado a cabo para categorizar a los peces dentro de grupos para facilitar la comprensión de las complejas interacciones ecológicas entre ellos. Gran parte de este trabajo se ha centrado en el concepto de gremio (Root 1967) en peces de arroyo, los gremios son usados para simplificar los ensambles de múltiples especies y han sido usados para examinar la estructura local del ensamble (Schlosser 1982; Bain *et al.* 1988; Douglas y Mathews 1992; Grossman *et al.* 1998), integridad biótica (Gorman y Karr 1978; Schleiger 2000; Snogor y Angermeier 2001), selección de dieta (Horwitz 1978; Schlosser 1985), uso de hábitat (Leonard y Orth 1988; Aadland 1993; Zorn *et al.* 2002), y estrategias reproductivas (Page y Swofford 1984). A pesar del uso frecuente de gremios en ecología de peces de arroyo, pocos estudios han intentado extender estos grupos para examinar la relación entre los peces y los procesos a nivel de ecosistema. Winemiller en 1995 llevó a cabo una revisión de las relaciones entre diversidad biológica y diversidad ecológica en peces de arroyo, esto es, un poco de trabajo que ha sido desarrollado en grupos funcionales de peces de arroyo.

El esquema de clasificación propuesto por William Mathews (1998) fue un paso positivo hacia el aumento de nuestro entendimiento en relación al papel que juegan los peces en todos los niveles y procesos de un ecosistema. Su esquema

de clasificación, sin embargo, tiene algunas debilidades. Primero, los grupos funcionales no han sido probados para diferencias empíricas en la función del ecosistema. Esto es, que no tenemos información de sí o no los piscívoros difieren de otros piscívoros mordedores, en términos del ciclo de nutrientes o índices de descomposición. Segundo, asignando especies a grupos funcionales es inherentemente difícil. Muchos peces son oportunistas y variarán su conducta de alimentación con las condiciones ambientales. Agregando, muchos peces cambian sus hábitos alimenticios a través de la ontogenia. De este modo las especies categorizadas dentro de grupos funcionales son, desafortunadamente, más subjetivas que objetivas.

La biodiversidad y la función del ecosistema como un tópico importante en la ecología contemporánea. Se dirige por la necesidad fundamental de comprender cómo los procesos a nivel de ecosistemas son afectados por la pérdida cosmopolita de biodiversidad. Investigaciones previas han demostrado disminuciones en la diversidad taxonómica, como la riqueza de especies, que claramente afecta a la función del ecosistema (Naeem *et al.* 1994; Tilman *et al.* 1996; MacGravy-Steed *et al.* 1997; Wardle *et al.* 1997), resiliencia del ecosistema (McNaughton 1977; Tilman *et al.* 1996; Naeem y Li 1997), y variabilidad del ecosistema (Frank y McNaughton 1991; Tilman y Downing 1994; Tilman 1996). Sin embargo, un entendimiento mecánico permanece elusivo, especialmente lo relacionado a la estructura de la comunidad (Hooper *et al.* 2005).

Existen fuertes correlaciones entre diversidad taxonómica y funcional, con cada aspecto de la diversidad funcional (por ejemplo riqueza, diversidad, equidad y dominancia), siendo más altamente correlacionada lo correspondiente a aspectos de diversidad taxonómica. Sin embargo, las relaciones son no lineales, indicando que los peces de arroyo son redundantemente funcionales. La redundancia funcional es una característica de las especies dentro de un ecosistema donde ciertas especies contribuyen, en vías equivalentes, a una función del ecosistema, tales como una especie puede sustituir a otra, aunque el concepto de redundancia

funcional puede ser inconsistente con la coexistencia estable (Loreau 2004). No obstante, la redundancia funcional es importante para la resistencia del ecosistema en perturbaciones ambientales (Naeem y Li 1997). Por lo tanto, el mantenimiento de especies funcionalmente equivalente en el manejo de ecosistemas debe ser una preocupación primaria para las agencias de conservación y manejo por igual.

