



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

**INFLUENCIA DE LA CONVIVENCIA
ENTRE LA ESPECIE NATIVA DE SKIFFIAS (*Skiffia
bilineata*) Y LA ESPECIE INVASORA GUPPY (*Poecilia
reticulata*) EN LOS PATRONES DE ACTIVIDAD**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL
DE LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA

IRVING URIEL PÉREZ GARCÍA

DIRECTORES DE TESIS:

DR. EN C.A. CARLOS ALBERTO PÉREZ RAMÍREZ



TOLUCA, MÉXICO

JULIO, 2025

Contenido

Resumen	4
Abstract.....	5
1. Introducción.....	6
2. Diseño de la investigación.....	12
2.1 Antecedentes	12
2.2 Planteamiento del problema	15
2.3 Pregunta de investigación.....	16
2.4 Hipótesis	16
2.5 Objetivos.....	16
2.5.1 Objetivo general.....	17
2.5.3 Objetivos específicos	17
2.6 Justificación	18
3. Marco conceptual.....	19
3.1 Especies exóticas invasoras (EEI) en México	20
3.1.1 Historia y mecanismos de introducción de EEI en México	20
3.1.2 Principales problemáticas y afectaciones globales	23
3.1.3 Acciones y planes de erradicación existentes	24
3.1.4 Medidas de prevención.....	28
3.2 Interacción de especies nativas – invasoras	31
3.2.1 Condicionantes ecológicos del establecimiento en función de la interacción nativa – invasora	31
3.2.2 Proceso de invasión	32
3.2.3 Sociabilidad en peces	36

3.3 Conducta animal como mecanismo de adaptación	38
3.3.1 Conducta animal.....	38
3.3.2 Grupos – sociabilidad	39
3.3.3 Interacciones entre especies invasoras y nativas	40
4. Caracterización de las especies de estudio.....	42
4.1 <i>Skiffia bilineata</i>	42
4.2 <i>Poecilia reticulata</i>	46
4.3 Introducción de la especie invasora guppy efectos ambientales	48
5. Materiales y métodos	51
5.1 Diseño experimental	51
5.2 Selección y descripción de variables.....	56
6. Resultados	58
6.1 Análisis entre patrones de convivencia	58
6.2 Análisis de influencia de variables seleccionadas	62
7. Discusión	64
8. Recomendaciones para la gestión y control de guppys y su interacción con especies nativas	68
9. Conclusiones	75
Referencias.....	79

Resumen

La introducción de especies invasoras representa la tercera causa de pérdida de biodiversidad en México. Entre ellas, el pez Guppy (*Poecilia reticulata*) se ha convertido en una especie altamente invasiva debido a su popularidad en el acuarismo y uso en el biocontrol de mosquitos. Para mejorar la gestión de estas especies, es importante comprender y profundizar las interacciones que se generan entre organismos nativos e invasores (heteroespecíficas). La investigación tuvo como objetivo general, analizar la influencia de la convivencia entre la especie nativa Tiro de dos rayas (*Skiffia bilineata*) y la especie invasora Guppy (*P. reticulata*), para determinar como la convivencia conespecífica o heteroespecífica y el tiempo de habituación, afectan sus patrones de actividad. Para ello, se analizaron variables como la velocidad promedio y aceleración promedio, registradas al exponer a individuos de ambas especies a distintos tratamientos de convivencia durante un periodo de 52 días. A lo largo de este tiempo se realizaron cuatro rondas de grabaciones para la obtención de datos, los cuales fueron posteriormente procesados y analizados estadísticamente. Los resultados muestran que variables como el sexo y el tipo de convivencia al que fueron sometidos, influyen en el comportamiento de las especies, mientras que el tiempo de habituación no presentó un efecto estadísticamente significativo. Estos hallazgos sugieren que ciertas características sociales son más determinantes que otras en la actividad de los peces estudiados. Por lo cual, comprender factores que favorecen o limitan la sociabilidad entre peces, resulta crucial para predecir el éxito de las invasiones biológicas, aportando así, evidencia útil para el diseño y reestructuración de estrategias de conservación y gestión de control, de especies invasoras en ecosistemas dulceacuícolas.

Palabras clave: *especies invasoras, convivencia heteroespecífica, sociabilidad en peces, patrones de actividad, Skiffia bilineata, Poecilia reticulata*

Abstract

The introduction of invasive species represents the third cause of biodiversity lost in México. Among them, Guppy fish (*Poecilia reticulata*) have been turned into a highly invasive species due to its popularity in aquarism and its use in mosquito biocontrol. To improve the gestion of this species, it's important to understand and delve into the interaction generated between into invasive and native organism (heterospecific). The research had as its main objective to analyze the influence of the coexistence between native specie twoline skiffia (*Skiffia bilineata*) and invasive specie guppy (*P. reticulata*), to determinate how the conspecific or heterospecific interactions and the habituation time affect their activity patterns. To get it, different variables were analyzed like the average speed and average acceleration, registered by exposing individuals of both species to different treatments for 52 days. During this time, there were four recording rounds to obtain data that were subsequently processed and analyzed statistically. The results show the variables like sex, kind of interaction that were tested significantly influence the behavior of the species, while the habituation time didn't influence statistically. This discovery suggests certain characteristics are more determinate than others in the activity of the studied fishes. Therefore, understanding the factors that promote or limit the sociability among fishes is crucial for predicting the success of biological invasions, thus providing useful evidence for design and restructuring of conservation and management strategies to control invasive species in freshwater ecosystems.

Keywords:

Invasive species, heterospecific interactions, sociability in fishes, activity patterns, Skiffia bilineata, Poecilia reticulata

1. Introducción

La biodiversidad desarrolla un papel crucial para mantener el equilibrio de los ecosistemas y el bienestar humano, proveen de alimento y servicios ambientales indispensables como la regulación del clima, la polinización, purificación del agua, y calidad del suelo. Por ello, comprender los factores que afectan la conservación de la biodiversidad es fundamental para saber cómo enfrentar los desafíos ambientales actuales.

A nivel global, se estima que existen entre 2 a 10 millones de especies, de las cuales solo se han descrito científicamente aproximadamente el 20%. Sin embargo, se calcula que cerca de un millón de especies enfrentan el riesgo de extinción debido a actividades humanas como la destrucción de hábitats, la sobreexplotación de recursos y el cambio climático, afectando así no solo a los ecosistemas, sino también a las economías y culturas que dependen de ellos (IUCN, 2024; Llorente-Bousquets & Ocengueda, 2008).

Las especies exóticas invasoras (EEI) son aquellas especies que se establecen en un ecosistema ajeno al original y que pueden provocar alteraciones significativas a este, que van desde los daños ambientales al prevalecer en comunidades enteras y desplazar a especies nativas, ya sea por medio de la depredación directa o competición por alimento, dando como resultado un desequilibrio en los ecosistemas, incluso, algunas especies pueden portar patógenos que afectan a especies nativas (Gozlan *et al.*, 2010; Simberloff, 2001). Afectan de manera indirecta, por medio de la alteración de procesos que modifica los ciclos de la agricultura, pesca y servicios forestales, o bien, en la modificación de los servicios ambientales como polinización, potabilización del agua y estabilización del clima.

Respecto a los impactos económicos, se estima que a nivel global se puede gastar más de \$130 billones de dólares anualmente entre costos de prevención y estrategias de control y en donde al menos 60 especies tienen inversiones promedio de \$43 millones de dólares (Cuthbert *et al.*, 2022; Leung *et al.*, 2002). Incluso, también representan impactos en la salud humana, al exponerse a químicos utilizados para la utilización de las especies, así mismo puede ocurrir de manera directa a través de la transmisión de enfermedades y patógenos (CBD, 2009; CONABIO, 2010; Pejchar & Mooney, 2009).

A nivel global las EEI representan la segunda causa de pérdida de biodiversidad, solo superada por la pérdida de hábitats, provocando así problemas ecológicos masivos, que han contribuido aproximadamente al 40% de las extinciones animales registradas desde el siglo XVII, pero este número asciende a 58% cuando se consideran extinciones donde las EEI actúan junto a otros factores. Además, las EEI representan una amenaza a aproximadamente el 30% de especies que se encuentran dentro de la lista roja de la IUCN (Bellard *et al.*, 2016; CBD, 2009; IUCN, 2024).

Su éxito invasor se puede ver beneficiado por su alta capacidad de adaptabilidad, aunada a la globalización que facilita su dispersión por medio del transporte, turismo y comercio (CBD, 2009; Simberloff, 2001). Si bien, los factores antropogénicos como la globalización, transporte y expansión de asentamientos y actividades humanas facilitan el éxito de invasión de las EEI, las especies no solo depende de exclusivamente de ellos, también influyen agentes ecológicos como la interacción entre especie nativa e invasora que puede garantizar su éxito, reflejándose en los patrones de reproducción y crecimiento poblacional de las especies invasoras (Holway & Suarez, 1999; Simberloff *et al.*, 2013).

Por otra parte, México es reconocido como uno de los países megadiversos del mundo, albergando entre el 10% y el 12% de las especies conocidas a nivel global. Su diversidad biológica incluye cerca de 200,000 especies diferentes, Teniendo consigo un gran número de endemismos. Esta riqueza biológica es atribuida a su variedad de climas, ecosistemas y geografía. A pesar de su riqueza natural, el país enfrenta serias amenazas a la conservación de su biodiversidad, como la deforestación, la contaminación, el cambio de uso de suelo y la introducción de especies invasoras. Estas amenazas han dado como resultado la pérdida masiva de hábitats, el declive poblacional de muchas especies y una mayor vulnerabilidad frente a evento climáticos extremos (CONABIO, 2008).

En particular, respecto a las EEI en México, han alcanzado una magnitud tan alta que representan la tercera causa de pérdida de biodiversidad, solo por detrás de la destrucción de hábitat y sobreexplotación, sin embargo, en las aguas continentales, la pérdida de biodiversidad es hasta 5 veces mayor que en la superficie terrestre y se estima que las EEI están asociadas con la extinción de hasta el 70% de los peces nativos de Norteamérica (CONABIO, 2014).

El impacto de las EEI toma relevancia en cuerpos de agua donde la introducción de peces exóticos ha alterado la dinámica de comunidades acuáticas. En la región central de México se han registrado 25 especies exóticas, siendo en su mayoría cíclidos y pecílidos, mientras que en la región Noroeste del país se han registrado hasta 36 peces exóticos, siendo la principal amenaza de 76 especies listadas en la NOM – 059 SEMARNAT – 2010. Algunas de estas especies han registrado incidencias sobre especies nativas como es el caso de *Xiphophorus helleri* sobre las especies *Skiffia francesae* y *Allotoca goslinei*, o la de *Heterandria bimaculata* sobre *Poeciliopsis balsas*, aunque no se ha determinado con exactitud su nivel de impacto (CONABIO, 2014; NOM-059-SEMARNAT-2010, 2010).

Destaca el caso del pez guppy (*P. reticulata*) un pez de origen sudamericano ampliamente distribuido por su uso en el control de mosquitos y su popularidad en la acuariofilia. Su alta adaptabilidad lo ha convertido en una especie invasora en múltiples regiones de México, donde compite con fauna local. En su contraste, el Tiro de dos rayas (*S. bilineata*) un pez endémico en peligro de extinción (Koeck, 2019) de la cuenca del Río Lerma, representa la vulnerabilidad de las especies nativas ante las EEI. Ejemplifica los desafíos de la conservación en sistemas acuáticos impactados por la actividad humana.

Estas interacciones entre especies invasoras y nativas, ha sido ampliamente estudiada, revelando mecanismos conductuales que favorecen el éxito de los invasores. Camacho-Cervantes *et al.* (2014) demostraron que el guppy *P. reticulata* mejoran su eficiencia de forrajeo al formar cardúmenes con peces nativos de la familia *Goodeinae*, un comportamiento clave durante las primeras etapas de invasión. Posteriormente, Camacho-Cervantes *et al.* (2023) evidenció que esta sociabilidad es mutua, aunque asimétrica: especies nativas como *Neotoca bilineata* y *Poecilia infans* se asocian con guppys invasores, pero los beneficios no siempre son recíprocos, lo que sugiere ventajas adaptativas para el invasor.

Por otro lado, Santiago Arellano (2023) exploró cómo el estrés térmico afecta la capacidad de *S. bilineata* para encontrar alimento en presencia de guppys invasores, señalando posibles beneficios temporales para la especie nativa. Finalmente, (Salazar-Rueda *et al.*, 2024) ampliaron este enfoque al analizar a *Pseudoxiphophorus bimaculatus*, otro pez invasor que prioriza asociarse con nativos para optimizar su alimentación, reforzando el patrón que señala que las interacciones heteroespecíficas, son un factor crítico en el éxito de invasión.

A pesar de estos avances, persisten vacíos en la comprensión de las dinámicas entre especies de peces invasoras y nativas. Aún no se ha desarrollado estudios

que analicen cómo estas interacciones afectan el comportamiento entre *P. reticulata* y *S. bilineata*, particularmente contrastando variables específicas como tiempo de asociación, sexo y tipo de convivencia. Por ello, la investigación tuvo como objetivo general analizar la influencia de la convivencia entre la especie nativa de Tiro de dos rayas (*S. bilineata*) y la especie invasora Guppy (*P. reticulata*), para determinar como la convivencia conespecífica o heteroespecífica y el tiempo de habituación, afectan sus patrones de actividad.

La metodología estuvo basada en una adaptación de Valero *et al.* (2009) donde se crearon dos tipos de convivencia entre las dos especies, heteroespecífica y conespecífica, durante un periodo de 52 días, en donde se realizaron cuatro rondas grabaciones por cada individuo, para posteriormente analizar los datos obtenidos a través del software ToxTrack y R.

El trabajo se desarrolló en los meses de septiembre y octubre de 2024, en el Laboratorio de Ecología de Especies Invasoras (LEEI), del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML), perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con el apoyo de la Dra. Morelia Camacho Cervantes.

El documento se divide en siete apartados principales; el primero corresponde al diseño de la investigación, partiendo del planteamiento del problema, sus principales objetivos, hipótesis y justificación. El segundo apartado presenta el marco conceptual, partiendo de las primeras introducciones biológicas al país, hasta llegar a las problemáticas actuales y la importancia de las interacciones entre especies invasoras y nativas para el éxito de invasión. El tercer apartado se enfoca en caracterizar la especie nativa de Tiro de dos rayas (*S. bilineata*), la especie invasora Guppy (*P. reticulata*), así como la introducción de esta última y los efectos ambientales que genera.

El cuarto apartado explica los materiales y métodos utilizados en el estudio y las variables que fueron seleccionadas. Posteriormente se presentan los resultados obtenidos, así como también se discuten y contrastan con el primer apartado del trabajo. Finalmente se plantean algunas recomendaciones para la gestión y control de guppys y su interacción con especies nativas.

