



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
INSTITUTO DE BIOLOGÍA

**EFFECTO DE LAS ESPECIES INTRODUCIDAS EN
XOCHIMILCO PARA LA REHABILITACIÓN DEL HÁBITAT DEL
AJOLOTE (*AMBYSTOMA MEXICANUM*)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL CON ORIENTACIÓN
EN RESTAURACIÓN ECOLÓGICA)**

PRESENTA

ELSA LETICIA VALIENTE RIVEROS

DIRECTOR DE TESIS:

DR. LUIS ZAMBRANO GONZÁLEZ

MÉXICO, D.F.

FEBRERO 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**AL PROGRAMA DE BECAS DE POSGRADO DEL CONSEJO NACIONAL
DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT), POR APOYAR LA
FORMACIÓN DE LAS PRIMERAS GENERACIONES DE PROFESIONISTAS
DEDICADOS A LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA**

A MI COMITÉ TUTORAL:

DRA. MARISA MAZARI HIRIART

DR. GERARDO HERRERA MONTALVO

**DR. LUIS ZAMBRANO
Director de Tesis**

A XOCHIMILCO

**“EMPECÉ VIENDO EN LOS AXOLOTL UNA METAMORFOSIS QUE NO
CONSEGUÍA ANULAR UNA MISTERIOSA HUMANIDAD... SU MIRADA
CIEGA, EL DIMINUTO DISCO DE ORO INEXPRESIVO Y SIN EMBARGO
TERRIBLEMENTE LÚCIDO, ME PENETRABA COMO UN MENSAJE:**

<< SÁLVANOS, SÁLVANOS >>”

JULIO CORTÁZAR

**QUE MÉXICO SEA EL DEPOSITARIO DEL ESFUERZO REALIZADO, PARA
QUE LAS GENERACIONES FUTURAS TENGAN SIEMPRE PRESENTE QUE
LA INDEPENDENCIA DE UN PAÍS, RADICA EN LA CONSERVACIÓN DE
SUS RECURSOS NATURALES.**

GRACIAS A LA VIDA Y A DIOS, POR ESTA EXPERIENCIA TAN ENRIQUECEDORA EN MI VIDA

ESTA TESIS LA DEDICO CON TODO MI CARIÑO :

A MIS PADRES:

ELSA Y JESÚS

QUIENES ME ENSEÑARON CON SU EJEMPLO, EL AMOR POR MÉXICO, Y EL VALOR DE LA
HONESTIDAD Y EL TRABAJO.

A MI FAMILIA:

A YOSHI, AYUMI Y MISAKI, GRACIAS A SU APOYO, A SU PACIENCIA Y A QUE SIEMPRE ME
ANIMARON A CONTINUAR, HE PODIDO ALCANZAR UNA META SIEMPRE DESEADA

A MIS HERMANOS:

MARCELA, JOSEFA Y JESÚS
YUKIKO Y TATSUO, HITOMI Y RYOJI

A MIS SOBRINOS:

MARCE, MARIJOSE, CHUCHITO Y MANUEL
MUTSUMI Y AKIRA, YUMI Y DENICHIRO

GRACIAS!

PORQUE ESTA TESIS NO HUBIESE SIDO POSIBLE SIN LA AYUDA
DESINTERESADA DE MUCHOS AMIGOS:

AL POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS, A LA M. EN C. JULIA CARABIAS, A TODOS LOS PROFESORES DE LA MAESTRÍA EN RESTAURACIÓN ECOLÓGICA, POR COMPARTIR SU CONOCIMIENTO Y EXPERIENCIA

A MI DIRECTOR DE TESIS, DR. LUIS ZAMBRANO, PORQUE ADEMÁS DE SU GUÍA, CONSEJOS Y ENSEÑANZAS ACADÉMICAS, ME HA DADO LA OPORTUNIDAD DE APLICAR LO APRENDIDO EN LA MAESTRÍA, EN EL PROYECTO DE CONSERVACIÓN DEL AJOLOTE Y DE XOCHIMILCO

A MI COMITÉ TUTORAL, DRA. MARISA MAZARI HIRIART POR SU GUÍA, CONSEJOS Y ATINADAS OBSERVACIONES DURANTE EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO Y AL DR. GERARDO HERRERA MONTALVO, PORQUE GRACIAS A SUS COMENTARIOS Y SUGERENCIAS, ESTE TRABAJO DE TESIS SE CONSOLIDÓ Y FUÉ POSIBLE EL ESTUDIO DE UNA PARTE IMPORTANTE DE UN SISTEMA POR DEMÁS COMPLEJO.

PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS ORGANISMOS CONTÉ CON LA INVALUABLE AYUDA DEL BIOL. RAFAEL BARBA (INSECTOS), EL BIOL. DAVID LÓPEZ (HELMINTOS); LA DRA. EDNA NARANJO GARCÍA (MOLUSCOS); EL DR. JOSÉ LUIS VILLALOBOS (CRUSTÁCEOS) Y EL M. EN C. XAVIER VALENCIA (PECES), DEL INSTITUTO DE BIOLOGÍA DE LA UNAM.

A ALMA ITZEL MARÍN MARTÍNEZ Y ARMANDO MORALES SOSA, PAS. DE BIOL. DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNAM, QUIENES ME APOYARON EN EL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE CONTENIDO ESTOMACAL.

AL DR. NORMAN MERCADO-SILVA Y A SU ASISTENTE DEL CENTRO DE LIMNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE WISCONSIN-MADISON, E.U., QUIENES APOYARON AL PROYECTO CON LA COMPRA DE LAS CHAROLAS ESPECIALES QUE SE REQUIEREN PARA EL ANÁLISIS DE ISÓTOPOS Y CON EL PESADO Y ENVÍO DE LAS MUESTRAS AL LABORATORIO DE ISÓTOPOS DE LA UNIVERSIDAD DE DAVIS EN CALIFORNIA, ESTADOS UNIDOS.

A LA DRA. MARISA MAZARI POR PERMITIRME EL USO DEL HORNO DE SECADO Y EL EQUIPO DE FILTRADO AL VACÍO DEL LABORATORIO DE ECOLOGÍA QUÍMICA DEL INSTITUTO DE ECOLOGÍA DE LA UNAM.

AL DR. GERARDO HERRERA, POR PERMITIRME EL USO DE LA BALANZA ANALÍTICA Y POR PROPORCIONAR ALGUNAS MUESTRAS DE AGALLAS DE AJOLOTE PARA COMPLEMENTAR LAS MUESTRAS.

A ROBERTO ALTAMIRANO Y A RICARDO, POR BRINDARME SU AMISTAD, SUS CONOCIMIENTOS Y SU GUÍA Y TRABAJO EN LA COLECTA DE LAS MUESTRAS UTILIZADAS EN ESTA TESIS.

AL DR. ERWIN STEPHAN OTTO, DIRECTOR DEL PARQUE ECOLÓGICO DE XOCHIMILCO POR SU AUTORIZACIÓN PARA TRABAJAR EN LA LAGUNA HUETZALI.

A LA ASOCIACIÓN UMBRAL, A ESTEBAN PRADO Y DON NICHU, POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS SOBRE EL AJOLOTE.

A HUGO TOVAR, QUIEN ME ACOMPAÑÓ EN MUCHAS SALIDAS AL CAMPO E HIZO EL TRABAJO MÁS AMENO.

A MIS AMIGOS DEL LABORATORIO, DANIEL, VICKY, SANDRA, ALMA, TEO, LUPITA, EDUARDO Y ALEJANDRO POR SU AYUDA

POR SU AMISTAD, SU AYUDA Y POR LOS BUENOS MOMENTOS, A MIS COMPAÑEROS DE LA MAESTRÍA, A FERNANDO, ANA, VERO, AL MAESTRO VICENTE ARRIAGA Y EN ESPECIAL A MI QUERIDA AMIGA VALE, POR QUE SIN SU AMISTAD Y APOYO, EL CAMINO HUBIESE SIDO DOBLEMENTE DIFÍCIL DE RECORRER.

A MIS AMIGAS MARTHA, IVONNE Y PILI, QUIENES MUCHAS VECES LLEGARON AL RESCATE DE MIS HIJAS.

CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

Hipótesis y Objetivos

MÉTODO DE ESTUDIO

Descripción de la zona

Selección de los sitios de estudio

Parámetros físico-químicos

Densidad

Análisis estadístico de

parámetros físico-químicos y densidad

Contenido estomacal

Isótopos estables

Análisis estadístico de los valores isotópicos

RESULTADOS

Descripción de los sitios de estudio

Densidad de ajolote, carpa y tilapia

parámetros físico-químicos

Relaciones alimenticias entre

el ajolote y las especies introducidas

DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

REFERENCIAS

Palabras clave: Ajolote, Xochimilco, Contenido estomacal, Isótopos, Relaciones alimenticias

RESÚMEN

Se analizó el efecto de la introducción de la carpa y la tilapia sobre el hábitat del ajolote en el sistema de canales de Xochimilco, D.F. México, valorándose algunos parámetros físico-químicos, la densidad de las tres especies y las relaciones tróficas existentes entre ellas, mediante las técnicas de contenido estomacal e isótopos estables. Los métodos utilizados para el análisis fueron el análisis de redundancia, análisis de estrategia alimenticia y el modelo mixto de contribución con más de una fuente alimenticia. Las densidades obtenidas fueron para tilapia, 0.11, para carpa, 0.031 y para ajolote 0.0012 individuos por metro cuadrado. La carpa presentó una relación estrecha con la turbidez; el ajolote mostró afinidad con las zonas de mayor conductividad y turbidez y bajas concentraciones de oxígeno disuelto. La tilapia mostró independencia de todos los parámetros físico-químicos. Se obtuvo la dieta alimenticia de las tres especies, observando que los insectos son una fuente alimenticia común. Las macrófitas acuáticas son parte importante de la dieta de tilapia y en menor grado de la dieta de la carpa, pero no forman parte de la dieta del ajolote. Sin embargo, son hábitat de los organismos que consume el ajolote. En conclusión, la carpa afecta indirectamente al ajolote por la alteración de factores físicos como la turbidez y ambas especies afectan al ajolote en forma directa mediante la competencia por alimento. Se propone preservar la zona litoral y una extracción controlada de las especies introducidas para mejorar las características físicas del hábitat del ajolote y disminuir la presión en términos de competencia.

ABSTRACT

The effect of carp and tilapia introduction in the channels system of Xochimilco Mexico, which is the habitat of the axolotl (*Ambystoma mexicanum*), was analyzed through some physical- chemical parameters, the abundance of the three species and the trophic relations among them, using the stomach contents and stable isotopes techniques. In order to evaluate the results, the multivariate redundancy technique was applied to physical-chemical and abundance data. The stomach contents and stable isotopes were analyzed through the analysis of feeding strategy and the stable isotopes mixing models technique. The obtained densities were for tilapia, 0.11, for carp, 0.031 and for axolotl 0,0012 individuals by square meter. The carp displayed a close relationship with turbidity; the axolotl was close to higher conductivity and turbidity zones but low oxygen concentrations. The tilapia showed to be independent from the physical-chemical parameters. The nutritional diet of the three species was obtained, observing that insects are a common nutritional source. The aquatic macrophytes are an important part of tilapia diet and in less degree of carp diet, but they are not included in axolotl diet. Nevertheless, they are habitat for the organisms consumed by axolotl. To conclude, carp affects indirectly to axolotl by altering physical factors as turbidity and both species affect to axolotl in a direct form by means of competition by food. It is recommended to preserve the littoral zone and to perform a controlled extraction of introduced species to improve the physical characteristics of the axolotl habitat and to diminish the pressure in competition terms.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de 500 años el hombre ha modificado las características físicas e hidrológicas de Xochimilco (Rojas Rabiela, 1991), reduciendo en un 99% la extensión total de los lagos de la cuenca del Valle de México. Entre 1500 y 1850 se calcula que la extensión conjunta de los lagos de Xochimilco y Chalco era de 240 km². De 1850 a 1940 se redujo de 200 a 35 km² correspondientes solo a Xochimilco, ya que a mediados del siglo XX Chalco se desecó. De 1940 a 1959 de 35 km² pasó a 8 km² y de 1959 a 1989 de 8 km² a 2.3 km² (Bojórquez, 1991).

Fueron diversos los motivos y las acciones que dieron lugar a este drástico cambio de paisaje. El régimen hídrico natural fue alterado desde tiempos de los aztecas por la construcción de chinampas, dando lugar a un laberinto de canales, en vez de un espejo de agua continuo. Posteriormente el crecimiento poblacional demandó utilizar el agua de los manantiales de Xochimilco, que durante un tiempo fue canalizada a la ciudad de México, hasta que se fueron secando.

En la actualidad existe una batería de pozos ubicados al pie de monte, extrayendo constantemente el agua que se infiltra a través de la sierra del Chichinautzin, para su distribución en el área metropolitana. El agua de los canales de Xochimilco es agua residual proveniente de las plantas de tratamiento Cerro de la Estrella y San Luis Tlaxialtemalco, en las que se utiliza un tratamiento terciario, que muchas veces es ineficiente, y el agua contiene metales pesados y exceso de cloro, incumpliendo en muchas ocasiones las normas oficiales mexicanas para el reuso de aguas residuales y agua para riego agrícola (DOF, 1994). Este tratamiento deficiente se conjuga con el vertimiento constante a los canales de fertilizantes y plaguicidas agrícolas, desechos orgánicos por descargas urbanas directas y residuos de sólidos que al degradarse da lugar a compuestos orgánicos e inorgánicos peligrosos. Asimismo una cantidad importante de materia vegetal en descomposición se genera por prácticas incorrectas al talar árboles o extraer el lirio acuático, ya que el producto de estas talas no es retirado, sino que permanece en los canales y zonas adyacentes.

Una de las consecuencias de la degradación de la calidad del agua en los organismos acuáticos, es el deterioro de la respuesta inmune, que incrementa la

probabilidad de contraer enfermedades dérmicas y facilita la penetración de parásitos y afectaciones bacterianas, pudiendo llegar a disminuir la sobrevivencia y la reproducción de especies susceptibles, como el ajolote. Al respecto, Sandoval (2003), realizó un estudio sobre la calidad microbiológica y físicoquímica del agua de los canales de Xochimilco, encontrando que el agua descargada por las plantas de tratamiento de aguas residuales resultaron con conteos bacterianos altos. En el mismo estudio, se observó que la zona lacustre presentó contaminación bacteriana de origen animal alta durante todo el año, mientras que en la zona turística la contaminación bacteriana es predominantemente de origen humano, aunque también existen aportes de origen animal.

Otro fenómeno que se observa en los canales es el aporte constante de sedimentos y la suspensión de partículas orgánicas que generan turbidez en el agua, limitando la entrada de la luz necesaria para la fotosíntesis de las algas y plantas sumergidas (Wetzel, 2001). El origen de esta problemática muy probablemente esté en la erosión de las paredes de los canales, que se debe básicamente a que la vegetación riparia original como el ahuejote, se ha talado debido a la plaga del muérdago, lo que repercute en el azolvamiento de los canales. Asimismo la presencia de peces bentívoros introducidos que mantienen su nicho alimenticio y hacen sus nidos en las paredes y el fondo de los canales contribuyen al debilitamiento de las paredes así como a la remoción de sedimentos (Claudi y Leach, 1999). Finalmente, el paso constante de trajineras y lanchas principalmente en la zona turística, contribuye también a la pérdida de tierra de las chinampas y al reciclaje de nutrientes acumulados en el fondo.

En cuanto a los cambios ecológicos experimentados por el sistema, éstos son difíciles de precisar. Sin embargo, se tiene conocimiento por estudios paleoambientales y paleoclimáticos realizados en la cuenca de México, de la gran biodiversidad existente en el lago y del aprovechamiento de muchas de las especies que lo habitaban (Espinosa, 1996). Es el caso del ajolote, *Ambystoma mexicanum*, especie endémica, cuya distribución original se remonta al Pleistoceno, abarcando el lago extenso y somero que cubría el Valle de México, que comprendía los lagos de Zumpango, Chalco y Xochimilco (Espinosa, 1996). A

la fecha sólo se encuentra en algunos de los canales de Xochimilco, en donde hasta hace 10 años se podían capturar 20 ó 30 ejemplares en una incursión pesquera (Com. pers. Constantino Velasco, pescador). Actualmente *Ambystoma mexicanum* es una especie protegida según la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL/1994 (DOF,1994) debido a que su población se encuentra amenazada; su ubicación en el CITES está siendo reconsiderada como especie en peligro de extinción (CITES, 2005).

MARCO DE REFERENCIA

El *Ambystoma mexicanum* se incluye en el orden Urodela (Caudata) de la Clase Anfibia, suborden Salamandroide, familia Ambystomatidae (Larson *et al.*, 2003). La familia Ambystomatidae, se distribuye exclusivamente en la región neártica, que abarca desde la frontera norte entre las dos Sierras Madre en territorio mexicano, hasta llegar a la Cadena Volcánica Transversal que la delimita meridionalmente (Fig. 1). En México ésta familia está representada por los géneros *Rhyacosiredon* y *Ambystoma*, este último integrado por 28 especies, de las cuales 17 se encuentran distribuidas en nuestro territorio (Frost, 1985). Cinco de estas especies son perennibranquiados (Brandon, 1989) y se restringen a lagos aislados en los estados de Puebla, México, Distrito Federal y Michoacán (*A. lacustris*, *A. lermaense*, *A. mexicanum* y *A. dumerilii*, respectivamente). En particular, *A. mexicanum* es endémico de Xochimilco y Chalco. La evolución de las formas perennibranquiadas probablemente ha ocurrido numerosas veces a partir del complejo *A. tigrinum*, el cual podría ser el origen evolutivo de todos los ambistomátidos mexicanos (Larson *et al.*, 2003).



Fig. 1 . Area de distribución del género *Ambystoma* (en gris)
Tomado de Huacuz, 2002

Si bien otros Ambistomátidos pueden tener metamorfosis facultativa en la que los individuos tienen la opción de retener la forma larval en la etapa adulta o realizar la metamorfosis completa hasta una forma adulta terrestre, el *Ambystoma mexicanum* es el mejor ejemplo de salamandra acuática y que conserva su forma larval, (Larson *et al.*, 2003).

Taylor y Smith (1945-1950), contribuyeron al conocimiento de la taxonomía, sistemática y distribución de anfibios mexicanos, incluyendo a los grupos de *Ambystoma*. Maldonado-Koerdell (1947;1948) observó que la distribución de estos organismos se encontraba aparentemente restringida a los lagos de Pátzcuaro, Lerma, Xochimilco y Chalco; también encontró que su patrón de comportamiento era diferente frente a las diversas condiciones ambientales existentes en dichos cuerpos de agua, pudiendo conservar sus características larvarias durante toda su vida, o bien transformarse al estado adulto inducido por la reducción en el volumen de agua o la desaparición temporal de su hábitat.

En cuanto a las características del medio físico, para *A. mexicanum* se refieren condiciones de 16-20°C de temperatura; 7.4-8.2 de pH y 975-1650 mS/cm de conductividad. El descenso de la temperatura entre noviembre y marzo marca el inicio de la época de reproducción. El desove se realiza entre enero y marzo, cuando la temperatura del agua es de $\pm 12^{\circ}\text{C}$ (Shaffer, 1989). No obstante, se han realizado pocos estudios sobre las condiciones de la población natural. Uno de estos estudios es el realizado en los años setenta por Shaffer (1989), quien refiere que los ajolotes que se localizan entre el Altiplano Mexicano y el Eje Volcánico Transversal, son especies típicamente neoténicas. Similares ecológicamente a los peces depredadores, constituyen el tope de la cadena alimenticia en sus sistemas. Se alimentan virtualmente de cualquier animal que puedan capturar, desde peces muy pequeños hasta caracoles, acociles y pequeños invertebrados. De manera particular, Graue (1998) llevó a cabo un estudio demográfico de la especie en los canales de Xochimilco, obteniendo una densidad de 0.006 ind/m², un valor muy bajo que en un futuro podría conducir a una disminución de la variabilidad genética. No obstante, encontró que la población estudiada no presentó una reducción en su variabilidad aloenzimática

que evidenciara un cuello de botella en su historia evolutiva, si bien la proporción de sexos mostró un desequilibrio a favor de las hembras.

En relación con las enfermedades, Redondo (1999) efectuó el aislamiento, purificación e identificación de bacterias, a partir de abscesos con aspectos de tumor desarrollados sobre diferentes zonas del cuerpo de *A. mexicanum* cultivados en el Centro de Investigaciones Acuícolas de Cuemanco (CIBAC), así como del agua utilizada en los acuarios, proveniente de la pista de canotaje Virgilio Uribe. El autor identificó siete especies patógenas de organismos acuáticos, entre ellas tres especies de *Pseudomonas* y *Salmonella* sp.

El presente estudio es el primero que se realiza sobre la población de *Ambystoma mexicanum* en su hábitat natural y persigue tanto el conocer la situación actual de esta población en relación con las poblaciones de las especies introducidas (carpa y tilapia) como el demostrar que estas especies afectan de manera importante al ajolote, tanto en términos de la modificación de las características físicas del hábitat como en términos de dinámicas de competencia y depredación. La meta última del estudio es establecer las bases biológicas sobre el hábitat del ajolote y plantear la rehabilitación del mismo, en el marco de la restauración ecológica. En este contexto, es fundamental abordar las implicaciones de la restauración de un sistema.

De acuerdo con Bradshaw (2002), la restauración de un ecosistema implica el que *“sus componentes (suelo, especies, agua, etc.) interactúen físicamente, de manera que el cambio en un componente puede llevar a cambios en otros. Al mismo tiempo, los componentes comparten, y circulan entre ellos, materiales como el fósforo, el nitrógeno, el carbono, el oxígeno, etc., que conforman la base de la vida. Un ecosistema, por lo tanto, tiene dos atributos principales, la estructura y la función, cada uno constituido por diferentes elementos”*.

En un sistema natural la tendencia general es hacia la complejidad tanto en estructura como en función, es un proceso dinámico con cambio lento y gradual. Ante alteraciones en el clima, recarga de nutrientes o químicos tóxicos, reducción de fuentes de agua, fragmentación del hábitat, pérdida de la diversidad de especies o introducción de especies exóticas, los ecosistemas pueden responder

en forma gradual, o bien ser inertes hasta cierto límite, respondiendo drásticamente al acercarse a un nivel crítico (Scheffer *et al.*, 2001). En muchas ocasiones los cambios en los sistemas naturales son evidentes cuando los síntomas de su deterioro son conspicuos y afectan directamente a la sociedad, como la disminución de una pesquería importante, la muerte súbita de peces, la extinción de especies llamativas, la eutroficación de un lago, etc., situaciones en las cuales la estructura y función del sistema están alterados, si bien no necesariamente en la misma proporción. La reflexión necesaria involucra el considerar cual es el propósito de restaurar el ecosistema: el recuperar cierto recurso para que siga siendo aprovechado por el hombre, ó el tener un paisaje agradable a la vista, o la conservación del recurso y/o el sistema. Atendiendo al objetivo y al conocimiento histórico y actual del sistema, podemos distinguir entre la restauración y la rehabilitación (Fig. 2).

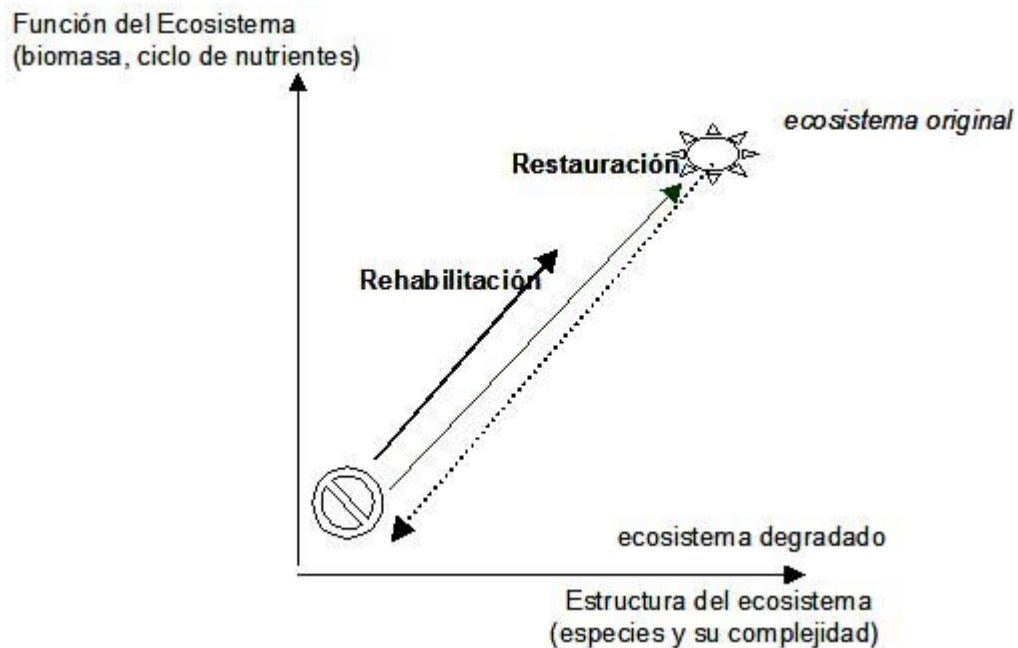


Fig.2 Esquemización de la diferencia entre los conceptos de Restauración y Rehabilitación, adaptado de Bradshaw (2002).

En su significado más literal la restauración se refiere a regresar el sistema a las condiciones existentes antes de la perturbación. Considerando que éstas inician en términos generales con la presencia del hombre, en la gran mayoría de los casos se desconocen las condiciones originales de los sistemas naturales, por lo que la evaluación de hacia donde se pretende regresar, es muy compleja. La rehabilitación, por su parte, consiste en recuperar en mayor o menor grado la estructura y/o la función del sistema, sin pretender llegar a su estado original (Bradshaw, 2002). En este contexto, dado que la intención del presente trabajo es definir en que condiciones del medio físico y biótico de Xochimilco, el ajolote tendría las mayores probabilidades de desarrollar una población sana en términos ecológicos, el estudio planteado aborda la *rehabilitación* del hábitat, más que la restauración del sistema desde el punto de vista de la problemática que se genera al introducir especies no nativas, sobre todo considerando que a nivel mundial, las principales amenazas para las poblaciones naturales de anfibios son la alteración, fragmentación o destrucción de su hábitat, la introducción de especies exóticas y las enfermedades (Jones, 2002).

