Informe final* del Proyecto LI038
Estado actual, identificación de riesgos y propuestas para el manejo de las especies invasoras presentes en las regiones hidrológicas prioritarias, confluencia de las Huastecas, Media Luna y Cabecera del río de La Laja*

Responsable:	M. en C. Eduardo Soto Galera
Institución:	Instituto Politécnico Nacional Escuela Nacional de Ciencias Biológicas Departamento de Zoología Laboratorio de Ictiología y Limnología
Dirección:	Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s/n, Casco de Santo Tomás, México, 11340, Ciudad de México
Correo electrónico:	encb@ipn.mx, egalera@ipn.mx
Teléfono/Fax:	Tel/Fax: 5729 6300 ext. 62420

Fecha de inicio:	Octubre 30, 2015.
Fecha de término:	Abril 5, 2019.
Principales resultados:	Base de datos, informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:**	Soto-Galera, E., Alcántara-Soria L. y J. Paulo-Maya. 2018. Estado actual, identificación de riesgos y propuestas para el manejo de las especies invasoras presentes en las regiones hidrológicas prioritarias, confluencia de las Huastecas, Media Luna y Cabecera del río de La Laja. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. **Informe final SNIB-CONABIO, Proyecto No. LI038**. Ciudad de México.

Resumen:

A partir de los resultados obtenidos de los proyectos financiados por la CONABIO relacionados con las regiones hidrológicas prioritarias Confluencia de las Huastecas, Media Luna y Cabecera del río de La Laja (P006, S115 y FM027), se seleccionarán 29 sitios ubicados principalmente en sistemas lénticos, con la finalidad de determinar una serie de parámetros biológicos, a partir de una serie de colectas bimensuales durante un ciclo anual, mismos que en conjunto con los reportados en la bibliografía permitirán establecer los riesgos de 11 especies invasoras en las regiones propuestas. Con la información procedente de este proyecto y los antecedentes se construirá una base de datos con el administrador Biótica 5.0, que incluirá al menos 250 registros de 11 especies procedentes de al menos 35 localidades, la base también incluirá en el módulo nomenclatural las características de las 11 especies invasoras. Adicionalmente con esta información se obtendrán las evaluaciones de riesgo para cada especie utilizando la metodología del Invasiveness Scoring Kit. Para finalmente emitir el diagnóstico y las medidas de manejo correspondiente

---

- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
- ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.

INFORME FINAL DEL PROYECTO

Estado actual, identificación de riesgos y propuestas para el manejo de las especies invasoras presentes en las regiones hidrológicas prioritarias, Confluencia de las Huastecas, Media Luna y Cabecera del río de La Laja (LI038).

Soto-Galera, E. L. Alcántara Soria y J. Paulo-Maya.

Ciudad de México a 22 de junio de 2018.

INTRODUCCIÓN.

Las cuencas del río Pánuco (Confluencia de las Huastecas y Media Luna) y del Lerma (Cabecera del río de La Laja) se caracterizan por su alto porcentaje de endemismos, en el primer caso destacan los géneros, *Herichthys, Tampichthys, Xiphophorus* y *Gambusia*, mientras que en el segundo los hacen la familia Goodeidae y el género *Chirostoma*. Además, estas son consideradas por diversos autores como las regiones hidrológicas, más diversas después del gran sistema de los ríos Grijalva y Usumacinta (Miller et al., 2005). Sin embargo, estas han estado sujetas a una fuerte presión antropogénica, misma que ha repercutido en un fuerte impacto ambiental de sus cuerpos de agua, como consecuencia de la contaminación (urbana, industrial, agropecuaria y minera) la construcción de obras hidráulicas, la deforestación, el cambio en el uso del suelo y la introducción de especies exóticas (Díaz-Pardo, et al., 1993; Arriaga-Cabrera, et al. 1998; Soto-Galera, et al., 1998; Soto-Galera, et al., 1999; Soto-Galera, et al., 2011). Específicamente para la cuenca del río de la Laja, cuya porción alta comprende la Región Hidrológica Prioritaria número 57 "Cabecera del río de La Laja" (RHP57), la literatura señala hasta el 2003 la presencia *de Cyprinus carpio, Carassius auratus, Oreochromis Mossambicus, Lepomys cyanellus, L. macrochirus, Micropterus salmoides y Xiphophorus variatus* (López-López & Díaz-Pardo, 1991; Mercado-Silva et al., 2006). Mercado-Silva, et al. (2006), señalan que en esta cuenca existe un incremento en el número de peces exóticos el cual fluctúa, entre el 9 y 20% por década, en detrimento de la fauna nativa la cual ha venido decreciendo en un orden de entre el 11 y 30% por década. Además, advierten que el establecimiento de *Micropterus salmoides* y *Xiphophorus variatus* en este río, se convierte en una seria amenaza para la fauna nativa. Para los humedales de la Laguna de la Media Luna comprendidos en la Región Hidrológica Prioritaria número 74 "Lago de la Media Luna" (RHP74) Palacio-Núñez, et al. (2010) señalan la presencia de cinco especies introducidas, de las cuales *Oreochromis* sp. es la única exótica y resaltan un amplio solapamiento espacial entre las especies endémicas y las introducidas, siendo el cíclido africano la especie que manifiesta los mayores índices de solapamiento espacial con las especies nativas. Finalmente para la Región Hidrológica Prioritaria número 75 "Confluencia de las Huastecas" (RHP75) se registra la presencia de las siguiente especies exóticas, *Abramis brema*, Carassius auratus, *Cyprinus carpio,*

Ctenopharyngodon idella, Ictalurus punctatus, Onchorinchus miskis, *Micropterus salmoides, Lepomis macrochirus*, *Poecilia reticulata, Poeciliopsis gracilis, Xiphophorus helleri, Amatitlania nigrofasciata, Coptodon rendalli, Oerochromis aureus*, *O. mossambicus y O. niloticus,*así como de las especies translocadas, *Poeciliopsis gracilis, Xiphophorus hellerii, Micropterus salmoides, Lepomis macrochirus,* y *Lepomis cyanellus (*Soto-Galera, 2002; González-Rodríguez, et al., 2010; Soto-Galera et al., 2011; Miranda et al., 2012). Como resultado de los registros procedentes de los proyectos P006, S115 y FM027 (financiados por la CONABIO), la base de datos de la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. Contiene un total de 111 registros (para las tres regiones propuestas) pertenecientes a las siguientes especies invasoras: *Carassius auratus, Cyprinus carpio, Micropterus salmoides, Lepomis macrochirus, Lepomis cyanellus, Amatitlania nigrofasciata, Oreochromis mossambicus, O. aureus, O. niloticus, Coptodon rendalli y Poeciliopsis gracilis* (Soto-Galera, et al., 2011); además, se tiene asociados al catálogo de la colección la información de las bitácoras de campo, mismas que desde 1993 (proyecto P006) recopilan información de las siguientes variables físico-químicas del agua: temperatura, pH, conductividad, concentración de sólidos disueltos turbidez, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, fosfatos, sulfatos y concentración de carbonato de calcio. Entre los resultados más evidentes de estos proyectos resalta que la mojarra *Oreochromis mossambicus* se encuentra ampliamente distribuida en las tres regiones propuestas, aunque se señala que para el caso de los sistemas lóticos de la región denominada Confluencia de las Huastecas, no se constituye como una especie dominante en abundancia, situación que suele suceder en la cuenca del Lerma, donde se ubica la cabecera del río de La Laja. Por otro lado, los registros señalan la proliferación de estas especies en sistemas lénticos tanto artificiales como naturales, incluso los registros en colección señalan la sustitución de *Herichthys labridens* por especies de tilapia en la laguna de Atezca en Molango, Hidalgo, además del establecimiento de estas en la Laguna de Metztitlán. Los registros de *Amatitlania nigrofasciata* en el río Candelaria, se constituyen en la evidencia más reciente de este tipo de invasiones. Finalmente es importante reconocer que la inmensa mayoría de las capturas presentes en la colección proceden de sistemas lóticos, situación que obliga a efectuar colectas intensivas en sistemas lénticos y en las inmediaciones de estos con la

finalidad de evaluar con mayor precisión las áreas de invasión de estas especies en las regiones propuestas.

ÁREAS DE ESTUDIO

RHP57 CABECERA DEL RÍO DE LA LAJA

Estado(s): Guanajuato Extensión: 3 476 km2

Polígono: Latitud 21°33'00'' - 20°58'12'' N

Longitud 101°28'12'' - 100°30'00'' W

Recursos hídricos principales

Lénticos: Presas Purísima, Begoña, El Gallinero y La Biznaga, humedales

Lóticos: ríos de la Laja, El Plan y San Juan, arroyos temporales y permanentes

Características varias: Predomina el clima semiseco semifrío y semifrío subhúmedo con lluvias en verano salvo en la sierra de la Media Luna en donde es templado subhúmedo. Temperatura promedio anual 14-18°C. Precipitación total anual 400-800 mm; evaporación 1 000-1 200 mm.

RHP 74 LAGO DE LA MEDIA LUNA

Estado(s): San Luis Potosí Extensión: 1 293.51 km2

Polígono: Latitud 22°12'36'' - 21°46'48'' N

Longitud 100°17'24'' - 99°43'12'' W

Recursos hídricos principales

Lénticos: lago de La Media Luna

Lóticos: río Verde, arroyos, canales para riego

Características varias: clima semiseco semicálido con lluvias en verano. Temperatura media anual de 20-22 °C. Precipitación total anual de 500-700 mm.

RHP75 CONFLUENCIA DE LAS HUASTECAS

Estado(s): Veracruz, San Luis Potosí, Hidalgo y Querétaro

Extensión: 27 404.85 km2

Polígono: Latitud 22°16'48'' - 20°19'48'' N

Longitud 101°21'00'' - 98°01'12'' W

Recursos hídricos principales

Lénticos: presa Zimapán, lagos Meztitlán y Molango.

Lóticos: ríos Santa María, Bagres, Jalpan, de las Albercas, Naranjo, Mesillas, Tamuín o Pánuco, Grande de Meztitlán, San Pedro, Gallinas, Tampaón, Choy, Moctezuma, Ojo

Frío, Tempoal o Calabazo, Tulancingo, Hondo, Amajac, del Hule, Axtla y Matlapa, arroyos, manantiales, cascadas, aguas hidrotermales

Características varias: clima semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, templado subhúmedo y cálido subhúmedo con lluvias en verano y principios de otoño. Temperatura media anual de 12-26 °C. Precipitación total anual de 700-3000 mm. Información tomada de Arriaga Cabrera et al. (1998).

OBJETIVOS

GENERAL

Efectuar el diagnóstico y proponer medidas de manejo para las once especies de especies invasoras detectadas para las regiones hidrológicas prioritarias denominadas, Cabecera del río de La Laja (RHP57), Lago de La Media Luna (RHP74) y Confluencia de las Huastecas (RHP75).

PARTICULARES.

- Construir una base de datos que dé cuenta de la presencia de especies invasoras en ríos, arroyos, lagos y embalses artificiales de las tres regiones hidrológicas prioritarias.
- Identificación de los riesgos de las especies exóticas presentes
- Evaluar el efecto que tiene sobre la ictiofauna nativa, la introducción de especies invasoras con fines de acuacultura extensiva en embalses naturales y artificiales en las tres regiones hidrológicas prioritarias.
- Proponer medidas de manejo para las especies invasoras presentes en las tres regiones hidrológicas prioritarias.

TÉCNICAS Y MÉTODOS

Base de datos

Se completó la base de datos de la colección con información de las especies invasoras en las tres regiones hidrológicas prioritarias, como a continuación se detalla.

a) Incorporación de registros procedentes de las recolectas efectuadas durante el desarrollo del proyecto, con el empleo del programa Biótica versión 5.0.

b) Incorporación de la información señala como obligatoria en el Apéndice del instructivo de la convocatoria **"DIAGNÓSTICO Y ACCIONES DE MANEJO DE POBLACIONES DE ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS EN ÁREAS PRIORITARIAS PARA LA CONSERVACIÓN EN MÉXICO Y PROPUESTAS PARA SU MANEJO, 2013"**, en el módulo nomenclatural del catálogo de características de las especies de la base de datos de la colección. La información procede de la revisión de la literatura especializada (incluyendo tesis) y de la generada en este proyecto.

La evaluación del riesgo para cada especie se efectuó utilizando la metodología del "Invasiveness Scoring Kit, FISK"

Con la finalidad de establecer el efecto que tienen las especies invasoras sobre la ictiofauna nativa, adicionalmente se evaluó:

a) El éxito en el establecimiento de poblaciones de las especies invasoras en los ambientes lénticos y lóticos de las tres regiones hidrológicas prioritarias. Mediante la comparación de la abundancia relativa de éstas, en contraste con el de la ictiofauna nativa, así como el contraste de los atributos reproductivos y de crecimiento corporal de las especies invasoras, entre las poblaciones que residen en los ambientes lénticos, donde usualmente son introducidas, y los lóticos que son las vías de invasión hacia todo el sistema hirológico.
b) El análisis del traslape en el nicho espacial y trófico, entre las especies invasoras y las nativas.

Con base en la información antecedente en la colección, se procedió a seleccionar tres embalses artificiales y los dos naturales (Lagunas de Meztitlán y Molango) en la RHP75 Confluencia de las Huastecas, mismos que fueron muestreados al menos en tres porciones: efluente, región limnética y efluente río abajo de la cortina (total 15 sitios).

En el caso de la RHP74 Lago de la Media Luna se efectuaron censos visuales en el lago del mismo nombre y en el manantial denominado Los Anteojitos, además se efectuó la recaptura de ejemplares en tres sitios dentro del sistema de canales que rodean estos manantiales (total 5 sitios).

En la RHP57 Cabecera del río de La Laja, se efectuaron las recolectas en tres embalses artificiales procediendo de la misma forma que en el caso de la Confluencia de las Huastecas (9 sitios).

Las capturas fueron bimensuales durante un año y se efectuaron con chinchorros y trasmallos en los sistemas lenticos, mientras que en los lóticos con electropesca. La mayoría de los peces recolectados se fijaron con formol al 4%, aunque también algunos ejemplares se fijaron en alcohol al 70%, para su traslado al laboratorio Simultáneamente a la captura de ejemplares se determinaron, mediante el uso de multiparamétricos Hanna y espectrofotometría Hach, los siguientes parámetros ambientales: Temperatura, pH, conductividad, concentración de sólidos disueltos turbidez, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, fosfatos, sulfatos y concentración de carbonato de calcio.

En el laboratorio se efectuó la identificación del material íctico colectado, mediante el uso de la literatura especializada y se completó la curación del material biológico, para su incorporación a la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. Finalmente se capturar la información de cada registro en la base de datos.

Para las especies invasoras objeto de estudio se determinaron mediante las técnicas convencionales (Bennett, 1970; Bagenal, 1978, Schreck & Moyle, 1990), su abundancia relativa, proporción de sexos, talla de primera madurez, temporada de reproducción, fecundidad, dieta por sexo y estadios ontogénicos, índice gonadosomático y factor de condición. Estas determinaciones se realizaron según las particularidades de cada especie en cada región e incluyeron ejemplares capturados durante el desarrollo del proyecto y los presentes en la colección.

Mediante los procedimientos estadísticos adecuados, se procedió a comparar los atributos antes mencionados, entre las poblaciones presentes en los embalses y las correspondientes en los sistemas lóticos.

Con el empleo del índice de similitud de Morisita (con valores de 0 cuando no existe solapamiento a 1 cuando el solapamiento es total) (Krebs, 1998), se determinó el solapamiento espacial de cada una de las especies invasoras con las diferentes especies nativas. El traslape de la dieta entre las especies invasoras y las nativas, se realizó en al menos en un embalse y un tramo de río para cada región hidrológica, las matrices de utilización del alimento necesarias para la aplicación del índice de Morisita, se generaron mediante el análisis del contenido estomacal de las especies

presentes en cada uno de los sistemas a analizar, tal y como lo señala Schreck & Moyle (1990).

Con el análisis de la información generada y su comparación con la literatura especializada, se determinó el éxito del establecimiento de diferentes poblaciones para cada una de las especies invasoras, la magnitud de las invasiones en los diferentes sistemas hidrológicos y algunos de los posibles efectos de estos invasores sobre la ictiofauna nativa. El estado que guarda cada una de las especies invasoras detectadas en cuanto a los parámetros determinados, permitió presentar algunas medidas de prevención, erradicación y/o manejo, que consideramos compatibles con la situación ambiental y de aprovechamientos de recursos que se dan en estas regiones, y que además, en la práctica sean técnicamente factibles.

RESULTADOS.

Localidades de muestreo (ver anexo I).