2. Diseño de la investigación

2.1 Antecedentes

Las especies exóticas invasoras (EEI) son una de las principales causas de la pérdida de la biodiversidad a nivel mundial. Estas especies, introducidas fuera de su rango natural, pueden esparcirse rápidamente, competir con especies nativas por recursos, alterar hábitats y propagar enfermedades. En México, el pez león (*Pterois antennata*) en el Caribe y el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en cuerpos de agua dulce muestran los impactos negativos de estas especies en los ecosistemas (Baena & Halffter, 2008; March & Martínez Jimenez, 2008).

La investigación sobre el impacto de especies invasoras sobre ecosistemas y especies nativas ha aumentado en los últimos años, considerando ahora aspectos importantes sobre las interacciones sociales y ecológicas entre especies.

Algunos hallazgos destacados dentro del objeto de estudio son el trabajo realizado por Holway & Suarez (1999) "*Animal behavior: an essential component of invasion biology*" que resalta la importancia de integrar análisis de comportamiento en la biología de invasiones para entender mejor las causas inmediatas del éxito invasor. Aporta nuevas oportunidades de investigación básica en comportamiento animal y su relación con procesos invasores.

Por su parte Simberloff & Von Holle (1999), en su trabajo "*Positive interaction of Non indigenous species: Invasion Meltdown?*" argumentan que las interacciones positivas entre especies "no indígenas", como mutualismos y modificaciones del hábitat, podrían acelerar los impactos en ecosistemas nativos promoviendo un proceso conocido como "desbordamiento invasor" (*invasion meltdown process*).

Camacho-Cervantes *et al.* (2014), realizaron la investigación “*Exotic invaders gain foraging benefits by shoaling with native fish*”, donde examinaron cómo los guppys invasores obtienen beneficios al asociarse con peces nativos de la familia Goodeinae. Los resultados indican que las asociaciones heteroespecíficas proporcionan beneficios similares a los obtenidos en cardúmenes conoespecíficos, mejorando la eficiencia de forrajeo. Este comportamiento podría ser clave para la supervivencia de los individuos invasores durante las etapas iniciales de una invasión, intentando explicar el éxito global de los guppys como especie invasora en numerosos ecosistemas.

Del mismo modo Camacho-Cervantes *et al.* (2023), en el estudio “*Sociability between invasive guppies and natives topominnows*” analizaron la hipótesis de que especies nativas de peces como *Neotoca bilineata* y *Poecilia infans*, tienden a asociarse con el guppy invasor (*Poecilia reticulata*). Se encontró que tanto guppys como las especies nativas muestran una tendencia mutua a socializar, aunque no siempre se benefician de manera equitativa. Destaca la importancia de las interacciones sociales en el éxito invasor y la necesidad de investigar más sobre estas relaciones.

Además Camacho-Cervantes *et al.* (2023), en el artículo “*Could non – native species boost their chances of invasión success by socializing with natives?*” proponen que la sociabilidad heteroespecífica puede mitigar los efectos Alle en poblaciones invasoras al facilitar su establecimiento en nuevos entornos. Se presenta evidencias de diversas especies que demuestran cómo las interacciones sociales entre nativas e invasoras pueden reducir el umbral necesario para la formación de poblaciones viables. Además, se sugiere que la gestión de especies invasoras debe considerar estas dinámicas para prevenir su establecimiento.

Santiago Arellano (2023), en su trabajo “Latencia para encontrar comida del pez nativo *Skiffia bilineata* en un gradiente de temperatura y diferentes contextos sociales”, analizó cómo el aumento de temperaturas afecta la latencia para que *Skiffia bilineata* en presencia del guppy invasor pueda encontrar alimento. Sugieren que las especies nativas podrían beneficiarse de estas interacciones, aunque se resalta que es necesario profundizar la investigación para determinar si estos beneficios son temporales.

Salazar Rueda, (2023), publicó el artículo “Sociabilidad en hembras de guatopote manchado con especies nativas e invasoras”, donde analizó la sociabilidad de *Pseudoxiphophorus bimaculatus* en diferentes contextos sociales. Muestra que el guatopote manchado se asocia de manera similar con los distintos grupos a los que fue presentado, aunque existen factores que influyen en mayor medida en su interacción, creando así una ventana para facilitar el éxito de invasión.

Finalmente Salazar-Rueda *et al.* (2024), en el trabajo “*Heteroespecific sociability and foraging behaviour of an invasive livebearer fish*” evaluó la sociabilidad y comportamiento alimenticio de *Pseudoxiphophorus bimaculatus* hacia distintos grupos sociales, dando como resultado la muestra que esta especie tiende a asociarse más con congéneres y nativos que con otros invasores, beneficiándose de las interacciones heteroespecíficas para su éxito invasor.

Sin embargo, a pesar de estas valiosas contribuciones, no se ha analizado la manera en que la convivencia entre especies nativas e invasoras como Tiro de dos rayas (*S. bilineata*) y la especie invasora Guppy (*P. reticulata*), bajo diversos contextos sociales afecte patrones de actividad, ni cómo estas interacciones pueden influir en la dinámica de los ecosistemas que coexisten.

2.2 Planteamiento del problema

En México, las especies exóticas invasoras representan una de las principales amenazas para la biodiversidad, ocupando la tercera causa de pérdida de biodiversidad en el país. Entre ellas, el Guppy (*P. reticulata*) ha destacado por su capacidad para adaptarse a una amplia variedad de entornos, en parte gracias a su alta sociabilidad y reproductividad, favoreciendo su éxito invasor.

El pez Guppy fue introducido primeramente como medida de biocontrol a principios del siglo XX como una alternativa al uso de pesticidas, y también debido a su adaptabilidad, resistencia y a su bajo costo a comparación de los productos químicos. Su efectividad poca documentada y sus impactos a los ecosistemas, redujo su uso como biocontrol y comenzaron a sustituirse por especies autóctonas: sin embargo, la invasión había ocurrido (Betanzos *et al.*, 2020). Ahora compite con especies nativas por recursos, alterando la dinámica ecológica de los sistemas acuáticos en los que está presente (CONABIO, 2008; Roy *et al.*, 2024; Zandonà, 2010).

Una de las especies afectadas por estas interacciones es el Tiro de dos rayas *S. bilineata*, un pez endémico de las cuencas de los Ríos Lerma y Grande de Santiago, clasificado como “En Peligro de Extinción” por la NOM – 059 – SEMARNAT y en la categoría “en peligro” de la lista Roja de IUCN. Su población se encuentra en descendencia, y severamente fragmentada, principalmente amenazada por las EEI y la contaminación de cuerpos de agua de donde habita. En algunos de estos cuerpos de agua, la población ha desaparecido completamente (Koeck, 2019; NOM-059-SEMARNAT-2010, 2010).

Estudios previos han demostrado que las interacciones heteroespecíficas entre guppys y peces nativos como *S. bilineata* pueden influir en la modificación de

patrones de sociabilidad, forrajeo y reproducción. Sin embargo, aún existe poca información sobre cómo estas interacciones afectan dichos patrones de actividad, que son considerados como una variable clave para evaluar la dinámica de las poblaciones y su impacto en los ecosistemas (Camacho-Cervantes *et al.*, 2023; NOM-059-SEMARNAT-2010, 2010; Salgado-Maldonado & Rubio-Godoy, 2014).

Esta investigación busca comprender cómo la convivencia entre *P. reticulata* y *S. bilineata* afecta los patrones de actividad en contextos sociales conespecíficos y heteroespecíficos. A través del análisis de variables como tiempo en movimiento, distancia recorrida, aceleración máxima, se pretende contribuir al desarrollo de estrategias más efectivas para la conservación de especies nativas y el control de invasoras en México.

2.3 Pregunta de investigación

- ¿De qué forma la convivencia entre la especie nativa Tiro de dos rayas (*S. bilineata*) y la especie invasora Guppy (*P. reticulata*) incide en los patrones de actividad?

2.4 Hipótesis

- El contexto social (conespecífico y heteroespecífico) tendrá un efecto significativo en los patrones de actividad de *P. reticulata* y de *S. bilineata*, generando diferencias entre los tipos de convivencias dentro de cada especie, en las variables de distancia recorrida promedio, aceleración promedio y velocidad promedio.

2.5 Objetivos

2.5.1 Objetivo general

- Analizar la influencia de la convivencia entre la especie nativa Tiro de dos rayas (*S. bilineata*) y la especie invasora Guppy (*P. reticulata*), para determinar como la convivencia conespecífica o heteroespecífica y el tiempo de habituación, afectan sus patrones de actividad.

2.5.3 Objetivos específicos

- Relacionar diversas nociones conceptuales sobre especies exóticas invasoras en México, interacción de especies nativas – invasoras para su establecimiento y conducta animal como mecanismo de adaptación, que permita contextualizar y fundamentar la investigación.
- Caracterizar la especie nativa de Tiro de dos rayas (*S. bilineata*) y la especie invasora Guppy (*P. reticulata*), así como el proceso de introducción de la especie invasora Guppy y los efectos ambientales que genera.
- Establecer un marco para el análisis de la influencia de la convivencia entre la especie nativa y la especie invasora, para determinar cómo la convivencia conespecífica o heteroespecífica y el tiempo de habituación, afectan sus patrones de actividad.
- Analizar las variables velocidad promedio, distancia recorrida y aceleración promedio de la convivencia entre *P. reticulata* y *S. bilineata* en contextos sociales conespecíficos y heteroespecíficos.
- Formular recomendaciones para la gestión y control de guppys y su interacción con especies nativas, que contribuya a la conservación de especies nativas y el control de invasoras en México.

2.6 Justificación

Las EEI generan significativos impactos negativos en los ámbitos ambiental, económico y social. En el ámbito ambiental, las EEI pueden desplazar a especies nativas, alterar redes tróficas, modificar hábitats y reducir la biodiversidad. En el plano económico, pueden provocar pérdidas significativas en actividades como la agricultura, pesca, acuicultura o el turismo, ya sea por daños directos a la producción o por los costos asociados a su manejo. Socialmente, estas especies pueden afectar la salud pública al ser vectores de enfermedades, deteriorar el paisaje natural o modificar prácticas culturales tradicionales relacionadas con la biodiversidad (CONABIO, 2010, 2014).

Debido a las afectaciones directas e indirectas que generan las EEI, es necesario diseñar acciones que orienten su prevención, control, mitigación e inspección. La prevención es una de las técnicas más efectivas, eficientes y eficaces, y que al mismo tiempo genera menos polémica debido a que no busca exterminar a la especie, sino que intenta evitar su establecimiento y proliferación en un medio a través de acciones que van desde la concientización, monitoreo e inspección, evaluación de riesgos hasta regulación y barreras físicas.

Para mejorar el control de las especies invasoras intervienen los estudios de distintas variables, como el comportamiento de las EEI y su interacción con especies nativas, que, en muchos escenarios, su relación puede o no garantizar el éxito de invasión.

Anteriormente se han realizado diversos estudios acerca del comportamiento de guppys y su interacción con especies nativas (Camacho-Cervantes *et al.*, 2015, 2018; Salazar Rueda, 2023; Salazar-Rueda *et al.*, 2024) ; sin embargo, dichos trabajos dejan de lado ciertas variables que pueden influir en el establecimiento de

estas especies, por lo que el presente estudio busca poder complementarlas y tener un mejor entendimiento de las especies.

El objetivo principal es contribuir a la prevención y control de una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad a nivel mundial: la presencia de EEI. Para ello, se propone implementar un marco para el análisis del comportamiento de las especies, considerando nuevas variables y adaptándola al contexto en el que se desarrollan. Además, el desarrollo de esta investigación permitirá la formulación de recomendaciones para la gestión y control de guppys y su interacción con especies nativas, haciendo un uso más eficiente de los recursos destinados a este tipo de proyectos.

Este estudio busca contribuir, desde el enfoque de las ciencias ambientales, a mejorar el entendimiento en la ecología de las especies, ofreciendo herramientas más complejas para su gestión y control, beneficiando tanto a la biodiversidad como a las comunidades humanas las cuales deben ser partícipes, de los procesos de conservación de especies nativas y el control de invasoras en México.

3. Marco conceptual

El presente apartado tiene como propósito establecer un marco que permita contextualizar y fundamentar teóricamente la investigación. En primer lugar, se examina el proceso histórico de la introducción de especies invasoras en México,

abordando los eventos que han facilitado su establecimiento en distintos periodos históricos y los factores socioeconómicos que han incidido en su propagación.

Así mismo, se describen los mecanismos ecológicos y biológicos que permiten la expansión de estas especies, tales como su capacidad de adaptación, reproducción acelerada y ausencia de depredadores naturales. Esto permite comprender cómo estas características impactan negativamente los ecosistemas y las especies nativas, afectando su biodiversidad y equilibrio ecológico.

Posteriormente, se analizan algunos planes y acciones de erradicación de especies invasoras, así como medidas preventivas implementadas a nivel mundial. Esto incluye ejemplos de programas exitosos, sus estrategias clave y los desafíos enfrentados durante su ejecución. También se exploran políticas y normativas adoptadas en diferentes países para prevenir nuevas introducciones y minimizar los impactos de las especies invasoras ya establecidas.

Finalmente, se presenta un análisis de la situación actual en México respecto al manejo y control de especies invasoras, destacando los esfuerzos gubernamentales, académicos y comunitarios. Este apartado concluye identificando vacíos del conocimiento y áreas prioritarias para futuras investigaciones y acciones. De esta manera, se establece una base para comprender la relevancia del estudio en el contexto de la conservación y manejo de la biodiversidad.

3.1 Especies exóticas invasoras (EEI) en México

3.1.1 Historia y mecanismos de introducción de EEI en México

La introducción de especies invasoras ha representado grandes desafíos ambientales, económicos y sociales en el país, que van desde la conservación de la biodiversidad, producción cultivos como arroz, maíz, soya y hortalizas en la agricultura, ganadería, acuacultura, entre otros. A lo largo del tiempo, el transporte humano de EEI, ya sea deliberado o accidental, ha facilitado la dispersión de especies exóticas a nuevos entornos (Carter *et al.*, 2004; Gurevitch & Padilla, 2004).

Las especies que llegan a un entorno diferente al original pueden cambiar hábitos y comportamientos, pues pueden carecer de medidas de control, como depredadores naturales, o encontrar mayores recursos, como alimento, hábitat o condiciones óptimas que incluso puedan alterar su ecología. Además, la interacción con otras especies puede garantizar su éxito. Esto se refleja en los patrones de reproducción y crecimiento poblacional de las especies invasoras (Holway & Suarez, 1999; Simberloff *et al.*, 2013).

Las introducciones de especies no-nativas no solo afectan a la flora y fauna local, sino que también alteran ecosistemas completos e impactan a las personas y a las actividades económicas que dependen de estos. Este problema ha alcanzado una magnitud tan grande que es considerada la tercera causa de pérdida de biodiversidad en México, la segunda a nivel mundial y la primera en islas (Roy *et al.*, 2024).