En el sistema de canales de Xochimilco los registros en cuanto a la introducción de especies comienzan en 1955, cuando se introdujo la lobina (*Micropterus salmoides*). Entre 1970 y 1976 se introdujeron la trucha (*Salmo gairdneri* y *Salvelinus fontinalis*) y el pez cola de espada (*Xiphophorus helleri*) (Rojas Rabiela, 1998). La introducción de la carpa (*Cyprinus carpio*) y la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en el cuerpo lacustre de Xochimilco, la realizó el gobierno federal mediante el Programa Nacional de Acuicultura, en el que se declara a ambas especies de interés público y social por corresponder a bienes de consumo popular y cuya explotación permitiría la integración de ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios, en unidades de producción para la obtención y comercialización de un producto de alto rendimiento económico. A su vez, Avila (2000), en un estudio realizado en la región chinampera central de Xochimilco, determinó la presencia de *Heterandria bimaculata* (64.3%), *Chirostoma jordani* (26.1%), *Girardinichthys viviparus* (4.3%), *Cichlasoma* (2.7%), *Carassius auratus* y *Poecilia reticulata* (2.5%). En cuanto a las comunidades de peces originales de la

región, existen registros en los que solo se aprecia la presencia de peces planctívoros (Rojas Rabiela, 1998). Se identificaron diez especies de peces nativas distribuidas en tres familias: Atherinidae (*Chirostoma regani*, *Ch. jordani jordani* y *Ch. humboldtianum*); Cyprinidae (*Algansea tincella*, *Evarra eigenmanni*, *E. tlahuacensis* y *Aztecucata vittata*) y Goodeidae (*Girardinichthys innominatus*, *Neophorus diazi diazi* y *Lermae variegata*). De acuerdo al mismo autor, otros organismos presentes en la época prehispánica eran los acociles (*Camberellus montezumae*), varios tipos de rana, entre ellos la *Rana esculenta* y diversos insectos como el ahuatli, que es un corixido.

Aunque el impacto ecológico de la introducción de peces no está claramente definido y por lo tanto puede confundirse con las consecuencias de otras prácticas que degradan el ambiente, como el aporte externo y excesivo de fósforo y/o nitrógeno, Zambrano (1999) establece que la alteración de los sistemas dulceacuícolas debida a la introducción de peces, puede suceder de forma directa e indirecta. Dentro de los efectos directos se puede correlacionar un aumento de las poblaciones de especies no nativas con una disminución de las poblaciones de especies nativas, debido probablemente a la competencia por alimento, la depredación y/o la introducción de parásitos exógenos. En particular la carpa y la tilapia tienen un intervalo amplio de tolerancia a las variaciones de la calidad del agua y son especies generalistas en cuanto a sus hábitos alimenticios, desplazando a las especies nativas al competir por los nichos alimenticios y reproductivos. En cuanto a los efectos indirectos, especies de hábitos bentívoros como la carpa, resuspenden los sedimentos e incrementan la turbidez, modifican los ciclos de nutrientes, debilitan las raíces de las macrófitas hasta que mueren y liberan nutrientes en la columna de agua, lo cual promueve el crecimiento de algas (Brewkelaar et al., 1994).

Por su parte, Bronmark y Weisner (1992) coinciden al afirmar que la dinámica en un ecosistema acuático puede estar afectada por cambios en la comunidad de peces; por ejemplo, una gran cantidad de peces bentívoros puede resultar en una disminución en la abundancia de macrófitas, la cual aunada a una mayor turbidez del agua, podría determinar si una comunidad permanece en un

punto dado de equilibrio o no. Los cambios en los sistemas después de la introducción de especies no nativas, pueden no ser perceptibles en pocos meses, sin embargo, a mediano y largo plazo la acumulación de efectos indirectos puede dar lugar a cambios aún más espectaculares que los registrados a corto plazo (Zambrano *et al.*, 1999).

De acuerdo a Smith y Smith (2000), se considera que las especies generalistas invaden con mayor facilidad redes alimenticias simples, en cambio, los especialistas, capaces de explotar solo una fuente de energía restringida, se encuentran más capacitados para invadir redes complejas. A la vez, la extracción de un depredador clave puede tener un efecto importante sobre la red trófica; su desaparición produce la mayor pérdida de especies en el nivel trófico inferior cuando el depredador tiene influencia en el control de la densidad de las presas y éstas son generalistas en sus hábitos alimenticios. La extracción tiene menor efecto cuando el depredador controla la densidad de presas especializadas.

En sistemas acuáticos lénticos y someros, la característica principal de una dinámica que sostiene la estructura y función del sistema, es la calidad del agua, la cual puede ser mantenida gracias a varios mecanismos, que actúan a diferentes escalas de espacio y tiempo. Por ejemplo, el arrastre de sedimentos, normal en época de lluvias y el consiguiente azolve del lago es disminuído por la vegetación terrestre que se encuentra en sus orillas; asimismo, el zooplancton previene la sobrepoblación de microalgas y transfiere los nutrientes eficientemente hacia niveles tróficos superiores. De igual manera, la transparencia permite el paso de la luz al fondo lo que favorece el crecimiento de macrófitas que acumulan el exceso de nutrientes en sus tejidos y a la vez son zonas de alimento y criadero de una diversidad de organismos acuáticos (Carpenter *et al.*, 1999).

La alteración de cualquiera de estos mecanismos, como un exceso de nutrientes o el aumento en la cantidad de sedimentos puede ocasionar que en el sistema ocurran ajustes graduales hasta llegar a un punto crítico en el cual se rebasa la capacidad de resiliencia y los mecanismos de autoregulación se descontrolan, dando origen a procesos de degradación como lo es la eutroficación del sistema (Scheffer *et al.*, 2001).

La comprensión de la magnitud de la degradación de un sistema acuícola, puede apoyarse en la evaluación de los siguientes factores (Zambrano, 2003).

- El régimen hídrico.
- La concentración de químicos y nutrientes en el agua.
- El aporte de sedimentos y la suspensión de partículas orgánicas.
- La estructura de la red trófica.

La estructura del sistema y el tipo de alteración al que éste está sujeto, determinarán la proporción del esfuerzo de manejo que se dedique a uno o más factores simultáneamente, y por lo tanto la complejidad de la restauración o rehabilitación, según sea el caso, será diferente en cada caso.

En el presente estudio, para conocer las relaciones existentes entre el ajolote y la carpa y la tilapia como especies introducidas, se consideraron dos enfoques complementarios, el análisis de contenido estomacal y el análisis de isótopos estables, esperando obtener con el primero, la estrategia alimenticia global de las poblaciones de ajolote, carpa y tilapia y con el segundo, los componentes principales de la dieta de cada uno.

El análisis de contenido estomacal ha sido utilizado en estudios de depredación, competencia, trofodinámica y redes tróficas en sistemas acuáticos (Amundsen *et al.*, 1996; Mümtaz *et al.*, 1999). La importancia relativa de las presas en las dietas se puede evaluar de varias formas (Mümtaz *et al.*, 1999), entre ellas el porcentaje de la frecuencia de la presencia (F%) la cual evalúa la proporción de estómagos de un depredador, por ejemplo de peces, que contienen un tipo de presa en particular, sin importar la cantidad. Este método difiere de otras estimaciones en que no califica al tipo de alimento, sino al tipo de pez de acuerdo con el contenido de su dieta; esto es, no describe la dieta de un pez individual sino que muestra que tan homogéneamente un grupo de peces selecciona una presa en particular, sin realmente indicar la importancia de la presa seleccionada con respecto a otra presa. Así, el análisis del contenido estomacal, estimado de esta forma, ayuda a identificar la amplitud de hábitos alimenticios de una población de peces (Mümtaz *et al.*, 1999).

Puesto que el objetivo del presente trabajo es la valoración del efecto que la carpa y la tilapia tienen sobre el ajolote en términos poblacionales para saber si existe alguna relación de competencia o depredación, se seleccionó la estimación del contenido estomacal de los organismos en estudio, como el porcentaje de la frecuencia de la presencia (F%), con base en el método desarrollado por Costello (1990) y mejorado por Amundsen *et al.* (1996).

La segunda herramienta para acercarse al objetivo de identificar las relaciones alimenticias existentes entre las especies introducidas y el ajolote, es la técnica del análisis de isótopos estables. Sus aplicaciones son variadas, incluyendo la identificación de fuentes contaminantes en suelo, agua y atmósfera; la reconstrucción de la abundancia histórica de gases atmosféricos en el estudio del cambio climático; la reconstrucción de paleodietas e incluso en diagnósticos clínicos (Jardine *et al.*, 2003)

Tradicionalmente en los sistemas acuáticos, los estudios de niveles tróficos y de las cadenas alimenticias se abordan de manera independiente. Sin embargo, aunque el nivel trófico caracteriza el papel funcional de los organismos y facilita la estimación del flujo de energía o materia a través de las comunidades ecológicas, su evaluación aislada es limitada por el uso estricto de niveles tróficos discretos y por la reducida posibilidad de valorar las interacciones complejas así como la omnivoría que prevalecen en muchos ecosistemas. Por su parte, las redes alimenticias capturan dicha complejidad en las interacciones tróficas, pero son difíciles y tardadas para construir y simplifican la red de dichas interacciones, dando el mismo peso a diferentes niveles tróficos, por lo que no pueden ser utilizadas para rastrear el flujo de energía y materia (Post, 2002).

En el estudio de redes alimenticias y niveles tróficos, la técnica de los isótopos estables ha sido aplicada ampliamente (Peterson y Fry, 1987; Vander Zanden *et al.*, 1999 b; Post *et al.*, 2000), ya que permite una medición continua de la posición trófica que integra la asimilación del flujo de energía o masa a través de todas las diversas vías tróficas que llevan a un organismo y a la vez, evalúa en forma simultánea interacciones complejas, como la omnivoría trófica (Post, 2002).

La proporción de los isótopos estables de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) puede ser usada para estimar la posición trófica debido a que el $\delta^{15}\text{N}$ de un consumidor está enriquecido típicamente en un 3-4 ‰ relativo a su dieta (Minagawa *et al.*, 1984). En contraste, la proporción de isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) cambia poco (0.5 - 1‰) conforme el carbono se mueve a través de las redes alimenticias (Peterson y Fry, 1987). En consecuencia, se puede usar para evaluar las fuentes más lejanas de carbono de un organismo cuando la huella isotópica de las fuentes son diferentes, por ejemplo, en un sistema de canales como Xochimilco, no degradado, esperaríamos un valor de $\delta^{13}\text{C}$ diferente entre organismos que se alimentan en la zona litoral (carbono muy ligado al sistema terrestre), en la zona pelágica (carbono procedente de fitoplancton y zooplancton) y aquéllos que lo hacen en la zona bentónica (carbono que ha pasado por procesos de reciclaje de nutrientes en sedimento).

Los principales elementos utilizados en el análisis de isótopos estables para la investigación ecológica son carbono, nitrógeno y azufre. Los isótopos estables de nitrógeno (^{15}N y ^{14}N) y carbono (^{13}C y ^{12}C) reflejan la posición trófica y la fuente alimenticia respectivamente, en una estructura trófica (Gannes *et al.*, 1997; Minagawa y Wada, 1984; De Niro y Epstein, 1978). El carbono existe principalmente como ^{12}C (98.89%) y una pequeña fracción (1.11%), como ^{13}C ; en el nitrógeno la forma más abundante se encuentra como ^{14}N (99.64%) y la menos abundante como ^{15}N (0.36%) (O'Leary M.H., 1981).

Para la medición de los isótopos estables se utiliza la espectrometría de masas, donde la proporción de isótopos obtenida en la muestra se contrasta contra los estándares internacionales, que son la PDB (belemnita de la formación Pee Dee de Carolina del Sur) para el carbono y el nitrógeno atmosférico y el resultado se obtiene mediante la fórmula:

$$\delta \text{‰ } X = \left\{ \frac{R_{\text{muestra}} - R_{\text{estándar}}}{R_{\text{estándar}}} \right\} * 1000$$

donde X representa el isótopo más pesado (^{13}C , ^{15}N), o la diferencia de los estándares dados expresados en partes por mil (‰); R_{muestra} y $R_{\text{estándar}}$ son la proporción de isótopos (pesados a ligeros) para la muestra y para el estándar respectivamente. Para facilitar la expresión de los resultados, los números

resultantes se multiplican por mil. Para el Carbono, el estándar es la PDB (PeeDee Belemnite), que corresponde a un fósil marino del Cretácico (*Belemnitella americana*) de la formación "PeeDee" en Carolina del Sur, U.S.A. (Craig, 1957). Para el nitrógeno el estándar es el N₂ atmosférico (Jardine *et al.*, 2003). Un valor más positivo de δX para el nitrógeno o menos negativo para el carbono, significa que la muestra tiene más isótopos pesados que el estándar. Por ejemplo, en el caso de los isótopos de carbono, la proporción de ¹³C/¹²C del estándar PDB es igual a 0.01124 y la materia orgánica está invariablemente disminuída en ¹³C en comparación con el estándar, por lo que los valores isotópicos de las muestras de los materiales orgánicos serán siempre negativos. Una cifra "menos negativa" significa que es más rica o más pesada en ¹³C (O'Leary M.H., 1981).

Los isótopos con mayor masa atómica son más pesados y por lo tanto reaccionan con menor velocidad que los isótopos de menor masa atómica. Es por esto que los isótopos estables se fraccionan o separan durante las diversas reacciones que se llevan a cabo en la naturaleza, tanto de tipo cinético (fotosíntesis), como de tipo termodinámico (intercambio de CO₂ entre la atmósfera y el océano) o en procesos de difusión. El fraccionamiento isotópico consiste en el rompimiento de los isótopos estables en dos compuestos que contienen los mismos elementos, con diferentes proporciones isotópicas (Mariotti *et al.*, 1981). El concepto de "factor de fraccionamiento" desarrollado por estos autores, se refiere a la diferencia esperada en la proporción entre el producto y el sustrato del cual está formado y se expresa en partes por mil (‰).

Existen diversos mecanismos que son responsables del fraccionamiento isotópico. El fraccionamiento de tipo cinético se genera debido a que en cualquier reacción bioquímica, la molécula que contiene el isótopo pesado del elemento es más difícil de romper en comparación con una molécula conteniendo el isótopo liviano, toda vez que los enlaces químicos son más fuertes en el primero. Por ejemplo, en la respiración, donde el dióxido de carbono está disminuido en ¹³C en relación al tejido animal; en la lipogénesis, donde los tejidos adiposos también están disminuidos en ¹³C, como resultado de una discriminación isotópica, es

decir, se prefiere a los isótopos ligeros contra los pesados (DeNiro y Epstein, 1977).

En cuanto al nitrógeno, los consumidores tienden a estar enriquecidos en ^{15}N en aproximadamente 3-5‰ en relación a su dieta (promedio = $+3.0 \pm 2.6\%$; intervalo = -0.5 a +9.2‰, de acuerdo con DeNiro y Epstein, 1981; Minagawa y Wada, 1984). La excreción de urea y de amonio isotópicamente “ligero” posiblemente es responsable del aumento observado entre el 3-5‰ en el contenido de ^{15}N en niveles tróficos sucesivos (Minagawa y Wada, 1984; Jardine *et al.*, 2003). Este enriquecimiento varía entre especies y ecosistemas (Vander Zanden y Rasmussen, 2001), pero en un contexto amplio, ha demostrado ser consistente tanto en estudios de laboratorio como de campo (Post, 2002).

El fraccionamiento de los isótopos también varía en relación con el tejido donde se lleva a cabo el proceso biológico. En órganos como el corazón, el hígado y los órganos reproductores, los lípidos se concentran, dando lecturas diferentes en la proporción de isótopos con respecto a otros tejidos como el músculo, donde la concentración de lípidos es mínima. A la vez, el fraccionamiento de carbono es diferente durante la formación de distintos tipos de tejidos (pelo > cerebro > músculo > hígado > adiposo) (Jardine, 2003). Por ejemplo, en mejillones y caracoles el tejido suave refleja la firma isotópica del carbono en sus dietas, mientras que su concha refleja el valor isotópico del carbono inorgánico, puesto que su base biológica es un precipitado a base de carbonatos (Post, 2002).

La aplicación de esta técnica en estudios de campo puede enfocarse a la determinación de los hábitos alimenticios. Para ello, es necesario conocer las posibles fuentes alimenticias de los depredadores, determinar sus valores isotópicos y estimar la contribución proporcional de cada fuente a la dieta del consumidor.

En general, las contribuciones proporcionales de $n+1$ fuentes puede ser determinada únicamente por el uso de n trazadores isotópicos diferentes ($\delta^{13}\text{C}$; $\delta^{15}\text{N}$), mediante modelos mixtos lineares basados en ecuaciones de balance de masas. Sin embargo, es muy común que en estudios en sistemas naturales el

número de fuentes potenciales exceda $n+1$, lo cual impide encontrar una solución única a las proporciones de las fuentes (Phillips y Koch, 2002).

Phillips y Gregg (2003) propusieron un método en el que todas las combinaciones posibles de la contribución de cada fuente (0-100%), se examinan en pequeños incrementos (i.e. 1%). Así, las combinaciones que se agreguen a las firmas isotópicas de la mezcla (en este caso ajolote, carpa o tilapia) dentro de una pequeña tolerancia ($\pm 0.1\%$), se consideran como soluciones factibles, a partir de las cuales se puede calcular la frecuencia y el intervalo de las contribuciones de las fuentes potenciales. La amplitud de los intervalos determinados isotópicamente depende del espacio geométrico del polígono dentro del cual se encuentra la mezcla isotópica en estudio y de la similitud de la firma isotópica entre la fuente y la muestra.

El supuesto clave del modelo mixto lineal es que los isótopos de carbono y nitrógeno de todas las fuentes de la dieta estén completamente homogeneizadas en el cuerpo del consumidor antes de la síntesis del tejido. En el caso del nitrógeno esta condicionante no es difícil de cumplir, ya que el nitrógeno en los depredadores lo proporciona las proteínas, las cuales son digeridas de forma más o menos uniforme independientemente del tipo de dieta. En el caso del carbono, éste puede ser integrado vía carbohidratos, lípidos o proteínas, que tienen diferente valor isotópico $\delta^{13}\text{C}$ (Phillips *et al.*, 2002). Para sortear este problema es necesario realizar estudios más detallados en laboratorio y en campo de los valores del sustrato y las rutas metabólicas que siguen en el organismo en estudio. Por lo tanto, a fin de minimizar estas condicionantes, en la presente investigación se empleó únicamente el tejido muscular de los organismos muestreados, el cual contiene menor cantidad de lípidos y cuya composición es fundamentalmente proteica.

El presente trabajo tiene el enfoque del conocimiento de la estructura trófica en el sistema de canales de Xochimilco y en particular la determinación de los hábitos alimenticios del ajolote, la carpa y la tilapia, para entender las implicaciones que tendría en uno u otro sentido, la manipulación biótica de estas

especies con fines de rehabilitación del sistema y en particular de las poblaciones del ajolote *A. mexicanum*.

En la rehabilitación de un ecosistema acuático las teorías de control ascendente (generación de nutrientes y energía desde la base de la cadena trófica) y descendente (cascada trófica de procesos de depredación selectiva de la talla que comienzan en el tope de la red alimenticia) de la dinámica trófica pueden ser utilizados para comprender la dinámica del mismo, o también es posible que esté sustentada en un enfoque más que en otro (Carpenter & Kitchell, 1993). Por lo tanto, el conocimiento de las características biológicas e históricas del sistema es importante para poder proponer alternativas de manejo. Cabe hacer una distinción entre biomanipulación y manejo de la estructura trófica (Carpenter y Kitchell, 1993). El primer concepto se refiere a un grupo diverso de medidas diseñadas para reducir la expresión de un atributo ecológico indeseable como la disminución hipolimnética de oxígeno, los afloramientos de algas verde-azules o la sobrepoblación de macrófitas acuáticas. En cuanto al manejo de la estructura trófica, la hipótesis de la cascada trófica busca explicar la variabilidad dentro y entre los efectos que una población, por ejemplo de peces, puede tener sobre la composición de especies, la biomasa y la productividad en otros niveles tróficos. Así, el concepto de depredador clave es importante al estudiar el efecto de las especies invasoras en un sistema acuático, ya que nos puede ayudar a explicar el tipo de interacción existente entre dos o más especies, pudiendo ésta ser de tipo trófico (si existen cambios en la abundancia de determinada(s) especie(s) a lo largo de la cadena trófica), conductual o química (en las que se afecta la conducta y la respuesta mediada por agentes químicos, pero no la abundancia) Miller y Kerfoot (1987).

La información que se obtenga con este trabajo proporcionará el sustento científico para conocer 1) la situación actual de la población de ajolote en términos de densidad y ubicación; 2) si el factor que afecta a la población deL ajolote en mayor grado, es de tipo abiótico o biótico; 3) si es factible la manipulación biótica del sistema desde el punto de vista de las relaciones alimenticias interespecíficas

y 4) que acciones de rehabilitación son pertinentes de llevar a cabo en la condición actual del sistema.

HIPÓTESIS

Las especies introducidas *Cyprinus carpio* y *Oreochromis niloticus*, afectan a la población natural de *Ambystoma mexicanum* a través de cambios en el ambiente físico y en alguna(s) variables físico-químicas, que se reflejan en la disminución de sus zonas reproductivas así como en relaciones interespecíficas de competencia y depredación.

OBJETIVO

Establecer la relación entre las especies introducidas (carpa y tilapia) y el ajolote con los factores físico-químicos del medio que limitan la rehabilitación de la población de ajolote en los canales de Xochimilco.

Como objetivos particulares se plantea:

- Determinar si la presencia de ajolote está relacionada con la presencia / ausencia de especies introducidas (carpa y tilapia) en diferentes zonas de los canales de Xochimilco.
- Determinar si existe relación entre la presencia/ausencia del ajolote y de las especies introducidas, con algún parámetro físico-químico del medio.
- Identificar los hábitos alimenticios de la carpa, la tilapia y el ajolote.
- Identificar si existe algún vínculo en la red alimenticia entre las especies introducidas y el ajolote.

MÉTODO DE ESTUDIO.

1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

Los canales estudiados se ubican en el área natural protegida (ANP) “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, que se localizan en la porción centro y norte de la Delegación Política de Xochimilco, al sur del Distrito Federal. (Fig. 3).



Fig. 3 Ubicación de Xochimilco en la zona urbana del Distrito Federal.

Las coordenadas geográficas extremas de la ANP son 19°15'11" y 19°19'15" de latitud Norte; 99°00'58" y 99°07'08" de longitud Oeste. El área natural protegida ocupa una extensión de 2,614 hectáreas y está formada por las comunidades de San Gregorio Atlapulco, San Luis Tlaxialtemalco, Ex Ejido Xochimilco, Santiago Tulyehualco, Nativitas, Santa Cruz Acalpixca y 13 Barrios de Xochimilco (GDF, 2004).

El ANP se ubica en un terreno plano de origen lacustre correspondiente al antiguo vaso del lago de Xochimilco, con una pendiente que varía entre 0 y 5%. Hacia el sur se localiza un área montañosa formada principalmente por los cerros Xochitepec y Cantil y los volcanes Teoca, Zompole y Tehutli. La altitud promedio

en la zona lacustre es de 2, 240 msnm, mientras que en los límites con las delegaciones Milpa Alta y Tlalpan es de 3,140 msnm (GDF, 2004).

Actualmente, por la intensa actividad del hombre, el sistema lacustre se encuentra reducido a canales, apantles, lagunas permanentes y de temporal. Se estima una longitud aproximada de 203 km de canales interconectados, cuya profundidad varía considerablemente (desde 60 cm en algunos canales y zonas inundadas, o como el caso de algunas lagunas cuya profundidad alcanza de 3 a 6 m). Los canales y lagunas son alimentados de manera artificial con aguas residuales tratadas de las plantas del Cerro de la Estrella, cuyo aporte aproximado es de 1 m³/s; San Luis Tlaxialtemalco, con un aporte de 0.225 m³/s; y San Lorenzo Tezonco. Otra fuente de abastecimiento son los escurrimientos superficiales originados por los arroyos Santiago o Parres, San Lucas y San Gregorio (GDF, 2004).

2. SELECCIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO.

Del 31 de enero al 16 de abril del 2002 se realizó por parte del laboratorio de Ictiología del Instituto de Biología, un estudio prospectivo en varios canales de Xochimilco (Zambrano *et al.*, 2004). En este trabajo el esfuerzo de pesca fue de 38 lances promedio al día con atarraya y no está determinada el área muestreada. Esta prospección se utilizó para seleccionar las estaciones de muestreo del presente estudio, escogiendo aquéllas zonas donde hubo captura de ajolote.

Las estaciones seleccionadas para el muestreo del presente trabajo realizado de septiembre de 2002 a abril de 2004, son Laguna Huetzali del parque ecológico de Xochimilco (PEX); el canal El Bordo, el canal Japón, la Laguna El Toro, el Canal Celada, el canal Costetexpan y el canal Puente de Urrutia (Fig. 4).



Fig. 4 Mapa de localización de los sitios de estudio. 1, laguna Huetzali; 2, canal El Bordo; 3, canal Japón; 4, laguna El Toro; 5, canal Celada; 6, canal Costetexpan; 7, canal Puente de Urrutia. Modificado a partir de Google Earth, 2003.

Para la realización de este estudio se contó con el apoyo de dos organizaciones civiles de Xochimilco: Voces del Agua que participó únicamente en los cinco primeros meses y Umbral, quienes apoyaron el proyecto de enero de 2003 a mayo de 2004.

Se realizaron 27 salidas entre los meses de septiembre de 2002 y abril de 2004, totalizando 949 lances de atarraya con una cobertura de 25,072.6m². No es posible comparar el área muestreada con el área total de los canales de Xochimilco debido a que el muestreo se realizó repetidamente en las mismas estaciones. Durante los primeros cinco meses se llevaron a cabo muestreos diurnos y nocturnos utilizando trampas y red de arrastre, a fin de descartar la posibilidad de que fueran más efectivas que la captura con atarraya. Finalmente se decidió utilizar únicamente atarraya, ya que con los otros artes de pesca no hubo captura de ajolote. Los muestreos se realizaron durante el día.

Durante los recorridos se observaron visualmente diversas características físicas tales como el estado de la pared de las chinampas, la presencia de casas habitación, establos, campos de cultivo, drenajes, vertimientos de aguas residuales tratadas y no tratadas así como la flora acuática presente, los cuales se utilizaron para describir cada estación de muestreo.

En las salidas se monitorearon parámetros físico-químicos del agua y se contaron, midieron y pesaron todos los individuos de carpa, tilapia y ajolote capturados. La ubicación de las estaciones y puntos de colecta de ajolotes, se registró con un equipo de sistema de posicionamiento satelital (Garmin GPS III Plus 92190987 Olathe, Ks, USA). En el caso de las muestras utilizadas para el análisis de contenido estomacal, éstas fueron seleccionadas de las capturadas durante los muestreos. En cuanto al análisis de isótopos, las muestras fueron colectadas durante dos salidas programadas para tal fin, excepto para las muestras de ajolote, las cuales fueron obtenidas de los ejemplares más grandes que se capturaron así como de ajolotes colectados por pescadores independientes. Para ambos análisis se detallan las metodologías en los apartados correspondientes.

3. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS .

Para el registro de los parámetros físico-químicos se utilizó un sistema de monitoreo de calidad del agua (Hydrolab Quanta, serie QD 01226. Austin, Texas). Los parámetros evaluados fueron profundidad (m), temperatura (°C), conductividad (mS/cm), oxígeno disuelto (mg/L), salinidad (PSS), saturación de oxígeno (%) y turbidez (UNT). En total se efectuaron 162 mediciones a dos terceras partes de la profundidad existente, entre las 7:30 y 14:00 hrs.; el número de salidas varió en cada sitio de estudio, debido a que en ocasiones la cantidad de lirio en el canal no permitía el paso de la lancha (Tabla 1). Las mediciones de profundidad se eliminaron debido a errores en su lectura.