Para la RHP 57 se seleccionaron los embalses La Biznaga, El Gallinero, La Erre e Ignacio Allende, no se registraron especies invasoras en las siguientes localidades:

a) Afluente de la Biznaga. **Motivo: sólo presento agua en el mes de septiembre, pero no se recolectaron peces.**

b) El embalse la Biznaga. **Motivo: fue visitado en los meses de octubre del 2015, febrero, abril, julio y septiembre de 2016 finalmente se descartó, ya que sólo se registró la presencia de *Chirostoma jordani.***

c) Efluente de la Biznaga **Motivo: Afluente seco.**

d) Afluente de la presa El Gallinero 9.45 km al NO de Dolores Hidalgo, Mpio. Dolores Hidalgo, Guanajuato (22°12’25.66”N, 101°00’21.10”O) 1980 msnm. **Motivo: Afluente seco.**

e) Afluente de presa La Erre, 4 km al S de Dolores Hidalgo, Mpio. Dolores Hidalgo, Guanajuato. (21°06’58.70”N, 100°56’17.62”O) 1924 msnm. **Motivo: Afluente seco.**

f) Río Laja efluente de la presa Ignacio Allende, en Los Morales 7.36 km al NO de Comonfort, Mpio. Comonfort, Guanajuato. (20°46’56.12”N, 100°48’23.02”O) 1812 msnm. **Motivo: Efluente fuertemente contaminado 0.8 mg/l de oxígeno disuelto.**

El río La Laja, efluente natural de los embalses mencionados, por las características de su lecho, es un río intermitente y por los ciclos climáticos, además es un río de temporal, de tal forma que para muestrearlo fue necesario, durante cada campaña ubicar tramos con agua, las localidades estuvieron comprendidas a todo lo largo del río desde su efluencia de los embalses y hasta su afluencia con el embalse Ignacio Allende.

Para RHP74 se realizaron censos visuales en El Lago de la Media Luna y en el manantial Los Anteojitos, además como consecuencia de obras de mantenimiento del sistema de canales artificiales alrededor del Lago de la Media Luna, en los dos primeros muestreos sólo fue posible realizar la recolecta de ejemplares en dos sitios:

a) Efluente del Lago de la Media Luna dentro del balneario.
b) Canal rumbo al Capulín.

Para los meses posteriores se detectó, la presencia de especies invasoras en las siguientes localidades:

a) Canal de riego en la calle Mariano Matamoros en Rioverde.
b) Puente Plazuela 6 km al SE de Plazuela.
c) Puente sobre riachuelo, 3.73 km al SO de Plazuela.

Para la RHP 75 además de las lagunas de Atezca y de Metztitlán, se seleccionaron los embalses artificiales: Jalpan, Represa sobre el río en el puente de Jihuico, 7.12 km al SE de Metztitlán y el embalse Comalillo, sin embargo, no fue posible realizar los muestreos comprometidos en las siguientes localidades:

a) Afluente de la presa Jalpan 5.04 km al SO de Jalpan, Mpio. Jalpan de Serra. Querétaro. (21°10’32.57”N, 99°29’41.10”O) 813 msnm. **Motivo: Afluente seco.**
b) Afluente y efluente de la Laguna de Atezca. **Motivo: cauces completamente secos**

Es importante señalar, que para la Laguna de Atezca y el embalse Jalpan, por las vedas respectivas, se decidió realizar censos visuales. Así, para ésta RHP74 se realizó trabajo de campo en las localidades que se señalan en el cuadro 3, algunas de ellas se encontraron totalmente secas en determinadas épocas.

Registros de especies invasoras incorporados a la base de datos de la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN (ver anexo I)

Para la RHP 57 (15 registros de especies invasoras con un total de 114 ejemplares) la base contempla las siguientes especies: *Cyprinus carpio* (3 registros 19 ejemplares), *Pseudoxiphophorus jonesii* (1 registro con 2 ejemplares), *Lepomis cyanellus* (1 registro, 9 ejemplares), *L. macrochirus* (1 registro, con un ejemplar) *Micropterus salmoides* (1 registro, 2 ejemplares) y *Oreochromis mossambicus* (7 registros, 80 ejemplares). En el río La Laja, efluente de los embalses la base contempla 170 registros de especies invasoras con 1810 ejemplares, incluyendo los registros del embalse Ignacio Allende (Begoña), en esta porción se presentan las especies invasoras *Cyprinus carpio, Carassius auratus, Lepomis cyanellus, Micropterus salmoides* y *Oreochromis mossambicus*, así como las transplantadas *Poeciliopsis gracilis, Pseudoxiphophorus jonesii* y *Xiphophorus variatus.* Siendo los pecílidos transolcados, *P. gracilis* (47 registros y 2651 ejemplares) y *Pseudoxiphophorus jonesii* (42 registros y 900 ejemplares), los más frecuentes y abundantes, seguidos por el cíclido invasor *O. mossambicus* 41 registros y 1885 ejemplares, también es de destacar la frecuencia de aparición y abundancia de las especies translocadas *Lepomis cyanellus* (22 registros y 103 ejemplares) y *Xiphophorus variatus (*7 registros y 231 ejemplares).

Para los canales y arroyos muestreados en la RHP 74 se contabilizan 42 registros con un total de 757 ejemplares, solo se detectó, la presencia de las especies invasoras: *Oreochromis mossambicus* con cinco registros y 14 ejemplares, además de la presencia de 2 especies translocadas, *Poecilia latipunctata* (7 registros y 117 ejemplares) y *Herichthys cyanoguttatus* (5 registros y 70 ejemplares). Adicionalmente, en dos arroyos en la vecindad de los límites de la RHP74 se detectó, la presencia de las especies introducidas *Micropterus salmoides* (dos registros y cinco ejemplares), Herichthys cyanoguttatus (2 registros y 22 ejemplares) y *Oreochromis mossambicus Micropterus salmoides* con 2 registros y cinco ejemplares.

Para el Lago de la Media Luna los registros visuales señalan la presencia del cíclido translocado *Herichthys cyanoguttatus* con 12 registros y un total de 1339 ejemplares, así como de la mojarra invasora *Oreochromis mossambicus* 11 registros con tan solo 22 ejemplares, mientras que, en el manantial Los Anteojitos, se registra la presencia de

dos especies translocadas *Micropterus salmoides* (seis registros y 13 ejemplares) y *Herichthys cyanogutatus* (seis registros y 856 ejemplares).

Finalmente, en la RHP 75 se presentaron 208 registros con 4855 ejemplares se detectó la presencia de nueve especies no nativas, las exóticas *Abramis brama*, Carassius auratus, *Cyprinus carpio, Amatitlania nigrofasciata* y *Oreochromis mossambicus*, mientras que las transplantadas son *Ictalurus punctatus*, *Poeciliopsis gracilis, Xiphophorus hellerii, Lepomis cyanellus, Lepomis macrochirus, Micropterus salmoides y Herichthys cyanoguttatus.* Es importante señalar que las especies translocadas *Poeciliopsis gracilis* 62 registros y 2918 ejemplares, y Xiphophorus helleri con 40 registros y 310 ejemplares, son las más frecuentes y en el caso de la primera también la más abundante, de las especies invasoras se destacan los cíclido *Amatitlania nigrofasciata* con 33 registros y 411 ejemplares y *O. mossambicus* con 25 registros y 873 ejemplares. Las especies exóticas *Abramis brama*, *Ictalurus punctatus* y *Lepomis cyanellus.*

El análisis de los registros históricos presentes en la base de datos ya actualizada, permite para que para cada una de las especies invasoras, describir las posibles rutas de introducción y dispersión de las mismas, dentro de cada una de las tres Regiones Hidrológicas Prioritarias, además de analizar su frecuencia de ocurrencia y abundancia relativa con respecto a las especies nativas, todos esto elementos son indispensables para comprender parte del proceso de establecimiento de cada especie.

Cyprinus carpio

El primer registro de la carpa común dentro de alguna de las regiones prioritarias, se da en la RHP75 y es de un ejemplar procedente del río Metztitlán en el año de 1948 (fig. 1), el análisis de los registros por décadas señala, que hasta el año de 1960 este constituía el único registro, aunque se presenta la especie en el río Tula afluente alto de la RHP75, en el transcurso de la década también es introducida al río San Juan (que se une al río Tula para dar origen al río Moctezuma); en 1986 se le captura en la Laguna de Atezca (RHP75) y en el 2009 en la porción baja del río Moctezuma; ya como resultado de presente proyecto se le detecta en distintas localidades del río Metztitlán y en la porción alta de río Amajac (en el río y en presas) fuera de la RHP75. En la RHP74 el primer registro data de 1966 en la presa el Gallinero.

Carassius auratus

Hasta 1960 no se presentan registros de *Carassius auratus* en las tres Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHPs), sin embargo en el río Tula afluente del Moctezuma se le registra en 1951,la falta de registros dentro de las RHPs se mantiene hasta 1980, aunque durante este lapso se puede observar un incremento en los registros para los afluentes altos de la RHP75 (ríos San Juan, Tula y Atotonilco), en el año de 1984 se detecta por primera vez la presencia de *C. auratus* en el río Metztitlán (RHP75) y en 1990 en el embalse Ignacio Allende ubicado en sobre el río La Laja, afluente de la RHP57; para el 2001 se le detecta también en el río Santa María en la RHP75 y finalmente en el 2016 se le captura en el río La Laja en los límites de la RHP74 (fig. 2).

Poeciliopsis gracilis

El primer registro de este pecílido translocado en la RHP75 se ubica en el Río Coy afluente del río Pánuco en la porción baja de la RHP75 en 1954, manteniéndose éste como el único registro hasta la década de los 70s; a partir de 1980 y hasta 1990 sólo se observa la presencia de esta especie en afluentes del río Moctezuma fuera de la RHP75, sin embargo para la siguiente década se detecta que se encuentra dispersado en varias localidades de los ríos Estorax, Atlapexco, San Pedro, Santa María, Jalpan y Coy, para la primera década del presente milenio adicionalmente se le registra en el río Claro, afluente de río Amajac y en el 2016, también en los ríos Amajac y Metztitlán (RHP75), finalmente se registra su presencia por primera vez en la cuenca del río La Laja, en la efluencia de la RHP74 (fig.3).

Lepomis cyanellus

Los registros obtenidos durante las recolectas efectuadas en el 2016, señalan por primera vez la presencia de este centrárquido en la Laguna de Atezca (RHP75) y en la porción del río La Laja, inmediatamente por debajo de los límites de la RHP74 (fig. 4).

Lepomis macrochirus.

Entre las décadas de los 70s y 90s se aprecia un aumento en los registros de la mojarra de agallas en los ríos Tula y San Juan, afluentes del río Moctezuma antes de penetrar en la RHP75, pero es hasta el 2016 cuando se confirma un registro en esta región, mismo que procede de una presa en la cabecera del río Santa María en el estado de San Luís Potosí. Para la RHP57 no existen registros precedentes al 2016 de la presencia

de *L. macrochirus*, es en este año cuando se registra esta especie en la presa La Erre en las cabeceras del río La Laja (fig.5).

Micropterus salmoides

La lobina negra se registra por primera vez en una presa de la porción alta del río Santa María (RHP75) en 1973, en esta misma década ya se presenta en las cabeceras del río Moctezuma por fuera de la RHP75 en la cuenca del río Tula; entre 1981 y 1986 es capturada en la Laguna de Atezca; durante las capturas realizadas en el 2016 se le registra también, en la cuenca de río Jalpan y la presa del mismo nombre (RHP75), además de colectarla en un mayor número de localidades las cuencas de los ríos San Juan y Tula (fig. 6). Para la RHP 74 el primer registro de la lobina corresponde a una captura de nueve ejemplares en el río Verde cerca de Ríoverde, SLP, además se detecta su presencia en este mismo río, pero fuera de la RHP; para el 2016 los registros para *M. salmoides*, corresponden a censos visuales efectuados en el manantial Los Anteojitos. En las vecindades de la RHP57 se detecta su presencia desde 1990 en la presa Ignacio Allende, pero el primer registro dentro de la RHP se obtiene hasta 2016, con la captura de dos ejemplares de *M. salmoides* en la presa el Gallinero, año y en el que también se confirma su presencia en la presa Ignacio Allende (fig. 6).

Amatitlania nigrofasciata

El convicto es una especie invasora de reciente introducción a la región RHP75 los primeros registros datan del año 2000 en el río Atlapexco, para el 2010 además se registra en el río Claro y en el río Candelaria, los registros del 2016 señalan su presencia en la porción del río Metztitlán colindante con la laguna del mismo nombre (fig. 7).

Coptodon rendalli.

Para este cíclido africano solo se presenta un registro que corresponde a una captura de siete ejemplares en la laguna de Meztitlán en el año de 1979.

Oreochromis aureus

Hasta 1998 se registra la presencia de esta tilapia en la RHP75, con una captura de 3 ejemplares en el río Jalpan, hasta antes de este registro, se presentan capturas solo en los afluentes altos del Moctezuma (ríos San Juan y Tula) y en la porción alta del río Amajac, todos ellos por fuera de la RHP75; para la primera década del presente siglo se presenta un registro adicional en la RHP75 en el río Manzanarez. Durante las capturas

efectuadas en el 2016 no se tienen colectas de la especie. Para las RHPs 57 y 74 no se tienen registros, pero si en las vecindades de estas, ya sea en sus afluentes o en sus efluentes (fig. 8).

Oreochromis niloticus

Sólo se tiene un registro de la tilapia del nilo que corresponde a una colecta de 31 ejemplares, procedente del río Coy (RHP75) en el año 2000.

Oreochromis mossambicus

El primer registro de la tilapia azul en las tres RHPs, es el de Presa el Gallinero en la RHP57 y data de 1966, los siguientes registros para esta región aparecen hasta las capturas efectuadas en el 2016 en la misma presa y en la presa La Erre; en el afluente de esta región el primer registro corresponde a una captura de 1973 en la presa Ignacio allende, a partir de esta fecha y hasta el 2016, se observa un claro incremento de registros de la especie a todo la largo del río La Laja, hasta las inmediaciones de la región hidrológica. El primer registro de la tilapia de Mozambique dentro de la RHP75 data del año 1986 en la Laguna de Atezca, hasta 1990 se le registraba solo en el río San Juan y para finales del año 2000 también en el río Tula (ambos fuera de la RHP75), en el periodo 1991-2000 se suman registros, para los ríos Atlapexco, Jalpan, Amajac (antes de unirse con el Moctezuma) y Santa María; Para el año 2001 se le registra en el río Manzanarez afluente del río Santa María (dentro de la RHP75). Con las capturas efectuadas en el 2016 se añaden registros para todo lo largo del río Metztitlán en la RHP75, adicionalmente es importante señalar que los registros de este cíclido en los afluentes de esta región aumentaron significativamente entre el 2000 y 2016. En la RHP74 la primera captura registrada de *O. mossambicus* es de 1997, entre 2001 y 210 se presentan 3 registros, mientras que en el año 2016 se registró su presencia en el Lago de la Media Luna y en el sistema de canales que le rodean (fig. 9).

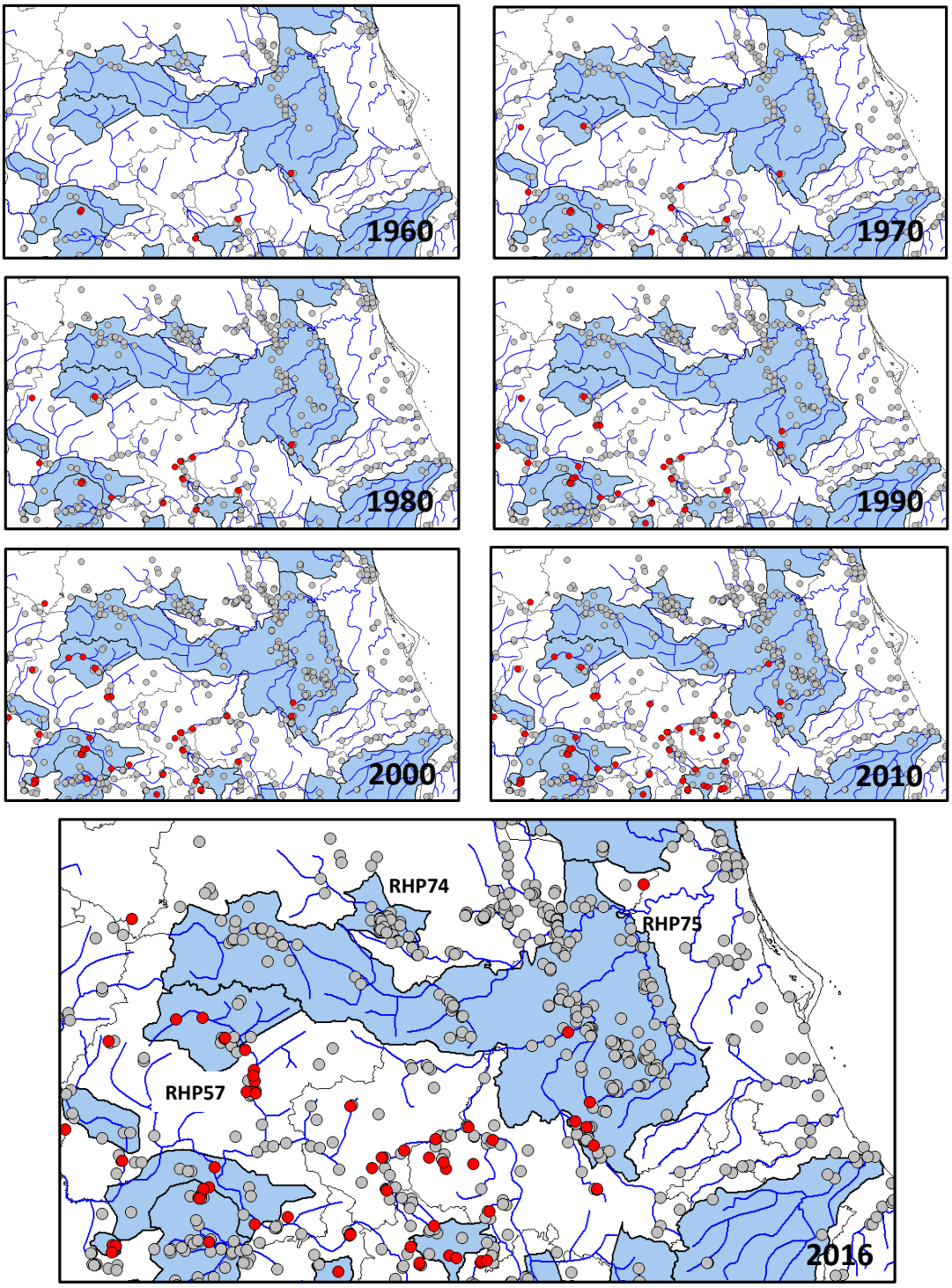

Figura 1.- Registros históricos acumulados por década para *Cyprinus carpios* presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para las Regiones Hidrológicas Prioritarias 57, 74 y 75, y algunas regiones aledañas.