Los peces de arroyo son típicamente plásticos en su conducta de alimentación, resultando de cambios ontogénicos en modos de alimentación y estrategias oportunistas (Gerkin 1994). Esta plasticidad es también una verdad para los mecanismos que estructuran el ensamble de peces de arroyo, para ambas perspectivas funcionales y taxonómicas. Sin embargo, los ensamblajes de peces son generalmente más uniformemente distribuidos en términos de grupos funcionales que las especies. Consecuentemente, el potencial de mecanismos subyacentes que los estructuran son los que dan lugar a distribuciones uniformes, y es opuesto a estos resultados en sistemas altamente dominados. Estos patrones son más fácilmente observados cuando se examinan localidades individuales que ensamblajes combinados, aunque los ensamblajes se combinen de acuerdo a la cuenca son más cercanos y parecidos a las localidades individuales que los ensamblajes combinados de acuerdo a eco regiones. Esta escala sugiere dependencia en mecanismos de estructuración de los ensamblajes de peces de arroyo.

En términos de predicción, a gran escala, las variables biogeográficas predicen el doble que muchas de las variaciones en diversidad taxonómica y diversidad funcional, aunque ninguna debería ser considerada altamente predecible con sólo el 22% de la variación en diversidad taxonómica y 10% en la diversidad funcional explicada por la amplia escala de variables abióticas, este hallazgo contrasta con estudios similares que se encuentran en organizaciones funcionales de los ensamblajes de peces asociados con la variabilidad hidrológica (Poff y Alan 1995; Goldstein y Meador 2004). A fina escala, las variables abióticas de otra manera

resultaron ser buenos predictores de la diversidad funcional y taxonómica a un nivel local. Esto sugiere que la diversidad funcional y taxonómica es más un resultado de las condiciones locales abióticas que de los factores a gran escala.

A pesar de la variación estacional en disponibilidad de energía dentro de un arroyo, los ensambles de peces dentro de ríos eran más similares a los ensambles del mismo río que los ensambles de diferentes ríos, independientemente de la temporada, para ambas perspectivas taxonómicas y funcionales. Esto es, en contraste a predicciones *a priori*, que los ensambles de diferentes ríos deberían ser más estrechamente relacionados el uno al otro dentro de una temporada desde una perspectiva funcional, pero ensambles dentro de un río serán más similares el uno al otro sin importar la estación desde una perspectiva taxonómica. Esto indica que la abundancia relativa de grupos funcionales no cambia temporalmente, al menos con respecto a los cambios en diversidad taxonómica. Por lo tanto, mecanismos tradicionales de estructura que han sido identificados con respecto a la coexistencia de especies todavía se puede mantener, con respecto a la diversidad funcional.

Los resultados de estos estudios proveen una perspectiva diferente de ver la relación entre la biodiversidad y la función del ecosistema incorporando aspectos de ambos, diversidad funcional y diversidad taxonómica. Los estudios de la biodiversidad han sido el centro de la ecología en los últimos 20 años. Sin embargo, mucho del trabajo actual en biodiversidad se centra en diversidad taxonómica, más bien que la diversidad funcional. Aunque las correlaciones existen entre estos dos aspectos de la biodiversidad, se caracterizan diferentes aspectos de la estructura del ensamble y proveen una percepción complementaria total de la relación entre la biodiversidad y la función del ecosistema.

De hecho, el funcionamiento de un ecosistema no está gobernado por un contenido filogenético de su biota, por sus rasgos funcionales de individuos, la distribución y abundancia de estos, y su actividad biológica (Naeem y Wright

2003), consecuentemente, es imprescindible que los estudios futuros que aborden las cuestiones relativas a la biodiversidad y la función del ecosistema hagan uso explícito de los grupos funcionales o por lo menos incorporar los atributos funcionales de los individuos.