Huetzali	El Bordo	Japón	El Toro	Celada	Costetexpan	Urrutia
Sep-02	Oct-02	Feb-03	Sep-02	Feb-03	Feb-03	Oct-02
May-03	Nov-02	Jul-03	Nov-02	Feb-03	Abr-03	Mar-03
Jun-03	Feb-03	Mar-04	Feb-03	May-03	Jun-03	Jun-03
Jun-03	Mar-04		May-03	Mar-04	Oct-03	Jun-03
Mar-04					Mar-04	Sep-03
						Abr-04

Tabla 1. Salidas realizadas entre septiembre de 2002 y abril de 2004.

4. DENSIDAD.

Para determinar la densidad de la carpa, tilapia y ajolote, en promedio en cada salida se realizaron 35 lances por estación, a excepción del canal Puente de Urrutia, donde la cantidad de *Lemna* spp. presente, impidió en varias ocasiones que la atarraya bajara hasta el fondo. A partir de enero de 2003 los muestreos se realizaron con una atarraya fabricada *ex profeso* para la captura de ajolote, cuyas medidas fueron: 5.8 m de diámetro, apertura de malla de media pulgada y considerando que la abertura no es totalmente circular, se estimó una cobertura promedio de 26m². El mismo arte de pesca se usó para la colecta de peces.

En cada lance se hizo el conteo de los individuos de las tres especies y se registró el largo total (cm LT) y peso húmedo (g PH) para carpa y tilapia. Para ajolote se midieron largo total (cm LT), largo hocico-cloaca anterior y posterior (cm LHC), así como el peso húmedo (g PH). Se utilizaron ictiómetros, balanza de mano y digital, (Ohaus modelo CS 2000 serie M 02.11, USA).

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y DENSIDAD

Se valoró si los datos de los parámetros físico-químicos registrados presentaban diferencias significativas entre los sitios de muestreo, mediante análisis de varianza de una vía para los valores que pasaran las pruebas de normalidad e igualdad en la varianza y mediante análisis de varianza por intervalos (Kruskall-Wallis) para aquéllos que no tuvieran igualdad en la varianza y/o normalidad.

Para determinar si existe alguna relación entre la presencia/ausencia del ajolote y de las especies introducidas, con algún parámetro físico-químico del medio, se utilizó el programa de análisis estadístico Brodgar (Highland Statistics Ltd., 2005 a), el cual permite realizar una exploración de los datos para determinar su normalidad y homogeneidad, así como la presencia de valores extremos y las transformaciones que se pueden aplicar a los datos para su mejor valoración.

Puesto que los datos de densidad y algunos parámetros físico-químicos no pasaron las pruebas de normalidad e igualdad en la varianza, no fue posible aplicar técnicas paramétricas para determinar si algún factor físico-químico estaba relacionado con la presencia o ausencia de la carpa, la tilapia o el ajolote. Por lo tanto, se utilizó el análisis multivariante de redundancia, el cual es un análisis de ordenación directa por gradiente, en el que los ejes (1,2) son combinaciones estrictamente lineales de las variables físico-químicas, con la presencia ó ausencia de las especies en estudio en los sitios de muestreo. Esta prueba se aplica a datos con gradientes cortos (Highland Sattistics Ltd., 2005 b).

En el diagrama resultante (triplot), las especies y las variables ambientales se representan con líneas y los sitios de muestreo con puntos (Highland Sattistics Ltd., 2005 b). Las líneas largas indican variables importantes. Las líneas que apuntan en la misma dirección indican que las variables correspondientes están altamente correlacionadas unas con otras. Las líneas que apuntan en dirección opuesta, se refieren a las variables que están correlacionadas negativamente y las líneas que tienen un ángulo de 90° significan que las variables no están correlacionadas. Los puntos pueden estar proyectados en forma perpendicular a las líneas e indican si el sitio de muestreo tiene un valor alto o bajo para la variable (especie ó factor físico-químico). En el resultado numérico del análisis, el valor denominado “eigenvalor como porcentaje acumulado de la suma de todos los eigenvalores”, muestra el porcentaje en que los primeros dos ejes explican la variación en los datos dada por todas las variables físico-químicas. El valor denominado “eigenvalor como porcentaje de variación acumulada” muestra en que porcentaje, los dos ejes explican la variación en los datos de las especies. La diferencia entre estos dos valores determinará si el modelo explica en mayor o

menor grado la relación entre las especies y los parámetros físico-químicos (Highland Statistics Ltd., 2005 *b*).

6. CONTENIDO ESTOMACAL

Se analizó el contenido estomacal de 161 organismos de diversos tamaños de carpa y tilapia y de 12 ajolotes. Todos los organismos colectados fueron trasladados al laboratorio en un contenedor para aislarlos de la temperatura ambiente. En el caso de las carpas y las tilapias, en laboratorio se registró la talla (cm LT), el peso húmedo (g) y se les disectó para extraer el aparato digestivo, el cual se guardó en alcohol al 70%, para su análisis posterior. El contenido estomacal del ajolote se extrajo mediante una manguera de hule muy delgado, unida a una jeringa; primero se inyectó agua destilada e inmediatamente se succionó el contenido, teniendo cuidado de no lastimar los órganos internos.

Para la revisión del contenido estomacal, se utilizaron varias técnicas implementadas de acuerdo con las características de las muestras y material disponible. Se separó el estómago del intestino y se tamizó cada muestra con mallas de 150 μ y 80 μ ; se identificaron los organismos y restos de organismos encontrados con mayor frecuencia en cada muestra, para lo cual se contó con la ayuda de especialistas en insectos, helmintos, peces y crustáceos. Cada contenido estomacal se contabilizó mediante una cuadrícula pegada a una caja de Petri. En cada análisis se tuvo cuidado de apenas cubrir la superficie de la caja a fin de minimizar el error por la profundidad, de tal forma que para cada muestra se realizaron varios conteos. Después de agrupar los diferentes contenidos estomacales encontrados en cada muestra, se procedió a contar el número de Tablas que ocupaban, de un total de 136 que representó el 100%, y se obtuvo un cociente (no. de Tablas de la muestra / total de Tablas), el cual fue utilizado en la resolución de los cálculos de frecuencia de presencia de una presa y abundancia presa-específica (Amundsen, 1996).

El contenido estomacal de las 173 muestras colectadas se clasificó en los tipos de presa: materia vegetal, materia orgánica, insectos, crustáceos, peces,

zooplancton, posible ajolote y otros (vidrio; restos de tejido blando, sanguijuela; caracol; insectos no identificados).

Para determinar la presencia de ajolote en las muestras se utilizaron resultados previos de experimentos de conducta de ajolote en presencia de carpa y tilapia (Martínez,S., Tesis de Licenciatura, en proceso). Los huevos y crías recién nacidas de ajolote fueron colocados en tinas con carpas y tilapias por separado. Menos de 24 horas después de que las carpas comieron huevos y crías, se analizó el contenido estomacal, encontrándose aún la forma del ajolote en el estómago, aunque el contenido tenía la apariencia de una masa de grasa anaranjada. En estos experimentos la tilapia no comió en ningún momento ni huevos ni ajolotes.

Para la determinación de la frecuencia de la presencia de una presa y la abundancia presa-específica se utilizó el método descrito por Amundsen (1996). En la representación gráfica de dicho método (Fig. 5), se muestra la abundancia presa-específica contra la frecuencia de presencia. El producto de la abundancia presa-específica y la frecuencia de presencia (expresada en fracción), es igual a la abundancia de la presa, tomando en cuenta que la cantidad promedio de los contenidos estomacales es independiente de la categoría de presas consumidas, o que la cantidad de alimento en cada estómago se estandariza al 100%, por lo tanto, para cada punto en el diagrama, la abundancia de la presa está representada por el área encerrada por todas las coordenadas de los dos ejes. El análisis de la importancia de la presa y la estrategia alimenticia del depredador puede ser obtenida mediante el examen de las distribuciones de los puntos a lo largo de las diagonales y ejes del diagrama. A los datos de contenido estomacal no se aplicó ningún análisis estadístico.

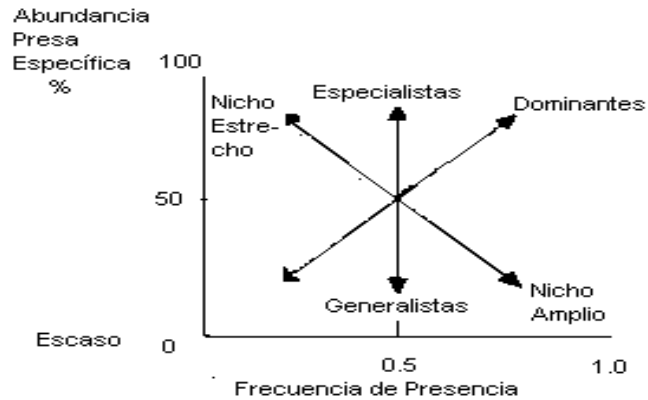


Fig. 5 Esquema para la interpretación del análisis de Estrategia Alimenticia (tomado de Amundsen, 1996)

7. ISÓTOPOS ESTABLES

Para el análisis de isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$), las estaciones de muestreo fueron divididas en cuatro regiones, quedando organizadas de la siguiente manera:

Región A: Huetzali, El Bordo y Japón

Región B: El Toro y Celada

Región C: Costetexpan

Región D: Urrutia

La primera colecta de muestras se realizó los días 25, 26 y 27 de junio de 2003, durante la cual se colectaron macrófitas, insectos, peces y ajolotes. La segunda colecta se efectuó en los meses de marzo a abril de 2004 (13, 20, 29 de marzo y 2 de abril), obteniendo muestras de fitoplancton, zooplancton, insectos, crustáceos, peces y ajolotes. En el primer muestreo no se colectaron muestras de fitoplancton ni zooplancton, por lo que el análisis final se realizó con una muestra compuesta por varios submuestreos realizados en las zonas A (Huetzali, El Bordo y Japón), B (Celada-El Toro), C (Urrutia) y D (Costetexpan), respectivamente.

La identificación de los organismos se realizó en laboratorio, con ayuda de especialistas y con el apoyo de la siguiente literatura: macrófitas (Lot *et al.* (1999); peces (Huidrobo, 2000) e insectos (Merrit y Cummins, 1996). El Dr. Villalobos y la Dra. Naranjo, ambos del Instituto de Biología de la UNAM, me ayudaron con la

identificación directa de los crustáceos y del caracol, respectivamente. En el caso del ajolote únicamente cotejé las descripciones de la literatura (Maldonado-Koerdell, 1947; Shaffer, 1989 y Smith y Taylor, 1948) con los organismos colectados.

Las muestras colectadas fueron analizadas en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Davis en California, E.U.. El peso seco requerido por tipo de organismo es: 2 mg para invertebrados; 1 mg para peces y anfibios, 5 a 6 mg para plantas, 4 a 6 mg para fitoplancton y 1 a 2 mg para zooplancton (UC Davis Stable Isotope Facility). Todas las muestras fueron desecadas en un horno de secado (marca Rios Rocha, modelo HS-33, Serie HSML, México D.F.) a 220°C por 24 horas y pulverizadas en un mortero de cerámica para ser enviadas al Centro de Limnología de la Universidad de Wisconsin-Madison, E.U., donde se efectuó el llenado de las muestras en charolas especiales para su análisis isotópico. Posteriormente las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Isótopos de la Universidad de Davis, California, para su análisis en el espectrómetro de masas (Europa Scientific ANCA-HYDRA 20/20). Cabe aclarar que el costo del análisis (8 dólares por muestra), limitó la extensión del muestreo.

En cada sitio de estudio las colectas se hicieron de la siguiente manera:

Vegetación acuática.- Se colectaron dos individuos de cada especie de planta, uno destinado a su identificación y el segundo para el análisis de isótopos.

Macrobentos, fitoplancton y zooplancton.- Se colectaron con una draga Ekman, tomando al menos tres muestras de sedimento por estación, mismas que se filtraron en un tamiz de 2.5 mm de abertura y los organismos visibles se colectaron en un vial Ependoff de 1.5 mm³ para su desecación en el horno. En el caso del fitoplancton y el zooplancton, puesto que el objetivo era colectar 6 mg del primero y 2 mg del segundo de peso seco, se filtró 30 L de agua por estación para cada uno. El agua fue filtrada en campo a través de mallas de 300µm, 150µm, 80µm y 50µm, recuperándose el fitoplancton y el zooplancton en tubos Falcon (50 ml marca Corning). Estas muestras se trasladaron inmediatamente al laboratorio en contenedores aislantes de la luz y de la temperatura ambiente y se filtraron al vacío en papel filtro de fibra de vidrio (APFC04700, marca Millipore) en el laboratorio de Ecología química del Instituto de Ecología. Los filtros se desecaron

por dos horas a 150°C y se mantuvieron en un desecador hasta ser enviados para su análisis.

Invertebrados.- Con una red triangular se colectaron los insectos y crustáceos presentes en las raíces y hojas de macrófitas y después de una limpieza de hojas y restos no deseados, se colocaron en frascos de plástico con etanol al 80%. Se rotuló cada frasco y en el laboratorio se generaron las respectivas bases de datos (fecha, sitio, tipo de organismo, método de captura). En el laboratorio, los acociles fueron disectados para separar quitina de músculo y enviar muestras de cada uno. Las muestras se lavaron con agua destilada y se colocaron a 100°C en un horno de secado por 24 a 48 horas.

Vertebrados.- En este grupo se incluyen los peces y ajolotes. Los peces se colectaron con una atarraya de media pulgada de abertura. En laboratorio se escogieron cinco individuos de cada especie, sin hacer selección de tallas ni de sexo, se midió talla (cm LT) y peso (g PH) y se les extrajo una muestra de músculo con tijeras de disección; el músculo se separó de la piel con ayuda de un microscopio estereoscópico (Leica Zoom 2000, modelo Z45L serie I393XS, Buffalo, NY, E.U.), para ser colocados en viales y desecados.

En el caso de los ajolotes fue complicado conseguir las muestras de tejido para este análisis, dado que se debía evitar en lo posible su muerte y no todos los organismos eran apropiados debido a su corta talla y/o peso y también a que los organismos colectados provenían principalmente de una zona de estudio (Puente de Urrutia) y se requería evaluar la totalidad de los sitios de estudio.

Para resolver este problema, el Dr. Gerardo Herrera (Instituto de Biología, UNAM) amablemente me permitió utilizar algunas muestras de agallas que el tenía congeladas para ser utilizadas en otros análisis y que fueron colectadas en otras fechas y zonas de Xochimilco cercanas a las zonas de estudio del presente trabajo.

De esta forma tuvimos dos tipos de muestra, las de tejido subepitelial retirado de algunos de los ajolotes capturados en el presente estudio (Urrutia, 2003 y 2004) y las de agallas congeladas. En el primer caso a los ajolotes procedentes de los muestreos realizados en el presente estudio se les tomó una muestra de

tejido subepitelial de 1 cm² aproximadamente, utilizando tijeras de disección y retirando la piel para evitar la contaminación de la muestra. Una vez realizado el corte se les aplicó violeta de genciana y después fueron cuidados y monitoreados hasta su recuperación. Con este procedimiento se registró una mortalidad del 50% en los ajolotes utilizados para el análisis de isótopos.

Derivado del primer muestreo, se enviaron a análisis 140 muestras de las cuales 23 se desecharon por contener exceso de carbono, quedando 117 como resultado del muestreo del 2003. En el 2004 se colectaron 50 muestras, de las que se obtuvieron los resultados correspondientes.

8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES ISOTÓPICOS.

El análisis estadístico de los valores isotópicos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) se realizó con el paquete estadístico Sigma Stat (versión 3, año 2003) y consistió en establecer si existían diferencias significativas entre:

- a) Los datos de todas las muestras colectadas en 2003 y 2004, para lo cual se aplicó una prueba estadística de *t*. En el caso del ajolote, la comparación se hizo entre las muestras del 2002 y las de 2003, utilizando la misma prueba estadística y asumiendo que la única muestra de 2004 no tendría una variación significativa.
- b) Las cuatro regiones estudiadas, aplicándose el análisis de varianza de una vía (paramétrico) y el análisis de varianza por rangos o de Kruskal-Wallis, que es una prueba no paramétrica que no asume que las muestras procedan de una población con distribución normal. Ambos análisis prueban la hipótesis de que no hay diferencias entre grupos, pero no indican en donde radican esas diferencias, por lo que también se aplicaron procedimientos de comparación múltiple, como los métodos de Dunn y Holm-Sidak.
- c) Las muestras de agallas y tejido de ajolote, para lo que se utilizó también una prueba estadística de *t*.

Las dietas se determinaron conforme al método de modelos mixtos descritos por Phillips *et al.*, (2002, 2003, 2005). Las posibles presas se escogieron

con base en las referencias bibliográficas de los hábitos alimenticios de cada especie (Merritt y Cummins,1996; Shaffer,1989; FONDEPESCA,1987; Morales, 1991) y en los resultados del análisis de contenido estomacal realizado en este trabajo. El objetivo fue encontrar la mejor simulación posible de la dieta de cada depredador en cada región de estudio (A,B,C y D).

El análisis de dietas se realizó en base a los siguientes criterios, conforme los lineamientos establecidos por Phillips *et al.* (2002, 2003):

- a) Que la composición isotópica de las presas, esto es, que los valores isotópicos de carbono no sean similares a los del nitrógeno, pero que muestren poca variación entre sí.
- b) El modelo trabaja mejor si se utilizan tres fuentes (presas), que forman un polígono, donde la composición isotópica del depredador queda dentro del mismo y en algún punto cercano al de alguna presa. Si queda fuera del polígono puede deberse que se carece de los valores isotópicos de una presa importante o a que se ha usado un valor de fraccionamiento trófico incorrecto; si queda en medio, la contribución de cada presa a la dieta probablemente sea equivalente, pero la certidumbre disminuye.
- c) Que las opciones de alimentación fueran biológicamente posibles para cada depredador (ajolote, carpa y tilapia), tomando en cuenta que las muestras de los mismos procedían de individuos adultos.
- d) Aunque es factible el promediar organismos pertenecientes al mismo grupo funcional desde el punto de vista de hábitos alimenticios, es recomendable utilizar los valores isotópicos de un solo organismo, con el fin de disminuir la variabilidad isotópica de los resultados en las ecuaciones de balances de masa que se utilizan en el modelo mixto de Phillips *et al.* (2003,2005).

En principio se calcula el fraccionamiento isotópico para los valores de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) de cada muestra, el cual se estandarizó a $\pm 3\text{‰}$ para el ^{15}N y $\pm 1\text{‰}$ para el ^{13}C , teniendo como referencia el estudio de Vander Zanden y Rasmussen (2001) y de Post (2002). Para cada depredador en

cada región se hicieron las gráficas de todas las presas potenciales, de acuerdo a los hábitos alimenticios del depredador; de esta gráfica inicial se escogieron aquéllos organismos que tuvieran una mayor cercanía con el depredador en términos de hábitos alimenticios y de composición isotópica, tratando de formar un polígono con las presas que cumplieran las condiciones descritas en el párrafo anterior. Una vez determinado los posibles polígonos, se utilizó el programa de Isosource para modelos mixtos de más de dos fuentes (Phillips *et al.*, 2003, 2005), y se seleccionó el modelo que presentara los intervalos más estrechos de contribución de cada fuente. Puesto que la colecta generó relativamente pocas muestras, se decidió incluir el número mínimo de tres fuentes (presas) en la determinación de los polígonos.

RESULTADOS

1. Descripción de los sitios de estudio

Huetzali.- La zona de Huetzali (Fig. 4) está ubicada dentro del Parque Ecológico de Xochimilco (PEX), sus coordenadas son 19°17'12" de latitud Norte y 99°06'05" de longitud oeste; fue creada con fines recreativos y en cierto momento se pensó utilizarla como área de refugio para el ajolote. En esta estación se observó que las paredes de las chinampas no presentan desgajamientos en la mayor parte de su perímetro; se registró la presencia de vegetación acuática, principalmente emergente enraizada como lirio (*Eichhornia crassipes*), ninfas (*Nymphaea mexicana*) así como gran cantidad de insectos, en comparación con las estaciones de El Bordo y Japón, que son las más cercanas.

En el PEX existe un lago somero de menos de 1 m de profundidad, con un sustrato pedregoso, en el que el agua procede de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella; el aporte depende enteramente de la operación de la planta, por lo que no es continuo.

Alrededor de la laguna no existen asentamientos humanos y el ingreso a la misma es muy restringido; en la laguna la pesca y cualquier otra actividad ajena al

parque ecológico está prohibida, aunque en la práctica algunos pescadores entran ocasionalmente.

El Bordo.- Esta zona de muestreo comienza en la intersección que forma el canal de Cuemanco y la entrada al lago Huetzali (19°17'05" latitud Norte y 99°05'36" de longitud oeste), terminando en un recodo que conecta al canal Japón (19°16'53" de latitud Norte y 99°04'45" de longitud oeste) (Fig. 4). Su longitud es de 2.4 km y su profundidad varía entre 40 cm y 1 m, dependiendo de la época del año. Durante la época de secas (noviembre a marzo), quedaron al descubierto aproximadamente 60 cm de horizonte de las paredes de las chinampas. Debido a esta circunstancia, se pudo constatar el deterioro de las mismas ya que se encuentran socavadas, muy probablemente debido tanto a los hábitos de remoción del sustrato de las tilapias y las carpas como al tránsito constante de trajineras y lanchas de motor y a la remoción de la vegetación que proporcionaba sostén, lo cual ha ocasionado de forma crítica el desgajamiento de las chinampas. Asimismo la tala de árboles en las orillas de este canal fue considerable durante los casi dos años que se muestreó en la zona, contribuyendo al deterioro de las paredes de las chinampas. Uno de los efectos más perjudiciales de esta tala, es el azolve que ocasionan en los canales al no ser removidas las ramas y troncos que resultan de la poda.

En esta zona se observaron dos manchones importantes de macrófitas acuáticas, el primero hacia la mitad del canal compuesto por vegetación flotante, principalmente lirios (*Eichhornia crassipes*) y ninfas (*Nymphaea mexicana*) y al final del canal un manchón de tule (*Typha latifolia*), mismo que podan y que recurrentemente crece.

El canal es vía de paso hacia los canales ubicados en el centro de la zona chinampera, por lo que el tránsito de embarcaciones es constante. En dirección este del lado derecho se encuentran chinampas dedicadas a la agricultura. En el costado izquierdo en la misma dirección, los terrenos son parte de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENA), parte del parque ecológico y parte ejidales. De ese lado llegan camiones con desechos orgánicos de animales, cascajo, restos de podas, que depositan en la orilla. En este canal los

asentamientos humanos son mínimos y por lo tanto no hay prácticamente drenaje que llegue al canal; el aporte de materia orgánica es básicamente de tipo agrícola y de material vegetal, aunque en mucha menor cantidad que en el resto de las estaciones de muestreo.

Canal Japón.- Este canal es la continuación de El Bordo, mide entre 10 y 13 m de ancho con una longitud aproximada de 1.5 km y termina en forma de un recodo al llegar a la Av. Canal de Chalco; mantiene una profundidad promedio de 2 m y dentro de las estaciones muestreadas es de los canales con mayor profundidad (Fig. 4). Sus coordenadas son, en la intersección con El Bordo, N19°16'53.2", W99°04'41.3" y al final cerca de Av. Canal de Chalco, N19°16'46.3", W99°04'21.8".

En dirección sureste, del lado izquierdo se encuentran terrenos ejidales que fueron expropiados como parte de la Reserva Ecológica, que son depósito clandestino de cascajo. En esta orilla se observa una mayor cantidad de árboles y se aprecia a todo su largo que la pared presenta oquedades, desgajamientos y exposición de raíces. Del lado derecho en la misma dirección, se encuentra la cuenca lechera, en la cual se observa pasto en toda su orilla y áreas de tierra ensalitrada. En este lado no existe pared, ya que el terreno se encuentra al mismo nivel del agua; la vegetación arbórea es escasa pero si se observan manchones de tule. En temporada de lluvia el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) llega a cubrir el canal casi en su totalidad y personal de la delegación lo arrastra y deja amontonado al final del mismo. En esta zona se ha observado la formación de burbujas de gases con olor a metano, originadas probablemente por la descomposición de materia vegetal como son las macrófitas flotantes, el aporte de desechos procedentes de la cuenca lechera y la descomposición de las heces de tilapias, que en esta zona presentan la mayor densidad.

En este extremo de Xochimilco la afluencia de personas es escasa al igual que el paso de embarcaciones.

Laguna El Toro.- Esta estación se ubica entre el canal de la Draga y uno de los canales procedentes del embarcadero Fernando Celada (Fig. 4). En esta laguna confluyen cuatro canales, por lo que la circulación del agua es más

continua; su profundidad promedio es de 2m. Las coordenadas geográficas en el inicio del transecto, entrando por canal Nacional son 19°16'19" latitud Norte, 99°6'26", longitud oeste; el centro de la estación se ubica en 19°16'20" latitud Norte, 99°6'28" longitud oeste

En el centro de esta laguna se encuentra un islote y en todo su alrededor existen chinampas rodeadas de pequeños canales; las paredes de las chinampas se encuentran cubiertas de vegetación y con menor cantidad de oquedades. En sus orillas existe vegetación acuática emergente enraizada y flotante, como *Nymphaea mexicana* y *Eichhornia crassipes* presentando también gran diversidad de insectos acuáticos, según se pudo apreciar durante los muestreos para el análisis de isótopos. En las chinampas que rodean la laguna no existen asentamientos humanos, sin embargo, en las chinampas que se encuentran hacia el norte, si existe una concentración importante de viviendas; también se observan chinampas dedicadas al cultivo de hortalizas y flores, por lo que es probable que exista un aporte considerable de nutrientes orgánicos e inorgánicos. Esta zona es muy transitada ya que forma parte del recorrido turístico de las trajineras procedentes del embarcadero Fernando Celada.

Canal Celada.- Se trata de un ramal del canal principal que comienza a aproximadamente 300m del embarcadero Fernando Celada (19°16'11" latitud Norte, 99°06'21" longitud oeste) (Fig.4); en su parte final, en términos del muestreo, entronca con un canal que desemboca en la laguna El Toro (19°16'19" latitud Norte, 99°06'32" longitud oeste).

En esta zona el nivel del agua es bajo, entre 30 y 60 cm; varía considerablemente a lo largo del año. La corriente del agua fluye del canal Celada hacia la laguna El Toro y todos los drenajes de las viviendas que lo rodean drenan hacia el canal. En época de secas se pudo apreciar que las paredes de las chinampas a ambos lados del canal se encuentran muy desgastadas y presentan grandes oquedades. La vegetación riparia consiste en plantas de ornato, cultivos y algunos ahuejotes. La vegetación acuática consiste en un manchón pequeño de *Myriophyllum aquaticum* y *Eichhornia crassipes*. En toda su extensión que es de 800 m, se encuentran viviendas en un 90%, y una gran parte tiene el vertedero de

su drenaje hacia el canal. El tránsito de canoas, trajineras y lanchas de motor es constante.