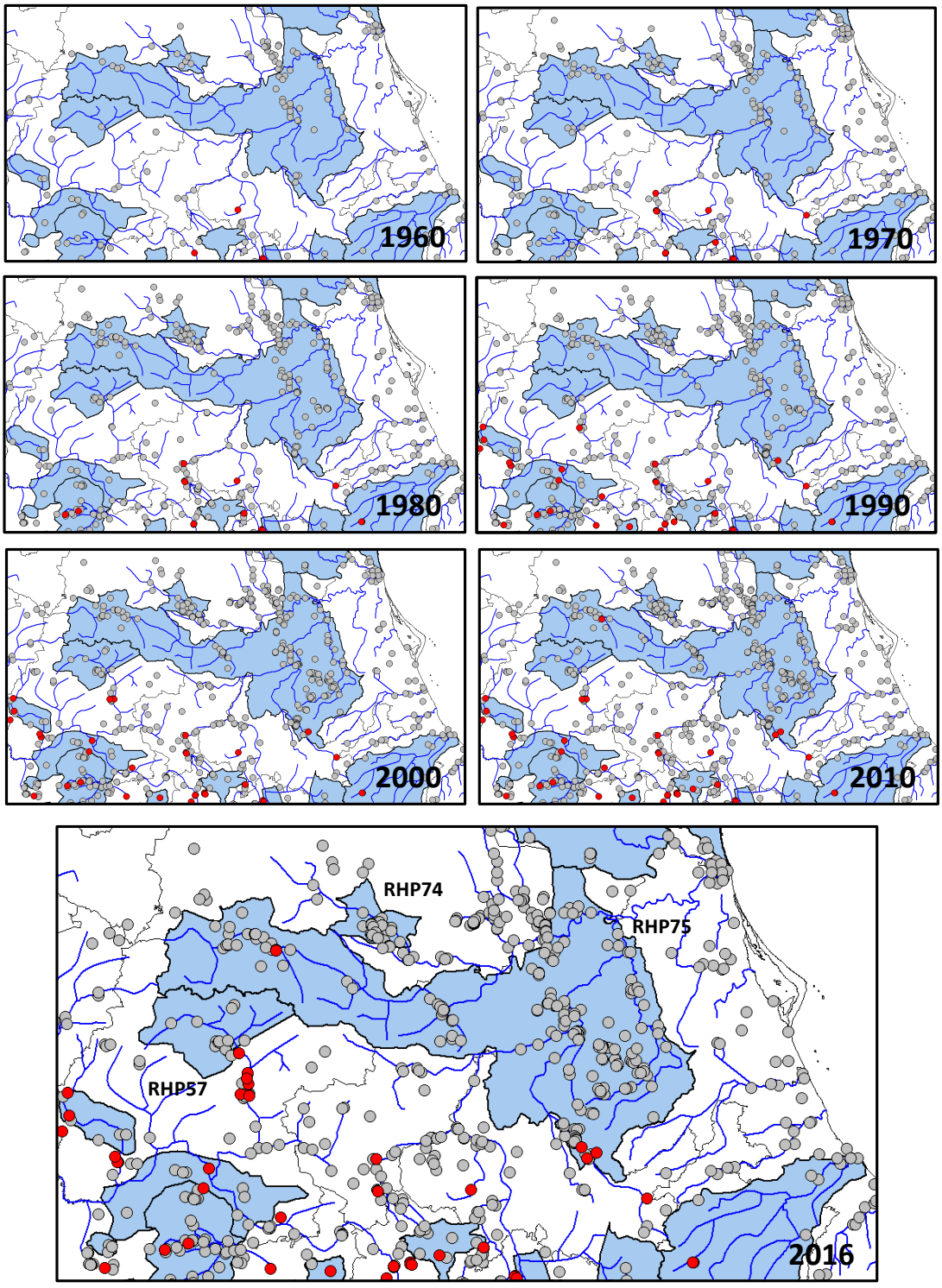

Figura 2.- Registros históricos acumulados por década para *Carassius auratus* presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para las Regiones Hidrológicas Prioritarias 57, 74 y 75, y algunas regiones aledañas.

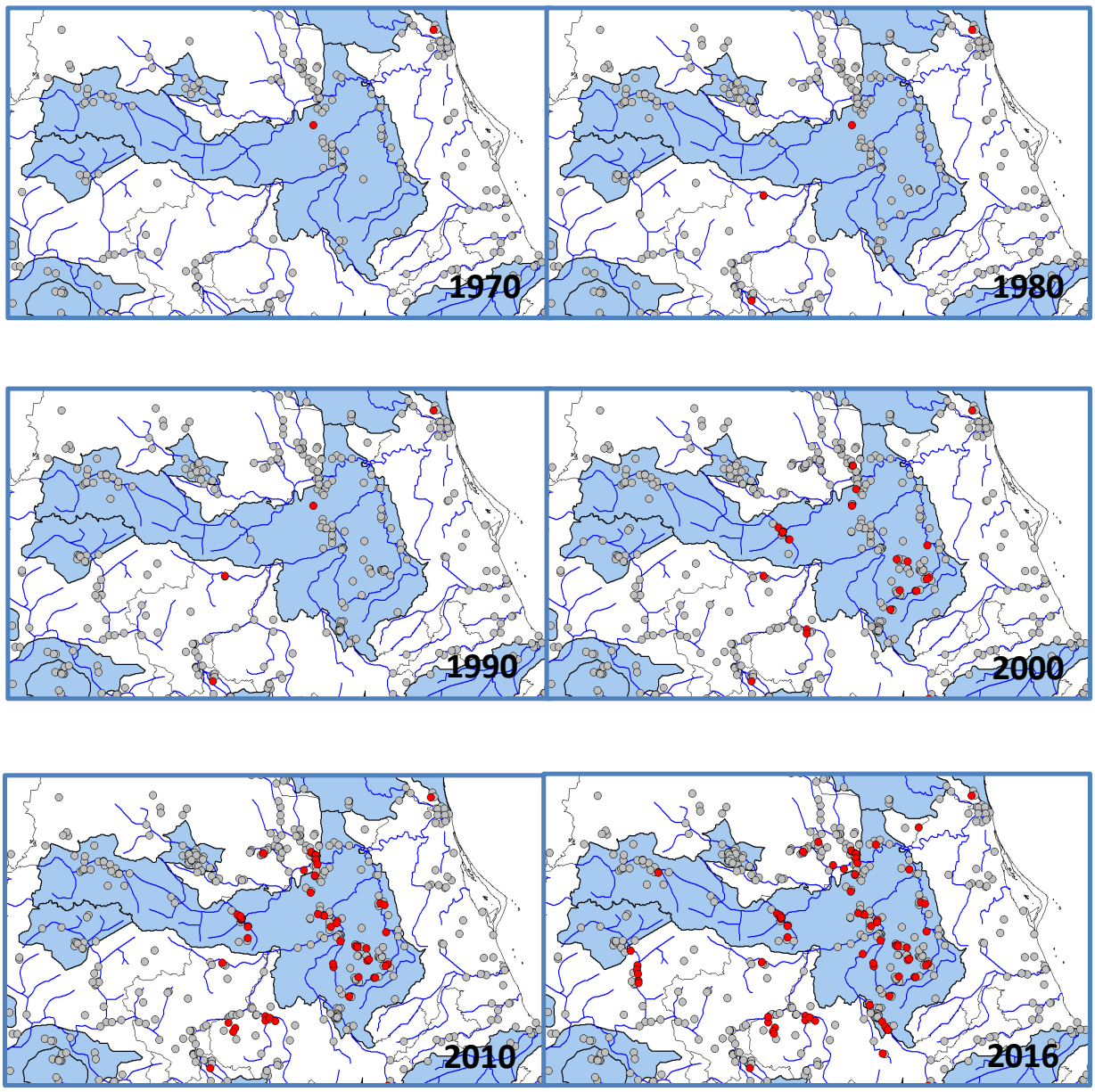

Figura 3.- Registros históricos acumulados por década para *Poeciliopsis gracilis* presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para las Regiones Hidrológicas Prioritarias 57, 74 y 75, y algunas regiones aledañas.

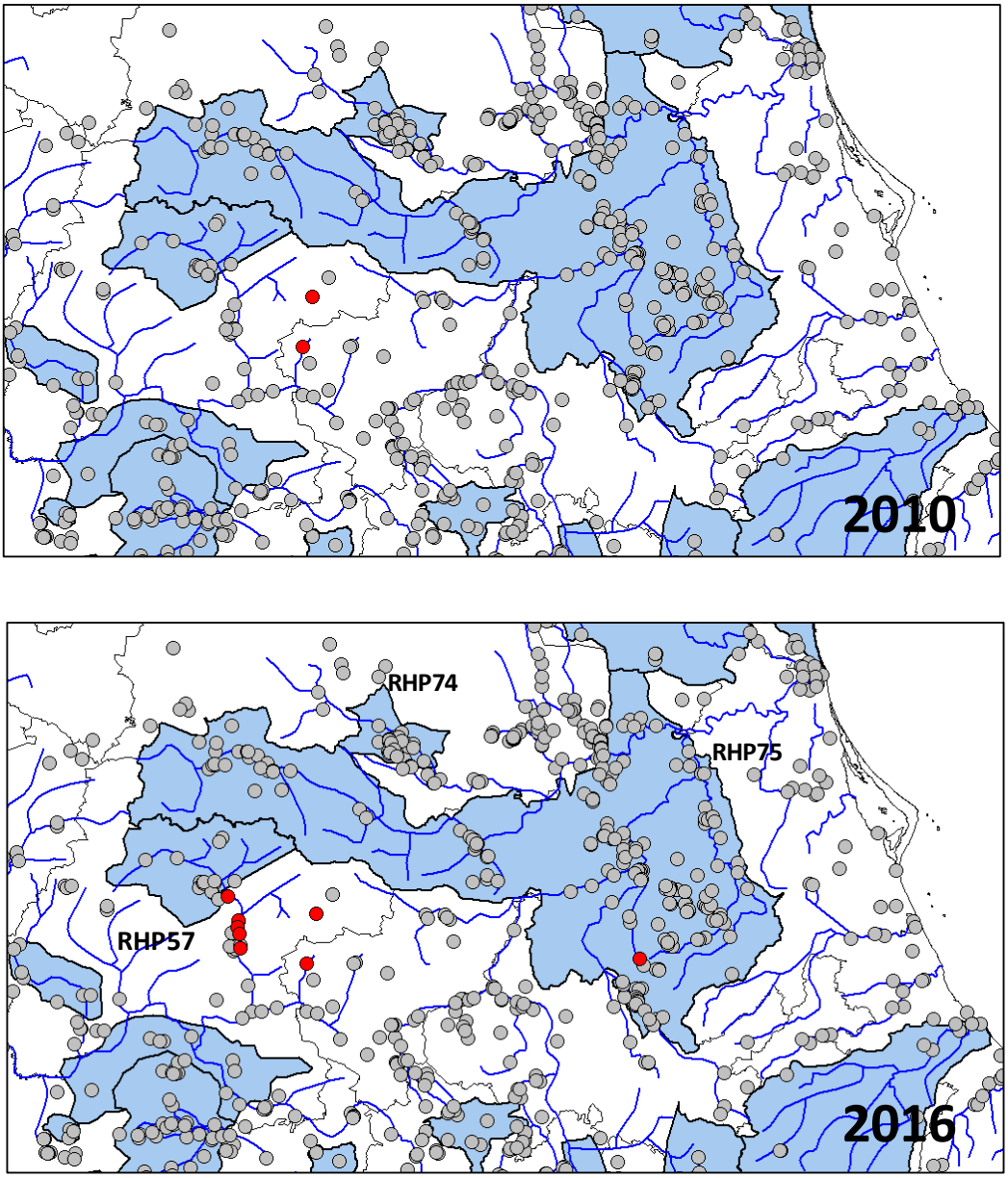

Figura 4.- Registros históricos acumulados por década para *Lepomis cyanellus* presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para las Regiones Hidrológicas Prioritarias 57, 74 y 75, y algunas regiones aledañas.

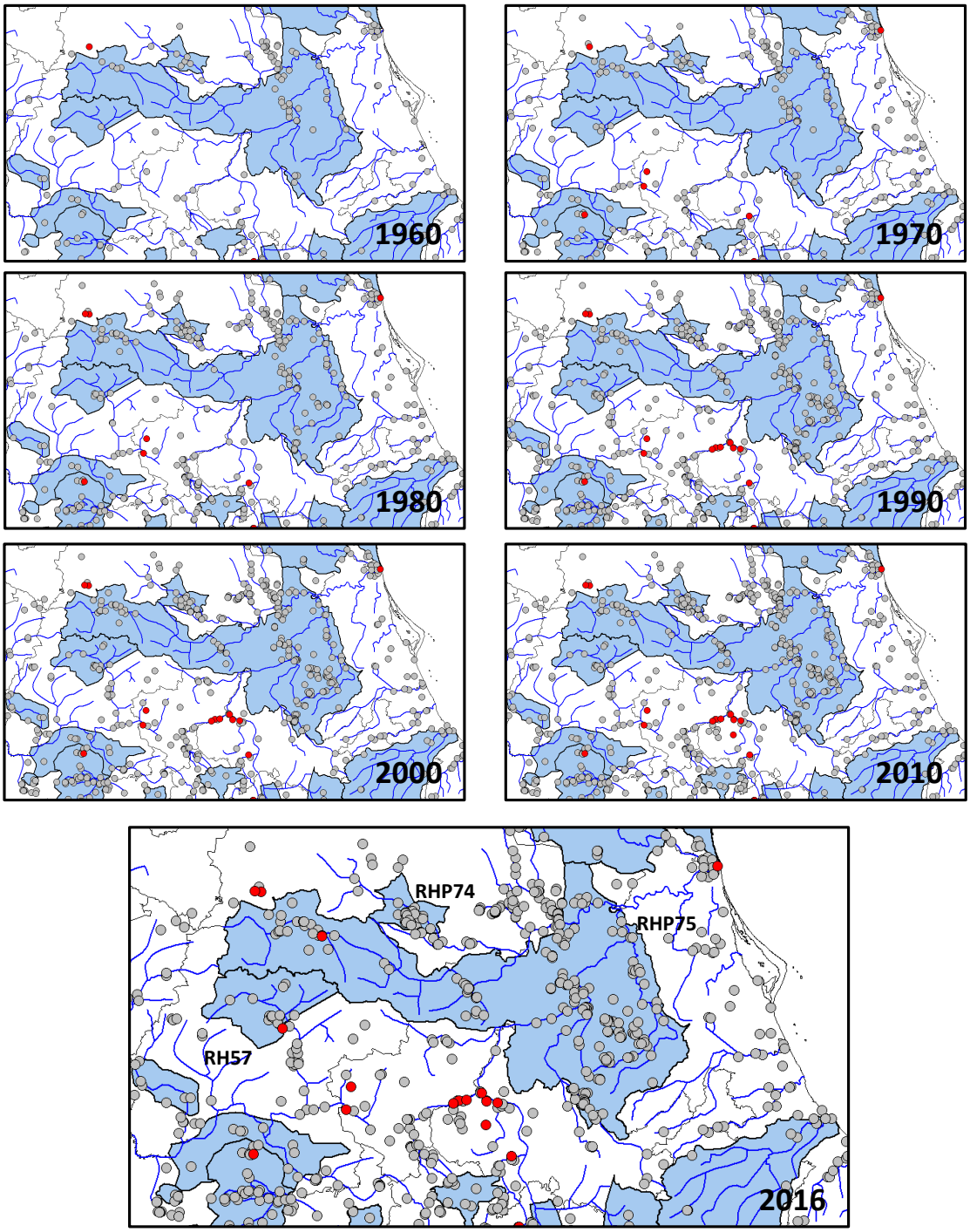

Figura 5.- Registros históricos acumulados por década para *Lepomis macrochirus* presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para las Regiones Hidrológicas Prioritarias 57, 74 y 75, y algunas regiones aledañas.