Aunque no existe un registro exacto y formal de cuáles fueron las primeras especies introducidas en México, se cree que los orígenes de estas se remontan a la época de la colonia. En este periodo, la comunicación constante con otras regiones, tanto dentro del país como con el resto del mundo, permitió el intercambio de diversas especies animales y vegetales de importancia para la agricultura, ganadería, y pesca, así como con fines ornamentales (PROFEPA, 2019). No obstante, un momento crucial en la historia de las introducciones biológicas intencionadas, fue la

época del porfiriato, aunque no hay evidencia directa de que el presidente Porfirio Díaz ordenara personalmente la introducción de especies invasoras, su gobierno (1876 – 1911) promovió la modernización y europeización de la Ciudad de México, lo que incluía el embellecimiento urbano con especies exóticas como jacarandas, eucaliptos, fresnos y lirio acuático. Algunas de estas introducciones aún no han sido completamente controladas, por lo que afectan significativamente su entorno (López, 2021; Redacción El Universal, 2019; Romo Lozano *et al.*, 2007).

En México, se han introducido especies invasoras con fines ornamentales, como el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) que fue introducido por su atractivo aspecto para embellecer cuerpos de agua, aunque en ese momento se desconocían las graves consecuencias que esto podría provocar (López Fuentes *et al.*, 2021). Otro ejemplo es el eucalipto, cuya llegada al país en el siglo XIX se atribuye en gran medida a Miguel Ángel de Quevedo. Sin embargo, su introducción también fue impulsada por médicos que justificaron su plantación como medida sanitaria para combatir enfermedades y sanear áreas urbanas, especialmente en la Ciudad de México. Además, se le atribuyeron propiedades medicinales y usos artesanales, industriales y ornamentales (Hinke, 2000; Vega y Ortega Baez, 2016).

Durante el siglo XIX, la piscicultura llegó a México como parte de un esfuerzo gubernamental para impulsar el desarrollo económico. Esta actividad buscaba generar empleos y garantizar el acceso a alimentos para la población, al tiempo que promovía el desarrollo científico mediante asesorías, difusión de conocimiento y capacitación en técnicas piscícolas. Como resultado, se introdujeron numerosas especies exóticas de peces, algunas de las cuales adquirieron posteriormente importancia comercial (Contreras Alvarado, 2012).

A pesar de las advertencias sobre los efectos negativos de esta especie, su comercialización y tenencia siguen ocurriendo, lo que representa un desafío para

su control. Las estrategias de mitigación requieren estudios específicos y la implementación de regulaciones más estrictas para frenar el impacto que estas especies provocan en los ecosistemas acuáticos de México. Por ejemplo, el fortalecimiento de las campañas de concientización y la creación de normativas que restrinjan la introducción y propagación de especies invasoras, podrían ser pasos cruciales para mitigar el problema.

3.1.2 Principales problemáticas y afectaciones globales

Las EEI son reconocidas como una de las principales amenazas para la biodiversidad global, junto con la pérdida de hábitat, el cambio climático y la contaminación (Simberloff *et al.*, 2013). Cuando una EEI se establece en un nuevo ecosistema, puede alterar drásticamente las dinámicas ecológicas, económicas y sociales. A nivel mundial, se estima que los costos económicos asociados con las invasiones biológicas superan los 1.4 billones de dólares anuales, cifra que ha aumentado significativamente en las últimas décadas. Estos costos incluyen gastos en control, erradicación, pérdidas agrícolas daños a infraestructuras, entre otros. (Diagne *et al.*, 2021).

En el ámbito ecológico, las EEI pueden reducir la biodiversidad, alterar las redes tróficas y modificar los ciclos biogeoquímicos (Olden *et al.*, 2004). En Estados Unidos, se ha documentado que las EEI contribuyen a la disminución de más del 40% de las especies nativas en peligro de extinción, mientras que, en otras partes del mundo, esta cifra llega a alcanzar el 80% (Pimentel *et al.*, 2005). Además, las invasiones biológicas pueden homogeneizar los ecosistemas, reduciendo su singularidad y resiliencia frente a otros disturbios ambientales (CONABIO, 2014).

Algunos de los sectores más afectados económicamente por las EEI son la agricultura, la pesca y el turismo. Dentro de la agricultura, las EEI pueden actuar

como plagas que reducen la productividad de los cultivos. En Estados Unidos, se estima que las pérdidas agrícolas causadas por EEI ascienden a 120 mil millones de dólares anuales (Carter *et al.*, 2004). En México, la introducción de especies invasoras en cuerpos de agua ha afectado la pesca comercial y recreativa, generando pérdidas económicas y conflictos sociales en comunidades que dependen de estos recursos (CONABIO, 2010).

Algunas EEI generan alteraciones en las prácticas culturales tradicionales. Un ejemplo es la introducción de la carpa común (*Cyprinus carpio*) en el lago de Pátzcuaro, Michoacán, que junto a otros peces invasores formaron parte de políticas fallidas que buscaban aumentar la producción pesquera del lago. Esta especie desplazó a especies nativas como al pescado blanco (*Chirostoma estor estor*) que es de importancia comercial dentro de la comunidad y que eran preferidas debido a su sabor y aporte nutrimental. Ante la disminución de las poblaciones de especies nativas, las comunidades locales se vieron obligadas a adoptar la pesca de carpa, a pesar de su menor preferencia cultural. Además, la carpa modificó la calidad del agua del lago al remover sedimentos y reducir la calidad del agua, creando condiciones menos propicias para otras especies (Aguilera Lara & Urquijo Torres, 2024).

3.1.3 Acciones y planes de erradicación existentes

Tras identificar las problemáticas que las especies invasoras han causado y pueden causar en el país, y con el objetivo de prevenir, controlar y erradicar dichas especies para proteger y mantener el equilibrio de la biodiversidad, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) presentó en 2010 la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México (ENEI) (CONABIO, 2010).

Este documento fue desarrollado de manera coordinada entre el gobierno, la sociedad civil y la academia, donde se alinea con los compromisos del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) y los objetivos de la Estrategia Nacional de Biodiversidad y su Plan de Acción 2030. En su elaboración participaron las instituciones académicas como UNAM, UANL, UAM, ECOSUR, COLPOS, entre otras, así como organizaciones de la sociedad civil (OSC) tales como PRONATURA y *The nature conservacy*.

La ENEI tiene una visión inicial a diez años, periodo en el que se prevé que los impactos negativos de las especies invasoras se reduzcan significativamente mediante la consolidación de los sistemas planteados. Si bien fue planteado con esta delimitación temporal, para el año 2025 ya se han ejecutado proyectos que evaluaron su implementación, aunque no han derivado en una actualización formal y estratégica. Entre estos destaca el proyecto GEF-Invasoras (2014-2019) que incluyó evaluaciones, protocolos de acción y control en áreas naturales protegidas (ANP). Así mismo, en 2020 se consolidó un plan de seguimiento institucional para consolidar comités nacionales de atención a EEI y prolongar protocolos establecidos. Estas acciones, aunque significativas, no constituyen una evaluación estratégica continua de la ENEI, ni han sido suficientes para desarrollar o evaluar formalmente la estrategia con un horizonte temporal determinado.

Entre las líneas estratégicas que plantea el ENEI destacan:

- Prevención de introducciones accidentales: busca evitar la llegada de especies invasoras a través de vías como el comercio internacional, el transporte marítimo y aéreo o la liberación de mascotas exóticas. Se han establecido protocolos de bioseguridad en puertos, aeropuertos y fronteras, así como regulaciones más estrictas para la importación de especies con

potencial invasor. Además, se promueve la colaboración con sectores productivos para reducir el riesgo de introducción accidental.

- Desarrollo de sistemas de monitoreo: la ENEI ha impulsado la creación de redes de monitoreo en diversas regiones del país para detectar tempranamente la presencia de especies invasoras. Estos sistemas permiten identificar áreas críticas, evaluar el avance de las invasiones y tomar medidas oportunas. Se ha hecho uso de tecnologías como sensores remotos y bases de datos georreferenciadas para fortalecer la capacidad de respuesta ante nuevas amenazas.
- Fortalecimiento de capacidades técnicas y legales: busca mejorar la capacidad de las instituciones y profesionales para manejar especies invasoras. Se han desarrollado programas de capacitación para funcionarios, investigadores y comunidades locales, y se ha trabajado en la actualización del marco legal para incluir sanciones más severas y mecanismos de control más eficaces. También, se ha fomentado la investigación científica para generar conocimientos sobre las especies invasoras y sus impactos.
- Promoción de la educación ambiental: la ENEI reconoce que la sensibilización de la población es clave para prevenir la propagación de especies invasoras. Se han implementado campañas de comunicación y programas educativos en escuelas y comunidades para informar sobre los riesgos asociados con la liberación de especies exóticas y la importancia de proteger la biodiversidad nativa, Estas iniciativas buscan fomentar una cultura de responsabilidad ambiental (CONABIO, 2010).

El sector acuático recibe atención prioritaria dentro de la estrategia debido a la facilidad con la que las especies invasoras pueden dispersarse, se mencionan

algunos ejemplos de especies que han sido introducidas con fines ornamentales, como actividad comercial, y las prácticas de acuicultura han contribuido significativamente a la dispersión de especies como el Guppy (*P. reticulata*). Así mismo, la ENEI busca priorizar acciones para evitar la propagación de organismos invasores, principalmente en cuerpos de agua dulce, siendo clave para la preservación de ecosistemas acuáticos nativos.

Desde su implementación, la ENEI ha logrado establecer redes de monitoreo a lo largo del país y promovido campañas para el control de especies invasoras; sin embargo, la falta de regulación efectiva y de sensibilización pública sobre los riesgos asociados al comercio de especies acuáticas ha perpetuado esta problemática, por lo cual, es relevante para el estudio, pues permite comprender cómo las políticas nacionales han intentado abordar estas amenazas, cuáles son los desafíos pendientes y cómo se pueden implementar políticas más efectivas para la mitigación de impactos.

Otras acciones que se han implementado en conjunto han sido:

- Proyecto GEF – Invasoras: Financiado por el Fondo Mundial del Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés) y con la participación de gobierno, academia y sociedad civil, se desarrolló entre 2014 – 2019 y buscaba contribuir a la conservación de la biodiversidad por medio de la prevención, detección, control y manejo de EEI en ecosistemas vulnerables en 15 ANP. Tuvo como producto la obtención de herramientas dirigidas a proporcionar información para la toma de decisiones, orientación y regulación en sectores productivos, y el fortalecimiento en del marco multisectorial para implementar la ENEI (CONABIO, 2023).

- Acuerdo por el que se determina la lista de especies exóticas invasoras para México: Es un documento publicado en el diario oficial de la federación, que como su nombre lo indica, hace un listado de EEI en México organizándolo de manera taxonómica. Cuenta con dos listados, un listado general y otro donde menciona EEI en ANP, hábitats críticos para la conservación y áreas de refugio. En total lista a 348 especies, dónde únicamente 6 son peces. Algunas especies que han sido documentadas como EEI en México no aparecen en el listado, como es el caso de *P. reticulata* (Acuerdo por el que se determina la Lista de las Especies Exóticas Invasoras para México, 2016).
- Estrategia Nacional sobre Incrustaciones Biológicas: Es un instrumento elaborado por la Secretaría de Marina (SEMAR) que hace frente a las incrustaciones adheridas al casco de buques por medio de políticas públicas de prevención, mitigación, control y erradicación, que considera las diferentes vías de entrada (UNICAPAM, 2024).

3.1.4 Medidas de prevención

La prevención es una estrategia clave en el manejo de EEI, pues evita su introducción y propagación, reduciendo costos ecológicos y económicos asociados a su control y erradicación (Simberloff *et al.*, 2013). En México, se han implementado diversas estrategias para mitigar el impacto de las EEI, especialmente en ecosistemas acuáticos y terrestres:

- a) Marco normativo y políticas públicas

México cuenta con un marco legal y normativo que busca prevenir la introducción y dispersión de EEI. La Ley General de Vida Silvestre (LGVS) y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) establecen disposiciones para regular la importación, exportación y manejo de especies que pueden representar un riesgo para los ecosistemas. Así mismo, la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México (ENEI) establece líneas de acción para la prevención y control, priorizando la detección temprana y respuesta rápida.

b) Sistemas de vigilancia y detección temprana

En México, se han establecido sistemas de monitoreo y alerta temprana en áreas prioritarias como las reservas de la Biosfera y los humedales de importancia internacional reconocidos como sitios RAMSAR. Por ejemplo, para el control y erradicación del pez león (*Pterois volitans*), que ha invadido el Caribe mexicano, se han implementado campañas de monitoreo y captura que permiten controlar su población y minimizar su impacto en los arrecifes de coral (Loreto Viruel *et al.*, 2023).

c) Control en puertos de entrada

Las aduanas y puertos mexicanos han desarrollado y fortalecido medidas de inspección para evitar la introducción de especies potencialmente invasoras. A través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), se implementan controles fitosanitarios en aeropuertos y fronteras, regulando el ingreso de organismos vivos (Servicio Nacional de Sanidad, 2020, 2023).

d) Concienciación y participación ciudadana

Algunas campañas como “*PlayCleanGo*” en Estados Unidos y la “semana de las especies invasoras” en México han generado conciencia sobre el impacto negativo de las especies exóticas y cómo evitar su propagación. Estas iniciativas han llegado a diversos sectores de la sociedad, desde turistas hasta comunidades locales, promoviendo prácticas responsables. Además, el uso de materiales educativos como folletos, talleres y guías ha sido importantes para informar a las comunidades sobre los riesgos de las especies acuáticas invasoras y cómo prevenir su dispersión (CONABIO, 2020; NAISMA, 2025).

e) Colaboración internacional

México participa en iniciativas internacionales para el control de EEI, como el convenio sobre la diversidad biológica (CBD) desde su adopción en la cumbre de la tierra en Río de Janeiro en 1992, ratificando el convenio en 1993 gracias al cual ha podido implementar la ENEI. También, desde 1994, México forma parte junto con Estados Unidos y Canadá de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA) en donde se busca la cooperación para el impulso del desarrollo sustentable y el mejoramiento y protección del medio ambiente (CCA, 2025; CONABIO, 2024).

Este tipo de colaboraciones permiten el intercambio de información, tecnologías y mejores prácticas para el manejo de especies invasoras. La combinación de un marco normativo, sistemas de vigilancia, control biológico, educación ambiental y colaboración internacional ha permitido avanzar en la protección de los ecosistemas mexicanos. Estas medidas de prevención y control han demostrado ser efectivas en diversos casos, sin embargo, aún existen desafíos importantes, como en el caso del pez Guppy.