Costetexpan.- Este canal se encuentra ubicado al final del canal Cuemanco, entre el canal Ampampilco y Chicoco ($19^{\circ}16'27''$ latitud Norte, $99^{\circ}5'42''$ longitud oeste), donde comienza el transecto de estudio, y llega hasta la localidad "El Castillo", donde termina ($19^{\circ}15'55''$ latitud Norte, $99^{\circ}5'57''$ longitud Oeste) (Fig. 4). Su profundidad es de 1m aproximadamente y al parecer no varía mucho a lo largo del año, ya que en la época de secas se observó poca disminución del nivel del agua en el canal. Aunque las paredes de las chinampas aparentemente se encuentran cubiertas de vegetación, las oquedades son importantes, pudiendo ocasionar su desgajamiento. La vegetación en las orillas se compone en general de ahuejotes (*Salix bonplandiana*), plantas de ornato, pasto y casuarinas (*Casuarina equisetifolia*). La vegetación acuática es escasa, destacando algunos manchones de *Myriophyllum aquaticum*. A lo largo de esta estación observamos viviendas, terrenos agrícolas y ganaderos, por lo que se esperaría que el aporte de materia orgánica sea considerable. Aunque no forma parte de los recorridos turísticos, el tránsito de las canoas de los habitantes de esta zona es constante.

Puente de Urrutia.- Se encuentra ubicado al final del canal Apatlaco y está separado de éste por un camino de terracería, antes canal, y un puente que permitía el acceso a las chinampas de San Gregorio (Fig. 4). En este punto las coordenadas son $19^{\circ}15'34.7$ de latitud Norte y $99^{\circ}04'15''$ de longitud oeste; el punto final del transecto de muestreo en esta estación se ubica en las coordenadas $19^{\circ}16'21''$ de latitud Norte y $99^{\circ}06'28''$ de longitud oeste. El canal mide 500 m de largo por 6 m de ancho y su profundidad es de entre 1.5 y 1.8 m. Aunque en esta parte del canal, aparentemente no existe comunicación abierta con la zona chinampera de Xochimilco, es probable que haya alguna entrada de agua subterránea lo suficientemente grande como para permitir el paso de las especies introducidas, como carpa y tilapia, o bien posiblemente procedan de la región de San Gregorio, ya que esta zona de estudio se ubica en el extremo final de la misma.

A ambos costados del canal existen invernaderos en los que se utiliza abono orgánico de caballo principalmente y aunque existen viviendas cercanas, es probable que estén conectadas a una red de drenaje, ya que no se observan tubos de salida, aunque también es posible que existan. En esta estación la altura de las paredes de las chinampas mide un metro aproximadamente hasta la superficie del agua y se encuentran en buen estado sin que se aprecien hoyos o desgajamiento. El canal está rodeado de ahuejotes (*Salix bonplandiana*) de gran tamaño y existe vegetación acuática sumergida como la cola de zorro (*Ceratophyllum demersum*) y la lama (*Potamogeton pectinatus*), ambas endémicas de Xochimilco. También se observa hacia el final del canal un pequeño manchón de lirio (*Eichhornia crassipes*) que normalmente permanece en esa zona todo el año, no así la lentejilla (*Lemna gibas*) que durante la época de lluvia invade casi todo el canal. Hacia la mitad del canal existe una entrada de agua que llega con mucha presión y es probable que sea agua tratada. En esta zona en especial se puede apreciar bien el fondo del canal. De acuerdo a los pescadores ese tipo de sedimento es de buena calidad para la chinampería.

En esta región de Xochimilco, los habitantes no son pescadores sino que se dedican principalmente al cultivo de hortalizas y flores, por lo que el canal tiene menos presión de pesca que en el resto de las estaciones muestreadas, aunque algunas veces se observó personas pescando con anzuelo y en los lances salían frecuentemente hilos de pesca. El tránsito en el canal no es intenso en comparación con las demás estaciones muestreadas.

En este canal se aprecia una diferencia en las características físicas del sedimento, en comparación con el resto de las zonas de estudio, ya que el color es más claro y la textura es más limosa. Sin embargo, estas apreciaciones necesitan ser corroboradas científicamente.

2. Densidad de ajolote, carpa y tilapia

Durante el período de muestreo de septiembre de 2002 a abril de 2004, se efectuaron 949 lances de atarraya, con una cobertura de 25,072.6 m² (26.42 m²/lance). El área muestreada solo es indicativa y no es posible compararla con el

área total de los canales de Xochimilco debido a que el muestreo se realizó repetidamente en las mismas estaciones. En promedio el esfuerzo de pesca realizado en cada sitio de estudio fue de 135 lances, con una desviación estándar de 34 lances, debida principalmente a la presencia de lirio o de lemna que impedía el uso de la atarraya. Los resultados de la densidad de ajolote, carpa y tilapia a lo largo del periodo de estudio se presentan en número de individuos por metro cuadrado y en la tabla 2 se puede consultar el sitio y la fecha de colecta así como el peso húmedo correspondiente. Las densidades totales para cada especie son: para ajolote, 0.0012 ind/m^2 (0.063 g/m^2); para carpa, 0.031 ind/m^2 (5.11 g/m^2) y para tilapia 0.11 ind / m^2 (30 g/m^2). En la Fig. 6 se muestra proporcionalmente la diferencia en la densidad (ind/m^2) de las tres especies.

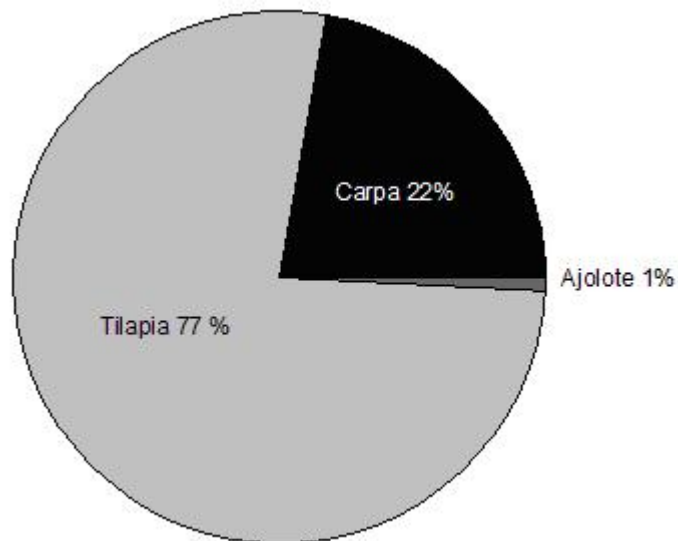


Fig. 6 Proporción de las especies introducidas en relación al ajolote, a partir de datos de densidad (ind/m^2).

ESTACIÓN	FECHA	CARPA		TILAPIA		AJOLOTE	
		Número de Individuos	Peso húmedo (kg)	Número de Individuos	Peso húmedo (kg)	Número de Individuos	Peso húmedo (kg)
Huetzali	13-Sep-02	12	1.07	143	6.78	0	-
	26-May-03	14	7.74	116	8.99	1	0.030
	09-Jun-03	19	15.88	153	20.10	0	-
	13-Jun-03	20	3.29	217	11.06	0	-
El Bordo	20-Sep-02	30	2.83	115	4.85	0	-
	11-Oct-02	40	11.34	34	3.40	0	-
	20-Nov-02	16	2.45	32	0.64	0	-
	06-Dic-02	15	1.25	23	1.91	0	-
Japón	06-Feb-03	15	1.47	30	3.12	0	-
	21-Feb-03	128	13.61	123	12.53	0	-
	14-Jul-03	10	0.47	125	519.95	0	-
El Toro	07-Ago-03	12	0.73	113	2.94	0	-
	25-Sep-02	17	1.57	54	2.39	0	-
	22-Nov-02	11	0.92	15	2.88	0	-
	05-Feb-03	24	9.29	46	5.11	0	-
Celada	19-May-03	90	12.91	275	11.91	0	-
	14-Feb-03	17	1.88	287	11.15	0	-
	22-Feb-03	72	8.74	50	64.47	2	0.180
Costetexpan	14-May-03	65	8.05	102	3.47	0	-
	07-Feb-03	42	5.17	90	9.53	0	-
	15-Abr-03	79	10.64	48	4.69	0	-
Puente de Urrutia	20-Oct-03	23	2.69	488	30.72	0	-
	25-Oct-02	0	0.00	3	1.17	1	0.122
	07-Mar-03	7	3.84	17	4.81	1	0.110
	16-Jun-03	1	0.06	1	0.07	14	0.558
	12-Sep-03	1	0.18	10	2.78	6	0.391
	02-Abr-04	0	0.00	0	0.00	4	0.178

Tabla 2. Organismos de carpa, tilapia y ajolote, colectados durante el periodo de muestreo en las zonas de estudio.

Atendiendo al sitio de estudio (Fig. 7), la densidad (ind/m²) de tilapia fue mayor en Huetzali con 0.025 ind/m², mientras que la carpa presenta una distribución más homogénea en todas las estaciones con 0.005 ind/m² en promedio, a excepción de Puente de Urrutia, donde se capturaron 0.0004 ind./m². Con respecto al ajolote, es clara su predominancia en la estación Puente de Urrutia, donde se encontró la mayor cantidad de ajolotes durante el periodo de muestreo: 26 individuos (0.001 ind./m²). En Huetzali se capturó un individuo

(0.00004 ind./m²), el cual presentó talla y peso bajo (14.5 cm y 30 g) y problemas de hongos en la piel y en Celada dos individuos (0.0001 ind./m²); el primero de 20 cm y 80 g y el segundo de 21.5 cm y 100 g.

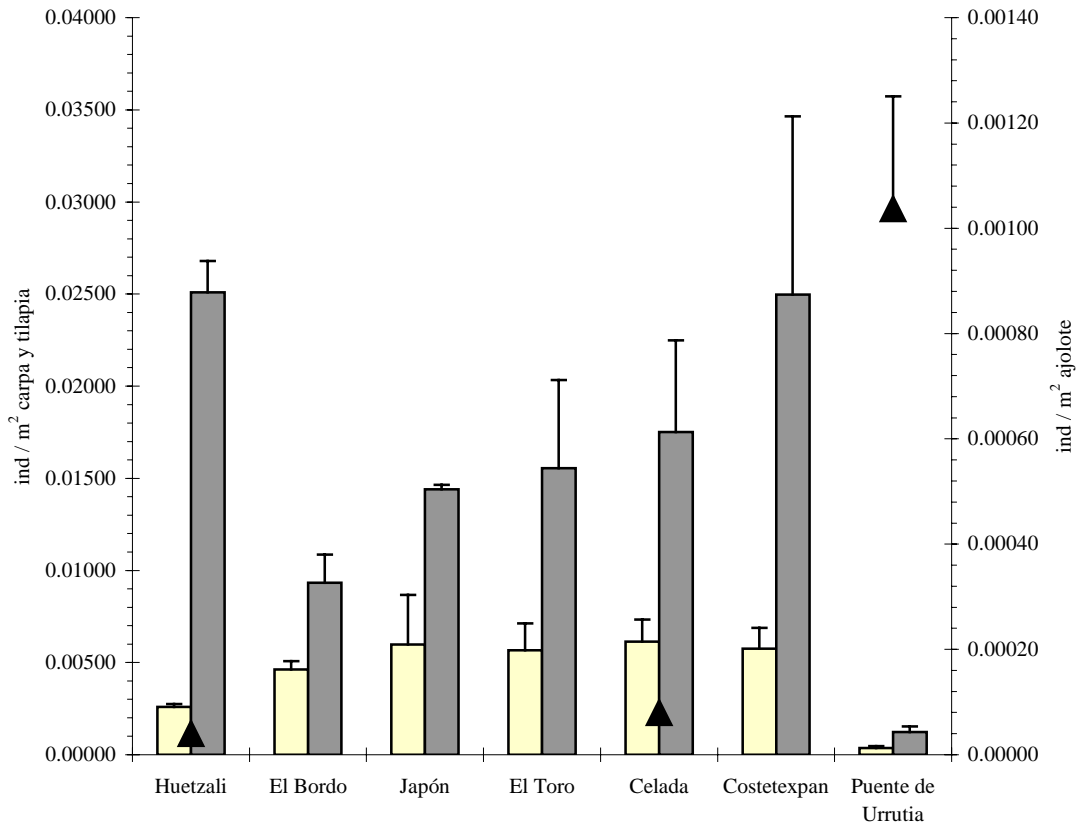


Fig. 7 Densidad (no. de individuos / m²) de ajolote, carpa y tilapia, en las zonas de estudio, con datos de septiembre de 2002 a abril 2004. Los datos de tilapia se presentan en gris, los de carpa en blanco y con triángulos negros, los de ajolote.

En la figura siguiente (8) se presenta la densidad (ind/m²) de las poblaciones de ajolote, carpa y tilapia durante el periodo de muestreo (septiembre 2002 a abril 2004) y su fluctuación en el tiempo. Se deben tener en cuenta dos consideraciones en el análisis de ésta figura; la primera es que el esfuerzo de colecta no fue constante durante todo el periodo de muestreo, por lo que ésta gráfica solo indica una tendencia general, y la segunda es que no se está evaluando una tendencia natural, puesto que la pesca constante sobre el recurso

pesquero (carpa y tilapia) interfiere fuertemente en su comportamiento. No obstante, se aprecia claramente que la tilapia se ha establecido como especie invasora predominando sobre la carpa en gran parte de la zona chinampera de Xochimilco.

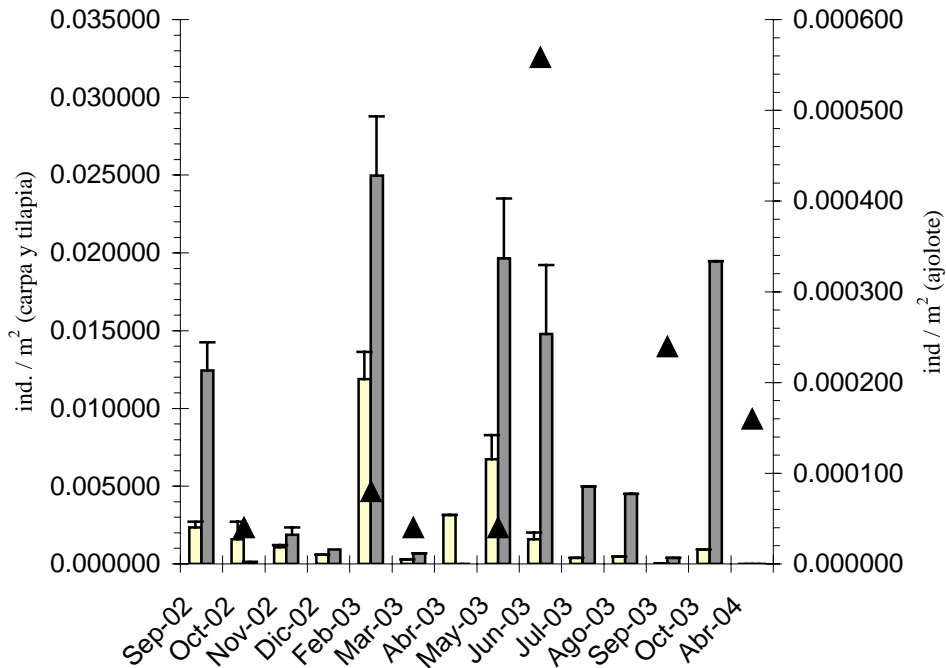


Fig. 8 Variación en el periodo de muestreo, de las poblaciones de ajolote, carpa y tilapia en número de individuos / m². Los datos de tilapia se presentan en gris, los de carpa en blanco y con triángulos negros, los de ajolote.

Los resultados sobre la densidad de especies nos muestran una población de ajolote sumamente reducida (0.012 ind/m²) y aislada de la zona chinampera y turística de Xochimilco. Las poblaciones de carpa y tilapia, en cambio, presentan una distribución amplia y relativamente homogénea. La población de tilapia muestra una densidad constante en comparación con la de la carpa, a pesar de que el esfuerzo pesquero se ejerce con mayor presión sobre la primera.

En cuanto a otras especies presentes en los canales de Xochimilco, éstas no se evaluaron cuantitativamente, pero podemos mencionar a *Xiphophorus helleri* (pez cola de espada, introducido), que predominó en el canal Costetexpan; a *Chirostoma jordani* (charal), presente en todos los canales; a *Godea atripinnis*

(chehua), cuya captura varió por zona y temporada y a *Heterandria bimaculatus*, especie introducida presente también en la mayoría de los canales. Particularmente en Puente de Urrutia la cantidad de peces pequeños como aterínidos, poecílicos y godeidos, colectada durante los lances, fue comparativamente mayor que en el resto de las estaciones de muestreo.

3. Relación de la densidad con los parámetros físico-químicos

El análisis estadístico de los datos registrados de los parámetros físico-químicos (Tabla 3) para encontrar diferencias significativas entre los sitios de estudio, realizados con pruebas de ANOVA y Kruskal-Wallis (Sigma Stat ver. 3.0, 2003), denotó que solo para las variables de pH ($P = <0.001$), turbidez ($P = <0.001$) y oxígeno disuelto ($P = 0.039$), si se presentan diferencias (Tabla 4).

		Huetzali	Bordo	Japón	El Toro	Celada	Costetexpan	Urrutia
Temperatura	<i>media</i>	20.09	17.17	18.16	16.88	17.25	18.68	18.01
	°C							
	<i>desv. estándar</i>	2.39	2.37	2.73	3.94	2.98	1.92	1.64
Conductividad	<i>mediana</i>	0.80	0.89	0.88	1.05	0.96	0.86	1.00
	mS/cm							
O.D.	<i>mediana</i>	5.95	7.66	6.11	8.64	5.70	4.07	2.58
	mg/l							
pH	<i>media</i>	9.45	9.23	8.84	8.21	7.93	7.68	7.74
	<i>desv. estándar</i>	0.61	0.61	0.66	0.41	0.28	0.30	0.61
Salinidad	<i>media</i>	0.40	0.42	0.45	0.54	0.48	0.45	0.53
	PSS							
	<i>desv. estándar</i>	0.11	0.01	0.05	0.12	0.04	0.06	0.09
Sat. oxígeno	<i>media</i>	74.10	76.89	78.26	77.08	77.83	42.76	26.93
	%							
	<i>desv. estándar</i>	42.49	38.46	5.46	29.82	44.28	19.53	8.39
Turbidez	<i>media</i>	130.04	80.54	41.19	53.56	54.10	28.25	17.21
	UNT							
	<i>desv. estándar</i>	42.73	41.75	12.50	11.81	25.09	13.16	5.39

Tabla 3. Descripción estadística de los datos registrados entre septiembre de 2002 y abril de 2004 en cada zona de estudio.

Parámetro F.Q.	Con diferencia significativa	Sin diferencia significativa
Temperatura °C ¹		P = 0.531
Conductividad mS/cm ²		P = 0.248
O.D. mg/l ²	P = 0.039	
PH ¹	P = <0.001	
Salinidad PSS ¹		P = 0.070
Sat. Oxígeno % ¹		P = 0.055
Turbidez UNT ¹	P = <0.001	

Tabla 4. Parámetros físico-químicos con diferencia significativa entre las regiones de estudio. Análisis utilizado: ¹ ANOVA; ² Kruskal- Wallis.

Huetzali y El Bordo presentan un valor de pH más alto al registrado en Celada, El Toro, Costetexpan y Urrutia, mientras que con el canal Japón no hay una diferencia significativa. Asimismo, en Huetzali y El Bordo se presentan valores más altos de turbidez, en comparación con el resto de las estaciones de muestreo (Tabla 5). En cuanto al oxígeno disuelto, se aplicó la prueba de Dunn para comparación múltiple con número de muestras desigual, con el fin de denotar las estaciones de muestreo que son diferentes (SigmaStat ver3.0, 2003), sin embargo, debido a que el tamaño de los tratamientos es desigual no fue posible determinarla.

pH					
Comparación entre sitios ¹	Dif. de Medias	t	P no ajustada	Nivel crítico	Significativo?
Huetzali vs. Urrutia	1.712	5.452	0	0.002	Sí
Huetzali vs. Costetexpan	1.77	5.399	0	0.003	Sí
Bordo vs. Costetexpan	1.543	4.437	0	0.003	Sí
Bordo vs. Urrutia	1.485	4.436	0	0.003	Sí
Huetzali vs. Celada	1.525	4.383	0	0.003	Sí
Huetzali vs. El Toro	1.249	3.59	0.001	0.003	Sí
Bordo vs. Celada	1.298	3.539	0.002	0.003	Sí
Turbidez					
Comparación entre sitios ¹	Dif. de Medias	t	P no ajustada	Nivel crítico	Significativo?
Huetzali vs. Urrutia	112.829	7.22	0	0.002	Sí
Huetzali vs. Costetexpan	101.792	6.236	0	0.003	Sí
Huetzali vs. Japón	88.847	4.714	0	0.003	Sí
Huetzali vs. El Toro	76.48	4.417	0	0.003	Sí
Huetzali vs. Celada	75.939	4.386	0	0.003	Sí
Bordo vs. Urrutia	63.322	3.801	0.001	0.003	Sí

Tabla 5. Sitios de estudio diferentes en valores de pH y turbidez. Análisis de comparación múltiple con el método Holm-Sidak¹

El análisis conjunto de los datos de densidad de ajolote, carpa y tilapia y los de los parámetros físico-químicos registrados durante el período de muestreo, tiene como finalidad cumplir con los objetivos planteados para el presente trabajo, referentes a determinar, por una parte, si la presencia de ajolote está relacionada con la presencia / ausencia de especies introducidas (carpa y tilapia) en las zonas estudiadas de los canales de Xochimilco, y por otra a determinar si existe relación entre la presencia/ausencia del ajolote y de las especies introducidas, con algún parámetro físico-químico del medio acuático.

Para cumplir con dichos objetivos se utilizó la técnica multivariante de análisis de redundancia, utilizando el paquete Brodgar (Highland Statistics, 2005a). Debido a que las mediciones de los valores físico-químicos no se realizaron homogéneamente en todas las estaciones y a la disparidad en los valores de densidad de la población de ajolote en comparación con las de carpa y tilapia, los datos no cumplían con los requisitos para la aplicación de una técnica de análisis paramétrico. El análisis de redundancia, sin embargo, permite establecer relaciones lineales entre valores métricos (valores físico-químicos) y categóricos (presencia-ausencia de especies), mediante la reiteración del algoritmo utilizado en el análisis de componentes principales (Highland Statistics, 2005b).

Para la aplicación de este análisis se eliminaron los datos de saturación de oxígeno (%) y salinidad (PSS), ya que presentaron colinearidad con el oxígeno disuelto (mg / l) y conductividad (mS/cm).

El paquete estadístico Brodgar (Highland Statistics, 2005a), normaliza y transforma los datos a fin de homogeneizarlos para su correcto análisis conjunto e independiente de las unidades de medición de cada parámetro.

El resultado del análisis de redundancia muestra las relaciones entre las especies en estudio, los parámetros físico-químicos y los puntos de muestreo. En color verde se muestran las variables físico-químicas y en color negro las especies (Fig. 9).

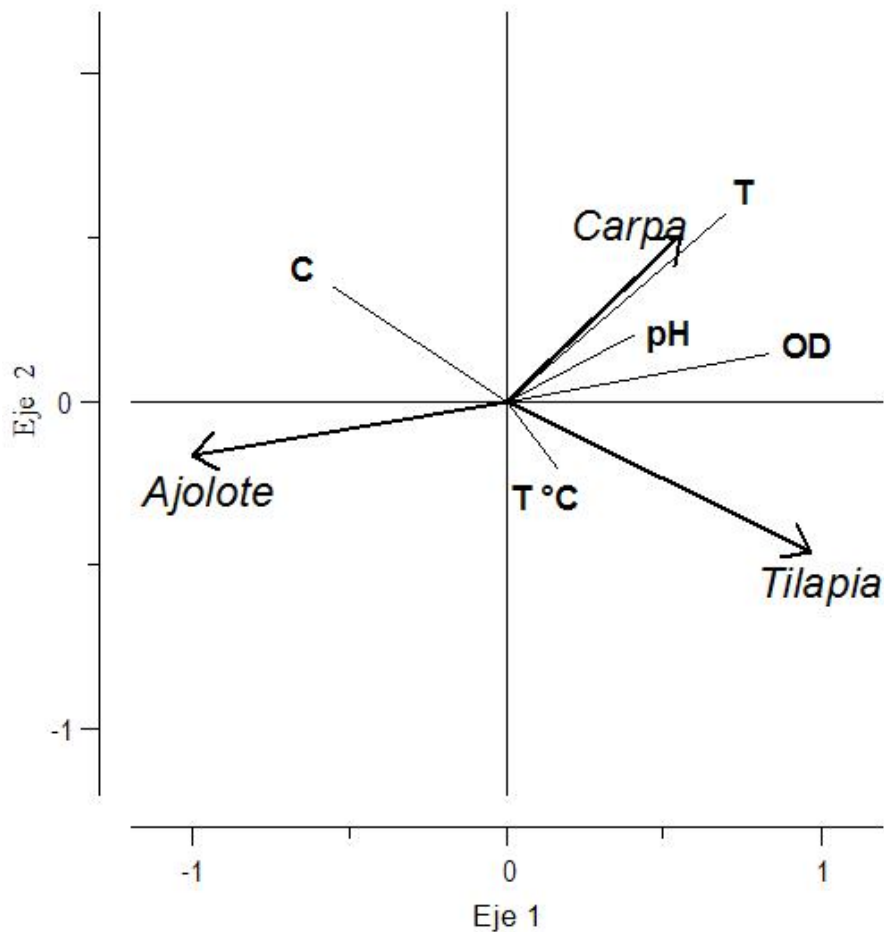


Fig. 9 Análisis de redundancia de las especies introducidas y el ajolote con los parámetros físico-químicos (C, conductividad; T, turbidez; OD, oxígeno disuelto; T°C, temperatura) .

Las variables físico-químicas más importantes, de acuerdo a la extensión de las líneas son, la turbidez, el oxígeno disuelto y la conductividad. La turbidez y el oxígeno disuelto están altamente correlacionadas entre sí. La conductividad, en cambio, no presenta correlación con la turbidez y el oxígeno disuelto. En cuanto a las especies, el ajolote presenta una correlación negativa con la carpa y la tilapia mientras que al parecer entre las especies introducidas no existe relación, ni positiva ni negativa. La relación entre las variables físico-químicas y las especies indica que la carpa presenta una estrecha relación con la turbidez y en menor intensidad con el oxígeno disuelto, mientras que la tilapia se correlaciona con la temperatura aunque no de forma importante, dado que la línea de esta variable

tiene una longitud menor a 0.5 (Highland Statistics, 2005b). El ajolote presenta cierta relación con la conductividad, lo que sugiere cierta afinidad a los sitios con mayor concentración de iones (Ca, Mg, Na, K, HCO_3^- , $\text{CO}_3^{=}$, $\text{SO}_4^{=}$ y Cl) en el agua.