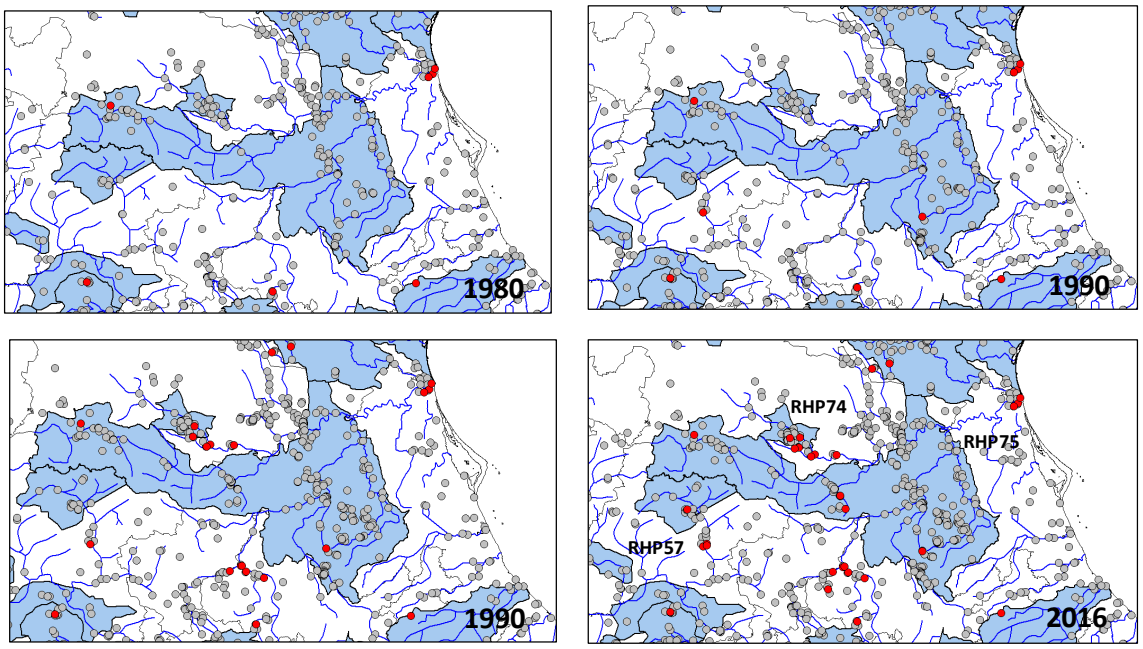

Figura 6.- Registros históricos acumulados por década para *Micropterus salmoides* presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para las Regiones Hidrológicas Prioritarias 57, 74 y 75, y algunas regiones aledañas.

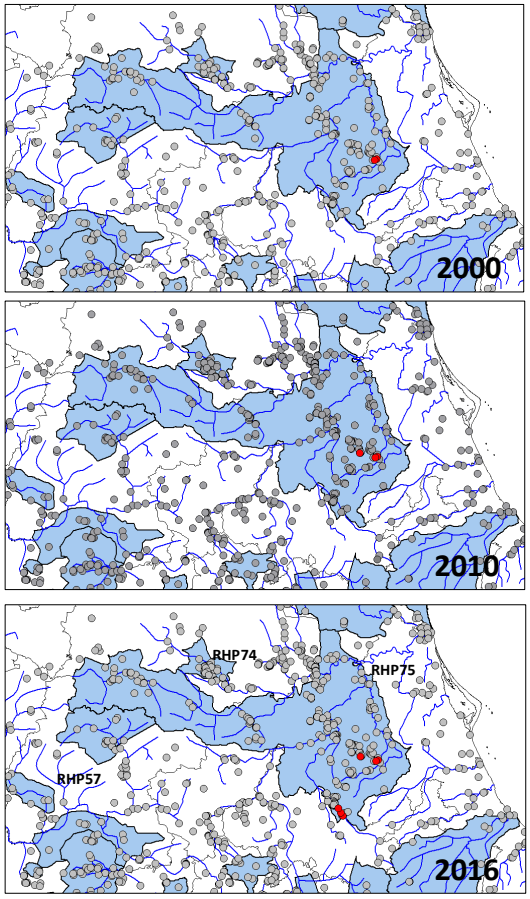

Figura 7.- Registros históricos acumulados por década para *Amatitlania nigrofasciata* presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para las Regiones Hidrológicas Prioritarias 57, 74 y 75, y algunas regiones aledañas.

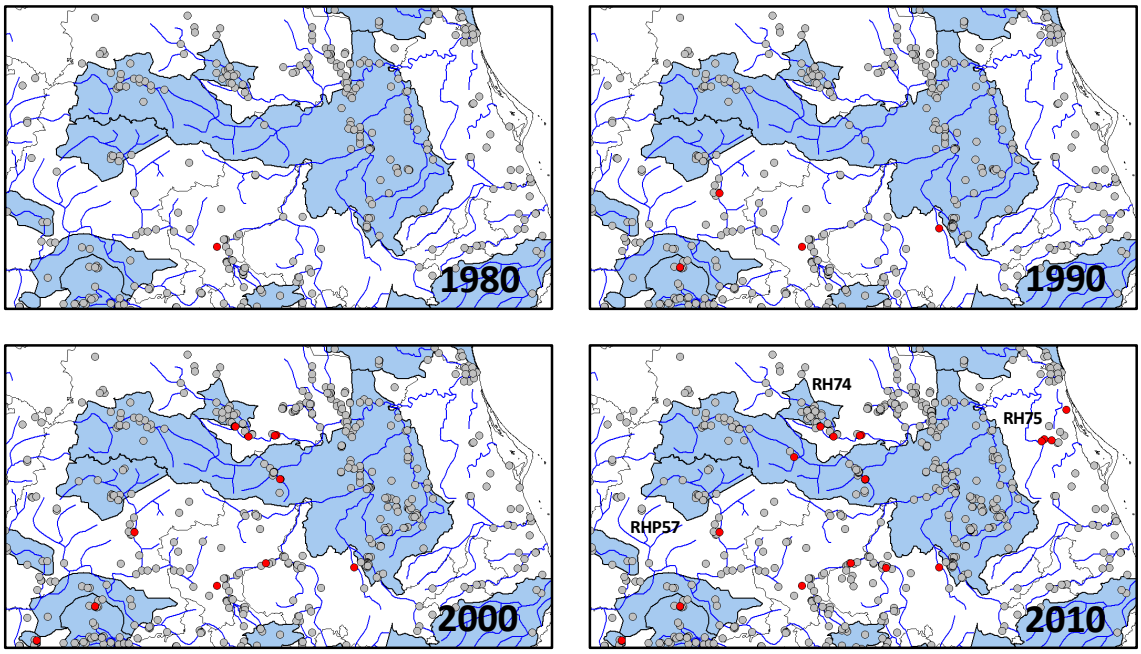

Figura 8- Registros históricos acumulados por década para *Oreochromis aureus* presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para las Regiones Hidrológicas Prioritarias 57, 74 y 75, y algunas regiones aledañas.

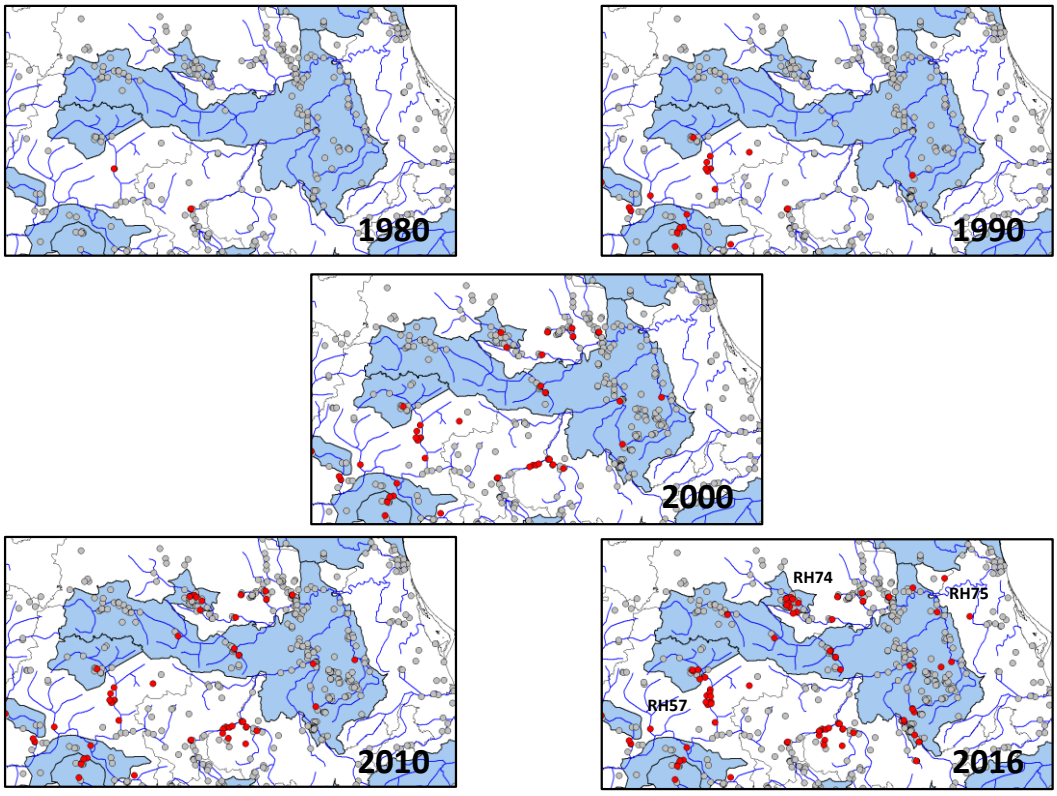

Figura 9.- Registros históricos acumulados por década para *Oreochromis mossambicus* presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para las Regiones Hidrológicas Prioritarias 57, 74 y 75, y algunas regiones aledañas.

Análisis de la frecuencia de ocurrencia de las especies invasoras con respecto al total de registros ícticos por década en cada una de las regiones hidrológicas prioritarias.

A continuación, se presentan los resultados del análisis de la frecuencia de ocurrencia de las especies invasoras con respecto al total de los registros ícticos por década en cada una de las regiones hidrológica prioritarias.

En la RHP57 en se presentan cuatro especies invasoras, la única presente desde antes de 1970 y hasta la actualidad es *Cyprinus carpio,* que solo estuvo ausente en la década de 1991 al 2000, en el resto del periodo de tiempo sus registros comprendieron entre el 6.45 % y el 16.6 % del total de registros, mientras que *Oreochromis mossambicus* aparece en la década de los 80s con poco más de 10% de los registros, para los años transcurridos del presente siglo representa el 21% de los registros, además en este lapso junto con las demás especies invasoras comprende casi el 40 % de los registros ícticos en esta región hidrológica, cuando el total de registros de este tipo fluctuó entre el 6.45 y 16.6 % en el periodo 1970-2000, finalmente en lo que va del presente siglo se detectó la presencia de *L. macrochirus* (fig. 10).

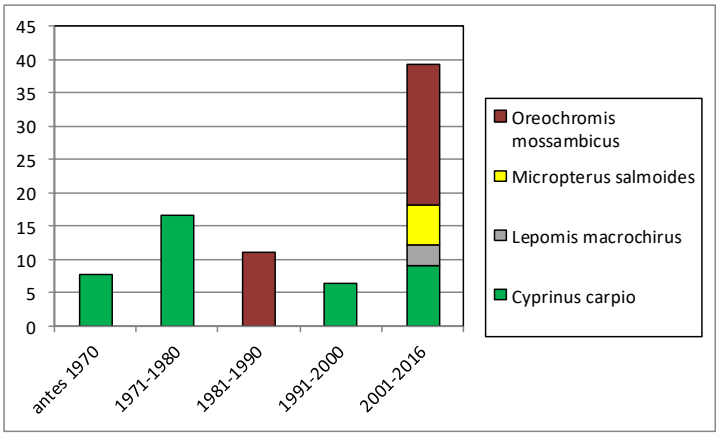

Figura 10. Frecuencia de registros de las especies invasoras con respecto al total de registros ícticos presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para la RHP57

En lo que respecta al efluente de esta región, como se puede observar en la figura 11, el estado de las invasiones es mucho más acelerado y alarmante, ya que este inicia en la década de los 80s con cuatro especies que en conjunto comprenden el 21.55 % del total de registros, mientras en la actualidad se presentan nueve especies que comprenden casi el 67% de los registros, siendo *Poeciliopsis infans* (16%), *Pseudoxiphophorus jonessi (14.4%)* y *Oreochromis mossambicus* (14%) las especies con mayor porcentaje de registros, otro caso que resalta es el del centrárquido

carnívoro *Lepomis cyanellus* que en estos últimos tres lustros prácticamente ha alcanzado el 8% del total de registros; en contraste los registros de *C. auratus* han disminuido paulatinamente desde el casi 8% antes de 1980 , hasta el 4% en lo que va del siglo, en tanto que los de *C. carpio* sólo han fluctuado ente el 3 y el 5%.

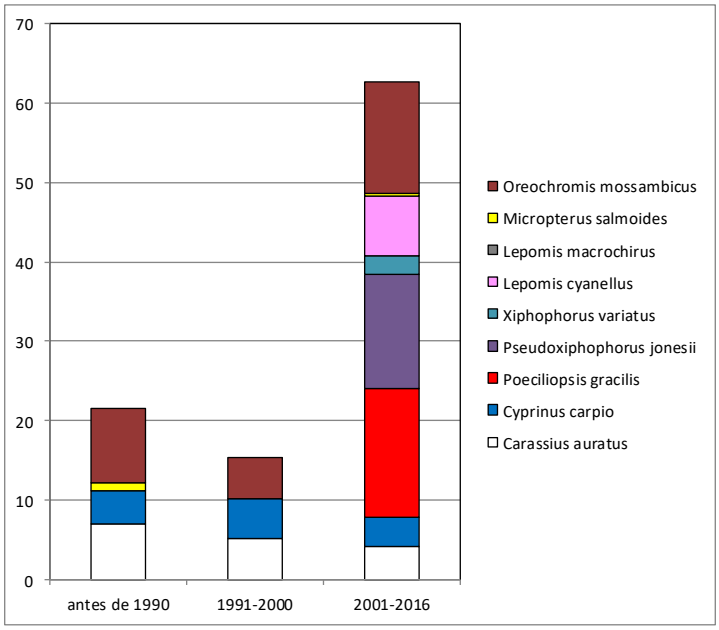

Figura 11 Frecuencia de registros de las especies invasoras con respecto al total de registros ícticos presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para el río La Laja, efluente de la RHP57

En el sistema de canales del Lago de la Media Luna RHP74, las tres especies introducidas comprendían para la última década del siglo pasado casi el 35% de los registros, mientras en lo que va del presente siglo, alcanzan ya el 43%, mientras los de *O. mossambicus* se mantienen casi sin cambio alrededor y del 13% (fig. 12).

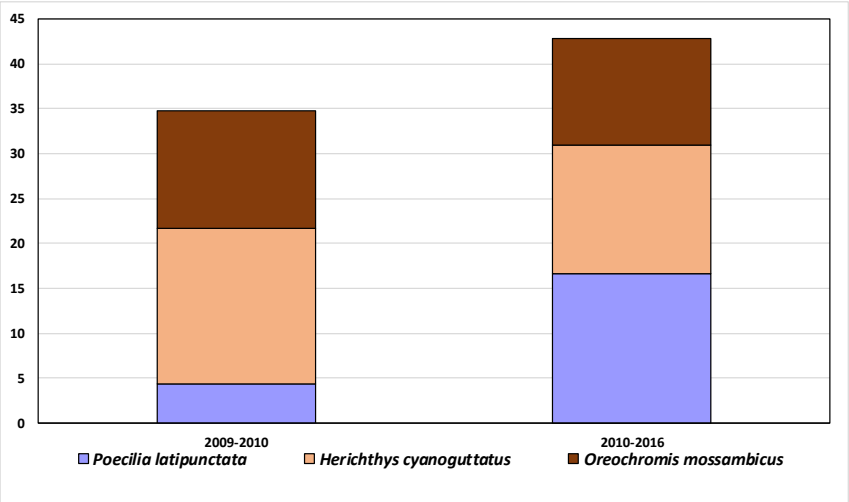

Figura 12. Frecuencia de registros de las especies invasoras con respecto al total de registros ícticos presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para el sistema de canales del Lago de La Media Luna RHP74

En la RHP75 se observa que el porcentaje de registros de las especie introducidas con respecto al total sufrió de moderados incrementos, entre los años 1971 y 2010 pasando del 5.5 al 14.28%, siendo las especies invasoras *Cyprinus carpio, Carassius auratus, Coptodon rendalli* y *Micropterus salmoides*, las que comprenden la totalidad de estos registros en las décadas de los 70s y 80s, sin embargo, para los 90s y la primera década del presente, solo la especie translocada *Poeciliopsis gracilis* alcanza el 8.21 y 11.64 % de los registros icticos en la región, para el 2016 es importante señalar que los resultados que se presentan sólo corresponden a los ríos Metztitlán, Amajac, Jalpan y algunos tramos del Santa María en la RHP75, pero en el ellos se deja ver con claridad el dominio de registros de la fauna introducida con respecto a la nativa, ya que la primera alcanza el 54% del total de registros, nuevamente la especie con mayor porcentaje de registros es *Poeciliopsis gracilis* con el 16%, seguida del cola de espada translocado *Xiphophorus helleri con el 10%; las especies invasora con mayor frecuencia de ocurrencia fueron A. nigrofasciata, O. mossambicus y C. carpio* con 8.87, 7.8 y 4% respectivamente; resalta que la mayoría de los registros del convicto son en sistemas lóticos, mientras que los de la tilapia y la carpa, son de sistemas lénticos.