3.2 Interacción de especies nativas – invasoras

3.2.1 Condicionantes ecológicos del establecimiento en función de la interacción nativa – invasora

La interacción entre especies nativas e invasoras es un aspecto importante para comprender los mecanismos que facilitan el éxito de su establecimiento. Estas interacciones, que pueden ser de tipo competitivo (cuando dos especies compiten por un recurso o fin en común), depredatorio (corresponden cuando la especie invasiva directamente se alimenta de la especie nativa), o incluso social (ambas especies conviven mientras una adquiere un beneficio particular como la facilidad de hallar recursos), juegan un papel crucial en la capacidad de las especies invasoras para establecerse y proliferar en nuevos ecosistemas, dado que pueden llevar a las especies nativas a presentar cambios en su alimentación, reproducción, defensa, dispersión y competitividad.

Diversos estudios han demostrado que las especies invasoras no solo compiten con las nativas por recursos, también pueden aprovechar las interacciones sociales para integrarse en los ecosistemas locales, lo que permite superar barreras ecológicas y aumentar sus probabilidades de éxito (Holway & Suarez, 1999; Ruland & Jeschke, 2020).

Se ha documentado que especies invasoras como el guppy (*P. reticulata*) tienden a formar cardúmenes con especies nativas, como los Guatopotes de Lerma (*Poeciliopsis infans.*), los cuales le proporcionan por medio de su interacción ventajas significativas en términos de acceso a alimentos y una reducción al riesgo de depredación, mostrando que este tipo de convivencia heteroespecífica facilita su integración a los ecosistemas locales, y que al mismo tiempo altera las dinámicas

ecológicas, generando así cambios en la estructura de las comunidades nativas (Camacho-Cervantes *et al.*, 2014, 2018).

En algunos casos, las especies invasoras pueden utilizar a las especies nativas como “modelos” para aprender estrategias de supervivencia, como la selección de hábitats o evitar depredadores. Este aprendizaje social puede ser particularmente importante en las primeras etapas de invasión, cuando las especies invasoras aún no están completamente adaptadas al nuevo entorno (Camacho-Cervantes & Garcia, 2021).

3.2.2 Proceso de invasión

Todas las especies que son potencialmente invasoras deberán de pasar por un proceso de invasión que garantizará su éxito para establecerse en un nuevo hábitat. Si bien la duración y fases del proceso puede variar dependiendo de los diferentes factores como los económicos, sociales, biológicos, culturales entre otros. Mendoza & Koleff (2014) sugieren seis principales etapas:

- Etapa 0 Fuente: es el lugar de proveniencia de la especie invasora, y para que esta salga debe de incidir algún factor económico, social, ambiental, político o de cualquier otro tipo que propicie su salida de este hábitat, como lo puede ser un desastre natural, campañas de biocontrol, fomento de actividades económicas por medio de introducción de EEI, turismo inconsciente, fuga en medios controlados, entre otros. Es decir, la llamada etapa 0 es la existencia de una especie en su hábitat natural el cual sufrirá una afectación para que la especie misma pueda salir.
- Etapa 1 Transporte: es el medio por el cuál una especie es desplazada de su hábitat de origen a algún lugar fuera de este, pudiendo ocurrir de manera

accidental como sucede con algunos patógenos, moluscos que se adhieren a los barcos, semillas adheridas en el calzado o llantas de vehículos o bien, de manera intencionada para cumplir algún fin en particular como agricultura, ornato, recreación, entre otros. También se puede transportar por medio de una dispersión natural, aunque eso ocurre en menor medida y siendo casi exclusivo de los fenómenos naturales.

- Etapa 2 Introducción: habiendo sobrevivido a la etapa de transporte, ocurre la etapa 2 introducción, cuando la especie ingresa a un nuevo ambiente receptor, comenzará a interactuar para posteriormente establecerse y proliferar en este nuevo hábitat, cruzando así las barreras geográficas y ambientales.
- Etapa 3 Establecimiento: son diversos los factores que condicionan la supervivencia de las primeras 3 etapas, principalmente el clima apropiado, la supervivencia a especies depredadoras, la facilidad de cumplir los requerimientos fisicoquímicos de la especie invasora, las interacciones con otras especies y la magnitud de la invasión, sin embargo, una vez que la especie logre adaptarse a estos, la especie estará adentrándose a la etapa 3, que es cuando la especie logra conseguir la capacidad de sobrevivir y reproducirse en su nuevo medio, aunque esto no garantizará completamente su éxito de invasión.
- Etapa 4 Dispersión: una vez que la especie logre reproducirse con éxito comienza una expansión territorial tan rápida como pueda, en algunas ocasiones esta dispersión se facilita y acelera gracias a la influencia humana directa, ejecutando técnicas que propicien la invasión, dada que esta es deseada. Estas se pueden ver limitadas por las barreras geográficas y ambientales.
- Etapa 5 Prevalencia: La nueva especie invasora logra con éxito pasar las etapas anteriores y comienza a ser dominante en el nuevo hábitat.

Por su parte, Sasanami, *et al.* (2021) mencionan que existen seis principales aspectos ecológicos que pueden influir de forma directa en que el proceso de invasión tenga un mayor éxito, que son:

- Hábitats y diversidad de nichos: un hábitat capaz de albergar una gran diversidad de especies es también susceptible a recibir especies invasoras, proveyendo de espacios.
- Diversidad y abundancia de recursos: cuando en el espacio abundan los recursos como comida, las especies tendrán más opciones para escoger sin volverse dependientes a un solo recurso
- Biodiversidad: se liga a los dos aspectos anteriores, un ecosistema más biodiverso significará un mejor espacio para invadir, sin embargo, los espacios con una menor biodiversidad serán más propensos a afectaciones.
- Dependencia de la densidad: es decir, factores que condicionan que la densidad de una especie aumente como depredadores, recursos, enfermedades, entre otros.
- Cambios en los comportamientos de las especies nativas: las diferentes especies nativas tenderán a optar diversos comportamientos ante la presencia de una invasora, esto siendo en mayor medida para garantizar su propia supervivencia
- Resiliencia ecológica: se entiende como la capacidad de un ecosistema de adaptarse y resistir ante cambios que pueden afectar su funcionamiento, por lo que habrá ecosistemas que resistan más a una invasión biológica.

La ilustración 1 muestra los conceptos anteriores juntos, las etapas de la invasión, así como los principales aspectos que influyen en este.

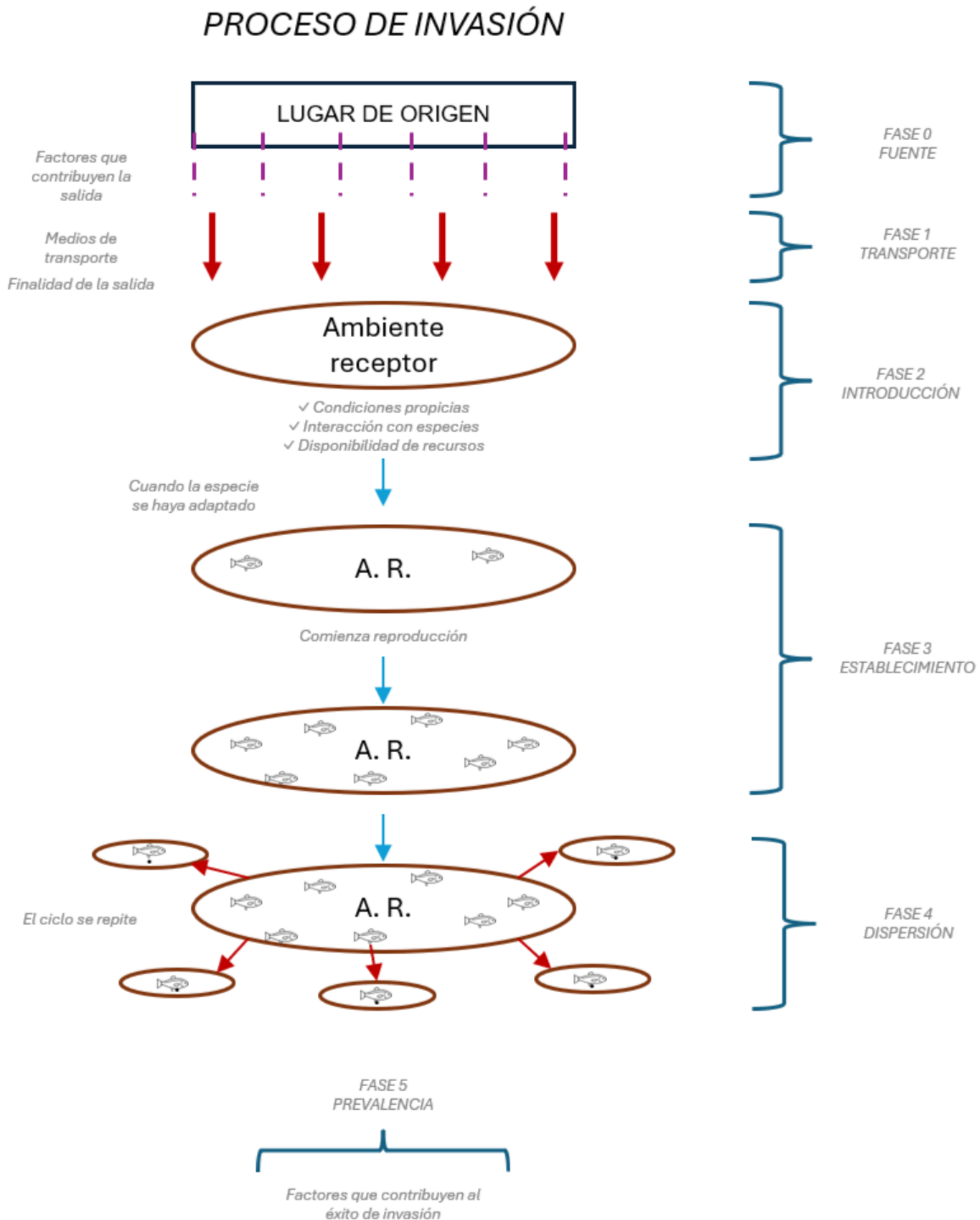


Ilustración 1. Proceso de invasión. Elaboración propia basada en Mendoza & Koleff (2014).

3.2.3 Sociabilidad en peces

La sociabilidad en peces se refiere a la tendencia de estos organismos a formar grupos o agregaciones, conocidas como cardúmenes, y a interactuar con otros individuos de su misma especie o de especies diferentes. Este comportamiento social es común en muchas especies de peces y puede manifestarse de diversas formas, como la formación de jerarquías, la cooperación en la búsqueda de alimento, la defensa contra depredadores y la coordinación durante la reproducción (Magurran, 2005). La sociabilidad no solo implica la proximidad física entre individuos, también la comunicación y el reconocimiento de señales visuales, químicas y auditivas (Ward & Webster, 2016).

La formación de cardúmenes es uno de los ejemplos más estudiados de sociabilidad en peces. Estos grupos pueden variar en tamaño, estructura, desde pequeños grupos familiares hasta grandes agregaciones de miles de individuos. La cohesión del cardumen depende de factores como la especie, el ambiente y las condiciones ecológicas, como la presencia de depredadores o la disponibilidad de recursos (Pitcher, 1986).

La sociabilidad en peces desempeña un papel crucial en su supervivencia y éxito ecológico. Algunos aspectos relevantes de este comportamiento son:

- La formación de cardúmenes: es una estrategia eficaz para reducir el riesgo de depredación, Los peces en grupo pueden confundir a los depredadores, dificultando la selección de un individuo en específico (Magurran, 2005). Además, la vigilancia colectiva permite detecta amenazas de manera más

rápida y eficiente, lo que aumenta las posibilidades de supervivencia (Ward & Webster, 2016).

- Localización y explotación de recursos alimenticios: los peces en grupo pueden compartir información sobre la ubicación de alimento, lo que reduce el tiempo y la energía invertidos en su búsqueda. Este comportamiento es particularmente importante en ambientes con recursos limitados o distribuidos de manera irregular (Pitcher, 1986).
- Patrones reproductivos de los peces: en muchas especies, los machos compiten por el acceso a las hembras, y las hembras eligen parejas basándose en características como el tamaño, la coloración o el comportamiento. La formación de agregaciones durante la época reproductiva facilita el encuentro entre individuos y aumenta las oportunidades de apareamiento (Magurran, 2005).
- Capacidad de adaptabilidad: ya sea a cambios en su entorno, como fluctuaciones en la temperatura, la disponibilidad de alimento o la presencia de especies invasoras. Por ejemplo, en presencia de depredadores o competidores, los peces pueden modificar su comportamiento social para aumentar su eficiencia en la obtención de recursos o para evitar conflictos (Ruland & Jeschke, 2020).
- Beneficios ecosistémicos: los cardúmenes pueden influir en la estructura de las comunidades acuáticas al afectar la distribución y abundancia de otras especies, como invertebrados y plantas acuáticas (López *et al.*, 2012). Además, los peces sociales pueden llegar a modificar el hábitat y facilitar la supervivencia de otras especies (Olden *et al.*, 2004).

3.3 Conducta animal como mecanismo de adaptación

3.3.1 Conducta animal

La conducta animal se define como el conjunto de acciones y respuestas que los animales muestran en relación con su entorno, otros organismos y consigo mismos, Estas conductas son el resultado de la interacción entre factores genéticos, fisiológicos y ambientales, y desempeñan un papel fundamental en la supervivencia y reproducción de las especies. Desde una perspectiva evolutiva, la conducta animal es considerada el primer mecanismo de adaptación, pues permite a los individuos responder de manera eficiente a los desafíos que impone su hábitat, como la búsqueda de alimento, la evitación de depredadores, la selección de pareja y la crianza de la descendencia (Alcock, 2013).

La conducta animal puede contribuir de manera directa a la adaptación de las especies. Por ejemplo, los patrones de migración en aves o la construcción de madrigueras en roedores son comportamientos que aumentan las posibilidades de supervivencia de las especies al optimizar el uso de recursos y reducir su exposición a amenazas. Esto hace que la conducta esté estrechamente ligada a la selección natural; los individuos con comportamientos más eficaces tienen mayores probabilidades de transmitir sus genes a las siguientes generaciones (Dugatkin, 2020).

Comprender la conducta animal es esencial para contribuir a la conservación de especies, pues incluso la ENEI en México, dentro de sus apartados destaca la importancia de estudiar el comportamiento de especies invasoras para diseñar estrategias efectivas de control. El conocimiento sobre los patrones de alimentación

o reproducción de una especie invasora puede ser clave para implementar medidas que minimicen su impacto en los ecosistemas (CONABIO, 2010).