CONCLUSION GENERAL

El Río Tilostoc presenta variación en la distribución espacial y temporal de la ictiofauna, además de un alto porcentaje de especies comparado con el total que se reporta para la Cuenca del Balsas y a pesar de ser un pequeño drenaje mantiene un alto número de especies nativas. Los resultados de este estudio indican que la conservación del sitio es relevante, ya que al pertenecer al Sistema Cutzamala es susceptible de alteraciones antropogénicas, así mismo esta investigación pone de manifiesto el hecho que las especies nativas que habitan en el Río Tilostoc son sensibles a las perturbaciones antropogénicas.

Existe una correlación positiva entre el número de especies no nativas y la calidad ambiental en el sistema hidrológico, el área más perturbada incorpora el mayor número de especies no nativas, mientras en los sitios con menor deterioro ambiental dominan las especies nativas. Sin embargo algunas especies han trasgredido hacia áreas geográficamente aisladas, por lo que se deberán boletinar como especies con un alto grado de invasión en ambientes tropicales y semitemplados.

Se utilizaron grupos taxonómicos y tróficos para el análisis y la organización de los ensamblajes de peces de arroyo, este análisis de los grupos tróficos proporcionó oportunidades para describir el ensamblaje a lo largo del río Tilostoc presentando variación en la distribución espacial y temporal de la fauna de peces.

Con el enfoque de escala múltiple se logró comparar los patrones de estructura de la comunidad local de flujo de los peces, así mismo el análisis basado en la taxonomía reveló patrones de distribución de las especies, mientras que el análisis mediante grupos tróficos mostró conjuntos separados, de acuerdo a las

**ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO
BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.**

características del hábitat, de esta forma se puede inferir las respuestas ecológicas a la variación del medio ambiente, y por lo tanto, lograr proporcionar un camino más conveniente para desarrollar y probar las teorías ecológicas generales de organización comunitaria a través de escalas biogeográficas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aadland, L. 1993. Stream habitat types: their fish assemblages and relationship to flow. *N J Fish Manage* 13:790-806
- Álvarez del Villar J. 1970. Peces Mexicanos (Claves). México: Serie Investigaciones Pesqueras, Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras.
- Armbruster J. W. & L. M. Page. 2006. Redescription of *Pterygoplichthys punctatus* and description of a new species of *Pterygoplichthys* (Siluriformes: Loricariidae). *Neotropical Ichthyology*, 4:401-409.
- Bain MB, Finn JT, Booke HE (1988) Streamflow regulation and fish community structure. *Ecology* 69:382-392
- Bussing W. 2002. Peces de las aguas continentales de Costa Rica.. Universidad de costa Rica. Costa Rica.
- Chavez, J.M., R. M. de la Paz, S. Krishna M., R. C. Pagulaya y J. R. Carandang VI., 2006. New Philippine record of south american sailfin catfishes (Pisces: Loricariidae). *Zootaxa* 1109:57–68.
- Contreras-Balderas S., G. Ruiz-Campos, J. J. Schmitter-Soto, E. Díaz-Pardo, T. Contreras-MacBeath, M. Medina-Soto, L. Zambrano-González, A. Varela-Romero, R. Mendoza-Alfaro, C. Ramírez-Martínez, M. A. Leija-Tristán, P. Almada-Villela, D. A. Hendrickson, and J. Lyons. 2008. Freshwater fishes