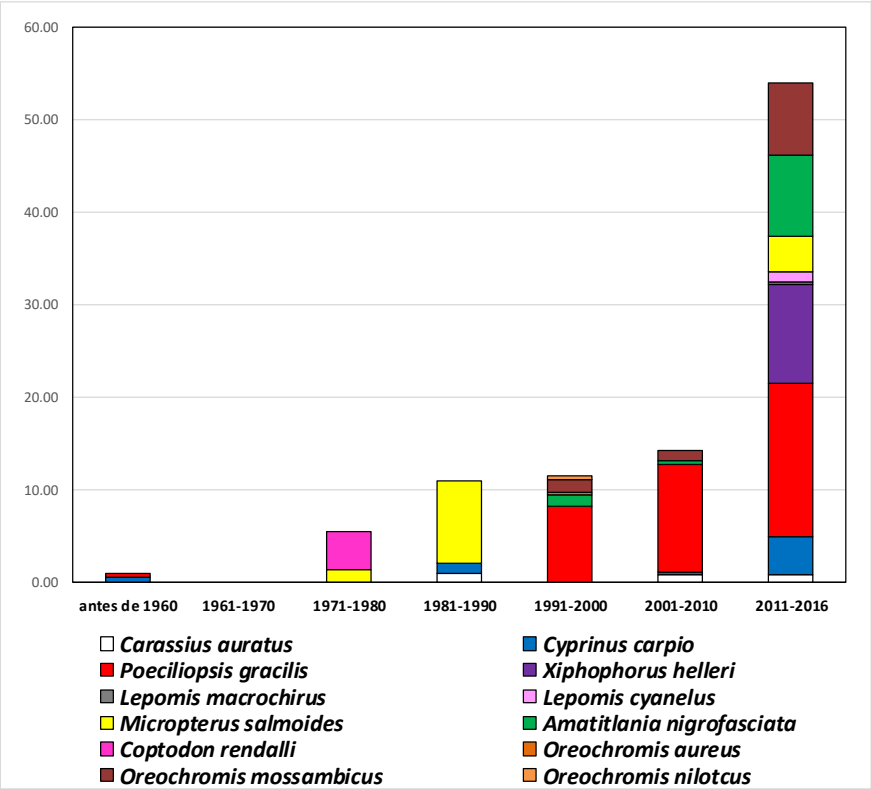

Figura 13. Frecuencia de registros de las especies invasoras con respecto al total de registros ícticos presentes en la Colección Nacional de Peces Dulceacuícolas Mexicanos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, para RHP75

El análisis de la abundancia relativa (en términos de número de ejemplares) de las especies invasoras con respecto a la fauna nativa suele ser un poco complicada, sobre todo en los embalses, ya sean naturales o artificiales, ya que en muchas de las ocasiones las capturas se realizan con las artes de pesca que emplean los pescadores locales, sin embargo, a continuación, se presentan algunos resultados que pudieran reflejar el cambio en las abundancias relativas de las especies invasoras.

En la región RH57, podemos señalar que la abundancia de los ciprínidos y cíclidos introducidos los embalses, seguramente estuvieron en crecimiento durante las primeras décadas posteriores a su introducción, sin embargo por pláticas con los pescadores estas poblaciones ya se mantienen con poca fluctuación en su abundancia, sin embargo, esta permite la pesca para el La Erre y El Gallinero, Las densidades de los centrárquidos por el contrario no sustentan las pesquerías antes mencionadas, ya que su captura es bastante fortuita. El reflejo de los cambios en la abundancia relativa de las especies invasoras en el efluente de la RHP bien puede ejemplificar la invasión de las distintas especies introducidas a este sistema hidrológico, históricamente se puede hacer un seguimiento de la abundancia relativa de las especies invasoras *C. auratus, C.*

carpio y O. mossambicus, en algunas localidades del río La Laja en conjuntando la información de las dos últimas décadas del siglo pasado y la generada durante 2015-2016 como se aprecia en la figura 14, de donde podemos señalar que las tres especies muestran una tendencia al aumento en sus abundancias relativas, lo cual es más acentuado en el cíclido invasor, ya que en las localidades ubicadas en el río La Laja (Atotonilco y Hacienda el Xote) pasa de abundancias menores al 1% en la década de los 80s hasta abundancias superiores al 7% en el 2016e , situación que se hace explosiva en el embalse Ignacio Allende pasando de casi el 7% al 35% en el mismo periodo, sin embargo, los casos más alarmantes de invasión corresponden a dos pecílidos translocados, *Poeciliopsis gracilis* y *Pseudoxiphophorus jonesii* (solo aparecen en nuestros registros de 2016), ya que en el transcurso de los primeros cinco lustros de este siglo, alcanzaron abundancias relativas del 30.8 y 10.5% respectivamente del total de ejemplares capturados en todo el río la Laja desde los límites de la RHP57 y hasta la cortina del embalse Ignacio Allende, especie invasora *O. mossambicus* alcanzó para este mismo tramo el 21% de la abundancia.

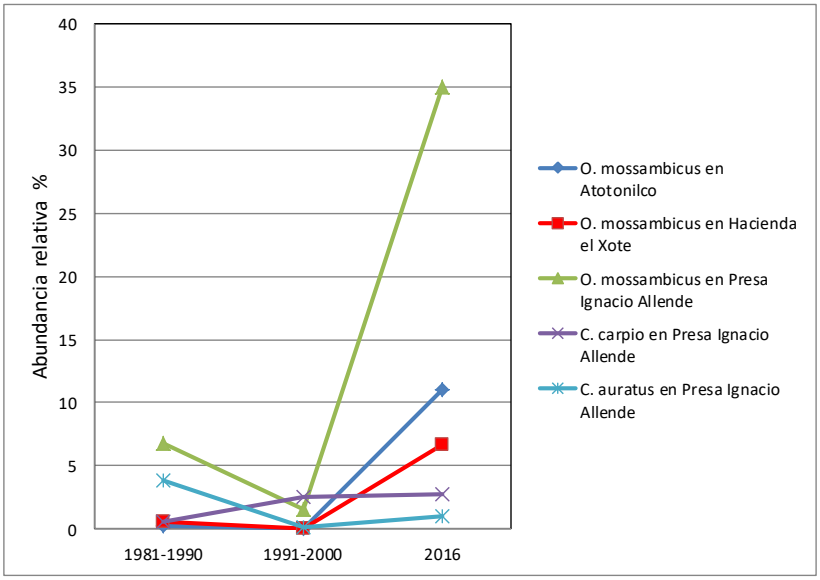

Figura 14. Abundancia relativa (en porcentaje del número total de individuos capturados por localidad) de algunas especies invasoras en el río La Laja río abajo de la RHP57 para el periodo 1981-2016.

En el caso de las especies invasoras en la RHP75, la abundancia relativa de las mismas es aún muy pobre ya que en las capturas de *O. mossambicus* en el sistema de canales del Lago de la Media apenas alcanza un 2%, mientras que la aparición de este cíclido y de *M. salmoides* en el Lago de la Media Luna y El Manantial de los Anteojitos es tan escaza que es difícil hacer realizar una estimación. En contraste las especies

translocadas *Poecilia latipunctata* y *Herichthys cyanoguttatus*, alcanzan en el sistema de canales abundancias de 15.4 y 9.2% respectivamente, mientras que los censos visuales en el lago arrojan que *O. mossambicus* es la mojarra menos abundante con el 0.5% del total de cíclidos censados, mientras que *H. cyanogutattus* es el más abundante con el 36%; en el manantial Los Anteojitos no se detectó la presencia de O. mossambicus, pero *H. cyanoguttatus* alcanza una abundancia de 69% entre los cíclidos de este cuerpo de agua.

En la RHP75 se detectaron algunos datos de abundancia sumamente significativos, en capturas realizadas por personal de la colección en la Laguna de Metztitlán se reporta que la abundancia relativa de *Coptodon zilli* y *Coptodon rendalli* apenas alcanza el 1 y 3.5% respectivamente, en contraste *Poecilia mexicana* y el cíclido nativo *H. pantostictus* alcanzan el 38.6 y 55.44 respectivamente, en esta misma laguna los pescadores nos informan que la captura de la mojarra nativa es casi incidental y en las capturas que nos proporcionaron solo alcanza el 0.1%, mientras que *O. mossambicus* comprende el 76% de la captura y *C. carpio* el 11%. El comportamiento de la abundancia de *O. mossabicus* los ríos Jalpan y Santa María, señala una clara tendencia al aumento en el primero de 0.5 al 9.7% y en el segundo de 0.7 al 3% en los últimos 26 años. El comportamiento de la abundancia relativa de *Poeciliopsis gracilis* señala cambios más abruptos en estos mismos ríos y para el mismo periodo, en el río Santa María su abundancia se incrementa del 25 al 74%, mientras que en el Jalpan entre los 90s y la primera década del presente siglo señala un incremento del 22 al casi 28%, sin embargo para el año del 2016 su abundancia relativa disminuye hasta un 5.6%; este mismo pecílido, también señala un ligero incremento en su abundancia en el río San Pedro de 1.8 a 6.4% durante las dos últimas décadas del siglo pasado (fig. 15).

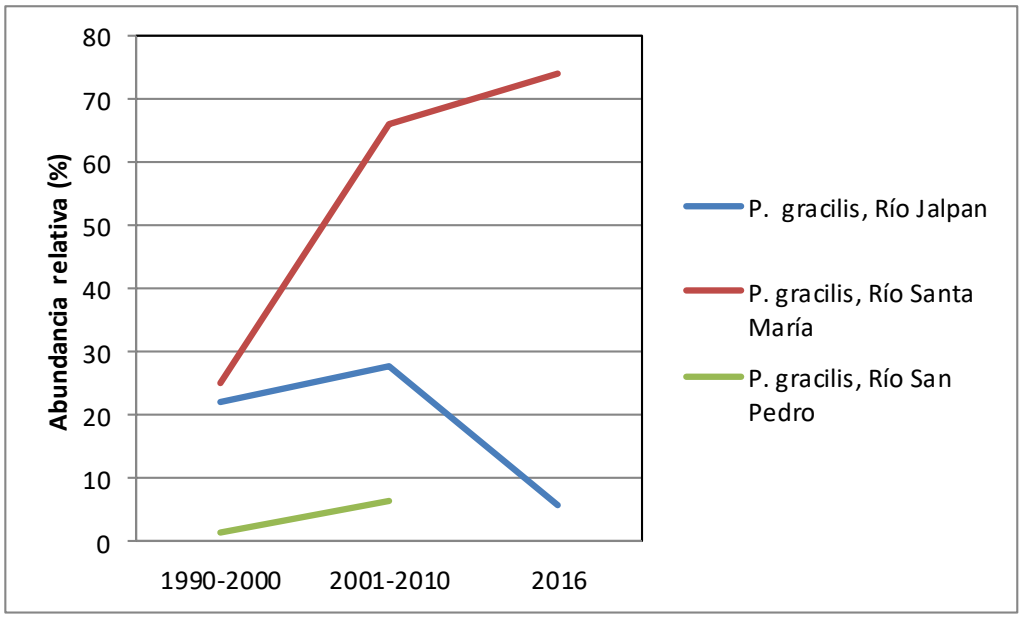

Figura 14. Abundancia relativa (en porcentaje del número total de individuos capturados por localidad) de *Poeciliopsis gracilis* en tres ríos de la RHP75 en los últimos 26 años.

La revisión histórica de la abundancia relativa de *O. mossambicus* en las capturas de ríos de la RHP75 diferentes a los antes señalados, indica que esta difícilmente sobrepasa el 5% de los individuos de una captura. En contraste la abundancia relativa de *P. gracilis* cuando se presenta en una colecta, normalmente rebasa el 10% y puede alcanzar más del 80% de los individuos capturados en un evento; la abundancia de casi el 50% *P. gracilis* del total de organismos capturados durante el año de 2016 en la RHP75 es una clara evidencia de los ostensibles tamaños poblacionales que puede alcanzar este invasor en la RHP75. *Amatitlania nigrofasciata* constituye menos del 5% del total de los organismos capturados en los ríos Atlapexco y Candelaria en las dos últimas décadas del siglo pasado; en las capturas realizadas durante el 2016 en la cuenca del río Metztitlán, este cíclido alcanza entre el 3 y 43 % de la abundancia en cada evento de colecta. Finalmente es importante señalar que las poblaciones de las especies invasoras *Cyprinus carpio* y *O. mossambicus* son desmesuradamente más abundantes en los sistemas lénticos, que en los lóticos de la RHP75.

SOLAPAMIENTO ESPACIAL DE LAS ESPECIES INVASORAS CON LA ICTIOFAUNA NATIVA.

El análisis de similitud especial entre las especies presentes en la RHP57 sólo se aplicó a los resultados obtenidos del análisis de la dieta de los ejemplares capturados con equipo de electropesca en la presa la Erre y en el río La Laja, ya que las capturas realizadas por los pescadores sólo se obtienen especies introducidas, los resultados se presentan en la figura 15, en ella podemos observar que la especie invasora que mantiene mayor solapamiento espacial con con alguna de las nativas, es *L. cyanellus* con un valor de solapamiento de 0.75 con el ciiprinido *Yuriria alta* (0.75), en tanto *L. macrochirus* presenta tenue solapamiento espacial del orden de 0.45 con las especies nativas *Poeciliopsis gracilis, Goodea atripinnis* y *Xenotoca variata,* casi el mismo traslape que presenta *O. mossambicus* con *Yuriria alta (0.38).*

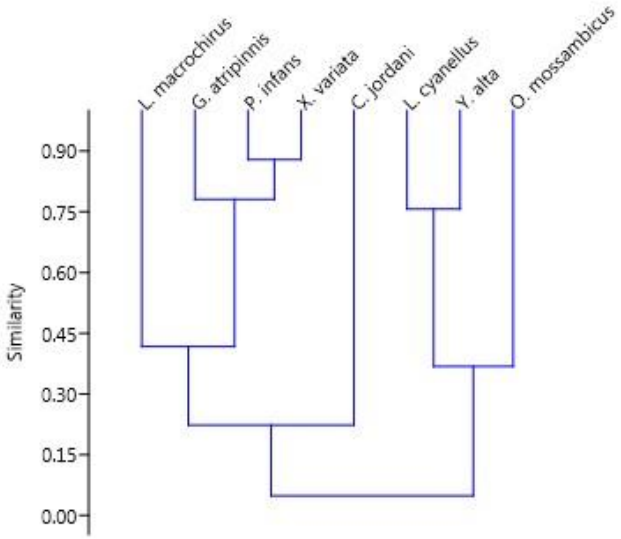

Figura 15.- Similitud espacial ntre las especies capturadas con electropesca en la RHP57 durante 2016.

Al efluente de la RHP57 también se le aplicó el mismo análisis (fig.16), en general se observaron bajos niveles de solapamiento espacial entre las especies invasoras y las nativas, con excepción del solapamiento moderado de 0.45 entre O. mossambicus y G. atripinnis.

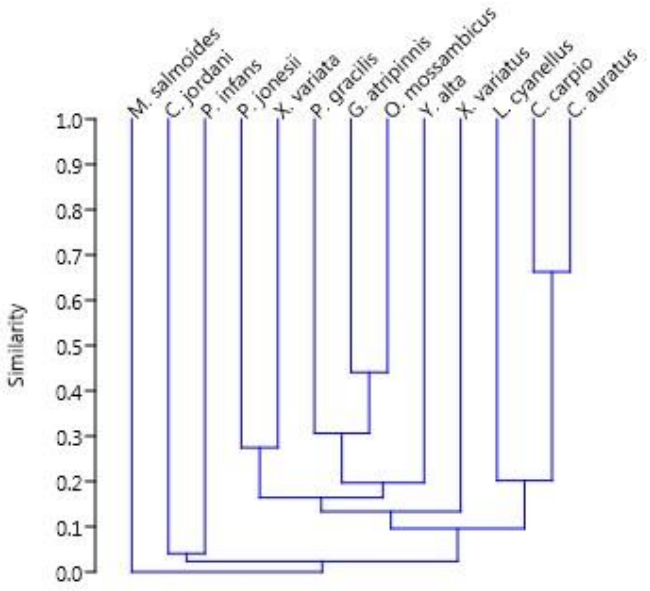

Figura 16.- Similitud espacial entre las especies capturadas con electropesca en el efluente de la RHP57 (río La Laja) durante 2016.