En cuanto al resultado numérico del análisis, en la Tabla 6, se muestra que los primeros dos ejes explican el 96.6% de la variación en los datos que puede ser explicada con todas las variables físico-químicas. Sin embargo, el eigenvalor como porcentaje acumulado de la variación total da un valor de 32.7%. , por lo que los parámetros físico-químicos evaluados no son suficientes para explicar completamente la relación entre las especies y las variables del medio físico. Existe por lo tanto, algún otro factor del medio físico, que está afectando también la presencia / ausencia de las especies en la zona de estudio.

	Eje 1	Eje 2
Eigenvalue.	0.267	0.060
E. como % de la variación total	26.687	5.952
E. como % acumulado de la variación total.	26.687	32.638
E. como % de la suma de todos los eigenvalores canónicos.	78.987	17.616
E. como % acumulado de todos los e. canónicos.	78.987	96.603

Tabla 6 . Resultado numérico del análisis de redundancia de acuerdo al paquete estadístico Brodgar, 2005.

4. Relaciones alimenticias entre el ajolote y las especies introducidas.

En este apartado se combinaron las técnicas de análisis de estrategia alimenticia y de isótopos para conocer la amplitud del nicho alimenticio, e identificar de forma más precisa, los componentes de la dieta de cada especie.

De las carpas, tilapias y ajolotes capturados en las colectas, se separaron 161 individuos de diversos tamaños de carpa y tilapia y 12 individuos de ajolotes (Tabla 7) y se analizó el contenido estomacal.

Contenido Estomacal	Carpa	Tilapia	Ajolote
Materia vegetal	0.66	0.58	0.73
Materia orgánica	0.41	0.81	0.73
Insectos	0.51	0.25	0.82
Crustáceos	0.14	0.02	0.36
Peces	0.05	0.12	0.64
Zooplancton	0.16	0.08	0.55
Ajolote	0.11	0.08	0.00
Otros	0.05	0.00	0.27

Tabla 7. Organismos de carpa, tilapia y ajolote colectados para análisis de contenido estomacal.

La frecuencia de presencia de una presa en el estómago de un depredador (Tabla 8) se graficó con la abundancia presa-específica expresada en porcentaje (Tabla 9) de acuerdo al método de Amundsen (1996) y se obtuvieron las gráficas de abundancia de presas por especie: carpa (Fig. 10), tilapia (Fig. 11) y ajolote (Fig. 12).

Contenido Estomacal	Carpa	Tilapia	Ajolote
Materia vegetal	0.66	0.58	0.73
Materia orgánica	0.41	0.81	0.73
Insectos	0.51	0.25	0.82
Crustáceos	0.14	0.02	0.36
Peces	0.05	0.12	0.64
Zooplancton	0.16	0.08	0.55
Ajolote	0.11	0.08	0.00
Otros	0.05	0.00	0.27

Tabla 8. Frecuencia de la presencia de las presas en cada especie.

Contenido Estomacal	Carpa	Tilapia	Ajolote
Materia vegetal	41.49	58.34	0.17
Materia orgánica	17.38	82.50	0.12
Insectos	86.86	10.21	2.93
Crustáceos	97.35	1.83	0.82
Peces	79.68	14.37	5.95
Zooplankton	93.71	5.95	0.34
Ajolote	44.07	55.93	0.00
Otros (sanguijuelas, vidrios, etc).	74.90	0.00	25.10

Tabla 9. Abundancia presa-específica para carpa, tilapia y ajolote.

En el caso de la carpa (*Cyprinus carpio*), el análisis (Fig. 10) muestra que la población es especialista en insectos y muchos individuos se alimentan de crustáceos (*Hyalella azteca* y *Caesiodotea sp.*), zooplankton, peces y sanguijuelas mientras que algunos individuos se han alimentado de ajolote. La ingestión de materia vegetal y orgánica corresponde al sustrato donde se alimenta. Las carpas que presentaron restos de ajolote fueron capturadas en Celada, en febrero de 2003; en Japón, en febrero y julio de 2003 y en Urrutia en marzo de 2003. En el caso de Japón no existe registro ni avistamiento de ajolote, pero en Celada y Urrutia si coincide con la captura de ajolote en las mismas fechas.

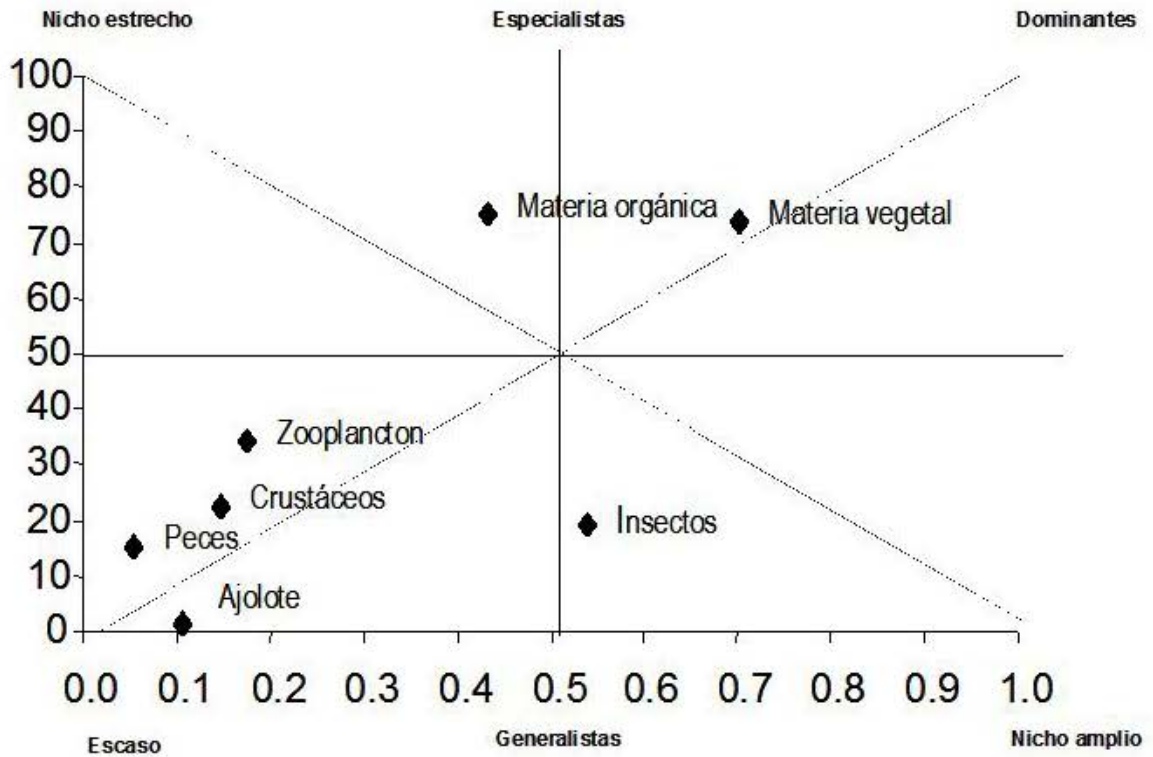


Fig.10 Abundancia de las presas en el contenido estomacal de la carpa en Xochimilco.

La población de tilapia (Fig. 11) prefiere el consumo de materia orgánica (detritus) y materia vegetal (algas y tejido fibroso de macrófitas). Algunos individuos se alimentan de ajolote y en menor proporción de peces, insectos, zooplankton y crustáceos (anfípodos e isópodos).

Las tilapias que presentaron contenido estomacal con restos de tejido graso de ajolote fueron capturadas en El Bordo, en septiembre de 2002; en Celada en febrero de 2003 y en Urrutia en Marzo de 2003. En El Bordo se avistó un ajolote en la fecha en que se capturó la tilapia y en Celada y Urrutia se capturaron ajolotes en las mismas fechas de captura de las tilapias. No obstante, es importante señalar que la identificación de ajolote en las muestras de contenido estomacal de tilapia no se puede considerar definitiva, ya que el contenido estomacal de la tilapia es muy difícil de analizar debido al grado tan fino de digestión.

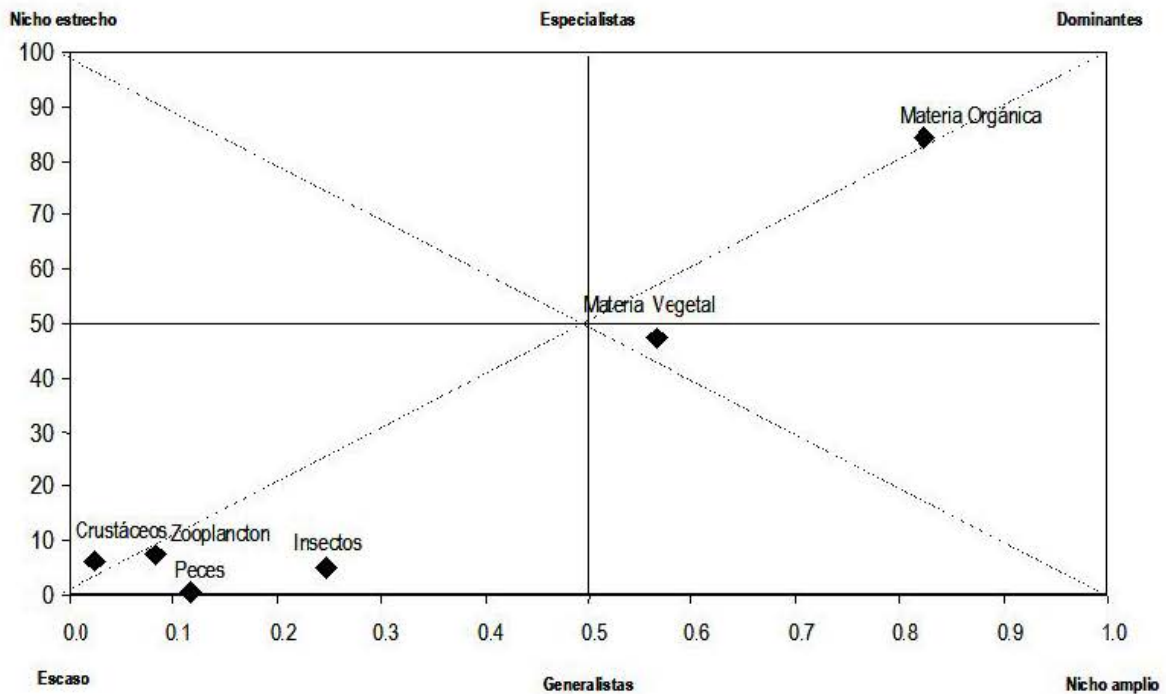


Fig. 11. Abundancia de las presas en el contenido estomacal de la tilapia en Xochimilco.

En cuanto al ajolote, el análisis (Fig. 12) muestra una población carnívora generalista, con una mayor frecuencia de consumo de insectos, peces, zooplankton y crustáceos en orden de importancia así como cierta preferencia por la sanguijuela. La ingestión de materia orgánica y vegetal se considera que está relacionada con el sustrato donde se alimenta. La poca abundancia de presas se relaciona directamente con la escasa cantidad de ajolotes muestreados debido a la baja densidad de la población.

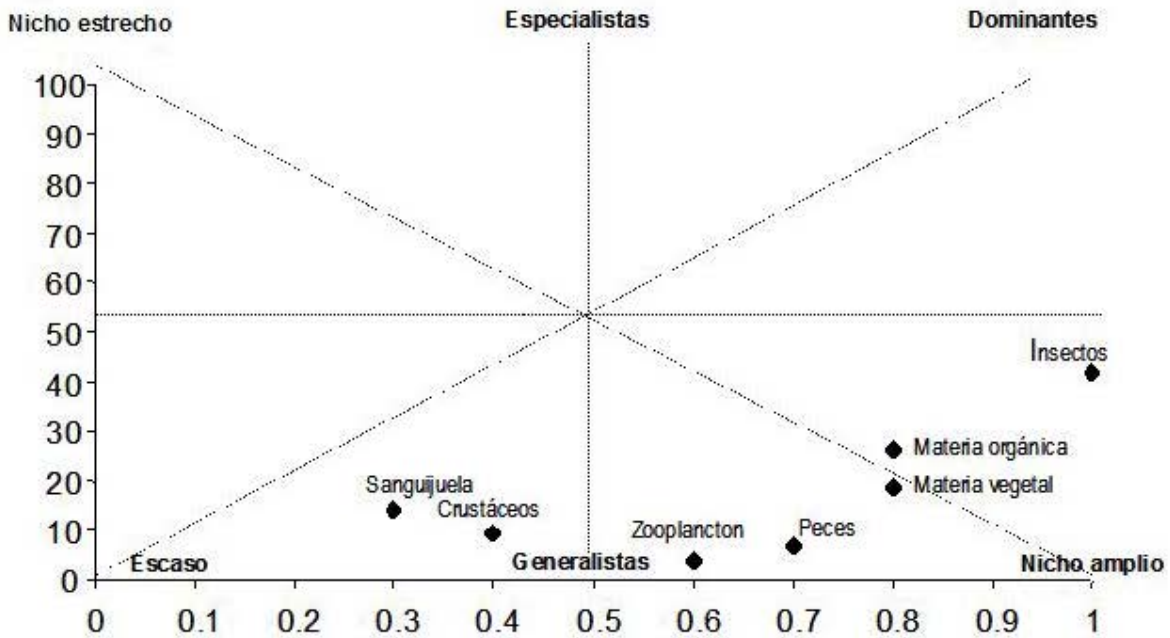


Fig. 12. Abundancia de las presas en el contenido estomacal de ajolote en Xochimilco.

De acuerdo al análisis de la estrategia alimenticia a nivel poblacional, podemos afirmar que tanto la carpa como la tilapia son depredadores del ajolote. En términos de competencia y en base a los organismos observados en el análisis del contenido estomacal, la carpa se alimenta de muchas presas potenciales también para el ajolote, debido al nicho donde se encuentran, como son la orilla de los canales y las raíces de macrófitas. La tilapia al parecer prefiere alimentarse en la zona media y béntica de la columna de agua, ya que su tendencia como población es a consumir materia vegetal y detritus.

El estudio sobre isótopos estables aplicado a la carpa, tilapia y ajolote en algunos canales de Xochimilco nos permitió obtener una aproximación zonificada y más precisa de la dieta y de las relaciones alimenticias existentes entre las especies en estudio. La totalidad de los invertebrados que se utilizaron en el análisis de isótopos estables, proceden de la zona litoral de los canales, esto es, de raíces de pasto y de macrófitas. En relación al sedimento, no se encontraron macroorganismos en ninguna de las muestras analizadas.

El análisis estadístico previo de los valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ del universo de organismos para determinar si se presentaban diferencias significativas entre: a) los años de muestreo, 2003 y 2004; b) las regiones de estudio (A, B, C y D) y c) las muestras de agalla y el tejido subepitelial de los ajolotes, generó los siguientes resultados.

Las diferencias significativas observadas entre las muestras del año 2003 y del año 2004 (Tabla 10), denotaron que únicamente las firmas isotópicas de nitrógeno del isópodo *Caesidotea* y del insecto del género *Odonata* fueron diferentes ($p < 0.05$). Partiendo del supuesto de que en Xochimilco el aporte de materia orgánica es similar durante todo el año, se decidió promediar las firmas isotópicas de las muestras de ambos años a excepción de las de *Caesidotea* y *Odonata*, las cuales se analizaron con la firma isotópica original. Aquéllos organismos colectados solo en un año se analizaron en conjunto con el resto de los datos.

ORGANISMO ISÓTOPOS	Con diferencia		Sin diferencia		Años comparados (<i>n</i>)	Método de análisis	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$		$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
A. mexicanum			P= 0.305	P= 0.078	2002(4); 2003 (6); 2004 (2)	a	a
H. azteca			P= 1.0	P= 0.339	2003 (4); 2004 (2)	b	a
<i>Caesidotea</i> spp.		P= 0.045	P= 0.800		2003 (3); 2004 (2)	b	a
C. montezumae			P= 0.600	P= 0.392	2003 (2); 2004 (5)	a	a
<i>Physa</i> spp.			P= 0.650	P= 0.226	2003 (2); 2004 (3)	a	a
<i>Odonata</i> spp.		P= 0.023	P= 0.064		2003 (4); 2004 (5)	a	a
<i>Chironomidae</i> spp.			P= 0.115	P= 0.200	2003 (2); 2004 (3)	a	b

Tabla 10. Diferencias significativas de organismos colectados en 2002, 203 y 2004, para el análisis de isótopos estables. Nota: a = ANOVA; b = Kruskal-Wallis

En cuanto al análisis comparativo entre las regiones, de los isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) para los organismos estudiados (Tablas 11 y 12), se encontró que para carpa los isótopos de $\delta^{13}\text{C}$ son significativamente diferentes entre las regiones A y C, mientras que los isótopos de $\delta^{15}\text{N}$ son significativamente diferentes entre las regiones A y B así como C y B. También el acocil (*C. montezumae*) y los insectos *odonata* presentaron firmas isotópicas diferentes para $\delta^{15}\text{N}$ en el caso del acocil, y para $\delta^{13}\text{C}$ en el caso de *odonata*, entre las regiones A

y C. El resto de los organismos no presentaron diferencias significativas entre las regiones estudiadas.

ORGANISMO	Con diferencia		Sin diferencia		Regiones comparadas (n)	Sin datos	Método de análisis	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$			$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
<i>A. mexicanum</i>			P=0.922	P=0.056	A (2); B (3); C (6); C (1)		b	a
<i>C. carpio</i>	P=0.002	P=0.008			A (5); B (4); C(3)	D	b	a
<i>O. niloticus</i>			P=0.862	P=0.787	A (9); B (5); D (3)	C	b	a
<i>H. azteca</i>			P=0.300	P=0.800	A (3); B (1); C(2)	D	a	b
Caesidotea sp.			P= 0.200	P= 0.867	B (1); C (2); D (2)	A	b	b
<i>C. montezumae</i>		P= 0.006	P= 0.100		A (3); C (3)	B y D	b	a
Physa sp.			P= 0.333	P= 0.867	B (2); C (1); D (2)	A	b	b
Odonata	P=0.036			P= 0.556	A (3); B (3); C (3)	D	a	a
Chironomidae sp.			P= 0.169	P= 1.0	A,B y D (3); C (2)		a	b
Hemíptera			P= 0.200	P= 0.200	A (2); B (1); D (2)	C	a	b
Hyluridae						s/r		
Tipulidae						s/r		
Corixidae						s/r		
Coleóptera						s/r		
Fitoplancton						s/r		
Zooplancton						s/r		
Rotíferos						s/r		

Tabla 11. Diferencias significativas entre organismos colectados en las regiones de estudio. Notas: a= ANOVA; b= Kruskal-Wallis. Sin resultados (s/r): las muestras colectadas fueron insuficientes.

ORGANISMO	Regiones con diferencia significativa		p y Método de Análisis	
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
<i>Cyprinus carpio</i>	A vs. C	A vs. B y C vs. B	0.002 (a)	0.003 y 0.018 (b)
<i>C. montezumae</i>		C vs. A		0.006 (b)
Odonata	A vs. C		0.024 (b)	

Tabla 12. Regiones con diferencia significativa en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y de $\delta^{15}\text{N}$ para carpa, acocil y odonata. (a) Dunn; (b) Holm-Sidak.

La diferencia entre las regiones A y C se puede deber a que en la región A las firmas isotópicas de carbono resultaron ser diferentes para fitoplancton, zooplancton y sedimento en comparación con el resto de las estaciones de muestreo (Fig. 13). Esta diferencia necesita ser confirmada en estudios posteriores con un mayor número de muestras. No obstante, este resultado es

importante porque nos indica que en la región A (laguna Huetzali, canal El Bordo y canal Japón), la base de la estructura trófica parte de componentes orgánicos distintos al del resto de la zona chinampera de Xochimilco. Las diferencias entre las firmas isotópicas de nitrógeno para carpa y acocil, podrían deberse a una variación estacional en la oferta de organismos preferidos por estas especies (Tabla 12).

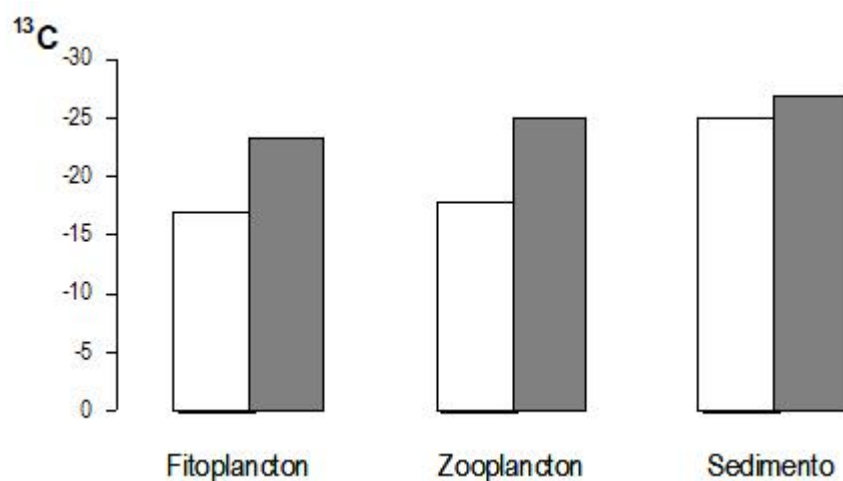


Fig. 13 Valores comparativos de ^{13}C entre productores primarios y sedimento de las regiones A (color blanco) y B, C y D, (color gris).

El último análisis previo de datos, referente a la diferencia entre las muestras de agallas y tejido subepitelial de ajolote, señala que no existen diferencias significativas para $\delta^{13}\text{C}$ ni para $\delta^{15}\text{N}$ (Tabla 13), lo cual indica que es posible aplicar el mismo factor de fraccionamiento isotópico a todas las muestras de ajolote.

Lugar de Colecta	No. de individuos (n)	Promedio Talla LT (cm)	Desviación Estándar	Promedio Peso (g)	Desviación Estándar	Sexo	Tipo de muestra	Fecha de colecta	Sin diferencia significativa a entre los tipos de muestra
Huetzali	3	26	2	122	11	H (1); M (2)	agalla	enero y feb. '02	$\delta^{13}\text{C}$
Huetzali	1	25	-	120		M	agalla	marzo '02	$p = 0.089$
Urrutia	1	24	-	s/d		s/d	agalla	marzo '02	$\delta^{15}\text{N}$
Costetexpa						H (1); M			
n	2	24	1	98	25	(1)	agalla	marzo '02	$p = 0.407$
Urrutia	5	18	5	65	52	M (2); I (3)	agalla	junio '03	
El Toro-						H (2); M			
Celada	3	23	3	74	4	(1)	agalla	febrero '02	
Urrutia	1	24		s/d		s/d	tejido	Abr-04	
Celada	1	20		80		I	tejido	Feb-03	
Celada	1	21.5		100		I	tejido	Feb-03	
Urrutia	1	23.5		129		M	tejido	Jun-03	
Urrutia	1	16.5		46		I	tejido	Jun-03	
Urrutia	1	24		114		M	tejido	Jun-03	

Tabla 13. Comparación entre los tipos de tejido de ajolote utilizados en el análisis de isótopos estables.

LT (longitud total); H (hembra) M (macho).

En relación a los organismos depredadores, aunque únicamente la carpa (*C. carpio*) presentó diferencia estadística significativa (Tabla 14) entre las regiones A, B y C, al graficar los valores isotópicos promediados de los depredadores en todas las regiones de estudio, se observó que existía una diferencia importante en la ubicación trófica ($\delta^{15}\text{N}$) de cada depredador en cada región (Fig. 14). Por lo tanto, se decidió conservar los valores isotópicos de los depredadores en cada región y hacer el análisis de modelos mixtos (Phillips *et al.*, 2003), por regiones de estudio.

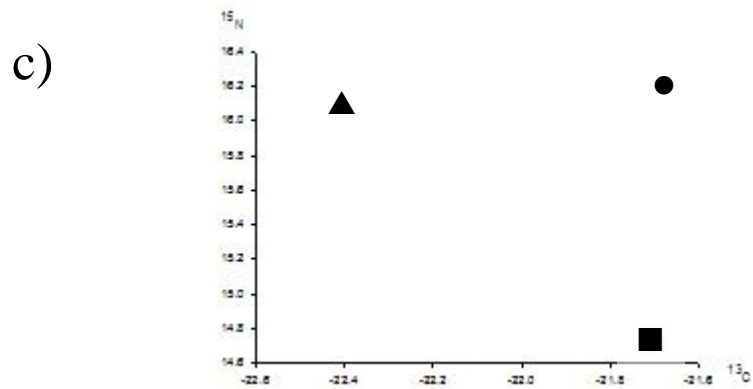
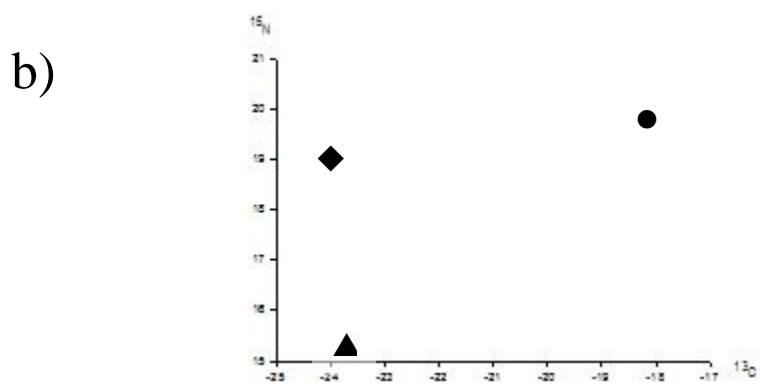
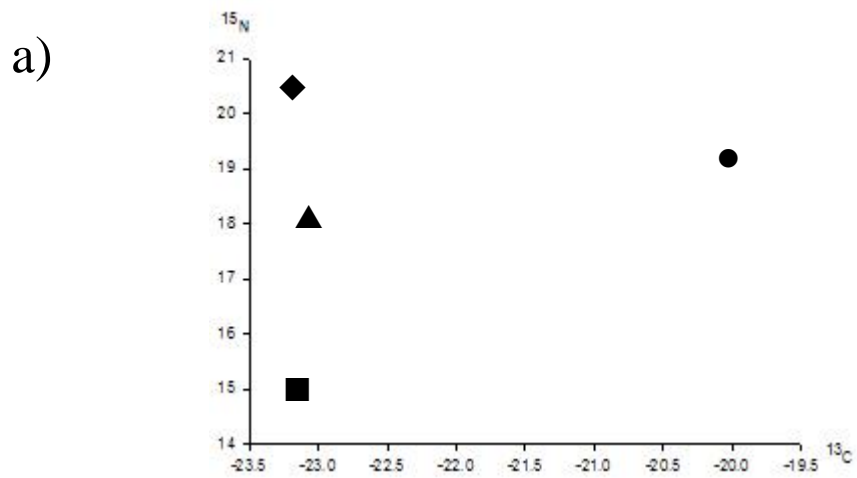


Fig. 14 Valores isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de: a) ajolote, b) carpa y c) tilapia, en la región A, Huetzali, El Bordo, Japón (●); la región B, El Toro-Celada (▲); la región C, Puente de Urrutia (◆) y la región D, Costetexpan (■).