3.3.2 Grupos – sociabilidad

La formación de grupos en el reino animal es un fenómeno ampliamente observado y estudiado, representa una estrategia clave para la supervivencia y adaptación de las especies. La sociabilidad, entendida como la tendencia de los animales a agruparse, responde a necesidades básicas como alimentación o la protección contra depredadores, pero al mismo tiempo facilita la reproducción, el cuidado de las crías y la transmisión de conocimientos dentro de la comunidad. Este comportamiento ha evolucionado como un mecanismo de adaptación que maximiza las oportunidades de supervivencia individual y colectiva (Krause & Ruxton, 2002; Silk, 2007).

En peces, uno de los principales motivos por los que se forman los cardúmenes es la búsqueda de alimento. La cooperación en la búsqueda de recursos alimenticios permite a los individuos acceder a fuentes de alimento que serían difíciles de explorar de manera individual. Dentro de los Poecílidos como los guppys (*P. reticulata*), se ha observado particularmente que los grupos facilitan la localización de algas y pequeños invertebrados (Magurran, 1990).

La protección contra depredadores es otro factor que impulsa la sociabilidad en peces. Los cardúmenes ofrecen una mayor vigilancia colectiva, debido a que múltiples individuos pueden detectar amenazas más rápidamente que uno solo. Este fenómeno conocido como “efecto de vigilancia múltiple”, es particularmente evidente en especies como los guppys, que habitan en aguas con alta presión de depredación. Además, la formación de grupos puede confundir a los depredadores mediante movimientos sincronizados, lo que dificulta la captura de un individuo

específico. Este comportamiento es una adaptación para reducir el riesgo de depredación en ambientes acuáticos (Pitcher, 1986).

En los poecílidos, como los mollys (*Poecilia shenops*) y los platys (*Xiphophorus maculatus*), los grupos influyen en la reproducción y cuidado de las crías; facilitan la selección de parejas y el apareamiento. Además, las crías de muchas especies de Poecílidos se benefician de la protección que ofrece el grupo, dado que los adultos pueden ahuyentar a los depredadores y proporcionar un entorno seguro para el desarrollo (Dugatkin & Godin, 1992).

3.3.3 Interacciones entre especies invasoras y nativas

Las interacciones entre especies invasoras y nativas llegan a impactar significativamente la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas, manifestándose a través de la competencia, la depredación, la alteración de hábitats y la introducción de enfermedades, entre otros mecanismos (Gozlan *et al.*, 2010). La competencia por recursos como alimento, espacio y refugio es una de las interacciones más comunes. Por ejemplo, la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), es una especie invasora en muchos sistemas de agua dulce, compite agresivamente con peces nativos por alimento, llevando a la disminución a las poblaciones nativas (Fausch, 2008).

La depredación es otro mecanismo mediante el cual los peces invasores afectan a las especies nativas. Muchas especies invasoras, como el pez cabeza de serpiente (*Channa argus*), son depredadores que pueden consumir huevos, larvas o adultos de peces nativos, alterando así las dinámicas poblacionales y la estructura de las comunidades acuáticas (Lapointe *et al.*, 2010). Además, los peces invasores pueden introducir patógenos o parásitos a los que las especies nativas no están

adaptados, lo que puede resultar en brotes de enfermedades y mortalidad masiva (Peeler *et al.*, 2011).

Otra forma en que los peces invasores impactan a las especies nativas es a través de la alteración del hábitat. Por ejemplo, la carpa común (*Cyprinus carpio*) remueve los sedimentos del fondo de los cuerpos de agua, lo que aumenta la turbidez y reduce la disponibilidad de luz para la vegetación acuática, afectando así a otras especies que depende de estos hábitats. Estas alteraciones pueden tener efectos sobre las redes tróficas, modificando la disponibilidad de recursos para otros organismos acuáticos y terrestres (Weber & Brown, 2009).

4. Caracterización de las especies de estudio

El presente apartado tiene como propósito describir las características biológicas y ecológicas de las especies que conformaron el objeto de estudio de la investigación: *P. reticulata* y *S. bilineata*. Se menciona su morfología, comportamiento y distribución, así como su importancia dentro del estudio. En particular, se analiza el papel de *P. reticulata*, destacando las rutas de acceso y problemáticas históricas que han surgido al ser introducida en ecosistemas donde ha generado alteraciones.

4.1 *Skiffia bilineata*

También conocido comúnmente como tiro de dos rayas, *S. bilineata* es un pez de tamaño pequeño de alrededor de 30 mm endémico de la cuenca de los ríos Lerma y Grande de Santiago en los estados de Guanajuato, Jalisco y Michoacán, y que tiene preferencias a las aguas tranquilas con corrientes ligeras a nulas (Miller *et al.*, 2009).

Las hembras son significativamente más grandes que los machos y poseen una característica franja de cada lado de coloraciones purpuras de forma de medialuna, en la mayoría de los casos que recorre la mitad del cuerpo con el ancho de los ojos, mientras que los machos cuentan con 6 a 18 rayas dorsales que atraviesan la mitad posterior, de diferentes coloraciones (Bean, 1887; Miller *et al.*, 2009). De reproducción vivípara, tiende a reproducirse casi exclusivamente de marzo a mayo en libertad, mientras que en laboratorios tiende a hacerlo a lo largo de la primavera (Miller *et al.*, 2009).

Se encuentra en la categoría de “En Peligro de Extinción” de acuerdo con el listado de la NOM-059-SEMARNAT (NOM-059-SEMARNAT-2010, 2010) que es dada a aquellas especies cuya población ha disminuido drásticamente y que dicha

disminución puede poner en riesgo su viabilidad biológica. Sus principales amenazas son la modificación de los sistemas naturales como el uso del agua, la contaminación de cuerpos de agua, introducción de especies invasoras en sus hábitats y el desarrollo comercial – industrial. Estas causas hacen que se le atribuya una posible extinción en los cuerpos de agua de Jalisco, dado que el último registro encontrado en este estado data a 1985 (GBIF Secretariat, 2023b; Koeck, 2019). Esta especie ha reducido su área de distribución aproximadamente un 66% (De La Vega-Salazar, 2006).

Si bien, no se ha encontrado información que analice el contenido en su estómago en condiciones salvajes para determinar su dieta, se conoce que especies cercanas de la familia Goodeidae se alimenta principalmente de pequeños insectos, algunos tipos de algas, y algunos componentes de materia orgánica, haciéndola una especie omnívora (Trujillo-Jiménez *et al.*, 2006).

La familia Goodeidae es endémica de la mesa central mexicana y cuenta con 36 especies conocidas actualmente, esto representa el 32% de endemismo en la zona, sin embargo, también se ha documentado que 4 se han extinto recientemente. Una de sus principales amenazas es la degradación ambiental, dado que la mayoría de las especies presenta sensibilidad a la degradación ambiental considerando parámetros como la turbidez del agua, oxígeno disuelto, fosfatos, amonio, entre otros, por lo cual las especies pueden ser consideradas como indicadores de la calidad del agua (De La Vega-Salazar, 2006).

Información taxonómica:

Reino: Animalia

Phylum: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Cyprinodontiformes

Familia: Goodeidae

Género: *Skiffia*

Especie: *Skiffia bilineata*.



Ilustración 2. Hembra de Tiro de dos rayas *S. bilineata*. Fuente: © Wolfgang Gessl (2021) (www.pisces.at)



Ilustración 3. Macho de Tiro de dos rayas *S. bilineata*. © Wolfgang Gessl (2021) (www.pisces.at)



Ilustración 4. Mapa de distribución actual de *S. bilineata*. Elaboración propia en base a GBIF Secretariat (2023b).

4.2 *Poecilia reticulata*

P. reticulata comúnmente conocido como Guppy, es un pez de la familia poeciliidae que se distribuye originalmente en Sudamérica, a lo largo de Trinidad, Guyana, Venezuela y Surinam, sin embargo, ha logrado establecerse en todos los continentes a excepción de la Antártica soportando una gran variación de climas, debido principalmente a su introducción intencional (Magurran, 2005).

La especie es relativamente pequeña, de un tamaño de entre 15 – 60 mm siendo la hembra más grande que el macho, además de que este último crece hasta alcanzar cierta talla, mientras que la hembra sigue creciendo a lo largo de su vida. Los machos son más coloridos con presencia de manchas amarillentas, naranjas y negras, y cuentan con un gonopodio que les ayuda a la reproducción (Zandonà, 2010).

Su reproducción es ovovivípara, lo que significa que la hembra fertiliza los huevos en su interior, que el macho anteriormente ya ha fecundado con ayuda de su gonopodio, hasta que nacen las crías, las cuales no reciben cuidados parentales, y en ocasiones buscan crear pequeños cardúmenes con otras crías de tamaño similar para evitar ser depredadas (Magurran, 2005). Las hembras tienen la capacidad de la retención de esperma en espacios reproductores para poder llevar a cabo este proceso ante la escasez de machos, pudiendo tener diversas camadas con una sola cópula (Urriola Hernández *et al.*, 2004).

Información taxonómica:

Reino: Animalia

Phylum: Chordata

Clase: Teleostei

Orden: Cyprinodontiformes

Familia: Poeciliidae

Género: Poecilia

Especie: *Poecilia reticulata*



Ilustración 5. Macho de Guppy *P. reticulata*. Fuente: © Andaman Kaosung (2025) (¡Naturalist UK).



Ilustración 6. Hembra de Guppy *P. reticulata*. Fuente: CC BY-NC 4.0 Iván Ahumada Carrillo (2018) (¡Naturalista México)

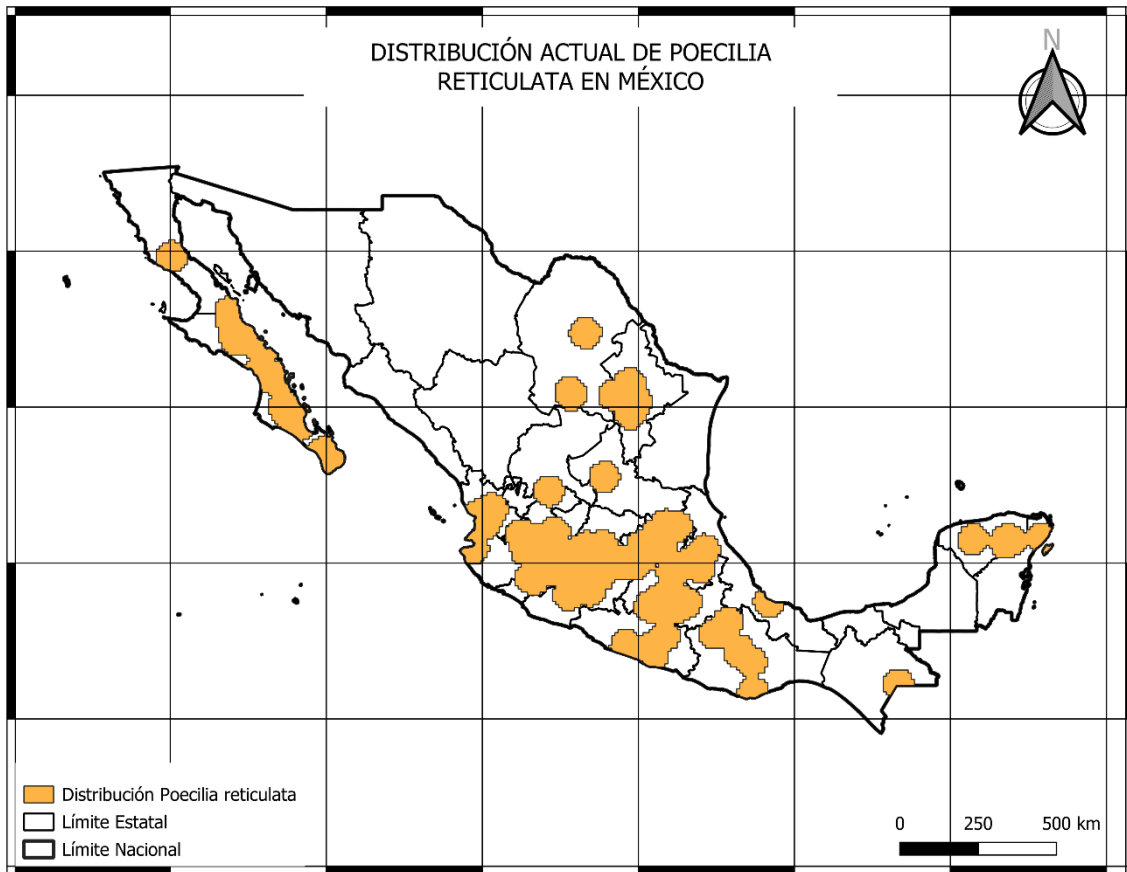


Ilustración 7. Mapa de distribución actual de *P. reticulata* en México. Elaboración propia en base a GBIF Secretariat (2023a).

4.3 Introducción de la especie invasora guppy efectos ambientales

El Guppy (*P. reticulata*) ha sido introducido en más de 70 países debido a su popularidad en la acuariofilia y su uso en el control biológico de mosquitos, fue introducido en México en la década de los años 70, particularmente para el control de mosquitos en cuerpos de agua del país (Salgado-Maldonado & Rubio-Godoy, 2014) Sin embargo, esta especie ha llegado a ser catalogada como altamente invasiva, su éxito como especie invasora ha tenido consecuencias negativas en los ecosistemas en donde se ha establecido, llegando a modificar procesos ecológicos,

desplazar a especies nativas y adaptarse rápidamente a nuevos ambientes (Deacon & Magurran, 2016; López Fuentes *et al.*, 2021; Magurran, 2005).

Los guppys son ecológicamente conocidos por su alta tasa reproductiva y su capacidad para competir con especies nativas por recursos como alimentos y espacios. En México se ha documentado que los guppys compiten con especies endémicas como el *Goodea atripinnis*, reduciendo su abundancia y alterando la estructura de las comunidades acuáticas (CONABIO, 2014). Además, los guppys pueden modificar las redes tróficas al alimentarse de zooplancton y microinvertebrados, lo que afecta indirectamente a otras especies que dependen de estos recursos (Tsang & Dudgeon, 2021).

En un estudio realizado recientemente por Portilla *et al.* (2024) en Ecuador, se demostró que los guppys pueden alterar el comportamiento de especies clave como *Daphnia pulex*, un crustáceo que desempeña un papel importante en el control de algas. Al someterlos a una convivencia en un mismo entorno, la presencia de guppys redujo la actividad de *D. pulex*, dando como resultado el aumento en la proliferación de algas y la afectación en la calidad del agua, mostrando así un efecto dominó que suele ocurrir ocasionalmente en ecosistemas invadidos por guppys, por lo que las especies invasoras no solo se favorecen de las especies nativas, sino que también pueden tener impactos significativos en ellas, provocando alteraciones en las dinámicas ecológicas que benefician su establecimiento.