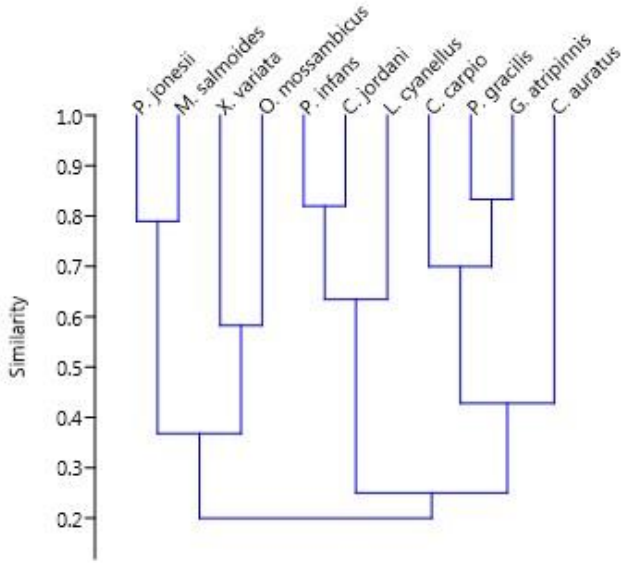

Figura 17.- Similitud espacial entre las especies capturadas con electropesca en el efluente de la RHP57 (Presa Ignacio Allende) durante 2016.

Sobre el mismo efluente pero para la presa Ignacio Allende, los resultados de traslape especial suelen ser diferentes (fig. 17), ya que se detectaron solapamientos apreciables, *P. gracilis* solapa con un nivel mayor de 0.8 a *G. atripinnis* y *C. carpio* acon estas en un nivel alrrededor de 0.7 conformando el grupo de los omnívoros

detritívoros; *L. cyanellus* se solapa en niveles de 0.64 con *Chirostoma jordani* y *Poeciliopsis infans*, mientras que *O. mossambicus* y *Xenotoca variata* muestran valores de solapamiento cercanos al 0.6 .

En sistema de canales de la RHP 74, se puede apreciar valores moderadamente altos de solapamiento espacial entre *M. salmoides* y *Astyanax mexicanus* (0.8) y entre *O. mossambicus* y *Poecilia mexicana* (0.63).

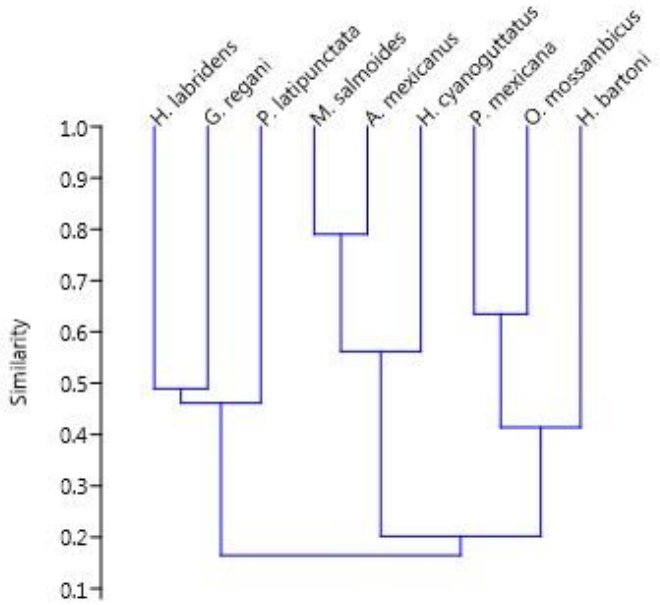

Figura 18.- Similitud espacial entre las especies capturadas con electropesca en el sistema de canales de la RHP74 durante 2016.

En el Lago La Media Luna, el análisis de similitud se realizo a la matriz resultado de los censos visuales, los resultados arrojan solapamientos espaciales al 0.9 entre los dos cíclidos nativos (*Herichthys bartoni* y *H. labridens*), el transplantado (*H. cyanellus*) y *O. mossambicus* (Fig. 19)

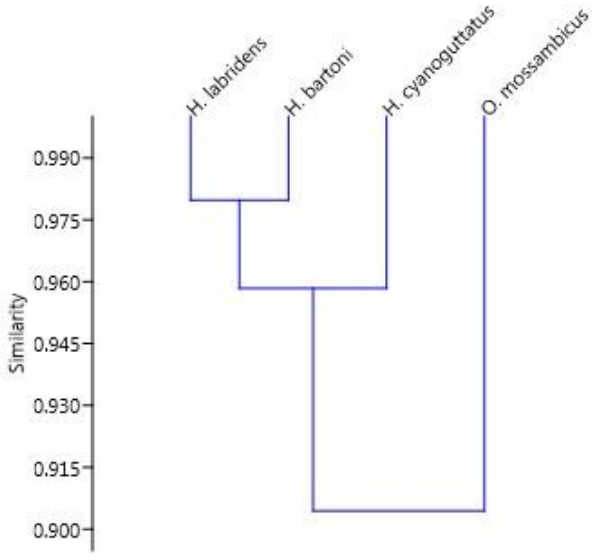

Figura 19.- Similitud espacial entre las especies censadas visualmente en el Lago La Media Luna RHP74 durante 2016.

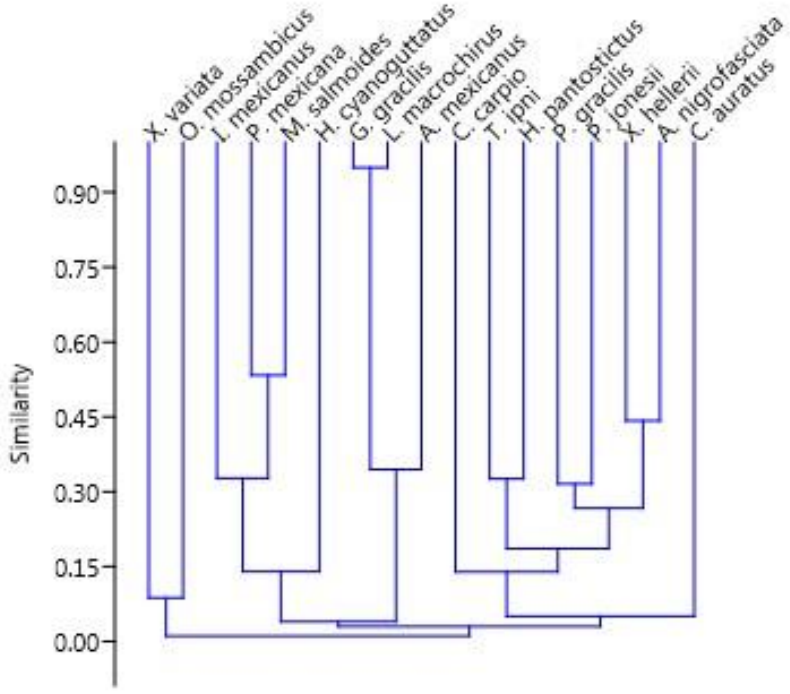

Figura 20.- Similitud espacial entre las especies capturadas con electropesca en la RHP75 durante 2016.

Para la RHP75 el análisis de solapamiento espacial sólo fue aplicado a la matriz resultado de las capturas con equipo de electropesca el resultado se presenta en la figura 20. Estos resultados señalan fuerte solapamiento entre *L. macrochirus* y *G. gracilis* (superior al 0.9) situació que se explica en función de que sólo fueron capturtadas en un afluente de la porción alta del río Santa María; solapamiento espacial moderado entre *M. salmoides y P. mexicana* (0.53) y en general solapamientos bajos menores de 0.2 entre el resto de las especies invasoras y la fauna nativa, sin embargo, resalta quet las especies nativas Tampichthys ipni y *Herichthys pantostictus*, se ubican dentro de un grupo donde comparten el recurso espacio en niveles de similitud mayores al 0.2, con dos especies translocadas *P. gracilis* y *Xiphophorus hellerii,* así como con el cíclido invasor *A. nigrofasciata,* especies que en relivamente poco tiempo se han ido dispersando y aumentando su abundancia en la región, situación que pudiera llevar en el mediano plazo, a incrementar el solapamiento antes señalado.

Determinación de atributos reproductivos de las especies invasoras en las diferentes regiones hidrológicas prioritarias.

En el anexo II se muestran los resultados de los atributos reproductivos y de tamaño determinados para las diferentes especies invasoras en las RHPs 57 y 75. En la RHP57, los cuerpos lénticos donde se analizaron especies fueron los embalses La Erre y El Gallinero, además del embalse Ignacio Allende, mismo que se ubica sobre el río de La Laja aguas abajo de los embalses antes mencionados. La captura de ejemplares de *Oreochromis mossambicus* y *Cyprinus carpio* fue realizada por pescadores locales, por lo que el análisis de los estadios de maduración gonádica, se efectuaron con muestras que no fueron incluidas en la base de datos, ya que en la mayoría de las ocasiones los pescadores nos proporcionaron ejemplares con cierto grado de manipulación, incluso algunos ya eviscerados, en contraste el análisis de los ejemplares procedentes del río La Laja, dependió enteramente de las capturas realizadas con electropesca y que finalmente se encuentran depositados en la colección. *Oreochromis mossambicus* se reproduce en los tres embalses, pero por la cantidad de ejemplares revisados, solo en los embalses de La Erre e Ignacio Allende es posible detallar algunas características del ciclo reproductivo; así, este cíclido invasor se reproduce en estos ambientes, desde

abril hasta diciembre, talla mínima registrada de primera madurez 100 mm de longitud patrón (LP), fecundidad entre 469 y 1421 óvulos por hembra, intervalo de tallas registrado de 13-227.2 mm LP. En contraste, en las localidades del río no se registraron hembras con los ovarios próximos a la reproducción, máximo estadio registrado III, intervalo de tallas registrado 40-119 LP mm. La evidencia encontrada, señala que *Cyprinus carpio* se reproduce en las presas el Gallinero e Ignacio Allende desde finales de febrero y hasta principios de diciembre, la fecundidad fluctúa entre 6522 y 15268 óvulos por hembra, la talla mínima de primera madurez no fue detectada ya que solo se obtuvo información de ejemplares de talla comercial; el intervalo de tallas analizado fue de 151-268.3 mm LP. Al igual que para la mojarra africana los individuos analizados procedentes del río fueron obtenidos mediante electropesca, el intervalo de tallas analizado fue de 54-147 mm LP y no se detectaron hembras con los ovarios próximos a la reproducción. *Poeciliopsis gracilis* como ya ha sido mencionado, es la especie más frecuente y abundante en el efluente de las presas de la RHP57, razón por la cual también se determinaron sus atributos reproductivos, este pequeño pecílido manifiesta un alto potencial reproductivo en el río La Laja, ya que se reproduce durante todo el año, por lo que constantemente se encuentra avivando, presenta fertilidades de entre 2 y 40 embriones por hembra y la talla mínima de primera madurez se ubica en los 27.3 mm LP. Otro habitante frecuente en el río es el carnívoro translocado *Lepomis cyanellus*, qué por su importancia como depredador también se incluyó, en los análisis de reproducción, los resultados indican que el centrárquido en el embalse Ignacio Allende, presenta una temporada de reproducción de febrero a julio, tiene fecundidades de 7867 a 23806 óvulos/hembra y la talla mínima de primera madurez la alcanza a los 75.27 mm LP (intervalo de tallas analizado 59.77-150.56 mm LP). En el río, los ejemplares analizados con tallas entre 21.08 y 118 mm LP señalan un posible evento de reproducción durante el mes de abril, con fecundidades que oscilan entre los 3231 y 6958 óvulos/hembra y talla de primera reproducción de 43.8 mm LP. Para la RHP 74 los registros visuales en el Lago de la Media Luna y manantial Los Anteojitos no detectaron eventos reproductivos de las especies invasoras *O. mossambicus* y *Micropterus salmoides,* mientras que el examen de maduración gonádica de ejemplares de estas mismas especies procedentes del sistema de canales del Lago de La Media Luna (cuatro *O. mossambicus*: 3 hembras y un macho), así como

de dos arroyos aledaños a la RHP (1 macho de *O. mossambicus* y 4 hembras de *M. salmoides)* revela solo la presencia de gónadas en estadio II de maduración ovárica, evidencia de la ausencia de eventos reproductivos durante los meses de recolecta. Para la RHP 75, se obtuvo información sobre la reproducción de las especies invasoras mediante el análisis directo de las gónadas de los ejemplares colectados y depositados en la colección, así como de registros visuales de nidos con crías. *Amatitlania nigrofasciata* se reproduce entre abril y septiembre en todas las localidades del río Metztitlán donde fue colectada (intervalo de tallas analizadas fue de 19.95 a 62.97 mm LP, la fecundidad fluctúa entre los 95 y 156 óvulos por hembra, la talla mínima a la cual las hembras alcanzan su primera madurez es de 33.61 mm LP. En el mismo río *Poeciliopsis gracilis* se reproduce durante todo el año, fertilidad de 1 a 35 embriones y talla mínima de primera madurez de 29 mm (intervalo de tallas analizado 9-57 mm). *O. mossambicus* se reproduce en los sistemas lénticos (lagunas y embalses artificiales) entre abril y noviembre, con excepción de la pequeña represa construida sobre el río en Jihuico, donde no se detectaron hembras maduras; las fecundidades detectadas se ubican entre 469 y 135 óvulos por hembra para la población de la Laguna de Metztitlán (intervalo de tallas analizado 142-193 mm LP). Los ejemplares capturados en los ríos solo alcanzaron el estadio III de maduración ovárica, por lo que no se tiene evidencia de reproducción en estos sistemas. *C. carpio* se reproduce en los sistemas lénticos dentro de la RHP75 entre los meses de marzo y noviembre, alcanza fecundidades entre 6375 y 28428 óculos por hembra, la talla mínima registrada para una hembra próxima a la reproducción fue de 40 mm. Los escasos ejemplares de río capturados dentro de la RHP presentaron únicamente el estadio II de maduración gonádica. En la porción alta del río Amajac en las vecindades de la RHP se registró la reproducción de *C. carpio* en la presa Comalillo y en su afluente, en esta región la temporada de reproducción detectada es de abril a noviembre, la fecundidad se ubica entre 2786 y 35426 óvulos/hembra y lo destacable es que este ciprínido parece tener éxito reproductivo en sistemas lóticos. Finalmente *M. salmoides* tiene eventos reproductivos entre marzo y julio en la laguna de Atezca y en la presa Jalpan. Los pocos ejemplares capturados en el río Jalpan se encontraban en el estadio II de desarrollo gonádico, por lo que no se detectaron evidencias de eventos reproductivos de la lobina en los ríos de la RHP75.

DETERMINACIÓN Y SOLAPAMIENTO DE DIETA DE LAS ESPECIES INVASORAS SOBRE ALGUNAS ESPECIES NATIVAS EN LAS RHPs.

Los resultados de la determinación de los componentes de la dieta se presentan en el anexo III.

Para la RHP57 se seleccionaron para estos análisis, las especies presentes en el embalse La Erre y en localidad del río La Laja en la Hacienda el Xote, en el efluente de la RHP, además también las precedentes del embalse Ignacio Allende (también sobre el efluente). En la presa La Erre se observa que *P. infans* y *Xenotoca varita* se alimentan principalmente de insectos (componente que alcanza el poco más del 50% de la dieta), aunque también comparten el consumo de huevos de peces, por lo que manifiestan un solapamiento de dieta cercano al 0.9, éste par de especies a su vez se solapan en un nivel de 0.55 con *L. macrochirus* ya que este centrárquido, también tiene como componente de su dieta a los insectos (35% de la dieta), pero también incluye en el mismo porcentaje la ingesta de peces (pecílidos, goodéidos y aterinópsidos) y elementos del zooplancton en un 30%. *G. atripinnis* es solapada en su dieta por *O. mossambicus* en niveles de 0.9, ya que comparten un alto consumo de detritus 95 y 35% respectivamente; *C. jordani* por sus hábitos zooplanctívoros es la especie menos solapada tróficamente.

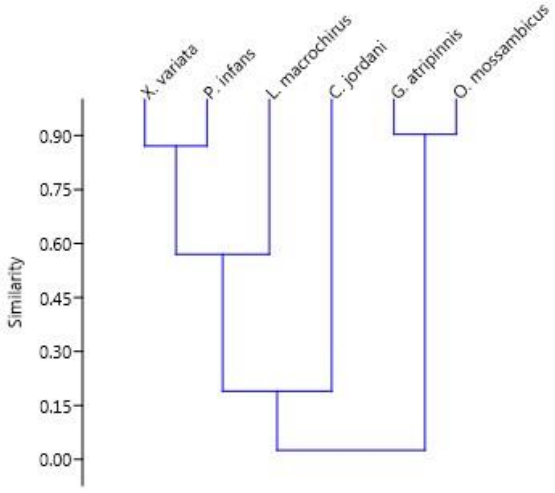

Figura 21.- Similitud trófica entre las especies capturadas con electropesca la presa La Erre RHP57 durante 2016.

Para el río La Laja, el análisis de similitud (fig. 22) señala dos grupos tróficos el primero a su vez contiene cuatro especies invasoras (*C. auratus, C. carpio, P.gracilis y O. mossambicus*) que se caracterizan por el consumo de detritus en porcentajes superiores al 80% y el detritófago nativo *G. atripinnis* con el 95% (solapamiento de dieta superior al 0.95), estas especies se les une el zooplanctófago C. jordani en un nivel de similitud de 0.75, ya que además de ingerir en un 50% detritus, consume cladóceros y copépodos. El otro grupo trófico se caracteriza por el consumo de insectos en porcentajes del 60% presenta un solapamiento trófico del 0.75 e incluye tres especies nativas y la invasora *L. cyanellus*, que además consume peces (goodéidos, pecílidos y aterinópsidos) en un porcentaje del 26%.