DEPREDADORES	REGIONES		DE		ESTUDIO			
	ZONA A		ZONA B		ZONA C		ZONA D	
	¹³ C	¹⁵ N	¹³ C	¹⁵ N	¹³ C	¹⁵ N	¹³ C	¹⁵ N
Ajolote	-19.98	19.15	-23.0	18.12	-23.20	20.52	-23.12	14.75
Carpa	-17.98	19.79	-23.6	15.27	-23.86	18.95	s/d	s/d
Tilapia	-21.48	16.97	-22.4	16.05	s/d	s/d	-21.71	14.74

Tabla 14. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) de cada especie depredadora, por región de estudio, utilizados para el análisis de modelos mixtos.

En cuanto a los organismos-presa, aunque no todos fueron colectados en todas las regiones de estudio, al no presentar diferencias estadísticas significativas en sus valores isotópicos entre los años y las regiones estudiadas, se asumió que es factible que existan en todas las zonas de estudio y que el muestreo al no ser exhaustivo, disminuyó la probabilidad de colectarlos, por lo que se promedió el universo de valores isotópicos de todos los organismos presa, incluyendo a las macrófitas acuáticas, y se asumieron como presas potenciales (con sentido biológico, en términos alimenticios y de talla) para ajolote, carpa y tilapia en todas las regiones de estudio (Tabla 15). A los valores isotópicos de los organismos-presa potenciales se aplicó el factor de fraccionamiento de $\pm 3\text{‰}$ para el ^{15}N y $\pm 1\text{‰}$ para el ^{13}C (Vander Zanden y Rasmussen, 2001).

En la (Tabla 15) se desglosan los organismos que se consideraron para la elaboración de las dietas de carpa, tilapia y ajolote, hasta determinar la mejor simulación, conforme a los lineamientos anteriormente descritos. Es importante señalar que aunque en el contenido estomacal de carpa y tilapia se hallaron rastros de la ingesta de ajolote y de peces, en el análisis de isótopos estables no se les incluye como presa de carpa y tilapia debido a que las muestras correspondientes a estos organismos eran de individuos adultos y el valor isotópico cambia con el crecimiento de los organismos.

PECES	¹³ C	¹⁵ N	INVERTEBRADOS	¹³ C	¹⁵ N	MACRÓFITAS ACUÁTICAS	¹³ C	¹⁵ N
<i>Godea atripinnis</i>	-20.20	21.51	<i>Hyalella azteca</i> , anfípodo	-18.86	18.23	<i>Polygonum amphibium</i> , Chilillo amarillo	-27.27	13.96
<i>Chirostoma jordanni</i> , charal	-20.44	23.62	Caesidotea sp. isópodo	-20.65	16.97	<i>Ceratophyllum demersum</i> , Cola de zorro	-25.56	15.60
<i>Heterandria bimaculata</i>	-22.81	22.56	<i>C. montezumae</i> Acocil	-22.17	21.92	<i>Pistia stratiotes</i> Cocolish	-25.75	24.08
Xiphophorus sp.	-22.03	13.52	Sanguijuela	-17.27	22.11	<i>Eichhornia crassipes</i> Lirio	-21.10	17.32
			Physa sp. Caracol	-22.43	18.42	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> Malacote	-26.00	16.43
PRODUCTORES Y CONSUMIDORES PRIMARIOS			Odonata (larva)	-22.15	20.65	<i>Myriophyllum aquaticum</i> cola de caballo	-27.72	22.96
	¹³ C	¹⁵ N	Quironómidos (larva de dípteros)	-25.05	18.52	<i>Hydromystria laevigata</i> Lirio inflado	-24.41	14.50
Algas filamentosas	-20.66	16.55	Hemiptera (larva)	-22.04	16.26	<i>Potamogeton pectinatus</i> Lama	-14.79	14.18
Zooplankton	-23.50	21.54	Corixidae (larva)	-19.21	16.24	Lemnaceae Lemna	-25.87	17.21
Rotíferos	-20.80	16.42	Coleóptera (larva)	-24.01	18.16	<i>Nymphaea mexicana</i> Apantle ó ninfa	-21.96	19.70
			Tipulidae (larva)	-22.65	18.20			

Tabla 15. Valores isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) de cada organismo- presa, incluido el factor de fraccionamiento, utilizados para el análisis de modelos mixtos en todas las regiones de estudio.

Los resultados del análisis de modelos mixtos (Phillips *et.al.*,2002, 2003, 2005) para la determinación de las dietas son los siguientes:

En la región A, constituida por la laguna Huetzali, el canal El Bordo y el canal Japón (Fig. 15), se identificaron los organismos que podrían formar un polígono alrededor del valor isotópico de cada depredador. En el caso de la tilapia (*O. niloticus*), el polígono estaría formado por el lirio (*Eichhornia crassipes*), que predomina en su dieta (52-71%); la larva de un hemíptero que contribuye con el 27 a 45% y el grupo funcional de detritívoros formado por el caracol (*Physa sp.*), y la larva de tipulidae, que contribuyen en menor grado, con el 0 al 11%.

Para el ajolote, se realizaron varias combinaciones, buscando aquéllas que se acercaran más a una dieta constituida por organismos cuyos intervalos de contribución fueran más estrechos, incluyendo a grupos funcionales como por ejemplo el detritívoro, compuesto por caracol y la larva tipulidae, el cual dió como resultado una aportación menor (0-2%) a lo aportado por la sanguijuela (0-5%), por lo que la dieta final de ajolote en la zona A quedaría compuesta por el anfípodo *H. azteca* (60-66%); la larva Odonata (32-38%) y la sanguijuela (0-5%).

En el caso de la carpa, se encontró que la lama (*Potamogeton pectinatus*), el anfípodo *Hyaella azteca*, el insecto Corixidae y la sanguijuela, podrían formar parte de su dieta. Dado que el insecto Corixidae es un detritívoro al igual que el anfípodo *H. azteca*, se promediaron los valores isotópicos de ambos organismos resultando entonces que la dieta de carpa en la zona A está conformada por: la sanguijuela, que contribuye con el 52 a 56% ; la lama, que es una macrófita enraizada sumergida (*Potamogeton pectinatus*), que es consumida entre 1 y 4% y el grupo funcional de detritívoros (*H. azteca* y Corixidae), que contribuyen con el 41 a 47%.

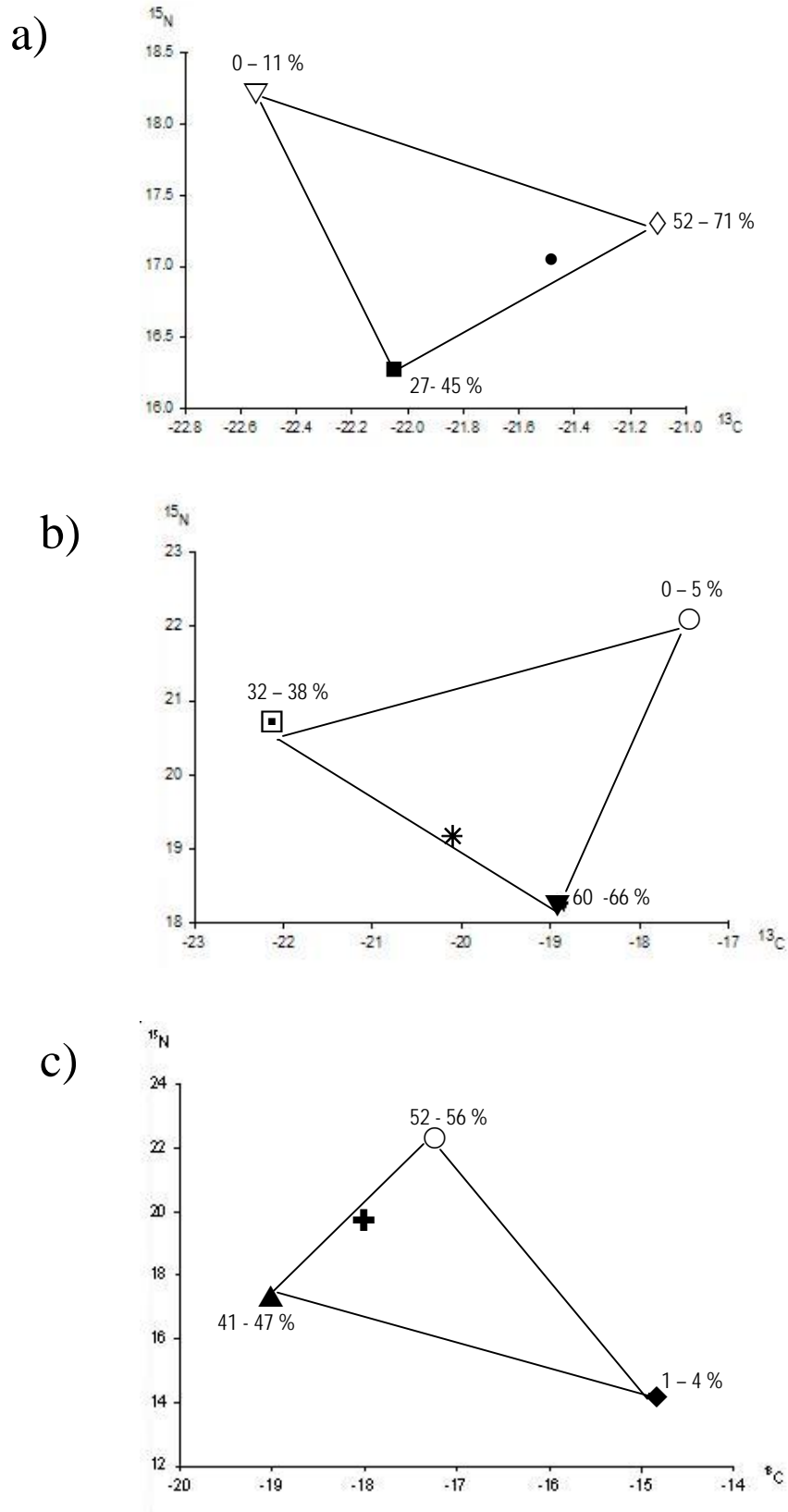


Fig. 15 Simulación de las dietas de: a) tilapia (●) ; b) ajolote (*) y c) carpa (+), en la región A (Huetzali, El Bordo y Japón).

Símbología: ○ sanguijuela; ▽ detritívoros (caracol y tipulidae); ◇ lirio *E. crassipes*; ■ lava de hemíptera; ▼ anfibio; □ larva de odonata; ◆ lama; ▲ detritívoros (corixidae y anfibio).

Para la región B, en la que se encuentran la laguna El Toro y el canal Celada (Fig. 16), las dietas de tilapia, ajolote y carpa son las siguientes:

La dieta de la tilapia en la misma región quedó formada por larva de hemíptera, que aporta entre el 74 y el 89% de la dieta; el amocillo (*H. laevigata*), en una proporción de 10 a 18%; la larva de coleóptera, entre 0 y 6% y el grupo funcional de detritívoros compuesto por caracol y larva de tipulidae, que contribuyen con el 0 a 9%. En el caso del ajolote los organismos detritívoros son presa potencial muy cercana a este depredador. Para encontrar la mejor simulación de la dieta del ajolote en esta zona, se agruparon dos grupos funcionales de detritívoros debido a que los valores isotópicos de ^{15}N de éstos difieren lo suficiente entre sí para analizarlos como grupos separados. La dieta del ajolote en la zona B podría quedar constituida por: la larva de coleóptera, que aporta entre el 32 a 69%; el grupo funcional "1" de detritívoros compuesto por las larvas de tipulidae y el caracol, que contribuye entre el 15 y el 64% y el grupo de detritívoros "2", conformado por anfípodos, isópodos y la larva de Corixidae, que proporciona entre 3 y 17%. La simulación de la dieta de la carpa quedó conformada por el amocillo (*Hydromystria laevigata*), con 61-69%; la larva de Hemíptera en una proporción de 19 a 36% y larva de Tipulidae entre el 1 y 14%.

Para la región C, Puente de Urrutia (Fig. 17), donde se halló el mayor número de ajolotes y la menor cantidad de carpa (no se capturó tilapia) durante los muestreos, se proponen las siguientes dietas de carpa y ajolote. Para la carpa (*C. carpio*) se propone una dieta compuesta por larva de coleóptera, que contribuye con el 50 a 74%, acocil (*C. montezumae*), con un aporte de 17 a 22% y quironómidos, que proporciona entre un 8 y un 30%. La dieta de ajolote en Puente de Urrutia se presenta formada por el pez *Heterandria bimaculata*, que contribuye entre el 51 y 55%; el grupo funcional de detritívoros "1" (caracol y tipulidae), que aporta del 28 al 42% y la larva de coleóptera, entre el 4 y el 20%.

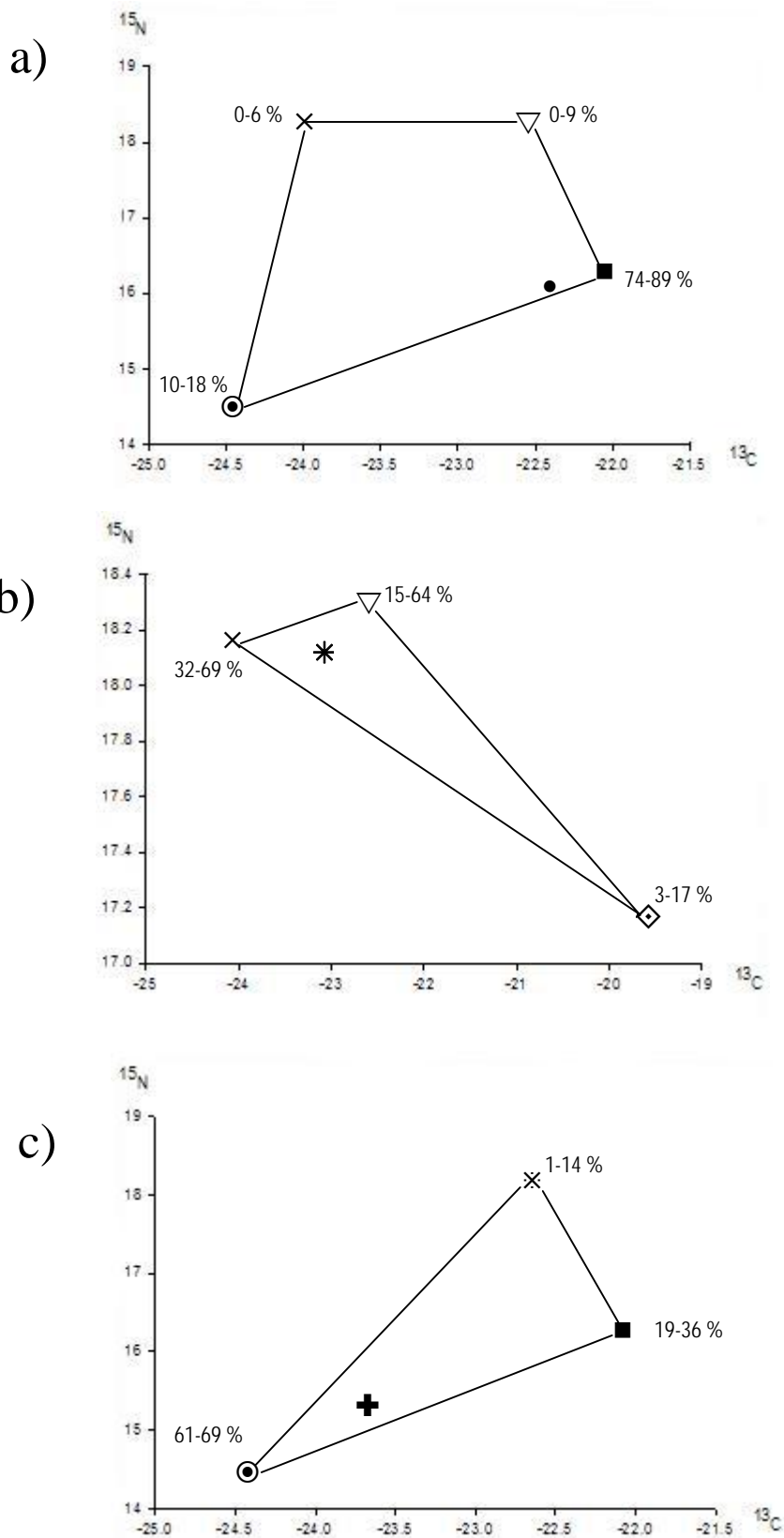
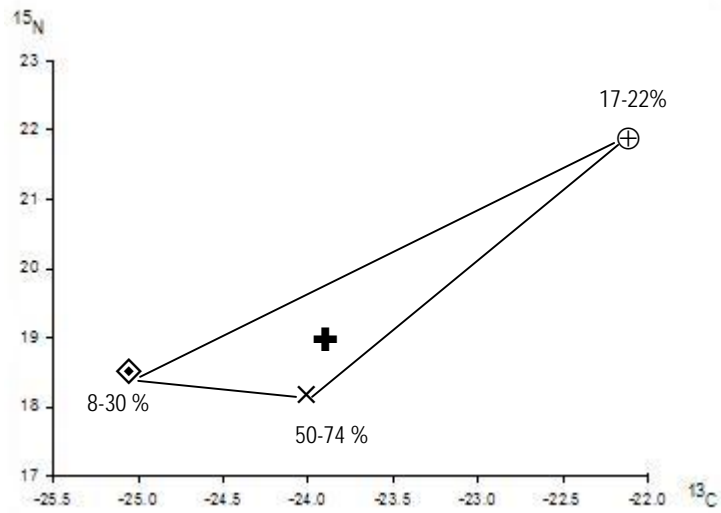


Fig. 16 Simulación de las dietas de: a) tilapia (●); b) ajolote (*) y c) carpa (+); en la región B (El Toro - Celada).

Símbología: × larva de coleóptera; ▽ detritívoros (caracol y tipulidae); ● amocillo, *H. laevigata*; ■ larva de hemíptera; * larva de tipulidae; ◇ detritívoros (isópodo, corixidae y anfípodo).

a)



b)

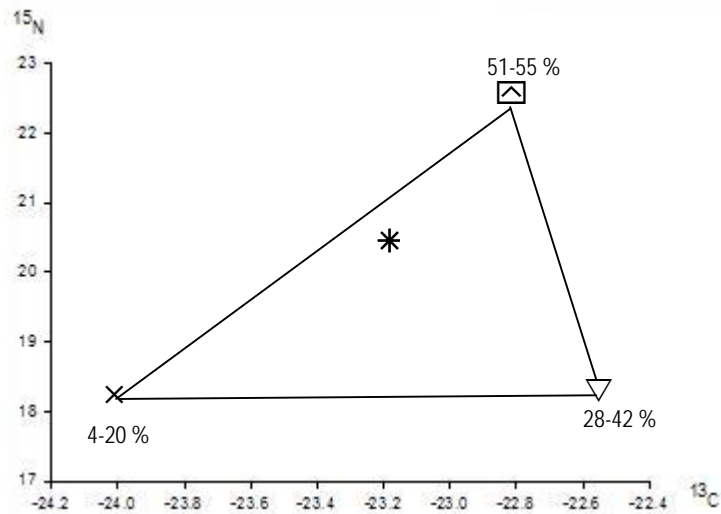


Fig. 17 Simulación de las dietas de: a) carpa (+) y b) ajolote (*), en la región C (Puente de Urrutia).

Símbología: × larva de coleóptera; ∇ detritívoros (caracol y tipulidae); ◻ pez *H. bimaculata*; ⊕ acocil; ◊ larva de dípteros (quironómidos).

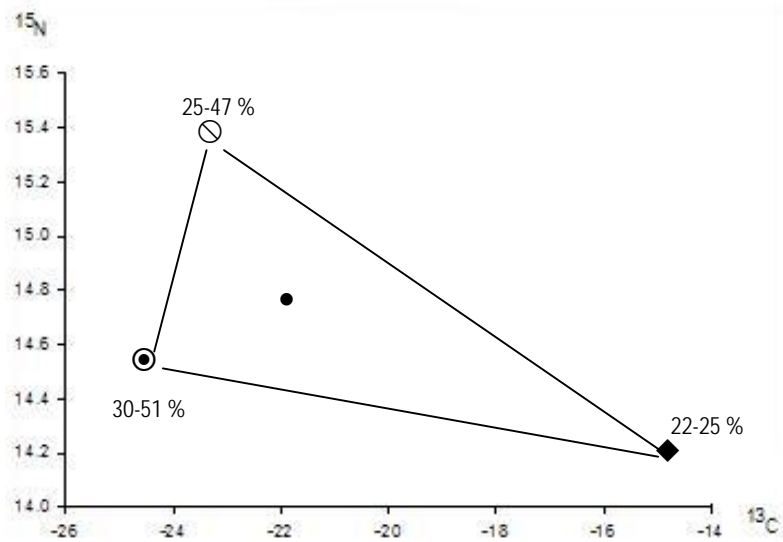
Finalmente para la región D, Costetexpan (Fig.18), se elaboraron las dietas de tilapia y ajolote, ya que durante la colecta de muestras para el análisis de isótopos no se encontró carpa. Para la tilapia se determinó un polígono formado por el amocillo (*H. laevigata*), que contribuye con el 30 a 51% de la dieta; el grupo funcional de detritívoros formado por el isópodo *Caesidotea* y larva de Corixidos, que aporta entre el 25 y 47% a la dieta y por la lama (*P. pectinatus*), que proporciona el 22 al 25% de su dieta. En esta región no fue posible hacer la simulación de la dieta del ajolote debido a que los valores isotópicos de los organismos que pudieran ser una posible presa, no forman el polígono requerido para hacerla.

Haciendo una integración de las dietas obtenidas, por tipo de depredador (Tabla 16), se aprecia que la carpa consume macrófitas acuáticas (amocillo y lama); insectos (larvas de corixidae, hemíptera, tipulidae, coleóptera y díptera); sanguijuela y acocil. La tilapia tiene preferencia por macrófitas acuáticas (lirio, amocillo y lama); insectos (larvas de hemíptera, tipulidae y coleóptera) y caracol. En cuanto al ajolote, las dietas obtenidas indican que sus presas son: insectos (larvas de odonata, tipulidae, coleóptera y corixidae); el anfípodo *H. azteca*; el isópodo *Caesidotea* sp.; el pez *H. bimaculata*, el caracol (*Physa* sp.) y la sanguijuela. Se observa que existe competencia interespecífica por organismos comunes en las dietas de los tres depredadores, como son los insectos (ajolote/carpa/tilapia), el caracol (ajolote/tilapia) y la sanguijuela (ajolote/carpa). Entre la carpa y la tilapia existe competencia por macrófitas acuáticas como amocillo (*H. laevigata*) y lama (*P. pectinatus*).

También a partir de los datos incluídos en la Tabla 16, se realizó el análisis de los resultados de las dietas por región (A, B, C y D), observando que en la región A (Huetzali, El Bordo y Japón), la carpa y el ajolote compiten por sanguijuela y por el anfípodo *H. azteca*, la tilapia y la carpa no compiten por alimento entre sí (Fig. 19).

a)

F



b)

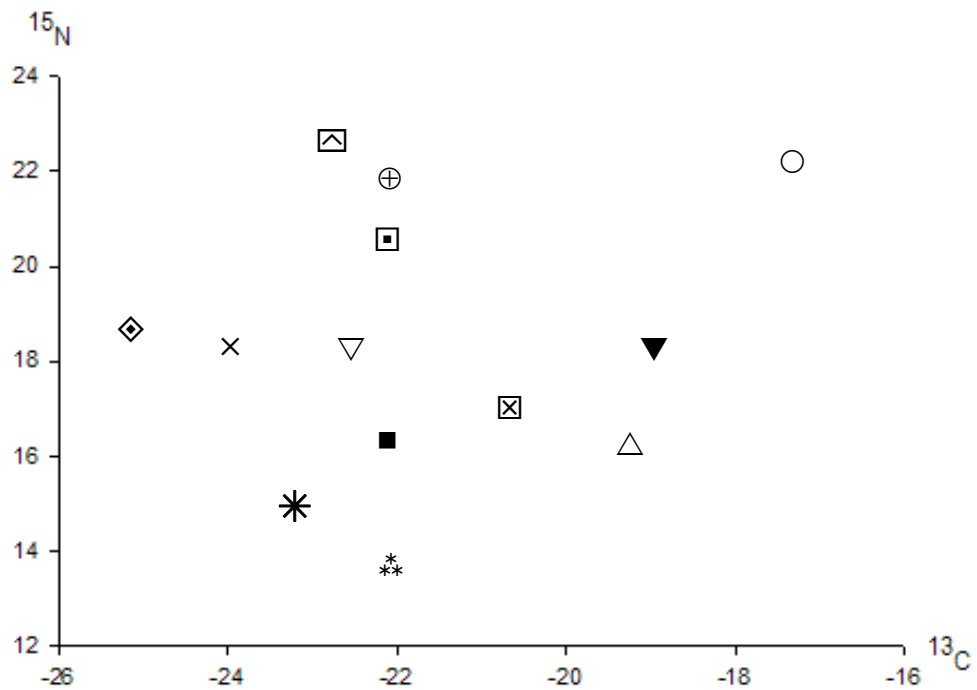


Fig. 18 Simulación de las dietas de: a) tilapia (●) y b) ajolote (*), en la región D (Costetexpan).
 Símbología: ⊙ detritívoros, isópodo y Corixidae; ⊛ amocillo *H. laevigata*; ◆ lama *P. pectinatus* × larva de coleóptera; ▽ detritívoros (caracol y tipulidae); ⊠ pez *H. bimaculata*; ⊕ acocil; ◇ larva de dípteros (quironómidos). ○ sanguijuela; ■ lava de hemíptera; ▼ anfibio *H. azteca*; □ larva de odonata; ⊠ isópodo *Caesidotea* sp.; △ larva de Corixidae ; * pez *Xiphophorus* sp.