En otro estudio, ahora desarrollado por Tsang & Dudgeon (2021) en Hong Kong, se compararon los impactos ecológicos de los guppys con los de dos especies de peces nativos, partiendo de la hipótesis que la introducción de guppys está asociada con la disminución de la diversidad de especies nativas. Los resultados mostraron que los guppys redujeron significativamente la abundancia de invertebrados acuáticos y alteraron la composición de las comunidades bentónicas, siendo un

efecto alarmante, principalmente en las regiones con alta biodiversidad, como los trópicos, donde los ecosistemas son más vulnerables a las perturbaciones.

Aunque los guppys no suelen ser considerados una amenaza directa para la economía, su introducción en cuerpos de agua utilizados para la pesca o el turismo pueden tener consecuencias indirectas. En algunas regiones de Asia, la disminución de peces nativos debido a la competencia con guppys ha afectado la pesca artesanal, que es una fuente importante de ingresos para las comunidades locales aunado a los costos asociados con el control y la erradicación de poblaciones de guppys que pueden ser elevados, especialmente en áreas protegidas o de alto valor ecológico (CONABIO, 2010; Gozlan *et al.*, 2010).

Los guppys no solo afectan la estructura de las comunidades acuáticas, también pueden alterar el comportamiento de las especies nativas, inducir cambios en la conducta alimentaria, reproducción y escape de otras especies (Ruland & Jeschke, 2020). En presencia de guppys, algunas especies de peces nativos pueden modificar sus patrones de alimentación para evitar la competencia, lo que puede reducir su eficiencia energética y comprometer su supervivencia (Jacobs *et al.*, 2017; Ruland & Jeschke, 2020; Tsang & Dudgeon, 2021).

Una característica que destaca en los guppys es su notable capacidad para aprender rápidamente de su entorno y adaptar sus estrategias de forrajeo y reproducción en torno a las condiciones locales. Este comportamiento flexible les permite aprovechar las oportunidades que surgen de la interacción con especies nativas, acelerando así su proceso de invasión. La interacción con especies nativas no solo proporciona beneficios inmediatos, como el acceso a recursos, también facilita la adquisición de información ecológica valiosa que puede ser garantizar su supervivencia a largo plazo (Deacon & Magurran, 2016).

Los guppys como EEI, representa un ejemplo de cómo una especie aparentemente inofensiva, puede tener impactos significativos en los ecosistemas, la economía y la sociedad. Su alta capacidad de adaptación, combinada con la falta de regulación en su comercio y liberación, ha facilitado su establecimiento en hábitats de todo el mundo. Para mitigar sus impactos, es necesario implementar estrategias integrales por medio de un enfoque multidisciplinario que incluyan la educación ambiental, la regulación del comercio de especies exóticas y el desarrollo de programas de control y erradicación basadas en evidencia científica (CONABIO, 2010, 2014).

5. Materiales y métodos

El presente apartado describe la metodología empleada durante la investigación, especificando el lugar, las condiciones y criterios bajos los cuáles se desarrolló. Se detalla todo el proceso desde la preparación del material, el diseño de los tratamientos y el procedimiento de filmación de los peces. Así mismo, se enlistan y explican las variables consideradas dentro del análisis, junto con los softwares utilizados para el procesamiento de datos.

5.1 Diseño experimental

El cuidado de los peces, así como el desarrollo del experimento se llevó a cabo dentro de las instalaciones del Laboratorio de Ecología de Especies Invasoras (LEEI) que se encuentra dentro del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL), sede Ciudad Universitaria, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) tomando lugar en los meses de septiembre y octubre de 2024.

El laboratorio es un espacio controlado, completamente cerrado que permite mantener las condiciones deseadas, pudiendo mantener una temperatura constante de 18°C, una humedad baja e impidiendo la entrada de corrientes de aires o factores externos que puedan modificar los parámetros de las peceras. Cuenta con un acceso restringido lo que minimiza la posibilidad de que personas ajenas al LEEI puedan afectar los procesos de investigación. También posee la automatización de sus luces, creando un fotoperiodo de 12 horas de luz de 7:00 a 19:00 horas y 12 horas de oscuridad con horario de 19:00 a 7:00 horas.

Las peceras del experimento fueron distribuidas estratégicamente, para evitar que los peces de las distintas peceras pudieran verse entre sí, y hubiese alguna interacción o influencia en su comportamiento.

Para llevar a cabo la parte experimental se utilizaron las dos especies previamente mencionadas, *S. bilineata* y *P. reticulata*, sometiénolas a dos tipos de contextos sociales: uno conoespecífico (una sola especie) y otro heroespecífico (ambas especies). Así se establecieron tres tratamientos: en el tratamiento 1 únicamente se encontraba la especie *P. reticulata*, en el tratamiento 2 únicamente *S. bilineata*, mientras que en el tratamiento 3, ambas especies se encontraban presentes.

En los tratamientos 1 y 2 se introdujeron 4 hembras y 4 machos de sus respectivas especies, mientras que en el tratamiento 3 se agregaron 2 hembras y 2 machos de cada una de las especies, sumando así un total de 8 individuos por pecera. Cada tratamiento se replicó tres veces empleando un total de 9 peceras y 72 individuos tal como se ejemplifica en la ilustración 8.

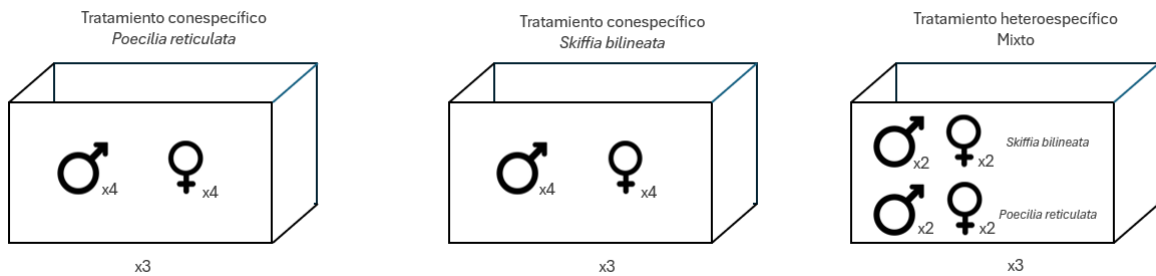


Ilustración 8. Repartición y acomodo de individuos por tratamiento. Elaboración propia.

Todas las peceras estaban bajo condiciones idénticas; cada una tenía una capacidad de 24.3 L, contenía 2 plantas artificiales de color verde para simular un poco el entorno natural, un filtro de cascada AquaJet Slim 40 Pro de la marca Lomas®, un calentador eco termal de 50 w de la marca Lomas®, que mantenía una temperatura de $21.5^{\circ} \text{C} \pm 0.5^{\circ} \text{C}$. La ilustración 9 muestra el modelo de cómo las peceras fueron equipadas.

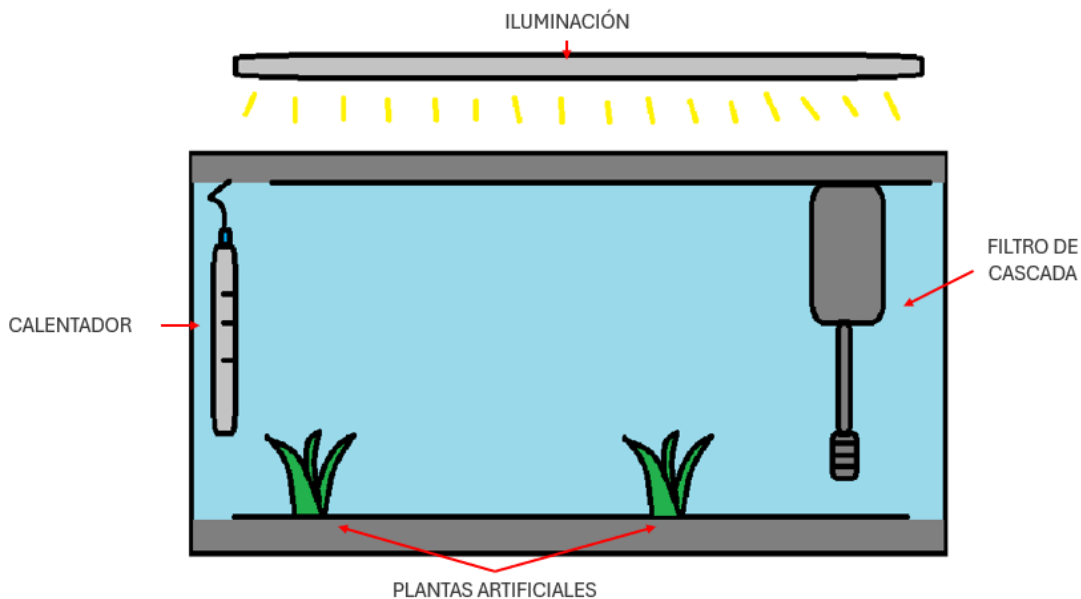


Ilustración 9. Esquema de pecera para tratamiento. Elaboración propia.

El experimento tuvo una duración total de 50 días naturales, con monitoreos periódicos de cada individuo mediante grabaciones individuales que posteriormente fueron analizadas. Las grabaciones se realizaron en 4 rondas: la primera en los días 1 y 2, la segunda en los días 6 y 7, la tercera en los días 20 y 21, y la última en los días 49 y 50 del experimento. El día 0 se considera el día en que los individuos fueron colocados en sus respectivos tratamientos.

Para las grabaciones, se utilizó una pecera de vidrio de 25 x 10 x 19 cm (como se muestra en la ilustración 10) llenada hasta los 3 cm de alto y ajustada a la misma temperatura que los tratamientos. Una cámara colocada a 90° permitía capturar tomas áreas de los individuos, facilitando el monitoreo de sus movimientos. Las grabaciones únicamente se llevaban a cabo en un horario de 10:00 – 15:00 horas debido al comportamiento diurno de las especies y a la facilidad del acceso y uso de las instalaciones.

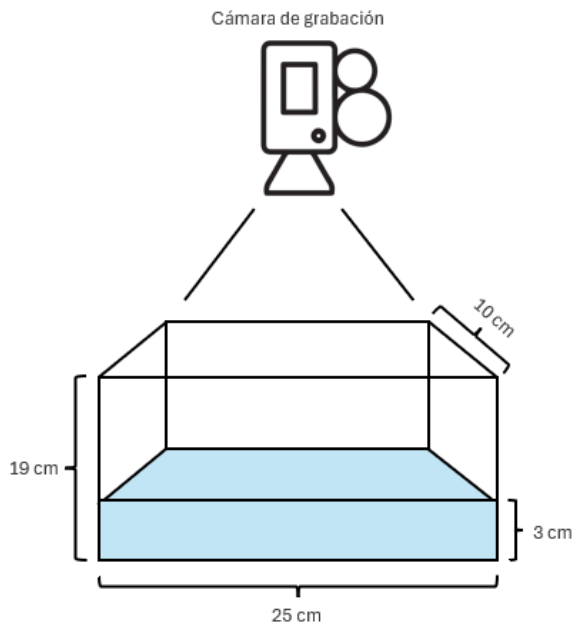


Ilustración 10. Esquema de pecera utilizada para grabación. Elaboración propia

Durante el proceso, se seleccionaba al azar una pecera de las 9 y se retiraban los peces uno a uno aleatoriamente para grabarlo durante 6 minutos, descartando el primer minuto para disminuir el estrés causado por el traslado. Durante las filmaciones, el personal debía mantenerse a una distancia mínima de un metro para evitar estímulos que pudieran afectar el comportamiento del pez focal. Al finalizar los 6 minutos, el pez focal era apartado hasta que el resto de los individuos fuera grabado para así evitar confusiones y no testear al mismo individuo más de una ocasión. Se repetía este proceso hasta hacerlo con todos los individuos.

En los tratamientos conoespecíficos se grabó 50% de la población de cada pecera, es decir, 2 machos y 2 hembras, considerando que sería suficiente para el análisis. En los tratamientos heteroespecíficos se grabaron todos los individuos, resultando un total de 48 grabaciones por ronda.

Durante el experimento se registraron 4 muertes, por lo que se optó por sustituir a los individuos fallecidos con nuevos ejemplares, dado que se consideró que la ausencia de un solo individuo afectaría más al patrón de actividad del grupo, que la introducción de un pez nuevo al tratamiento.

Diariamente se monitoreaba la temperatura, el nivel de agua y el funcionamiento de los equipos en cada pecera para asegurar la estabilidad de los tratamientos. Todos los individuos fueron alimentados uniformemente, dos veces al día, de lunes a viernes, con alimento comercial en hojuelas. Los fines de semana se les suministraba un alimento especial de vacaciones, colocado el viernes en la tarde y retirando el sobrante el lunes por la mañana.

Una vez terminadas las grabaciones, estas fueron procesadas en el software ToxTrack, el cual se encarga de analizar los movimientos de cada uno de los individuos y mostrar datos numéricos. Dichos datos fueron almacenados y ordenados categóricamente en una base de datos para después analizarlos por medio de R, usando las paqueterías *tidyverse*, *readxl*, *ggpubr*, *lme4* y *lmerTest*. En R, los datos se estructuraron por pecera, especie, sexo, y tipo de convivencia y se creó una nueva variable categórica llamada "Convivencia" con los tres niveles: *Guppy*, *Skiffia* y *Mixta*.

Para representar visualmente la distribución de las variables se usaron gráficos de bigotes (*boxplots*), separándose por especie y convivencia, mostrando también el efecto del sexo y del tiempo.

Para determinar si alguna de estas variables afecta significativamente el comportamiento de las especies, se realizaron modelos ANOVA (*Analysis of Variance*) de 4 factores: convivencia, especie, ronda (tiempo) y sexo.

5.2 Selección y descripción de variables

A continuación, se mencionan las variables que fueron medidas durante las grabaciones para el estudio, dichas variables fueron obtenida una vez que las grabaciones fueron procesadas en el software ToxTrack.

- Velocidad promedio: se refiere a la relación entre la distancia total que recorre un pez recorre y el tiempo efectivo que tarda en realizarlo, expresada en milímetros sobre segundos (mm/s.). Para su cálculo, se considera únicamente el tiempo durante el cual el pez está en movimiento, excluyendo los periodos donde permanece inmóvil. Permite analizar la rapidez con la que

un pez se desplaza ante distintos estímulos como la presencia de depredadores o cambios en el entorno.

- Aceleración promedio: Es el aumento o variación promedio de la velocidad por unidad de tiempo registrada durante el movimiento del pez focal dentro del área de observación. Se expresa en milímetros por segundos cuadrados (mm/sg^2) y es calculado a partir del análisis de las trayectorias registradas en las grabaciones. Puede ser un indicador del comportamiento del pez, particularmente en respuestas rápidas como escapes, interacciones agresivas o cualquier otro desplazamiento relacionado con la interacción con otros peces.
- Distancia recorrida: se definirá como el trayecto total medido que realiza el pez focal dentro de la pecera de observación durante los 5 minutos efectivos de grabación. Se cuantificará en centímetros (cm). La medición de esta variable permite evaluar el nivel de actividad motora del pez y su respuesta a interacciones previas con las especies, proporcionando sus patrones de desplazamiento y posibles cambios en el comportamiento a medida que avanza el tiempo del experimento.
- Sexo de las especies: es la característica biológica que determina el conjunto de órganos reproductivos de los peces clasificándose en machos y hembras, identificada mediante características internas como la coloración, tamaño, forma, aletas, etc. Resulta relevante para evaluar diferencias potenciales en los patrones de comportamiento y actividad según el sexo en el contexto social que se encuentren.