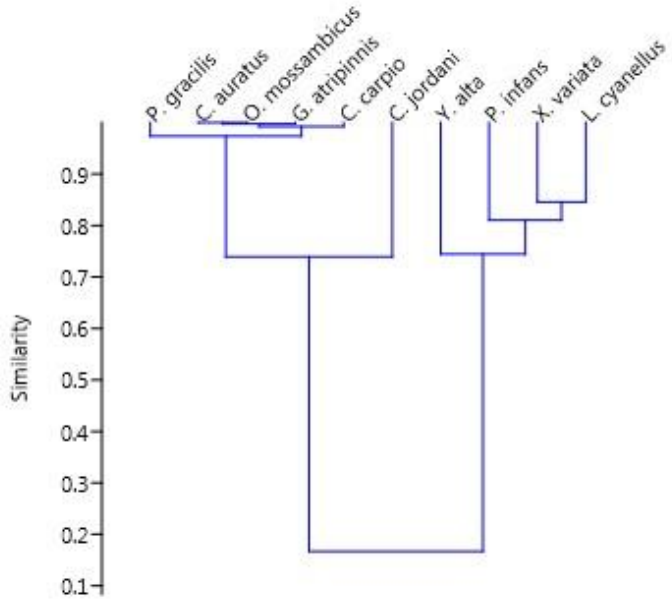

Figura 22.- Similitud trófica entre las especies capturadas con electropesca en el efluente de la RHP57 (en el río La Laja en la Hacienda el Xote) durante 2016.

Para la RHP74 los resultados son para las especies capturadas en el sistema de canales (fig. 23), estos señalan la formación de dos grupos tróficos con niveles de similitud cercanos al 0.8, el primero constituido por los insectívoros (consumo mayor al 58%) e incluye a las especies *A. mexicanus, Gambusia regani y H. labridens*, y el segundo conformado por las especies que consumen detritus, hacia el interior de éste y con casi un solapamiento total tenemos a *O. mossambicus* y el *P. mexicana* ambos ingieren al menos el 75% de este tipo de alimento; el otro par de especies (*H. bartoni y H.*

cyanoguttatus) forma un grupo a un nivel de similitud de 0.9, además del menor consumo de detritus en comparación con el par de especies, se caracterizan por la ingesta de algas con porcentajes de consumo entre el 40 y61%.

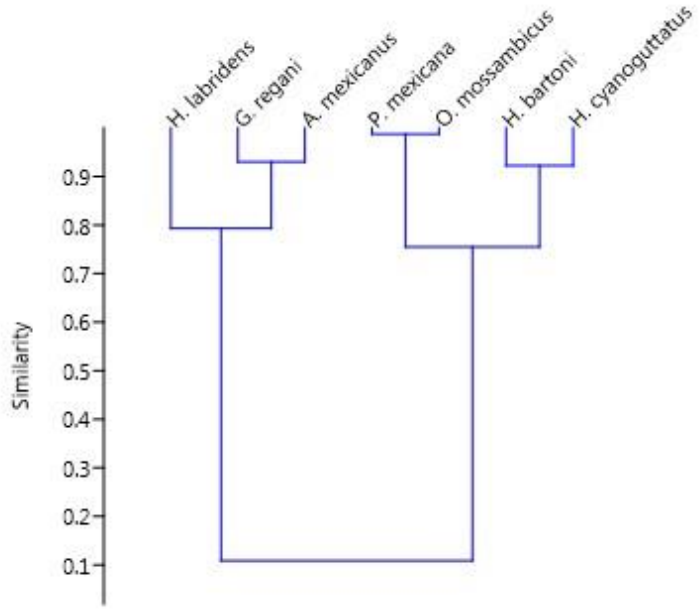

Figura 23.- Similitud trófica entre las especies capturadas con electropesca en el sistema de canales de la RHP74 durante 2016.

Para la RHP75 se presentan los resultados obtenidos la represa sobre el río Jihuico en la cuenca del río Metztitlan (fig. 24), en ellos podemos observar, como las especies invasoras *C. auratus*, *C. carpio, P. gracilis* y *O. mossambicus* que consumen detritus en porcentajes superiores al 55% se segregan del resto de la ictiofauna en un nivel de solapamiento de 0.18; el cíclido invasor *A. nigrofasciata* presenta alto solapamiento trófico a un nivel de 0.8 con las especies nativas *A. mexicanus* y *T. ipni,* y a un nivel de 0.65 con la mojarra nativa *H. pantostictus.* Es importante destacar que la dieta de A. nigrofasciata contiene una amplia variedad de componentes en su dieta, principalmente de origen animal (88%), en el que destaca el consumo de insectos (con el 54% de la dieta) y es de particular importancia el consumo de peces en un 9% (principalmente pecílidos) ya que puede incluir peces nativos); el componente de origen vegetal está constituido por algas filamentosas (12% de la dieta).

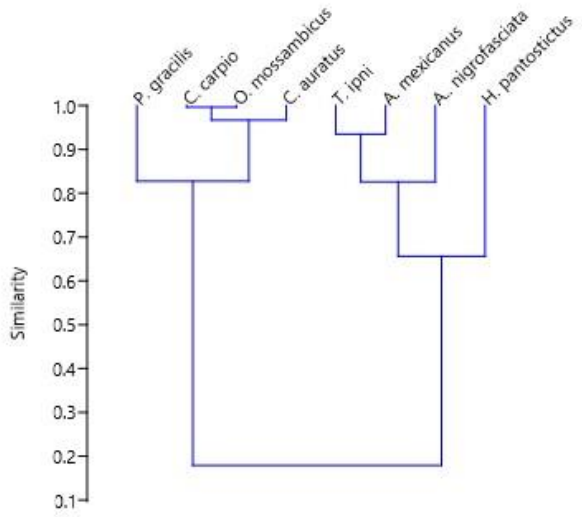

Figura 24.- Similitud trófica entre las especies capturadas con electropesca en la represa sobre el río Jihuico RHP75 durante 2016.

Con los ejemplares disponibles para la laguna de Atezca se realizaron los análisis tróficos, los resultados (fig. 25) señalan que *O. mossambicus* solapa a *H. pantostictus* en un nivel de 0.50, esta similitud en la dieta se da por el consumo de detritus (85 y 27% respectivamente), el otro grupo trófico lo constituyen los dos centrárquidos invasores *L. cyanellus* y *M. salmoides,* en los que resalta el consumo de insectos (65 y 15% respectivamente) y peces (30 y 80% respectivamente)

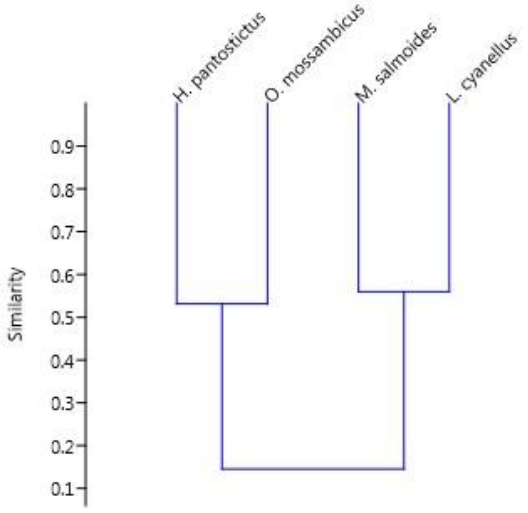

Figura 25.- Similitud trófica entre las especies capturadas en la Laguna de Atezca RHP75 durante 2016.

PARÁMETROS AMBIENTALES DETERMINADOS DURANTE LA RECAPTURA DE EJEMPLARES Y TOLERANCIA AMBIENTAL DE LAS ESPECIES INVASORAS.

En el anexo IV se presentan los resultados de las evaluaciones de los parámetros ambientales determinados durante las diferentes campañas de muestreo. En total se realizaron 286 determinaciones para la RHP57, 154 para la RHP74 y 626 para la RHP75. La información presentada junto con la información ambiental asociada a las especies obtenida de la literatura, para cada región permitió establecer la tolerancia ambiental de las especies invasoras objeto de estudio.

Díaz-Pardo y colaboradores (1993) determinaron los intervalos de tolerancia para las especies presentes en la cuenca del Lerma y consideran a *C. auratus, C. carpio* y *O. mossambicus*, como especies ampliamente tolerantes a las condiciones ambientales que determinaron para las décadas de los 80s y 90s, estos intervalos coinciden con los obtenidos en el 2016 (cuadro 1). Conjuntando la información recopilada para las tres regiones, *O. mossambicus* es la especie que de colectó en el mayor intervalo de temperatura (14 a 31.6 °C), también fue la que se capturó en aguas más cálidas; le sigue *P. gracilis* con un intervalo de 12 a 30.2 °C, pero además, fue la que se capturó en aguas más frías; por el contrario, la especie con menor intervalo de temperatura fue *M. salmoides* (22.6-27.7 °C). En cuanto al oxígeno disuelto, P. gracilis se colectó tanto en aguas casi anóxicas (0.4 mg/l), como en sobresaturadas (17.2 mg/l); con excepción de *A. nigrofasciata* y *M. salmoides* todas las demás especies se capturaron en aguas con bajas concentraciones de oxígeno (hasta 2.6 mg/l). *P. gracilis* y *A. nigrofasciata* se colectaron en el intervalo más amplio de concentración de sólidos disueltos (TSD) 2-722 mg/l, mientras que *L. cyanellus* se presentó en el intervalo más estrecho de 4 a 238 mg/l. Como podría esperarse en el caso de la mayoría de las especies invasoras, casi todas las especies se colectaron en aguas con diferentes grados de contaminación orgánica (indicada por la concentración de amonio), los intervalos manifestados por generalmente se mantuvieron entre 0.2 mg/l y hasta 3.94 mg/l, el único caso diferente corresponde al cíclido *A. nigrofasciata* que fue capturado, sólo en aguas con concentraciones inferiores a los 0.36 mg/l.

Cuadro 1.- Intervalos de los parámetros ambientales en los que los que fueron capturadas algunas de las (especies invasoras en las tres RHPs durante el 2016.

	Temperatura °C	O_2dis (mg/l)	TSD (mg/l)	Amonio (mg/l)
RHP57				
Carassius auratus	14-25.7	2.6-12.4	4-141	0.22-1.21
Cyprinus carpio	14-25.7	2.6-9.5	4-223	0.32-2.50
Poeciliopsis gracilis	12-25.7	0.4-14	3-527	0.08-2.50
Lepomis cyanellus	14-24.8	2.6-12.4	4-238	0.34-2.50
Oreochromis mossambicus	14-27.8	2.6-9.5	3-527	0.08-1.86
RHP74				
Micropterus salmoides	22.6-26.1	6.3-10.2	0-653	0.039-2.70
Oreochromis mossambicus	25.7-31.5	6.0-10.2	0-641	0.11-2.70
RHP75				
Carassius auratus	22.5-25.5	6.5-10.3	1-144	0-0.16
Cyprinus carpio	15.7-25.2	5.3-9.4	3-221	0.06-3.94
Poeciliopsis gracilis	16-30.2	3.9-17.2	2-722	0-2.46
Amatitlania nigrofasciata	16-28.8	6.5-17.2	2-722	0-0.36
Micropterus salmoides	22.8-27.7	4.8-12	0-150	0.06-0.97
Oreochromis mossambicus	16-31.6	4.0-10.6	8-257	0.11-2.46

ANALISIS DEL RIESGO DE INVASIÓN

En el anexo V se presenta en formato Word las fichas que contienen la información, que incluye la base de datos en relación con las especies invasoras, misma que fue empleada en los análisis de riesgo mediante la metodología del Invasiveness Scoring Kit (anexo VI). Los resultados obtenidos son

Carassius auratus: alto riesgo

Cyprinus caprio: alto riesgo

Poeciliopsis gracilis: riesgo medio

Lepomis cyanellus: alto riesgo

Lepomis macrochirus: alto riesgo

Micropterus salmoides: alto riesgo

Amatitlania nigrofasciata: riesgo medio

Coptodon rendalli: riesgo medio

Oreochromis aureus: alto riesgo

Oreochromis mossambicus: alto riesgo

Oreochromis niloticus: alto riesgo

DISCUSIÓN.

Para la cuenca del río de la Laja que incluye RHP 57 región Mercado-Silva et al. (2006) señalan la presencia de histórica de ocho especies exóticas, *Carassius auratus, Cyprinus carpio, Poecilia sphenops, Xiphophorus variatus, Lepomis cyanellus, L. macrochirus*, *Micropterus salmoides y Oreochromis aureus*, pero en colectas intensivas realizadas durante el 2003-2004, ya no detectan la presencia de *P. sphenops* ni de L. cyanellus, sin embargo, al elenco invasor que permanece se añade la presencia de un ejemplar de *Ctenopharyngodon idella* (carpa herbívora). En el 2016 nuestras capturas señalan la presencia de las especies invasoras ya registradas por los mencionados autores, excluyendo a *C. idella*, pero se registra por primera vez para la cuenca los pecílidos *Poeciliopsis gracilis y Pseudoxiphophorus jonesii*, además se registra nuevamente a *L. cyanellus*. Mercado-Silva et al. (2006) señalan que para el 2003-204 las cuatro especies más frecuentes (porcentaje del total de sitios donde fueron encontradas) fueron *Chirostoma jordani* (94%), *Yuriria alta* (88%), *Xenotoca variata* (82%) y *Goodea atripinnis* (82%), todas ellas nativas, seguidas por *O. mossambicuss* (64%), *Poeciliopsis infans* (64%), *Carassius aura*tus (58%), *Xiphophorus variatus* (52%) y *Cyprinus carpio* (52%); además las cuatro de las cinco especies más abundantes fueron también nativas (*C. jordani, G. atripinnis, P. infans* y *Y. alta*) situación que para los registros del 2016 ha cambiado dramáticamente, ya que tres de las cuatro especies más frecuentes fon invasoras, *P. gracilis* (47%), *P. jonesii* (42%) y *O. mossambicus* (38%), mientras que *G. atripinnis* fue la nativa con el 40%, también la relación entra las especies más abundantes cambio, siendo en la actualidad las dos especies más abundantes *P. gracilis* y *O. mossambicus* con 25.83% y 18.36 del total de ejemplares introducidas, finalmente la comparación de la abundancia relativa de las especies introducidas a la cuenca entre 2004 y 2016 también muestra un gran cambio puesto que pasa de conformar el 19% al 58% del total de peces capturados. Sin embargo, estos resultados no pueden ser asociados solamente a la presencia de las especies inavasoras, ya que como lo menciona, Díaz-Pardo, et al. (1993) para la cuenca del río Lerma, Soto-Galera et al. (1999) para el río Grande de Morelia (Michoacán, México), Contreras-MacBeath et al. (1998) para el río Balsas (centro de México) y Mercado-Silva et al. (2006) para el río Laja Guanajuato, los cambios en las estructuras ícticas en el centro de México, son el resultado de la degradación ambiental de los cuerpos de

agua, por el impacto de la contaminación, extracción de agua, construcción de obras hidráulicas, deforestación, cambio en el uso de suelo e introducción de especies invasoras (Díaz-Pardo, et al.,1993; Soto-Galera et al. 1999). Además, como lo mencionan Mercado-Silva et al. (2006) la degradación ambiental puede llevar a dramáticos cambios en la ictiofauna y sólo pocas especies de las más tolerantes (probablemente) puedan permanecer.

Para la RHP 74 al igual que en los registros históricos en la colección y los señalados por Palacio-Núñez et al., (2010), se reporta la presencia de las especies invasoras *Oreochromis mossambicus* y *Micropterus salmoides*, pero también la presencia de las especies transplantadas *Herichthys cyanogutattus, Gambusia panuco, Poecilia mexicana y Poecilia latipunctata.* El cíclido transplantado fue la especie más abundante y frecuente en las colectas y registros visuales, los registros precedentes señalan un sólo registro hasta 2005, cuatro hasta 2010 y en la actualidad se obtuvieron 14 registros. Es importante señalar que los registros visuales en el Lago de La Media Luna, permiten observar con claridad que la especie invasora *O. mossabicus* no se ha podido establecer en este ambiente léntico, ya que al comparar los censos para el cuerpo principal de este sistema lacustre y de su canal efluente realizados en el 2016, con los realizados en los denominados sectores 1 y 12 en el ciclo 1998-1999 por Palacio-Núñez, et al. (2010), permite observar una ostentosa disminución del cíclido invasor, ya que pasó de un promedio de 1066 (sector 1) y 36 (sector 12) en 1998-1999 a un promedio de 3 y 1 individuos observados respectivamente. Un caso de alarma se presenta en el manantial Los Anteojitos formado por dos estanques de entre 30 y 50 m de diámetro, y para el cual Aguilera (1998) registra solo la presencia de la especie invasora *C. carpio,* en el presente se registra a *M. salmoides y Herichthys cyanoguttatus*, ambas, desde luego que tendrán su impacto sobre la ictiofauna nativa, el más notable indudablemente será el del centrárquido, que es reconocido como un carnívoro voraz que puede causar fuertes declives en las poblaciones nativas de peces (Bianco & Ketmaier, 2001; Takayama, 2002; Kottelat & Freyhof, 2007) o incluso puede contribuir a la extinción local de especies (Wittenberg, 2005), sobre todo si consideramos que el manantial alberga especies endémicas de talla pequeña, como *Tampichthys mandibularis*, *Cualac tesellatus* y *Ataenobius toweri*, además tendrá un

fuerte impacto sobre los juveniles de los cíclidos nativos *Herichthys bartoni y H. labridens*. Estos dos últimos seguramente también afectados por interacciones de competencia con el cíclido translocado *H. cyanoguttatus,* con quien presentan fuertes índices de solapamiento espacial, interacción que en 1999 establecieron con *O. mossambicus* (Palacio-Núñez, et al., 2010).