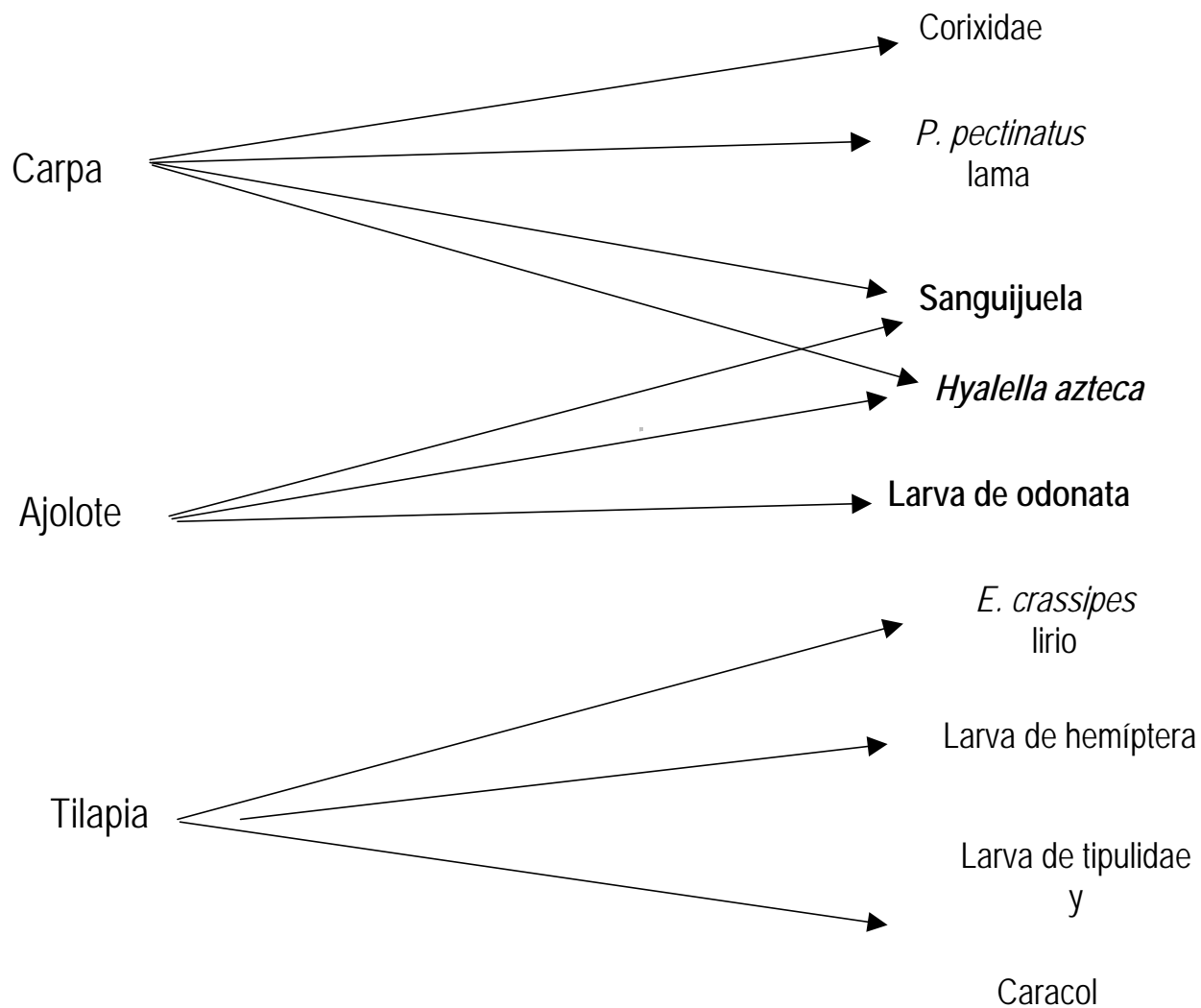


Fig. 19 Relaciones alimenticias de carpa, tilapia y ajolote en la región de Huetzali, El Bordo y Japón.

En la región B (El Toro-Celada), el ajolote y la tilapia compiten por larva de coleóptera y caracol, mientras que la carpa y la tilapia lo hacen por amocillo y larvas de hemíptera. Las tres especies compiten por larvas de tipulidae (Fig. 20).

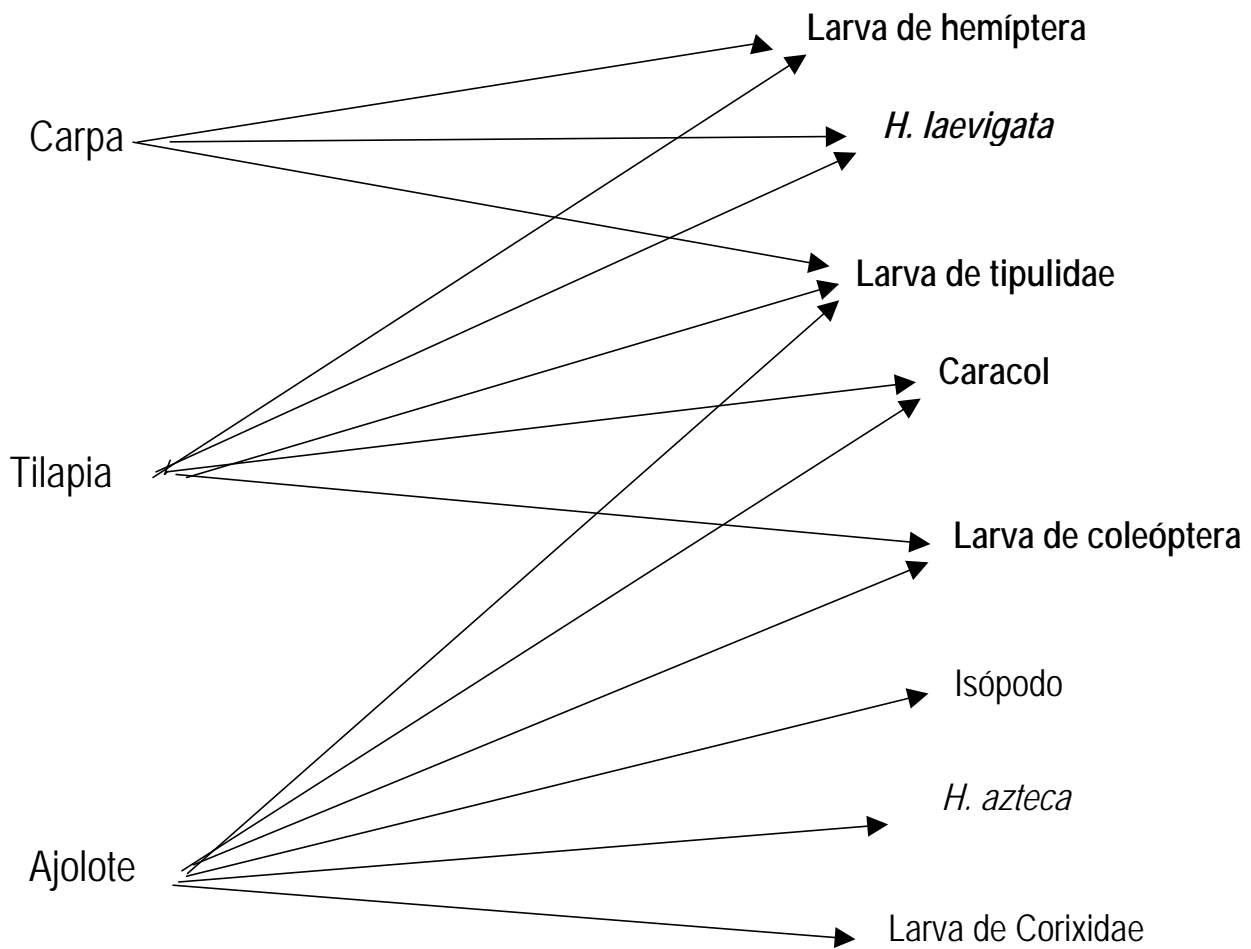


Fig. 20 Relaciones alimenticias de carpa, tilapia y ajolote en la región de El Toro- Celada.

En la región C (Puente de Urrutia), la competencia entre carpa y ajolote se da por larvas de coleóptera (Fig.21).

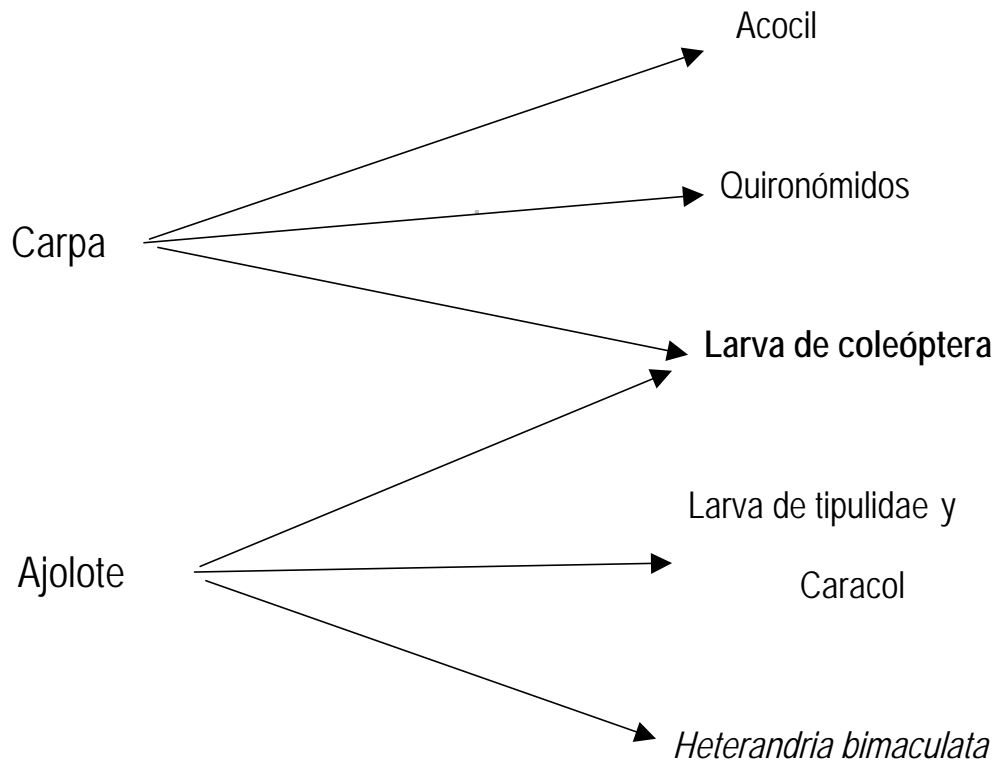


Fig. 21 Relaciones alimenticias de carpa, tilapia y ajolote en la región de Puente de Urrutia.

En la región D (Costetexpan), debido a que no fue posible determinar la dieta de ajolote con los valores isotópicos disponibles y también debido a la falta de datos para carpa, no es posible establecer las relaciones alimenticias entre las especies.

En la Tabla 16 también se presenta una comparación de los resultados obtenidos entre el análisis de modelos mixtos de isótopos estables (Phillips *et al.*, 2002, 2003, 2005) y el análisis de estrategia alimenticia (Amundsen, 1996). En el caso del ajolote, en el análisis de isótopos la materia vegetal no se consideró porque sus valores isotópicos no estuvieron lo suficientemente cercanos al valor isotópico del ajolote como para formar parte del polígono de su dieta, por lo que

sería interesante investigar, por medio de pruebas de laboratorio, si los ajolotes efectivamente se alimentan de macrófitas acuáticas y si las asimilan o sólo son consumidas en forma casual cuando son el sustrato de su presa. En relación a la tilapia, con el análisis de isótopos se confirmó la importancia de la materia vegetal, crustáceos e insectos en su dieta; sería conveniente realizar estudios más detallados respecto a la asimilación del zooplancton y de la materia orgánica. Respecto a la carpa, se corroboró, por medio del análisis de isótopos, la asimilación de la materia vegetal, crustáceos e insectos, no así la de ajolote y peces. Es recomendable tomar en cuenta en futuros trabajos, los primeros estadios del desarrollo del ajolote, ya que parece ser que en esas etapas es donde existe la presión por depredación tanto por parte de la tilapia como de la carpa (Martínez, S., Tesis en proceso).

Para determinar la depredación de ajolote, carpa y tilapia hacia los peces, es importante considerar las tallas pequeñas de *G. atripinnis*, *Ch. jordanni*, *H. bimaculata*, *Xiphophorus* sp., etc. ya que en el presente trabajo no se incluyeron.

AJOLOTE	ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D
ISÓTOPOS	Hyalella azteca Larva de odonata Sanguijuela	Larva de coleóptera Detritívoros: (larva de tipulidae y caracol) Detritívoros: (isópodo, anfípodo y larva de Corixidae)	Heterandria bimaculata Detritívoros: (larva de tipulidae y caracol) Larva de coleóptera	No se determinó su dieta
CONTENIDO ESTOMACAL (todas las zonas)	Insectos, Materia vegetal, Materia orgánica, Sanguijuela, Peces, Crustáceos, Zooplancton			
TILAPIA	ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D
ISÓTOPOS	E. crassipes (lirio) Larva de hemiptera Detritívoros: (caracol y larva de tipulidae)	Larva de hemiptera H. laevigata (amocillo) Detritívoros: (caracol y larva de tipulidae) Larva de coleóptera	sin datos	H. laevigata (amocillo) Detritívoros: (larva de tipulidae y caracol) P. pectinatus (lama)
CONTENIDO ESTOMACAL (todas las zonas)	Materia orgánica, Materia vegetal, Zooplancton, Crustáceos, Insectos, Peces			
CARPA	ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D
ISÓTOPOS	Sanguijuela Detritívoros: (Corixidae y Hyalella azteca) P. pectinatus (lama)	H. laevigata (amocillo) Larva de hemiptera Larva de tipulidae	Larva de coleóptera Acocil Quironómidos	sin datos
CONTENIDO ESTOMACAL (todas las zonas)	Materia orgánica, Materia vegetal, Zooplancton, Crustáceos, Insectos, Peces, Ajolote			

Tabla 16. Comparativo entre el análisis de modelo mixto y el de estrategia alimenticia. Los organismos-presa están en orden de importancia de arriba hacia abajo (modelo mixto) y de derecha a izquierda (estrategia alimenticia).

DISCUSIÓN

En el sistema de canales estudiados en Xochimilco, se observó la dominancia absoluta de la tilapia (85.3%) en relación con la carpa (14.5%) y el ajolote (0.2%). La población de tilapia al parecer tiene un reclutamiento constante. La distribución de las especies introducidas en los canales estudiados es homogénea, a excepción de Puente de Urrutia, donde la presencia de las mismas fue mínima.

La densidad de ajolote obtenida en el presente trabajo en términos de biomasa, (0.063 g/m^2) concuerda con la registrada por Graue (1998), que fue de 0.06 g/m^2 , sin embargo, en términos de número de individuos, en este trabajo se registró 0.0012 ind/ m^2 y en el de Graue 0.006 ind/m^2 , por lo que es probable que la población se encuentre en estado crítico. En particular, la ausencia de ajolote en la zona chinampera y turística de Xochimilco se evidenció recientemente, ya que a principios del 2002 (Zambrano *et al.*, 2004), se habían capturado en esta zona 15 ejemplares de ajolote y al término del presente trabajo, se capturaron 27 ajolotes a pesar de que se ejerció un esfuerzo de pesca similar de 38 lances en 25 días del estudio prospectivo, contra 40 lances en 27 días de este trabajo, aún cuando en el presente estudio el período de muestreo fué comparativamente mayor que el de la prospección. En la localidad denominada Puente de Urrutia, donde se capturó el 88% de los ajolotes, se conjuntan características peculiares como su aislamiento del resto de los canales de Xochimilco y la densidad más baja de carpa y tilapia registrada durante todo el estudio. Asimismo, en este canal se observó vegetación sumergida del tipo de la lama y mucha vegetación litoral, ambas apropiadas para la puesta de huevecillos. También se observó ligera tendencia a una menor turbidez en comparación con Costetexpan, Celada, El Toro y El Bordo, así como condiciones casi anóxicas y un gradiente ligero de mayor salinidad, solo superado por la laguna El Toro, donde se registró la mayor salinidad y donde también se capturaron dos de los tres ajolotes encontrados fuera de Puente de Urrutia.

De acuerdo a los resultados del análisis de redundancia de la densidad de cada especie y los parámetros físico químicos, aunque los valores de la variable

de conductividad no son significativamente distintos entre los sitios de estudio, en el análisis de redundancia este parámetro si se muestra como un factor importante y relacionado con la presencia de ajolote. En la estación Puente de Urrutia, donde se presentaron los valores más altos de conductividad, también se observaron los valores más bajos de turbidez y de oxígeno disuelto, sin embargo, la presencia del ajolote en este sitio fué contundente, por lo que aparentemente una alta turbidez y baja concentración de oxígeno disuelto parecen no afectarle, aunque es importante recalcar que los datos de densidad utilizados en este análisis consideran a individuos juveniles y adultos únicamente, por lo que en etapas tempranas de desarrollo la baja concentración de oxígeno disuelto si es una limitante (Shaffer,1989). Por lo tanto, es importante realizar un seguimiento de la población que se encuentra en este canal a fin de entender su dinámica en la época reproductiva.

Considerando que la conductividad es una medición indirecta de la concentración de sales e indica una buena conducción del fluido eléctrico debido probablemente a la presencia de compuestos inorgánicos (APHA, 1998), se estima de gran importancia que se realice una valoración más exacta de los tipos de iones presentes, así como su procedencia, en la laguna El Toro y en el canal Puente de Urrutia, con el fin de vincular con mayor precisión, este parámetro a la presencia de ajolote.

En contraste, la presencia de la carpa está relacionada con zonas de mayor turbidez y mayor concentración de oxígeno disuelto. La población de tilapia tiene poca variabilidad y no está relacionada con ningún parámetro físico-químico de forma importante, lo cual permite que la población se distribuya y reproduzca ampliamente. Estudios realizados para estimar el alcance de la invasión de la tilapia (*O.niloticus*) en sistemas costeros y de efluentes termales, sustentan la gran adaptación de esta especie a condiciones ambientales diversas (Peterson *et al.*, 2005).

El resultado del análisis de redundancia en cuanto a la relación entre las especies introducidas y el ajolote fue determinante al mostrar que la presencia de

ajolote está correlacionada negativamente con la presencia de las especies introducidas, carpa y tilapia.

Huacuz (2002), menciona que en *Ambystoma* los factores independientes de la densidad que regulan las poblaciones son la variabilidad climática y las características del hábitat (heladas, evaporación, temperatura, falta de oxígeno y acidificación); en base a los resultados obtenidos, es probable que el ajolote se desplace de un lugar a otro para evitar ser depredado por la carpa y la tilapia aún cuando las condiciones del agua no sean las óptimas para su desarrollo, especialmente durante la maduración de los huevos cuando necesitan de una buena oxigenación. Así, un aspecto no resuelto derivado de este estudio, es determinar si efectivamente el ajolote se desplaza para protegerse de sus depredadores, o bien, si se trata de subpoblaciones muy localizadas en las que cualquier alteración de tipo ambiental, biótico o directo como la pesca, ocasionan su desaparición. Para esclarecer este punto es necesario hacer muestreos de captura/recaptura de ajolote, sin embargo el ajolote es una especie muy delicada para manejar por lo que la selección de la técnica es muy importante.

Finalmente, aunque el análisis de redundancia muestra que las variables físico-químicas no explican totalmente la presencia / ausencia del ajolote y de las especies introducidas, si permite establecer relaciones y tendencias importantes que indican la dirección a seguir en el estudio ecológico del sistema de canales de Xochimilco.

En cuanto a los resultados obtenidos en el análisis de estrategia alimenticia y en el de isótopos estables, ambos dan una idea de la estructura trófica existente en el sistema de canales de Xochimilco, sin embargo, el resultado principal de este trabajo es la determinación de los hábitos alimenticios de cada especie. Para conocer a fondo la estructura trófica se requiere de una mayor cantidad de muestras tanto de productores como de consumidores primarios de vida larga como el caracol (*Physa* sp.) y consumidores secundarios como el acocil (*C. montezumae*) y los peces, que permitan determinar con confiabilidad la red trófica del sistema (Post, 2002 y Vander Zanden *et al.*, 1999a). Un resultado paralelo a los esperados, en cuanto a isótopos estables, es que la valoración isotópica del

$\delta^{13}\text{C}$ de las algas filamentosas, el zooplancton y el sedimento, nos indican una variación entre la zona de la reserva ecológica y la zona chinampera, por lo que es probable que el origen del carbono en la zona de reserva ecológica se dé a partir del reciclaje de energía y materia dentro del sistema acuático (origen autóctono), mientras que en la zona chinampera la fuente de carbono probablemente provenga de material orgánico de origen terrestre, dada la similitud con los valores de plantas terrestres (origen alóctono). El contenido de $\delta^{13}\text{C}$ en los componentes del ciclo del carbono en agua dulce varía de acuerdo a su fuente, por lo que la discriminación del origen del carbono disuelto en el agua de los canales de Xochimilco, también es importante para determinar el inicio de la estructura trófica (Peterson y Fry, 1987).

En cuanto a la depredación del ajolote por parte de la carpa y la tilapia, se sabe que la depredación es uno de los factores de mayor influencia en la mortalidad de larvas de *Ambystoma* (Huacuz, 2002). En el análisis de estrategia alimenticia se aprecia que el ajolote es una presa que fue consumida por algunos individuos y no forma parte de las presas “favoritas”, lo cual puede deberse a la baja densidad poblacional del ajolote pero constituye una prueba que sustenta la depredación de ambas especies hacia el mismo, si bien son necesarios estudios que sustenten mejor esta hipótesis, como el análisis de isótopos estables en las etapas tempranas de desarrollo del ajolote.

Los resultados arrojados por el análisis de estrategia alimenticia y por el de isótopos estables son congruentes y el uso de ambas herramientas nos permite conocer el consumo directo y la asimilación de las presas (Focken y Becker, 1998).

En relación a la competencia entre el ajolote y las especies exóticas, las tres especies compiten principalmente por insectos, en particular por larvas de coleóptera, corixidae, tipulidae y hemíptera, así como por peces, como lo indica el análisis de contenido estomacal. El ajolote y la tilapia compiten por el caracol y el ajolote y la carpa por la sanguijuela. Entre la carpa y la tilapia se identificó competencia por los recursos de larva de tipulidae, de hemíptera, de amocillo (*H. laevigata*) y de lama (*P. pectinatus*). Puesto que todos los organismos se encontraron en las raíces de pasto y macrófitas de la zona litoral de los canales,

se infiere que la zona de pesca de las tres especies es el perfil de la pared de las chinampas hacia abajo hasta el fondo de los canales, que es la zona con mayor diversidad a comparación del sedimento, donde no se encontraron macroorganismos. El hábito de remoción del sedimento de la carpa y la tilapia afecta por lo tanto, la conservación de este microhábitat así como la permanencia de macrófitas, en particular las sumergidas (Hinojosa y Zambrano, 2003; Richardson *et al.*, 1995; Brumley, 1991) .

Las plantas acuáticas con mayor presencia en las dietas de las especies introducidas son el amocillo (*H. laevigata*) y la lama (*P. pectinatus*). La primera es una hidrófita libre flotadora, y la segunda es una hidrófita enraizada sumergida; ambas se usan como abono en la chinampería de Xochimilco (Lot *et al.*, 1999); la lama en particular es un componente importante del habitat de acocil y diversos invertebrados y de acuerdo a diversos estudios, la presencia de carpa está inversamente relacionada con la cobertura de macrófitas y la abundancia de invertebrados, especialmente gastrópodos (Hinojosa y Zambrano, 2003; Stein y Kitchell, 1975; Zambrano *et al.*, 1999). En cuanto a su importancia en la estructura trófica, en un estudio realizado sobre el contenido de nutrientes en las macrófitas de un lago somero (Fernández-Aláez *et al.*, 1999), se encontró que el contenido de nitrógeno de *Potamogeton trichoides* (0.239%), fue el más alto, en comparación con otras macrófitas del sistema, por lo que también es un componente importante en el ciclo del nitrógeno de sistemas lacustres como el que nos ocupa. De acuerdo a observaciones de los pescadores en Xochimilco (R. Altamirano, com. pers.), la presencia de lama en los canales era mayor hace 20 ó 30 años y era común observar huevos de ajolote adheridos a su tallo, pero actualmente es raro encontrarla.

A excepción de la lama y el amocillo, las macrófitas quedan normalmente fuera de los polígonos formados para cada depredador. En particular, para el ajolote las macrófitas acuáticas no son presa potencial, ya que su dieta es predominantemente carnívora (Shaffer, 1989). Sin embargo, dada la importancia que las macrófitas acuáticas tienen como refugio de microorganismos y de insectos, crustáceos, helmintos y moluscos así como inductoras de la claridad del

agua al reducir la disponibilidad de nutrientes, la resuspensión del sedimento y la reducción de la biomasa del fitoplancton (Scheffer,1999), es fundamental fomentar su recuperación y propagación.

Por otra parte, las firmas isotópicas del $\delta^{13}\text{C}$ de los insectos, quironómidos, caracoles y crustáceos también difieren del de las plantas, por lo que es muy probable que falten uno o varios eslabones de la cadena alimenticia que una a las macrófitas acuáticas con los organismos mencionados, como por ejemplo los organismos descomponedores y su sustrato en forma de materia orgánica particulada.

De acuerdo a Rapport (1992) el grado de degradación de un sistema acuático puede resumirse en cinco puntos:

- la alteración de la estructura biótica de la comunidad en favor de formas más pequeñas;
- reducción en la diversidad de especies;
- aumento en la dominancia de especies con estrategia r;
- acortamiento de la cadena alimenticia;
- estabilidad poblacional reducida y
- aumento en la incidencia de enfermedades

En el sistema de canales de Xochimilco los primeros cinco puntos se confirman. La competencia interespecifica entre la carpa y el ajolote está establecida al preferir a los mismos grupos tróficos como presas potenciales (insectos, peces, caracol y sanguijuela); ésta preferencia los lleva a tener el mismo nicho alimenticio. La competencia entre la tilapia y el ajolote existe, aunque es menos directa, ya que la tilapia presenta un nicho alimenticio más amplio que se extiende a la zona media de los canales, tomando en cuenta el resultado de análisis de contenido estomacal e isótopos estables en conjunto.

El establecimiento de la tilapia como especie dominante (30 g/m^2) genera alteraciones a la estructura trófica que inciden directamente en los productores primarios y sucesivamente en la cadena alimenticia en los consumidores primarios y secundarios (Winemiller y Polis, 1996). En general, con la introducción de

especies, las poblaciones de los recursos alimenticios y los competidores tienden a aumentar y las poblaciones de los depredadores a disminuir, en especial las de las especies tradicionalmente dominantes (Winemiller y Polis, 1996). Es probable que este patrón se reproduzca en el sistema de canales de Xochimilco, dado que la mayor diversidad al parecer se encuentra en la zona litoral y siendo que las especies introducidas, tanto las de mayor como las de menor tamaño, en general tienen hábitos omnívoros, han establecido estrategias de alimentación que inciden directamente en los recursos de esta zona, con organismos como los insectos, entre ellos los quironómidos como grupo importante; los crustáceos (anfípodos e isópodos), los helmintos y los moluscos. Por lo tanto, cualquier tipo de afectación a la ribera de los canales, incidirá directamente en la estructura trófica del sistema.

Las especies introducidas ejercen cambios indirectos sobre el ambiente físico-químico del agua, como el incremento de la turbidez (Claudi *et al.*, 1999; Zambrano *et al.*, 1999). Si bien las prácticas agrícolas y el acarreo de materia orgánica a los canales en época de lluvias son factores que inciden en la turbidez del agua, las especies introducidas también afectan indirectamente pero en forma importante al socavar las paredes de las chinampas y remover el sedimento en busca de alimento o para hacer sus nidos, como es costumbre en los cíclidos.