6. Resultados

En este apartado se presentan los principales hallazgos obtenidos tras el procesamiento de datos mediante los softwares correspondientes. Se identifican las variables que mostraron diferencias significativas en el comportamiento de los individuos y se muestran mediante gráficos que facilitan su interpretación. También, se analizan los resultados en función de su relevancia para el establecimiento de las EEI acuáticas y se proponen posibles líneas de acción para su control.

6.1 Análisis entre patrones de convivencia

a) Velocidad promedio

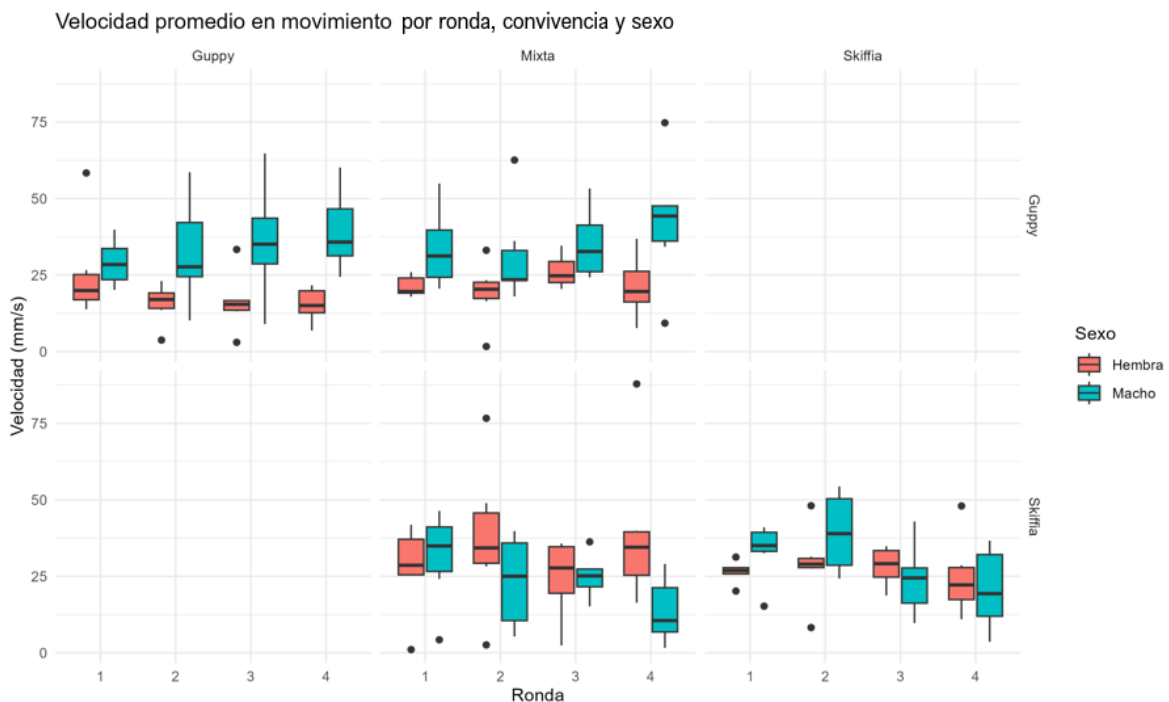


Ilustración 11. Gráfica de velocidad promedio en movimiento por ronda, convivencia y sexo. Elaboración propia.

En relación con la velocidad promedio (consultar ilustración 11), los ejemplares de *P. reticulata* en tratamiento conoespecífico mostraron cambios notables en su comportamiento, en los machos entre la primera y última ronda se observa un aumento en la velocidad promedio de los individuos, pasando de 27.44 ± 8.15 mm/s a 35.28 ± 16.51 mm/s. Aunque los valores sugieren un incremento, la alta variabilidad en la última ronda, indica que la respuesta no fue uniforme entre los ejemplares. Caso contrario, las hembras presentan una disminución durante las grabaciones con valores que pasaron de 22.13 ± 17.81 mm/s a 11.9 ± 6.68 mm/s.

No obstante, en los tratamientos heteroespecíficos tanto para machos como hembras, la variable no presentó una tendencia clara a lo largo del experimento, mostrando fluctuaciones entre rondas. Cabe destacar que los machos en este tipo de tratamiento tuvieron valores más altos en la última ronda que sus similares en tratamientos conoespecífico, con un valor de 41.01 ± 21.05 mm/s.

Con relación a *S. bilineata*, en condiciones conoespecíficas se identificaron tendencias a la disminución progresiva en su velocidad con el paso del tiempo, en machos y hembras. Los machos pasaron de tener una velocidad promedio de 28.89 ± 9.74 mm/s en la primera ronda a 18.71 ± 13.57 mm/s en la cuarta ronda. Las hembras disminuyeron de 21.29 ± 6.08 mm/s en la ronda 1 a 10.46 ± 8.97 mm/s en la cuarta ronda.

En los tratamientos heteroespecíficos, las hembras obtuvieron valores muy dispersos, pero que visualmente pueden aparentar ser estables con valores de 18.89 ± 12.09 mm/s y 29.89 ± 27.48 para la primera y última ronda respectivamente, pero los machos se vieron considerablemente afectados, presentando patrones más impredecibles y una disminución en la velocidad conforme avanzaba el tiempo.

b) Aceleración promedio

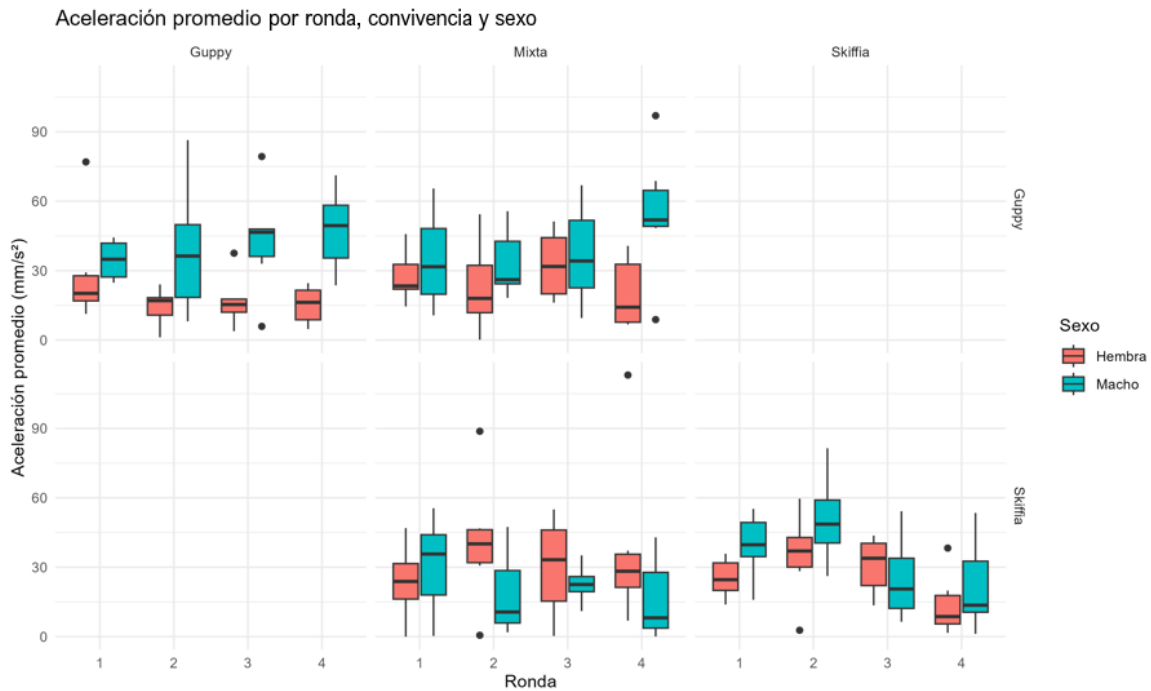


Ilustración 12. Gráfica de aceleración promedio por ronda, convivencia y sexo. Elaboración propia.

En el caso de la aceleración promedio (ver ilustración 12), *P. reticulata* en tratamientos conespecíficos mostraron patrones diferentes a lo largo del tiempo, los machos con una tendencia ascendente ($29.03 \pm 7.57 \text{ mm/s}^2$ y $39.37 \pm 13.24 \text{ mm/s}^2$ en las rondas 1 y 4 respectivamente) y las hembras con una descendente ($29.14 \pm 24.24 \text{ mm/s}^2$ y $15.24 \pm 8.15 \text{ mm/s}^2$ en la ronda 1 y 4 respectivamente). En tratamientos heteroespecíficos se observaron las mismas tendencias en ambos sexos, pero con datos más dispersos.

Por su parte, *S. bilineata*, tanto machos como hembras en tratamiento conespecífico registraron un aumento en la aceleración promedio durante la segunda ronda ($33.29 \pm 9.46 \text{ mm/s}^2$ a $39.31 \pm 12.91 \text{ mm/s}^2$ para los machos y de $26.47 \pm 3.66 \text{ mm/s}^2$ a

28.87 ± 12.66 mm/s² en el caso de las hembras) seguido por una disminución en las siguientes rondas (20.80 ± 13.31 mm/s² en machos y 24.82 ± 12.97 mm/s² en hembras). En tratamientos heteroespecíficos, ambos sexos presentaron registros dispersos sin una tendencia clara.

c) Distancia total recorrida

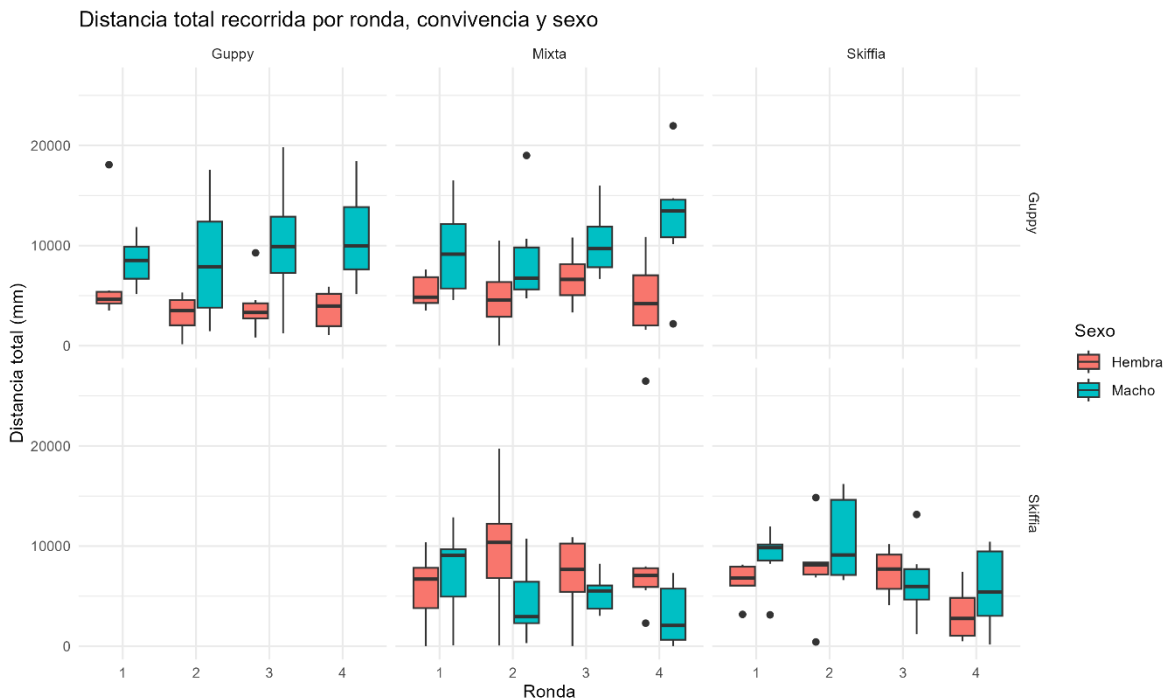


Ilustración 13. Gráfica de distancia total recorrida por ronda, convivencia y sexo. Elaboración propia.

Para la distancia total recorrida (ver ilustración 13), los machos y hembras de *P. reticulata*. en tratamientos conoespecíficos mostraron pequeños cambios en sus patrones de actividad y mantuvieron registros relativamente estables (los machos pasaron de tener en promedio 8409.8 ± 2516.1 mm en la primera ronda a 10919 ± 5008.9 mm en la última ronda, mientras que las hembras pasaron de tener en promedio 6766.7 ± 5583 mm en el primer registro a tener 3628.7 ± 2023.4 mm en el último registro. En tratamientos heteroespecíficos, los machos aumentaron

ligeramente su distancia recorrida respecto al tiempo, y las hembras mantuvieron registros con tendencia poco definida.

En los tratamientos conoespecíficos, los machos y hembras de *S. bilineata* mostraron una tendencia similar a disminuir la distancia recorrida conforme avanzaba el tiempo (los machos pasaron de registrar 8862.5 ± 3054.6 mm en la primera ronda a registrar valores de 5742.2 ± 4190.9 mm en la última ronda; las hembras registraron 6508.3 ± 1877.5 mm en la primera toma de datos y 3238.9 ± 2769 mm). En tratamientos heteroespecíficos, las hembras tuvieron una distancia recorrida promedio muy variada, mientras que los machos presentaron una disminución progresiva. No obstante, en comparación con los individuos evaluados en tratamientos conoespecíficos, la distancia recorrida por los machos en interacción heteroespecífica fue aún menor (7423.3 ± 4688 mm en la ronda 1 y 3102.4 ± 3180 mm).

6.2 Análisis de influencia de variables seleccionadas

Una vez que se obtuvieron los datos por medio del software Toxtrack y que sus datos fueron procesados en R para poder ser graficados e interpretados, se optó por someterlos a la aplicación de modelos ANOVA en donde se determinó si las variables afectaban significativamente el comportamiento de los individuos, si la variabilidad entre grupos es mayor de lo esperado por azar, el resultado será significativo, considerando que si una variable obtiene un valor de $p < 0.05$, dicha variable influye significativamente sobre las especies, mientras que si el valor es $p \geq 0.05$ se considera que no hay evidencia suficiente para afirmar que una variable afecta significativamente.