En la RHP 75 conjuntando la información generada por Soto-Galera et al. (2011) y Miranda et al., (2012), hasta antes del presente se tenía registrada la presencia de nueve especies exóticas: *Abramis brema, Carassius auratus, Cyprinus carpio, Ictalurus punctatus, Amatitlania nigrofasciata, Oreochromis mossambicus, O. aureus, O. niloticus* y *Coptodon rendalli*; así como de cinco especies transplantadas: *Poeciliopsis gracilis, Xiphophorus hellerii, Micropterus salmoides, Lepomis macrochirus,* y *Lepomis cyanellus*. En ésta RHP, la especie invasora más ampliamente distribuida y abundante es *Poeciliopsis gracilis* ya que representa casi el 17% de los registros durante el 2016, seguida de la especie translocada *Xiphophorus helleri* con el 10%, el total de registros de especies introducidas alcanza a rebasar el 50%, situación muy contrastante con los registros históricos ya que en 1971 el total de las especies invasoras solo alcanzaba poco más del 5% y para el 2010 el 14.28% de los registros en la región, estos resultados coinciden con lo señalado por Miranda et al. (2012), quienes reportan a *P. gracilis* y *Xiphophorus helleri,* como las especies, en cuanto a la abundancia de las mismas durante los dos periodos son consideradas como abundantes, siendo *P. gracilis* en el 2016 la especie con mayor abundancia relativa ya que alcanzó por si sola hasta casi el 50% de los ejemplares capturados durante todo el ciclo de colectas. En ambos periodos también las especies invasoras *Cyprinus carpio* y *O. mossambicus* fueron las más frecuentes en la cuenca del Metztitlán y Amajac, siendo mucho más abundantes en los ambientes lénticos que en los lóticos. La principal diferencia radica en que Miranda et al. (2012) sólo detectaron la presencia de *Amatitlania nigrofasciata* en una sola localidad, en tanto qué durante el 2016, ésta fue detectada en tres localidades adicionales con abundancias muy variables ya que puede constituir entre 3 y 80% de los ejemplares presentes en un evento de captura. Es importante señalar que el primer registro de éste cíclido invasor en la RHP 75 data del año 2000 en el río Atlapexco, muy cerca del poblado del mismo nombre; Miranda et al., (2012) y colaboradores la

registran para el 2007 y 2008 en la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán y Montaño-Campos (2008) en el río Calnalí, para el 2010 Sánchez-Barrera (2010) lo ubica en el río Huzalingo y Claro, en ese mismo año las capturas presentes en la colección dan cuenta de su presencia en los ríos Claro y Candelaria.

El proceso de invasión tiene tres grandes etapas: introducción, establecimiento y dispersión (Koleff, 2011), para el caso de las RHPs 57, 74 y 75 la introducción de las especies invasoras objeto de estudio se encuentra bien documentada en la literatura y/o en los registros de colección, dentro de estos podemos reconocer tres grupos de especies en función de los principales mecanismos de introducción: a) las exóticas que fueron introducidas con fines de acuacultura extensiva *Carassius auartus, Cyprinus carpio, Coptodon rendalli, Oreochromis aureus. O. mossambicus* y *O. niloticus*, b) las translocadas para promover la pesca deportiva *Lepomis cyanellus, L. macrochirus* y *Micropterus salmoides* y c) las translocadas introducidas por malas prácticas con especies de interés en la acuariofilia *Poeciliopsis gracilis y Amatitlania nigrofasciata*; los dos primeros procesos ocurren de manera deliberada, mientras que el tercero pudo ocurrir de manera deliberada o inadvertida pero todos ellos por definición como consecuencia de las actividades humanas (IUCN, 1999; Lever, 1985). En general cada uno de estos grupos fue introducido en el tiempo siguiendo ese orden, es decir entre las décadas de los sesenta y los ochenta los ciprinidos aparecen primero en las RHPs o en sus afluentes, seguidos de los cíclidos y centrárquidos entre los 70s y 90 y finalmente en los ochenta y en la primera década del presente siglo los dos invasores de interés en la acuariofilia (*P. gracilis* y *A. nigrofasciata*). Los resultados de los análisis de los aspectos reproductivos y de persistencia en el tiempo, permite detectar el establecimiento de poblaciones reproductivamente viables de *C. auartus, C. carpio, O. mossambicus, L. cyanellus, L. macrochirus* y *M. salmoides* en las diferentes RHPs, sin embargo, el proceso de establecimiento parece lograrse con mayor eficiencia en los ambientes lénticos que en los lóticos, ya que todas las especies presentan una gran discontinuidad en espacio y tiempo en estos últimos, además de que solo para el caso de *C. carpio* y *L. cyanellus* se detectaron eventos reproducción, estas evidencias concuerdan con el hábitat y la preferencia del mismo que se ha reportado para todas estas especies (ver fichas anexo V). Esta situación contrasta con lo obtenido con *P.*

gracilis y *A. nigrofasciata,* ya que en ambas se detectaron eventos reproductivos completos en sistemas lóticos y además se pudo constatar la permanencia de una misma población en ambientes lóticos durante al menos una década. Con los registros de la colección y los esfuerzos de captura en el 2016, para el caso *de C. rendalli, O. aureus* y *O. niloticus*, no podemos señalar indicios de poblaciones establecidas en las tres RHPs. Por otro lado, las especies establecidas mostraron tener amplios intervalos de tolerancia a los parámetros ambientales determinados, situación que en general coincide con lo señalado por Diaz-Pardo et al. (1993), Soto-Galera et al. (1999) y Mercado-Silva et al. (2006). Las características antes mencionadas permiten señalar que la introducción y dispersión de las especies del grupo a y b, parecen depender en gran medida de la actividad humana, mientras que las dos especies del grupo c) si bien su introducción parece haber dependido de las actividades humanas, estas presentan capacidades propias que les permiten dispersarse por sí mismas dentro de las RHP, situación que prácticamente ha permitido a *P. gracilis* invadir en un alto porcentaje todos los cuerpos de agua naturales de las RHP 57 y 75, en casi la mitad del tiempo que las especies invasoras que se introdujeron en primera instancia. Sin embargo, a diferencia de las especies de los grupos a y b, todavía no ha sido factible dilucidar efectos negativos a los ecosistemas o a la economía en las dos RHP donde se presentan. Los análisis de solapamiento espacial y trófico solo dieron algunos indicios de posibles impactos de las especies invasoras sobre las nativas. El más evidente es la depredación de los centrárquidos sobre la ictiofauna nativa en las localidades de las tres RHP donde coinciden, situación que ha sido documentada por diversos autores en diferentes países y ambientes, aunque también se detectó que la dieta de *C. carpio* incluye huevos de peces. (ver fichas de *C. carpio*, *L. cyanellus, L. macrochirus* y *M. salmoides* en el anexo V). En el caso de las interacciones de competencia los resultados dan menos claridad ya que en general los índices de solapamiento espacial son bajos y los tróficos se dan en el grupo de los detritívoros entre *C. carpio, C. auaratus, O. mossambicus y P. gracilis con G. atripinnis en la RHP57* y *O. mossambicus* con *H bartoni* en la RHP74, mientras que en la RHP75 es en el grupo de los insectívoros, entre *A. nigrofasciata* con *A. mexicanus, Tampichthys ipni y H. pantostictus,* estas posibles interacciones pudieran tener algún efecto sobre las especies nativas, tal y como ha sido demostrado por diversos autores (ver fichas correspondientes anexo V).

La información documental y la recabada durante los muestreos del 2016 permitieron obtener el riesgo de invasión de las especies bajo estudio, en este sentido resalta que *P. gracilis* aún, siendo la especie con más poblaciones naturalizadas (tanto en ambientes lóticos como lénticos) y distribuida ampliamente en las RHP57 y 75 se le ubique como una especie de riesgo medio, situación más o menos parecida a lo que sucede con *A. nigrofasciata,* sin embargo, esto es explicable en función de lo señalado por Blackburn et al. (2014) quienes mencionan que invasividad de una especie está muy relacionada con los impactos potenciales de esta, sobre los servicio de los ecosistemas receptores, ya que son estos, son los que dictan las estrategias de priorización, prevención y control en respuesta a la invasiones biológicas. Como se puede constatar en las fichas (anexo V) los posibles efectos de *P. gracilis* y *A. nigrofasciata* sobre las especies, los ecosistemas receptores o los servicios que estos prestan, es casi imperceptible con los estudios hasta ahora realizados, razón suficiente para no considerarlas todavía especies invasoras.

En cuanto al manejo, y partiendo de lo propuesto por Lodge et al. (2006) las acciones para enfrentar una especie invasora dependen en primera instancia del reconocimiento de la etapa del proceso de invasión en la que se ubica la especie sujeta a manejo. Los casos más claros de manejo según nuestros resultados tienen que ver con *C. rendalli*, *O. niloticus* y *O. aureus*, especies que, si bien han sido introducidas no se tienen indicios de su naturalización en las RHPs, para ellas las medidas de manejo deben contemplar actividades de prevención y de detección temprana. Sin embargo, consideramos que en el caso de los ciprínidos exóticos, cíclidos africanos y centrárquidos el tema no es tan simple, ya que la mayoría de las poblaciones se naturalizan (establecen) en los ambientes lénticos donde son sembradas y presentan una limitada capacidad de dispersarse por sus propios medios, sin embargo son especies de interés económico y por tanto su introducción depende de la actividad humana, en este sentido para estas especies las medidas de manejo tienen que reconocer dos etapas simultaneas para una misma especie en las RHPs, la etapa de introducción y la de naturalización, esto lleva a contemplar, medidas de prevención, detección temprana y/o erradicación en el caso de la primera, mientras que la erradicación o si el costo beneficio así lo dicta, el control y/o disminución de su capacidad para dispersarse en el caso de que se detecte la segunda.

Los casos de *P. gracilis* y *A. nigrofasciata*, son muy diferentes, ya que en el caso del pecílido, una vez introducido tienen la invasividad necesaria para establecer poblaciones reproductivamente exitosas e iniciar la etapa de dispersión, sin embargo, todavía no se ha detectado impactos ecológicos o económicos que la cataloguen como una especie invasora, no al menos en el corto plazo, pero como lo menciona Koleff (2011) los efectos potenciales de una especie no nativa son impredecibles y pueden llegar a ser devastadores, por lo que con fines de manejo lo más recomendable hubiera sido la detección temprana y la erradicación, la desatención de este tipo de casos nos conduce a proponer que se estudie a más detalle las interacciones de este pecílido con su ambiente y con la fauna nativa, con la finalidad de efectuar una detección temprana de los posibles efectos y entonces considerarla, de ser así, una especie invasora y asumir el costo. Finalmente, el caso *de A. nigrofasciata* pudiera representar el inicio de la etapa de dispersión, donde la opción de manejo deberá de estar orientada a el control y la disminución del proceso de dispersión. Las medidas concretas de manejo para cada especie se proponen en cada una de las fichas (anexo V).

LITERATURA CITADA

Aguilera González, C. J., 1998. Conservación en cautiverio de peces amenazados del noreste de México. Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ciencias Biológicas. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. G005. México D. F.

Arriaga Cabrera, L., Aguilar Sierra, J. Alcocer Durán, R. Jiménez Rosenberg, E. Muñoz López y E. Vazquez Domínguez (coords.). 1998. Regiones Hidrológicas Prioritarias: fichas técnicas y mapa (escala 1: 4,000,000). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Bagenal, T. 1978. Methods for assessment of fish production in fresh waters. Blackwell Scietific Publications. Oxford. 359 pp.

Bennett, G. W. 1970. Management of Lake and Ponds. Van Nostrand Reinhold Company. New York. 375 pp.

Bianco, P. G. & V. Ketmaier. 2001. Anthropogenic changes in the freshwater fish fauna of Italy, with reference to the central region and Barbus graellsii, a newly established alien species of Iberian origin. Journal of Fish Biology. The Fisheries Society of the British Isles, U.K. 59(Suppl. A): 190-208

Contreras-MacBeath, T., H. Mejia-Mojica & R. Carrillo-Wilson. 1998. Negative impact on the aquatic ecosystems of the state of Morelos, México, from introduced aquarium and other commercial fish. Aquarium Sciences and Conservation. Kluwer Academic Publishers. 2: 67-78.

Díaz-Pardo, E., M. A. Godínez-Rodríguez, E. López-López & E. Soto-Galera. 1993. Ecología de los peces de la cuenca del río Lerma, México. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México. 39(1-4):103-127

González-Rodríguez, K. A., A. Ramírez-Pérez, E. Sánchez-Barrera y S.E. Montaño Campos. 2010. Los peces de la Huasteca Hidalguense. Fondo Mixto CONACyT-Gobierno del Estado de Hidalgo. Universidad Autónoma de Hidalgo. México. 46 pp.

Koleff, P. 2011. Sección I. 1. Introducción al tema de especies invasoras (definiciones, procesos de invasiones biológicas, principales impactos- ecológicos, económicos y a la salud, ejemplos históricos- rutas de introducción, uso en actividades productivas, etc.). En INE, CONANP, USFWS, UPC y CONABIO. Fundamentos para la prevención y manejo de especies exóticas invasoras en México. Diplomado en línea Marzo-Mayo 2011.

Kottelat, M. & J. Freyhof. 2007. Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Germany, Berlin, 646 pp.

Krebs, C. J. 1998. Ecological Methodology. Benjamin Cummings. (2nd Edition). 624 pp.

Lodge,D. M. S. Williams, H. J. MacIsaac, K. R. Hayes, B. Leung, S. Reichard, R. N. Mack, P. B. Moyle, M. Smith, D. A. Andow, J. T. Carlton & A. McMichael. 2006. ESA Report. Biological Invasions: Recommendations for U.S. Policy and Management. Ecological Applications o Ecological Society of America U.S. A. 16(6): 2035-2054.

López-López, E. & E. Díaz-Pardo. 1991. Cambios distribucionales en los peces del río de La Laja (Cuenca Río Lerma), por efectos de disturbios ecológicos. A. Esc. Nac. Cienc. bio., Méx., 35:91-116.

Mercado-Silva, N., J. Lyons, E. Díaz-Pardo, A. Gutiérrez-Hernández, C. P. Ornelas-García, C. Pedraza-Lara & M. J. Vander Zanden. 2006. Aguatic. Conserv. Mar. Freshw. Ecosystem. 16:533-546.

Miller, R. R., W. L. Minckley & S. M. Norris. 2005. Freshwater Fishes of Mexico. The University of Chicago Press. Chicago. 490 pp.

Miranda, R., D. Galicia, S. Monks, & G. Pulido-Flores. 2012. Diversity of freshwater fishes in Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, Mexico, and recommendations for conservation. The Southwestern Naturalist. Southwestern Association of Naturalists, USA. 57(3):285-291.

Montaño-Campos, S. E. 2008. Conocimiento tradicional de los peces aprovechados en dos comunidades ribereñas del municipio de Calnalí, Hidalgo. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo.

Palacio-Núñez, J., Olmos-Oropeza, G., R-Verdú, J., Galante, E., Rosas-Rosas, O. C., Martínez-Montoya, J.F., y Enríquez, J. (2009). Traslape espacial de la comunidad de peces dulceacuícolas diurnos en el sistema de humedal Media Luna, Rioverde, S.L.P., México. Hidrobiológica 20 (1): 21-30.

Sánchez-Barrera, E. 2010. Comparación de la ictiofauna de dos localidades del río Huzalingo, Hidalgo. Tesis de Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo.

Schreck, C. B. & P. B. Moyle. 1990. Methods for Fish Biology. American Fisheries Society. EUA. 684 pp.

Soto-Galera, E. 2002. Ictiofauna de la región R75 Confluencia de las huastecas. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Informe final SNIB-CONABIO proyectos No. S115. México, D.F.

Soto-Galera, E., E. Díaz-Pardo, E. López-López & J. Lyons. 1998. Fishes as indicators of environmental quality in the Río Lerma basin, México. Aquatic Ecosystem Health and Management. 1: 267-276.

Soto-Galera E., E. López-López, J. Paulo -Maya, J. A. Serna-Hernández & J. Lyons. 1999. Change in the fish fauna as an indication of aquatic ecosystem condition in the río Grande de Morelia-Lago de Cuitzeo basin, México. Environmental Management. 24(1): 133-140.

Soto-Galera, E., L. Alcántara-Soria, L. & J. Paulo-Maya. 2011. Estado actual de la ictiofauna dulceacuícola de la provincia del complejo Tamesí-Pánuco. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. FM027. México, D.F.

Takayama, H. 2002. Aliens in the palace. Newsweek. December 9.

Wittenberg, R. 2005. An inventory of alien species and their threat to biodiversity and economy in Switzerland. CABI Bioscience Switzerland Centre report to the Swiss Agency for Environment, Forests and Landscape. The environment in practice no. 0629. Federal Office for the Environment, Bern. 155 pp.