Otra consecuencia indirecta de la presencia de especies introducidas es que la presión que ejercen sobre el zooplancton puede ser tan fuerte, que inducen la producción de huevecillos en estado de latencia (Perrow *et al.*, 2002), afectando la alimentación de organismos planctívoros en etapa larval y adulta. Al respecto, estudios realizados recientemente en Xochimilco (Nandini *et al.*, 2005), indican que existe una dominancia de rotíferos en el zooplancton, presentando una diversidad anual alta, lo cual puede deberse a que la depredación de la carpa y la tilapia sobre los rotíferos ocurre en las dos a tres primeras semanas después de la eclosión y por lo tanto la depredación a través del año es más intensa sobre los cladóceros que sobre los rotíferos. Es importante realizar estudios sobre la afectación de la biomasa de peces y de zooplancton a otros niveles tróficos (Diana *et al.*, 1991) así como respecto al uso del recurso de zooplancton que realizan los invertebrados y las especies menores de peces, como el charal *Ch. jordanni*, la

chagua *G. atripinnis* (zooplanctófagos), y los peces también introducidos, como *Xiphophorus* sp. y *Heterandria bimaculata* (omnívoros).

En el sistema lacustre en estudio, el concepto de restauración para regresar al estado original (National Research Council, 1992) queda fuera de perspectiva, por lo tanto se pretende solo la rehabilitación del sistema de tal manera que se mantenga la estructura y función que permita conservar un estado saludable del ecosistema.

De acuerdo al concepto de estados alternativos estables, los sistemas pueden reaccionar a las perturbaciones de forma gradual o bien permanecer inertes hasta que llegan a una situación crítica que genera cambios drásticos. Ambos extremos tienen un solo punto de equilibrio. Otra alternativa es que el sistema presente dos estados estables separados por un equilibrio inestable que en situaciones extremas puede hacer que el sistema se incline hacia cualquier estado alternativo (Scheffer *et al.*, 2001).

Los lagos someros pueden presentar este último patrón en situaciones de una sobrecarga de nutrientes (Scheffer *et al.*, 2001). En el sistema que nos ocupa, S. Nandini *et al.* (2005), determinó que la demanda biológica de oxígeno durante cinco días varió de 16 a 28 mg/l, lo cual caracteriza al sistema como altamente eutrófico. Si bien la presencia de hidrófitas libre flotadoras indica el uso de una parte de este exceso de nutrientes, es probable que exista un remanente que permanezca por más tiempo en el sedimento hasta su liberación, por lo tanto, los procesos de descomposición y reciclaje de nutrientes que se llevan a cabo en el sedimento de los canales pueden darnos la clave para comprender la forma en que el sistema maneja actualmente esta sobrecarga de nutrientes. El modelaje de los procesos de descomposición es fundamental para conocer los efectos que un programa de manejo pueda tener en el funcionamiento del ecosistema. Scheffer (2001) propone por ejemplo, una fórmula que describe los cambios en el tiempo de algún elemento indeseable del ecosistema como lo puede ser el exceso del aporte de nutrientes.

En Xochimilco, la introducción de especies exóticas pudo haber ocasionado un estado alternativo en el que la estructura del ecosistema se simplificó para

permitir que se mantuvieran las funciones básicas. Algunos elementos que consideramos críticos y se deben mencionar son los siguientes:

1. En el sistema acuático la turbidez es un factor importante sobre el cual es necesario incidir en primer término. Este parámetro, en los niveles altos en que se encuentra en Xochimilco, impide directamente el establecimiento de macrófitas sumergidas. En Xochimilco aún es necesario determinar en que grado la turbidez se debe a materia orgánica particulada, a altas concentraciones de fitoplancton y/o a bacterias.
2. Las macrófitas emergentes son más abundantes que las sumergidas. En Xochimilco las macrófitas emergentes y libres flotadoras son importantes como fuente alimenticia y zonas de protección para estadíos tempranos de organismos que a su vez son alimento de especies mayores. También son el sustrato de anidamiento de muchas especies, entre ellas el ajolote. Sin embargo, un exceso de estas macrófitas puede agudizar la eutrofización del sistema por descomposición de materia orgánica.
3. La materia orgánica en descomposición actúa en dos niveles, el primero como base de la cadena alimenticia de organismos detritívoros, entre ellos muchas larvas de insectos, anfípodos, isópodos, moluscos, etc., que a la vez son el sustento de los depredadores tope. Por otra parte, el exceso de materia orgánica en descomposición crea condiciones adversas como baja concentración de oxígeno disuelto para el desarrollo de muchas especies, en especial de los peces.

Si consideramos que el ajolote era el depredador tope en una estructura trófica “saludable” en la cual parte importante de sus componentes eran la presencia de macrófitas sumergidas y peces planctívoros (Rojas Rabiela, 1998; Espinosa, 1996), las acciones de rehabilitación podrían estar encaminadas a lograr una estructura similar que refuerze el nivel trófico del ajolote en el sistema.

Para tal fin es importante la disminución de las poblaciones de tilapia y carpa, a fin de minimizar los efectos negativos que estas especies ejercen sobre la calidad del agua y en forma directa, en términos de competencia y depredación, sobre la población de ajolote. La introducción de macrófitas acuáticas sumergidas

contribuiría al reciclaje de nutrientes en forma de biomasa en pie, favoreciendo la propagación de filtradores de nutrientes, disminuyendo la biomasa del fitoplancton y actuando para mejorar la disponibilidad de luz bajo el agua (Scheffer, 1999). Es importante mencionar que es deseable que éstas dos últimas medidas de manejo sean implementadas de forma paulatina y simultánea, de tal manera que sea posible valorar su efecto en el componente biológico del sistema. Asimismo, sería de gran ayuda el establecer un número óptimo de trajineras turísticas así como rutas fijas de tránsito a fin de minimizar los efectos perniciosos de la remoción del sedimento que estas embarcaciones generan a su paso.

Con estas acciones se incrementarían las poblaciones de peces planctívoros que permitirían a su vez la integración de una estructura trófica con mayor diversidad de la que actualmente existe en Xochimilco.

La determinación de la estructura trófica requiere de una mayor diversidad de organismos y localidades de muestreo y por consiguiente, mayor número de muestras y réplicas. La carga de trabajo y el presupuesto que esto implicaba excedía el alcance del presente trabajo, por lo que se propone continuar con la generación de la información requerida para alcanzar la rehabilitación del sistema de canales de Xochimilco.

CONCLUSIONES

La población de ajolote se encuentra en una posición vulnerable, con una densidad de $0.06g/m^2$, equivalente a $0.012\ ind/m^2$ y localizada en su mayor parte en una zona alejada hacia la parte Este del sistema principal de canales de Xochimilco.

El ajolote (*Ambystoma mexicanum*) mostró afinidad por las zonas con mayor conductividad y un valor alto de turbidez y bajas concentraciones de oxígeno disuelto, lo que al parecer no representa en gran medida una limitante para la población de ajolote en etapas de desarrollo tardías, sin embargo, una baja concentración de oxígeno disuelto en el agua si afecta a los primeros estadios de desarrollo.

La carpa (*Cyprinus carpio*) presenta una relación directa con el incremento de la turbidez y de la concentración de oxígeno disuelto e inversa con la conductividad. La tilapia (*Oreochromis niloticus*) no presenta relación directa con ningún parámetro físico-químico y se muestra independiente de los mismos, de aquí probablemente su éxito en la colonización del sistema de canales de Xochimilco.

Las especies introducidas, carpa y tilapia afectan a la población de ajolote debido a que su alta densidad poblacional potencia los efectos negativos en las relaciones alimenticias de ambas especies, al ser competidores por organismos como peces, insectos, anfípodos, quironómidos e isópodos.

La depredación de la carpa y tilapia hacia el ajolote en términos de asimilación no fue sustentada con el análisis de isótopos, sin embargo la presencia de residuos de ajolote en el contenido estomacal de carpa y tilapia si se registró, aunque eventualmente.

La zona litoral y béntica de los canales constituye el nicho alimenticio más importante para el ajolote. El área de alimentación de la carpa y la tilapia se traslapa con la del ajolote y además se extiende a la zona bentónica y de media agua de los canales.

Las macrófitas acuáticas constituyen una parte importante de la dieta de tilapia y en menor grado de la dieta de la carpa, pero no forman parte de la dieta del ajolote. Sin embargo su importancia radica en que sus raíces son habitat de los organismos que forman parte de la dieta del ajolote, por lo que es importante fomentar su establecimiento.

Los valores isotópicos de carbono de las algas filamentosas, los rotíferos y el sedimento sugieren que el tipo de aporte orgánico es distinto entre la región de Huetzali (Parque Ecológico de Xochimilco), El Bordo y Japón en comparación con el resto de los canales localizados en la zona urbana y de chinampería.

Entre los peces endémicos de Xochimilco, solo se capturó al charal *Chirostoma jordanni* y al godeido *Godea atripinnis* como parte de la fauna de acompañamiento.

Se propone una extracción controlada de las especies exóticas para mejorar las características físicas del nicho alimenticio del ajolote y disminuir la presión en términos de competencia y probablemente de depredación.

El programa de empalizamiento de las paredes de las chinampas que actualmente está realizando la Delegación de Xochimilco, no es aconsejable ya que dificulta el acceso del ajolote a la zona litoral, donde se encuentra su principal fuente de alimento.

Como medida inmediata, se recomienda crear una zona denominada “Santuario del Ajolote”, destinada a la preservación de la especie, y a su difusión como especie endémica de Xochimilco, mediante el establecimiento de las condiciones idóneas para el sano crecimiento de su población.

REFERENCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1998.** *Standard Methods for the examination of water and wastewater.* 20th ed. United Book Press, Inc. Baltimore, Maryland U.S.A.
- AMUNDSEN, P.A., H.M. GABLER, F.J.STALDVIK, 1996.** *A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data- modification of the Costello (1990) method.* Journal of Fish Biology 48, 607-614.
- AVILA, R.B., 2000.** *Composición actual de la ictiofauna del lago de Xochimilco.* Tesis ENEP Iztacala Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 72 p.
- BOJÓRQUEZ, C. L., 1995.** *El ecosistema lacustre. Xochimilco y el deterioro de las chinampas.* En : Rojas Rabiela T. "Presente , pasado y futuro de las chinampas". México, D.F.325 p.
- BOJÓRQUEZ, L., 1991.** *Rescate de Xochimilco.* Coord. Por B. Canabal. UAM-Xochimilco pp 63-81.
- BRADSHAW, A.D., 2002.** Introduction and Philosophy. En: *Handbook on Ecological Restoration* Eds. Perrow M.R. y Davy A.J. Cambridge University Press. Cambridge, UK 2002.
- BRANDON, A.R., 1989.** Natural History of the Axolotl and its Relationship to other Ambystomatid Salamanders. En: *Developmental Biology of the Axolotl.* Eds. J.B. Armstrong y G. Malacinski. Oxford Univ. Press, N.Y.
- BREWKELAAR, A., E. LAMMENS, J. BRETELER E I.TRATAI, 1994.** *Effects of benthivorous bream (Abramis brama) and carp (Cyprinus carpio) on sediment resuspension and concentration of nutrients and chlorophyll a.* Freshwater Biology, 32, pp. 112-121.
- BRONMARK, C. Y S.E.B. WEISNER,1992.** *Indirect effects of fish community structure on submerged vegetation in shallow, eutrophic lakes: an alternative mechanism.* Hydrobiologia, 243/244, pp. 293-301.

- BRUMLEY, A.R.**, 1991. *Cyprinids of Australia*. En: Winfield I.J. y J.S. Nelson (eds.), *Cyprinids Fishes-Systematic, Biology and Exploitation*. Fish & Fisheries Series3. Chapman & Hall Ltd., Londres
- CAJO, J.F. Y T. BRAAK, 1986**. *Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis*. *Ecology*, 67(5) pp. 1167-1179.
- CARPENTER, S.R. Y R.C. LATHROP, 1999**. *Lake restoration: capabilities and needs*. *Hydrobiology* 395/396:19–28
- CARPENTER, S.R. Y J.F. KITCHELL, 1993**. *The trophic cascade in Lakes*. Cambridge University Press. Cambridge, U.K., 385 p.
- CARPENTER, S.R., FROST, T.M., KITCHELL, J.F., KRATZ, T.K., SCHINDLER, D.W., SHEARER, J., SPRULES, W.G., VANNI, M.J. Y ZIMMERMAN, A.P., 1991**. *Patterns of primary production and herbivory in 25 North America lake ecosystems*. En: *Comparative Analyses of Ecosystems: Patterns, Mechanisms, and Theories*, Eds. J.Cole, G. Lovett y S.Findlay Springer-Verlag, pp. 67-96. New York.
- CONVENCIÓN SOBRE EL COMERCIO INTERNACIONAL DE ESPECIES AMENAZADAS (CITES), 2005**. *Exámen periódico de los apéndices de la CITES. Revisión del estatus del ajolote mexicano *Ambystoma mexicanum**. Vigésimo primera Reunión del Comité de Fauna, Ginebra, Suiza. Mayo 23 a 25, 2005.
- CLAUDI, R., J.H. LEACH, 1999**. *Nonindigenous freshwater organisms. Vectors, Biology and Impacts*. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida U.S.A., 464 p.
- CONABIO, 2003**. "Abundancia y estructura poblacional del ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco". Proyecto AS2004
- Contreras, B.S. y C.M.A. Escalante, 1984**. *Distribution and known impacts of exotic fishes in México*. En: *Distribution, Biology and Management of Exotic Fishes*, 1985. Courtenay, W.R. and J.R. Stauffer, Eds. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- COSTELLO, M.J., 1990**. *Predator feeding strategy and prey importance: a new graphical analysis*. *Journal of Fish Biology* 36,261-263.

- DENIRO, M.J., AND EPSTEIN, S., 1981.** Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45:341-351pp.
- DENIRO, M.J., Y EPSTEIN, S., 1978A.** Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 42:495-506pp.
- DENIRO, M.J., AND EPSTEIN, S., 1977.** Mechanisms of carbon isotope fractionation associated with lipid synthesis. *Science*, 197:261-263pp.
- DIANA, J.S., D.J. Dettweiler y C. Kwei Lin, 1991.** *Effect of Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) on the ecosystem of aquaculture ponds, and its significance to the trophic cascade hypothesis.* *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 48, pp. 183-190.
- DOF, 1994.** Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL/1994. SEMARNAP, Diario Oficial de la Federación, 16 de mayo de 1994.
- Espinosa, P.G., 1996.** *El embrujo del Lago.* Instituto de Investigaciones Históricas e Instituto de Investigaciones Antropológicas UNAM. México, D.F. p. 432
- Fernández-Aláez M., C. Fernández-Aláez y E. Bécares, 1999.** *Nutrient content in macrophytes in Spanish shallow lakes.* *Hydrobiologia* 408/409: 317-326.
- FONDEPESCA, 1987.** *La carpa y su cultivo.* Secretaría de Pesca. México D.F. 43 p.
- FOCKEN U., Y K.Becker, 1998.** *Metabolic fractionation of stable carbon isotopes: implications of different proximate compositions for studies of the aquatic food webs using $\delta^{13}\text{C}$ data.* *Oecologia* 115: 337-343.
- FROST, A.R., 1985.** *Amphibian Species of the World. A taxonomic and Geographical Reference.* Published as a joint venture of Allen Press Inc. The Association of Systematics Collections. Lawrence , USA .
- GANNES, L.Z., D.M. O'BRIEN Y C. MARTÍNEZ DEL RÍO, 1997.** *Stable isotopes in animal ecology: assumptions, caveats, and a call for more laboratory experiments.* *Ecology* 78: 1271-1276.
- GRAUE, W. V., 1998.** *Estudio Genético y Demográfico de la población del anfibio *Ambystoma mexicanum* (Caudata: Ambystomatidae) del Lago de*

Xochimilco. Tesis doctoral del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, México.

HIGHLAND STATISTICS LTD., 2005 a. Paquete para análisis estadístico Brodgar v2.4.2., <http://www.highstat.com> , marzo 2005. Gran Bretaña.

HIGHLAND STATISTICS LTD., 2005 b. *Statistics course: Analyzing Biological and Environmental data*. 28 marzo a 1° abril, 2005. México, D.F.

HINOJOSA-Garro, D. y L. Zambrano, 2004. *Interactions of common carp (Cyprinus carpio) with benthic crayfish decapods in shallow ponds*. *Hydrobiologia* 515: 115-122.

HUACUZ, E.D., 2002. *Programa de conservación y manejo de Ambystoma dumerili, El achoque del lago de Pátzcuaro*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A.C., Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Morelia, Mich. México

HUIDROBO, L., 2000. Peces. En: *Organismos Indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores)*: Comp. Guadalupe de la Lanza Espino, Salvador Hernández Pulido, José Luis Carbajal Pérez . SEMARNAP; UNAM; Plaza y Valdes Eds. México, D.F.

JARDINE, T.D., S.A. McGEACHY, C.M. PATON, M. SAVOIE, Y R.A. CUNJAK, 2003. *Stable Isotopes in Aquatic Systems: Sample preparation, Analysis, and Interpretation*. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. No. 2656: 39 p.

JONES, C. G., 2002. *Reptiles and amphibians*. En: *Handbook of Ecological Restoration*. Vol. I. Perrow y Davy Eds. Norwich, England, pp: 355-375.

LARSON, A.; D.W.WEISROCK Y K.H. KOZAK, 2003. *Phylogenetic Systematics of Salamanders (Amphibia:Urodela), a Review*. En: *Reproductive Biology and Phylogeny of Urodela* Vol. 1 Ed. Sever, D. M. pp. 31-108

LOT, A., A. NOVELO, M. OLVERA, P. RAMÍREZ, 1999. *Catálogo de angiospermas acuáticas de México. Hidrófitas estrictas emergentes, sumergidas y flotantes*. Cuadernos del Instituto de Biología 33. Instituto de Biología, UNAM. México D.F. 159 pags.

- MALDONADO – KOERDELL, 1947.** *Notas Anfibiológicas I. Observaciones sobre algunos anfibios de la Cuenca de México.* Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. Tomo VIII #1-4 IPN. México,D.F.
- MALDONADO-KOERDELL, 1948.** *Las colecciones de anfibios del museo “Alfredo Dugés”, Universidad de Guanajuato. I. Urodelos.* Mem. Revista Soc. Cienc. “Antonio Alzate”. 56(2-3); 185-226. México, D.F.
- MARIOTTI, A., GERMON, J.C., HUBERT, P., KAISER, P., LETOLLE, R., TARDIEUX, A., Y TARDIEUX, P., 1981.** *Experimental determination of nitrogen kinetic isotope fractionation: some principles; illustration for the denitrification and nitrification processes.* Plant Soil 62: 413-430.
- MARTÍNEZ,S.** En proceso. *Interacción del ajolote *Ambystoma mexicanum* con la carpa común *Cyprinus carpio* y la Tilapia *Oreochromis niloticus* bajo condiciones de laboratorio.* Tesis de Licenciatura en Biología, Fac. de Ciencias, UNAM, México D.F.
- MILLER, T.E. Y W.C. KERFOOT, 1987.** *Redefining Indirect Effects.* En: Predation. Direct and indirect impacts on aquatic communities pp.33-37. Eds. W. Charles Kerfoot y Andrew Sih. University Press of New England.
- MINAGAWA, M. Y WADA E., 1984.** *Stepwise enrichment of 15N along food chains: Further evidence and the relation between 15N and animal age.* Geochim. Cosmochim. Acta, 48: 1135-1140.
- MORALES D.A., 1991.** *La Tilapia en México, biología, cultivo y pesquerías.* AGT Editor, México D.F. 190 p.
- MORIN, P.J., 1999.** *Community Ecology.* Blackwell Science Inc. Malden Ma. U.S.A. 424 p.
- MÜMTAZ, T. E. , T. JORGENSEN, 1999.** *An evaluation of the precision of diet description.* Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 182: 243-252pp.
- MERRIT R.W. Y K.W. CUMMINS, 1996.** *Aquatic Insects of North America.* Kendall/Hunt Publishing Company, 3rd ed., Iowa, USA
- National Research Council 1992. *Integrated Aquatic Ecosystem Restoration.* pp 341-349.

- NANDINI, P. RAMÍREZ-GARCÍA Y S.S.S. SARMA, 2005.** *Seasonal variations in the species diversity of planktonic rotifers in Lake Xochimilco, Mexico.* Journal of Freshwater Ecology, Volume 20, Number 2, June 2005.
- O'LEARY, M. H., 1981.** *Carbon Isotope Fractionation in Plants.* Phytochemistry, 20 (4) pp. 567.
- O'REILLY, C.M., R.E. HECKY, A.S. COHEN Y P.D. PLISNIER, 2002.** *Interpreting stable isotopes in food webs: Recognizing the role of time averaging at different trophic levels.* Limnol. Oceanogr., 47 (1), 306-309.
- PACE, M.L. Y FUNKE, E.B., 1991.** Regulation of planktonic microbial communities by nutrients and herbivores. Ecology, 72, 904-14
- PETERSON M.S., W.T. SLACK Y CH. M. WOODLEY, 2005.** *The occurrence of non-indigenous Nile Tilapia Oreochromis niloticus (Linnaeus) in coastal Mississippi, USA: ties to aquaculture and thermal effluent.* Wetlands, Vol. 25, No. 1, March 2005, pp. 112-121.
- PHILLIPS, D.L. Y P.L. KOCH, 2002.** *Incorporating concentration dependence in stable isotope mixing models.* Oecologia 130:114-125pp.
- PHILLIPS, D.L. Y J.W. GREGG, 2003.** *Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources.* Oecologia 136:261-269pp.
- PHILLIPS, D.L., S.D. NEWSOME Y J.W. GREGG, 2005.** *Combining sources in stable isotope mixing models: alternative methods.* Oecologia ISSN: 0029-8549 (Paper) 1432-1939 (Online) DOI: 10.1007/s00442-004-1816-8.
- PERROW, M.R., M.L.TOMLINSON Y L. ZAMBRANO, 2002 .** *Fishes.* En: Handbook of Ecological Restoration Vol. I. pp.324-354. Perrow & Davy Ed. Norwich, England.
- PETERSON, B.J. Y FRY, B., 1987.** Stable isotopes in ecosystem studies. Ann Rev. Ecol. Syst. 18:293-320.
- POLIS G.A. y K.O. Winemiller, 1996.** *Food webs: integration of patterns and dynamics.* Gary A. Polis & Kirk O. Winemiller eds. New York Chapman and Hall, 472p.
- POST, D.M., 2002.** *Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods and assumptions.* Ecology 83(3): 703-718.

- PROGRAMA DELEGACIONAL DE DESARROLLO URBANO DE XOCHIMILCO, 1995.**
Gobierno del Distrito Federal, México D.F.
- RAPPORT, D. J., 1992.** *Evaluating ecosystem health.* Journal of Aquatic Ecosystem Health 1:15-24.
- REDONDO, N., 1999.** *Aislamiento de bacterias asociadas con infecciones en cultivo de Ajolote (Ambystoma mexicanum).* Hidrobiológica 9 (1):9-14
- RICHARDSON, M.J., F.G. Whoriskey y L. H. Roy, 1995.** *Turbidity generation and biological impact of an exotic fish Carassius auratus, introduction into shallow seasonal anoxic ponds.* Journal of Fish Biology 47: 576-585.
- ROJAS RABIELA, T., 1991.** *Ecological and Agricultural Changes in the Chinampas of Xochimilco-Chalco.* En: Land and Politics in the Valley of Mexico H.R. Harvey, Ed. University of New Mexico Press, Albuquerque. New Mexico pp. 275-290.
- ROJAS RABIELA, T., 1998.** *La cosecha del agua en la cuenca de México.* Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. México, D.F.
- ROSAS, I. A.; BÁEZ A. Y COUTIÑO M., 1984.** *Bacteriological quality of crops irrigated with wastewater in the Xochimilco plots.* Mexico City, Applied Environmental Microbiology, 47(5): 1074-1079.
- SANDOVAL, C.J., 2003.** *Calidad microbiológica y físicoquímica del agua de los canales de Xochimilco.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM.
- SHAFFER, H., 1989.** *Natural history, ecology and evolution of the Mexican axolotls.* Axolotl Newsletter, Indiana University, Indiana 18:5-11.
- SCHEFFER, M, S. CARPENTER, J.A. FOLEY, C. FOLKE Y B. WALKER, 2001.** *Catastrophic shift in ecosystems.* Nature 413 (11) pp. 591-596.
- SCHEFFER, M., 1999.** *The effect of aquatic vegetation on turbidity; how important are the filter feeders?* Hydrobiologia 408/409: 307-316.
- SHERR, E.B. Y SHERR, B.F., 1991.** *Planktonic microbes: tiny cells at the base of the ocean's food web.* Trends in Ecology and Evolution, 6, 50-54.
- SMITH, R. Y T.M. SMITH, 2000.** *Ecología.* Addison Wesley, 4ª edición. México, D.F.

- SMITH, H.M. Y E. H. TAYLOR, 1948.** *An Annotated Checklist and key to the Amphibian of México.* Bull. U.S. Nat. Mus. I-IV: 1-118. Society for Ecological Restoration International, Science and Policy Working Group, 2002. *The SER primer on ecological restoration*, First Edition.
- STEIN, R.A. y J.F. Kitchell, 1975.** *Selective predation by carp (Cyprinus carpio) on benthic mollusks in Skador Lake, Yugoslavia.* Journal of Fish Biology 7:391-399.
- UC DAVIS STABLE ISOTOPE FACILITY,** Department of Plant Sciences One Shields Ave, Mail Stop 1 Davis, CA 95616 USA. <http://stableisotopefacility.ucdavis.edu>
- VANDER ZANDEN, M.J. Y RASMUSSEN J.B., 2001.** *Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: implications for aquatic food web studies.* Limnol. Oceanogr. 46: 2061-2066.
- VANDER ZANDEN, M.J. Y J.B. RASMUSSEN, 1999 (A).** *Primary consumer $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ and the trophic position of aquatic consumers.* Ecology 80 (4): 1395-1404.
- VANDER ZANDEN, M.J., J.M. CASSELMAN Y J.B. RASMUSSEN, 1999 (B).** *Stable isotope evidence for the food web consequences of species invasions in lakes.* Nature 401: 464-467.
- WETZEL, R.G., 2001.** Limnology. Lake and River Ecosystems. Third ed., Academic Press, San Diego. 429 p.
- ZAMBRANO, L., REYNOSO, V.H. AND HERRERA, G., 2004.** *Abundancia y estructura poblacional del axolotl (Ambystoma mexicanum) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco.* Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Base de datos SNIB-Conabio proyecto AS004. México, D.F.
- ZAMBRANO, L., 2003.** *La restauración de ríos y lagos.* Revista Ciencias no. 72 Octubre/Diciembre.
- ZAMBRANO-González L., M.R. Perrow, C. Macías y V. Aguirre, 1999.** *Impact of introduced carp (Cyprinus carpio) in subtropical shallow ponds in central Mexico.* Journal of Aquatic Ecosystems Stress and Recovery 6: 281-288.

ZAMBRANO, L. Y C. MACÍAS-GARCÍA, 1999. *Impact of Introduced Fish for Aquaculture in Mexican Freshwater Systems.* En: *Nonindigenous Freshwater Organisms. Vectors, Biology and Impacts.* Claudi R., J.H. Leach Eds. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida, 464