- and water status in México: A country-wide appraisal. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 11(3):246–256.
- Contreras-MacBeath T. 2005. Analysis of Freshwater fish conservation in Mexico: with emphasis on livebearing fishes. in: *Viviparous fishes: anatomy, systematics, reproducción, ecology and conservation*. Uribe M y H Grier Editores. New Life Publishers. USA.
- Cotler-Ávalos H. 2010. *Las Cuencas Hidrológicas de México, diagnóstico y priorización*. (Ed). Pluraria. México.
- Cummins K.W. 1974 Structure and function of stream ecosystems. *BioScience* 24:631-641
- Diario Oficial de la Federación. 2005. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. ACUERDO por el que se determina como Área Natural Protegida de competencia federal, con la categoría de Área de Protección de Recursos Naturales Zona Protectora Forestal los terrenos constitutivos de las cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec, Estado de México. México.
- Douglas M., Matthews W. 1992. Does morphology predict ecology? Hypothesis testing within a freshwater stream fish assemblage. *Oikos* 65:21-224
- Frank, D. McNaughton, S. 1991. Stability increases with diversity in plant communities: empirical evidence from the 1988 Yellowstone drought. *Oikos* 62:360-362

- Gauch, H.G. 1982. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge University Press, New York.
- Günther, A.1868. An account of the fishes of the states of Central America, based on collection made by Capt. J. M. Dow, F. Godman, Esq., and O. Salvin Esq. Transactions Zoology London 6 (14): 377:499.
- Goldstein, R. Meador, M. 2004. Comparison of fish species traits from small streams to large rivers. T Am Fish Soc 133:971-983
- Gorman, O., Karr, J. 1978 Habitat structure and stream fish communities. Ecology 59:507-515
- Grossman, G. Ratajczak, R. Crawford M, Freeman M. 1998. Assemblage organization in stream fishes: effects of environmental variation and interspecific interactions. Ecol Monogr 68:395-420
- Harrison, I.J. and M.L.J. Stiassny (1999) Chapter 12:271-331. The quiet crisis a preliminary listing of the freshwater fishes of the world that are extinct or "missing in action". In: McPhee, R. (ed.), Extinctions in Near Time. Kluwer Acad./Plenum Publ.
- Heinz Center. 2002. Dam removal: science and decision making. H. John Heinz Space Center for Science, Economics, and the Environment. Washington, DC.
- Hayes, D. *et al.* 2006. Effects of Small Dams on Cold Water Stream Fish Communities. American Fisheries Society Symposium. USA.

- Hooper D. Chapin, F. Ewel, J. Hector, A. Inchausti, P. Lawler, S. Lawton, J. Lodge D., Loreau, M. Naeem, S. Schmid B, Setala H, Symstad, A. Vandermeer J, Wardle, D. 2005. Effects of Biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecol Monogr* 75:3-35
- Horwitz RJ (1978) Temporal variability patterns and the distributional patterns of stream fishes. *Ecol Monogr* 48:307-321
- INEGI. 2000 XII Censo General de Población y Vivienda 2000.
- Jackson, D.A., And Somers, K.M. 1991. Putting things in order: the ups and downs of detrended correspondence analysis. *Am. Nat.* 137: 704-712.
- Legendre, P. And Legendre, L. 1998. Numerical ecology. 2nd English ed. Elsevier Science BV, Amsterdam, the Netherlands.
- Leonard P. Orth, D. 1988 Use of habitat guilds of fishes to determine instream flow requirements. *N J Fish Manage* 8:399-409
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 1996. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1996. Última reforma publicada, DOF 04-06-2012.
- Loreau, M. 2004. Does functional redundancy exist? *Oikos* 104:606-611
- McGrady-Steed J, Harris, P. Morin P. 1997. Biodiversity regulates ecosystem predictability. *Nature* 390:162-165
- Mccune, B., And Grace, J.B. 2002. Analysis of ecological communities. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon.

**ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO
BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.**

- Mccune, B., And Mefford, M.J. 2006. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 5. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon. U.S.A.
- McNaughton S. 1977. Diversity and stability of ecological communities: a comment on the role of empiricism in ecology. *Am Nat* 111:515-525
- Matthews, William J. 1998. Patterns in freshwater fish ecology. University of Oklahoma, Chapman & Hall, U.S.A.
- Meek, S. E. 1904. The freshwater fishes of México north of the isthmus of Tehuantepec. Field Columbian Museum. Publications Zoological Series. Vol. V. Chicago U.S.A. P.p. 5: 1-123
- Miller, R.R., W.L. Minckley & S.M. Norris. 2009. Peces dulceacuícolas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Sociedad Ictiológica Mexicana, El Colegio de la Frontera Sur, Desert Fishes Council, Ciudad de México. 559 p.
- Miller, R. R. 1986. Composition and Derivation of the Freshwater Fish Fauna of México. *Anales de la Escuela nacional de Ciencias biológicas, México*, 30:121-153.
- Moyle, P. B. & J.J. Cech, Jr. 2000. Fishes-and introduction to ichthyology, 2nd. Ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Naeem, S. Li, S. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390:507-509
- Naeem, S, Thompson L. Lawler, S. Lawton, J. Woodfin, R. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368:734-737

- Naeem, S. Wright, J. 2003. Disentangling biodiversity effects on ecosystem functioning: deriving solutions to a seemingly insurmountable problem. *Ecol Lett* 6:567-579
- Page, L. Swofford, D. 1984. Morphological correlates of ecological specialization in darters. *Environ Biol Fish* 11:139-159
- Piñero D. 2007. Similitudes y diferencias entre los conceptos y los patrones de diversidad beta y diferenciación genética: aplicaciones en bosques mexicanos de coníferas. Sobre diversidad biológica: El significado de las diversidades Alfa, Beta y Gamma. SEA, CONABIO, Grupo DIVERSITAS & CONACYT, España.
- Poff, N. Allan, J. 1995. Functional organization of stream fish assemblages in relation to hydrological variability. *Ecology* 76:606-627
- Poff, N. L., and D. D. Hart. 2002. How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal. *Bioscience* 52:659–668.
- Root R. B. 1967. The niche exploitation pattern of the blue-grey gnatcatcher. *Ecol Monogr* 37:317-350
- Schleiger, S. 2000. Use of an index of biotic integrity to detect effects of land uses on stream fish communities in west-central Georgia. *T Am Fish Soc* 129:118-1133
- Schlosser I.J. 1982. Fish community structure and function along two habitat gradients in a headwater stream. *Ecol Monogr* 52:395-414

- Schlosser I.J. 1985. Flow regime, juvenile abundance, and the assemblage structure of stream fishes. *Ecology* 66:1484-1490
- Smogor RA, Angermeier P. 2001 Determining a regional framework for assessing biotic integrity of Virginia streams. *T Am Fish Soc* 130:18-35
- Tilman D. 1996. Biodiversity: population versus ecosystem stability. *Ecology* 77:350-363
- Tilman D, Downing, J. 1994. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature* 367:363-365
- Tilman D, Wedin D, Knops J. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379:718-720
- Ward, J. V., and J. A. Stanford. 1983. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. Pages 29–42 in T. D. Fontaine and S. M. Bartell editors. *Dynamics of lotic ecosystems*. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan.
- Wardle, D. Zackrisson, O. Hornberg, G. Gallet, C. 1997. The influence of island area on ecosystem properties. *Science* 277:1296-1299
- Wartenberg, D., Ferson, S., And Rohlf, F.J. 1987. Putting things in order: a critique of detrended correspondence analysis. *Am. Nat.* 129: 434-48.
- Winemiller KO (1995) The structural and functional aspects of fish diversity. *B Fr Peche Piscic* 337/338/339:23-45
- Wootton, R.J. 1990. *Ecology of Teleost fishes*. Chapman & Hall, London.

**ANÁLISIS ECOLÓGICO DE LA ICTIOFAUNA DEL RIO TILOSTOC, ESTADO DE MÉXICO
BASADO EN LAS ASOCIACIONES DE PECES.**

Zorn TG, Seelbach PW, Wiley MJ (2002) Distributions of stream fishes and their relationship to stream size and hydrology in Michigan's lower peninsula. *T Am Fish Soc* 131:70-85