Dentro de la variable de aceleración promedio se encuentra que la variable sexo ($F = 8.93$, $p = 0.0032$) tiene un efecto significativo sobre la aceleración promedio, es

decir, generalmente, machos y hembras difieren en su aceleración. Así mismo, se encontró que el sexo sobre la aceleración varía dependiendo del tipo de convivencia ($F = 4.67$, $p = 0.0106$). El comportamiento de machos y hembras cambian si están en un entorno heteroespecífico o conoespecífico. También, el efecto del sexo sobre la aceleración ($F = 10.68$, $p = 0.0013$) depende de la especie, lo que indica que la diferencia de aceleración entre machos y hembras no es igual entre *P. reticulata* y *S. bilineata*.

El resto de los factores obtuvieron un resultado menor en la prueba ANOVA, por lo que se considera que no se encontró efecto directo del contexto social en la aceleración, no hay evidencia de que el tiempo por sí solo modifique la aceleración de las especies, la aceleración promedio no difiere de forma significativa entre *P. reticulata* y *S. bilineata* cuando se consideran de forma aislada.

Para la variable de velocidad promedio se obtuvieron resultados que muestran que los mismos factores que influyeron en la aceleración promedio, afectan a esta variable: el sexo esta significativamente influenciando ($F = 8.82$, $p = 0.0034$), machos y hembras difieren en sus resultados. También, el comportamiento de machos y hembras difiere de acuerdo con el tipo de tratamiento al que están sometidos ($F = 4.553$, $p = 0.0119$).

La velocidad entre machos y hembras no será la misma en *P. reticulata* y *S. bilineata* ($F = 6.678 \times 10^{-5}$). Así mismo se encontró que la velocidad promedio de los peces no solo depende del tiempo de convivencia, del sexo o de la especie de forma individual, sino que el efecto de uno de estos factores está condicionado por los otros dos (Ronda + sexo + especie) ($F = 2.723$, $p = 0.0467$). El resto de los factores para esta variable obtuvieron un valor ≥ 0.05 por lo que se considera que no influyen significativamente.

Por último, se encontró que, los factores que afectan significativamente la variable de distancia total recorrida son los mismos factores que afectan a las otras dos variables: el sexo tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la distancia total recorrida promedio, indicando que machos y hembras presentan diferencias en su comportamiento ($F = 12.42$, $p = 0.00056$).

El sexo sobre la distancia total recorrida promedio varía según el tipo de convivencia, por lo que, las diferencias entre machos y hembras no son iguales en tratamientos diferentes ($F = 3.74$, $p = 0.0259$). Se observó una fuerte interacción entre sexo y especie, lo que indica que las diferencias de comportamiento entre machos y hembras dependen de si se trata de *P. reticulata* o *S. bilineata* ($F = 19.26$, $p = 0.0000207$).

7. Discusión

Dentro de las variables analizadas, se observa mediante los modelos ANOVA que fueron 3 factores los que influyeron de manera significativa sobre cada una de estas: Sexo, Tipo de convivencia + Sexo, y Sexo + especie. El resto de los factores, al no alcanzar el valor estadístico esperado ($p < 0.05$) se considera que no tienen evidencia suficiente para afirmar que afecten significativamente sobre alguna variable.

Con lo anterior, se sugiere que el comportamiento de los individuos de *P. reticulata* y *S. bilineata* será condicionado en primera instancia por el sexo; machos y hembras, independientemente de la especie y del tratamiento al que estén sometidos, tendrán claras diferencias en su comportamiento. Esto puede reflejar diferencias fisiológicas, de roles sociales o estrategias de interacción.

Dentro de los resultados, también se encontró que la especie más el sexo será determinante, es decir, los machos de *P. reticulata* tendrán diferencias con los machos de *S. bilineata*, así como las hembras de *S. bilineata* con las hembras de *P. reticulata*; no se comportan de la misma manera entre sí.

La modificación en el comportamiento de hembras podría estar condicionada por señales de apareamiento emitidas por los machos (Quiroz López, 2014) lo cual podría representar una forma de presión conductual ejercida por la especie invasora sobre la nativa, especialmente de las hembras, si hay interacciones no deseadas de cortejo, las cuales pueden aumentar el nivel de alerta, evasión o estrés.

Uno de los hallazgos más destacados dentro de la investigación fue que la interacción significativa entre el tipo de convivencia y el sexo sugiere que el contexto social, particularmente el heteroespecífico, influye en el comportamiento de los peces de forma diferenciada entre machos y hembras, lo que indica que una especie invasora (*P. reticulata*) puede modificar significativamente el comportamiento de la especie nativa *S. bilineata*, confirmándose así la hipótesis inicial de la investigación.

El comportamiento no se ve afectado solo por el sexo o el tipo de convivencia de forma aislada, sino que la combinación de ambos factores genera modificaciones en el comportamiento. Es posible que los estímulos generados por los machos de *P. reticulata*, como señales de cortejo o competencia, generen respuestas en los individuos de *S. bilineata*, afectando así el nivel de actividad.

Las muertes registradas durante el experimento ocurrieron en ambos tipos de convivencia y no se presentaron signos claros de la muerte como lesiones o enfermedad, por lo que se descarta una posible depredación directa; sin embargo, los individuos utilizados en el experimento fueron seleccionados a manera de que tuvieran tamaños similares (29.6 ± 4.3 mm) por lo que resultaría interesante someter

a ambas especies a una convivencia heteroespecífica con individuos de diferentes tamaños para determinar si el tamaño puede influir de igual manera en el comportamiento.

No existió registro suficiente para determinar que el tiempo de habituación impactara significativamente en los resultados, descartando así que los cambios de patrones puedan ocurrir de manera progresiva, sugiriendo entonces que los cambios en los patrones de actividad puedan llegar a ser incluso inmediatos. En investigaciones anteriores se ha demostrado que las especies invasoras tienden a interactuar con las especies nativas inmediatamente que han sido introducidas a un nuevo entorno (Salazar Rueda, 2023).

El experimento se llevó a cabo conforme a lo previsto, sin embargo, existen algunos factores que podrían haber reducido la precisión estadística, en consecuencia, y la capacidad de detectar diferencias más significativas entre los grupos; por ejemplo, el tamaño de la muestra y el número de tratamientos replicados.

Si bien, la cantidad de individuos y réplicas utilizados permitió obtener resultados aceptables, un mayor número habría contribuido a tener una mayor precisión en el análisis. Así mismo, contar con un mayor número de rondas de grabación habría permitido tener un panorama más amplio y observar patrones conductuales más estables o consistentes. Aunque la realización del experimento en condiciones controladas permitió estandarizar variables importantes, este tipo de entorno no replica completamente la complejidad del hábitat natural, donde influyen otros factores ambientales como el refugio, depredadores o estructura de hábitat.

Conocer las interacciones específicas entre especies nativas e invasoras y cómo modifican sus patrones de comportamiento son sumamente importantes para crear y mejorar estrategias de gestión, control y prevención; actualmente este tipo de

medidas son muy generalistas y se aplican para la mayoría de las especies invasoras, por lo que una regulación más especializada, dará resultados más eficaces, ahorrando así valiosos recursos.

8. Recomendaciones para la gestión y control de guppys y su interacción con especies nativas

El desarrollo de estrategias de gestión y control requiere un enfoque integrado y multidisciplinario, combinando regulación, educación, control activo y seguimiento del proyecto, así como la participación social, pública y privada. Una buena implementación de medidas puede significar un ahorro significativo de recursos en fases previas del control, incluso invertir en prevención puede ser de 10 a 100 veces más barato que manejar invasiones establecidas o desarrollar estrategias ineficientes (Early *et al.*, 2016; Leung *et al.*, 2002; Padilla & Williams, 2004).

Las siguientes acciones son estrategias sugeridas para su correcta implementación basadas en un enfoque multidisciplinario y en casos de éxitos documentados en el manejo de EEI. Se presentan de manera organizada con relación a las etapas de prevención, control y gestión, con el objetivo de abordar integralmente las problemáticas. Así mismo, se establecen recomendaciones específicas enfocadas a los ámbitos económico, social y ambiental, con el fin de promover soluciones que consideren el equilibrio y conservación de la biodiversidad con las actividades humanas de las comunidades afectadas.

a) Prevención

- **Ámbito económico:** en primera instancia, se deben de atacar las principales rutas de introducción como lo puede ser la acuariofilia al implementar una regulación en su comercio, tal como establecer permisos y certificaciones sobre la importación y venta guppys, así como también el implemento de impuestos o tasas a la comercialización de especies con potencial invasor para financiar programas de monitoreo (Padilla & Williams, 2004).

- **Ámbito social:** la participación ciudadana debe ser un pilar importante en la prevención de las invasiones biológicas, es por ello que se sugiere integrar a la población en general por medio de talleres impartidos por profesionales sensibilizando la problemática, así como también la realización de campañas informativas sobre los riesgos de la liberación como la campaña “*Don’t let it loose*” en Estados Unidos que promueve la tenencia responsable de mascotas, o también la “Semana de Concientización sobre Especies Invasoras en México” llevada a cabo por CONABIO (CONABIO, 2020; Invasive Species Action Network, 2012). También es importante hacer partícipe a la sociedad en el monitoreo de las EEI para reducir recursos y facilitar su detección con herramientas como lo han sido Naturalista y sus diversos retos que buscan integrar a la sociedad en ejercicios donde las personas monitorean y reportan fácilmente los avistamientos de cualquier EEI (INaturalist Mexico, 2025).
- **Ámbito ambiental:** Es de suma importancia evaluar los riesgos antes de las introducciones, por ello es necesario implementar y darle seguimiento a herramientas como el protocolo de ISEIA (Índice de impacto de especies invasoras) desarrollado en Bélgica, o el Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) propuesta por CONABIO, que se encargan de categorizar y listar especies invasoras según su impacto ambiental y etapa de invasión en el país (Branquart *et al.*, 2009; CONABIO, 2015). De igual manera, restringir la importación de EEI en regiones con ecosistemas sensibles y establecer zonas libres de guppys como áreas naturales protegidas, que pueden representar una mayor dificultad y sensibilidad en su control.

b) Control

- **Ámbito económico:** un control de calidad requiere una disponibilidad recursos financieros que atienda las necesidades de los proyectos, por ello, buscar el financiamiento por medio de fondos gubernamentales y cooperación internacional para métodos de control debe ser parte fundamental para cualquier proyecto (Cuthbert *et al.*, 2022). Así como también la implementación y ajustes en multas por liberación intencional tal como la Ley de Bioseguridad de Nueva Zelanda (New Zeland Legislation Biosecurity Act 1993, 1993). También, una medida de control puede buscar al mismo tiempo una remuneración económica, por lo que se sugiere fomentar la captura de guppys para uso como alimento en piscicultura o de fertilizante en la agricultura, basado en el modelo de otras especies que ya lo han implementado (García García, 2022; Ruiz-Aguilar *et al.*, 2023).
- **Ámbito social:** la participación ciudadana debe formar parte en programas de retiro de guppy con compensación económica, así como una participar en capacitaciones para la identificación y reporte de EEI, principalmente enfocado a pescadores. También, es de suma importancia implementar mesad de dialogo con acuaristas y comerciantes para evitar la oposición en las medidas regulatorias.
- **Ámbito ambiental:** una de las partes más cruciales en control de EEI, es escoger los adecuados métodos de erradicación que se adapten a cada especie, por ello, se sugiere implementar la pesca selectiva con redes de malla fina en cuerpos de agua invadidos y la introducción de depredadores nativos que ya hayan sido previamente evaluados para evitar nuevos impactos, sin embargo, se sugiere que la erradicación sea el último recurso debido a su alto costo, problemas éticos y complejidad en la elaboración de estrategias (Britton *et al.*, 2011).

c) Gestión

- **Ámbito económico:** implementar políticas de compensación como subsidios para los acuicultores donde se reemplacen a los guppys por especies nativas, así como la creación de fondos para la restauración de hábitats afectados (Kiruba-Sankar *et al.*, 2018).
- **Ámbito social:** crear modelos de gobernanza participativa donde se implementen comités locales conformados por científicos, autoridades y comunidades para el desarrollo de planes de manejo que se adapten a las diversas EEI. Así como también, desarrollar investigaciones colaborativas donde los diversos actores sociales se hagan presentes.
- **Ámbito ambiental:** buscar la restauración ecológica en hábitats que han sufrido invasiones biológicas, por medio de la reintroducción de peces nativos depredadores, competidores naturales, y con especies que hayan sido afectadas. También es importante implementar estrategias de monitoreo que permitan determinar en tiempo real la salud actual de los ecosistemas restaurados; sin embargo, será necesario contar con planes de emergencia cuando los resultados de las estrategias de restauración no resulten ser las esperadas.

En la Tabla 1 se sintetizan las recomendaciones planteadas, identificando a los diversos actores sociales que deberían intervenir para su diseño, instrumentación y evaluación, así como la temporalidad en la cual podrían implementarse, considerando el corto plazo (1 a 3 años), mediano plazo (3 a 6 años) y largo plazo (más de 6 años).

Tabla 1. Recomendaciones de estrategias de control y gestión para guppy. Elaboración propia.

Etapa	Recomendación	Actores sociales	Temporalidad		
			C	M	L
P	Establecer permisos y certificaciones para la importación y venta de guppys	Autoridades gubernamentales	X		
P	Implementar impuestos o tasas a la comercialización de especies con potencial invasor	Autoridades gubernamentales	X		
P	Promover la cría y venta de especies nativas ornamentales en lugar de guppys	Autoridades gubernamentales, OSC		X	
P	Crear y dar seguimiento a campañas informativas sobre los riesgos de liberaciones de EEI	Autoridades gubernamentales, centros de investigación, instituciones educativas, criadores y vendedores de mascotas	X		
P	Fomentar el uso de plataformas digitales que permitan el monitoreo ciudadano	Instituciones gubernamentales, OSC instituciones educativas	X		
P	Aplicar herramientas para la evaluación de riesgos	Instituciones gubernamentales, centros de investigación e instituciones educativas		X	
P	Restringir importaciones en zonas con ecosistemas vulnerables	Autoridades gubernamentales		X	
C	Buscar financiamiento para métodos de control	Fondos gubernamentales, OSC, instituciones educativas		X	

Influencia de la convivencia entre la especie nativa de skiffias (*Skiffia bilineata*) y la especie invasora guppy (*Poecilia reticulata*) en los patrones de actividad

C	Incentivar y fomentar la captura de guppys como uso de alimento en piscicultura	Instituciones gubernamentales, instituciones educativas, OSC, público en general	X		
C	Capacitar a pescadores para la identificación y reporte de EEI	Instituciones gubernamentales, público en general		X	
C	Aperturar mesas de diálogo con acuaristas y comerciantes para evitar la oposición a medidas regulatorias	Instituciones gubernamentales, centros de investigación, instituciones educativas, OSC, público en general	X		
C	Aplicar métodos de control físico como redes finas en cuerpos de agua invadidos	Instituciones gubernamentales, instituciones educativas, OSC, centros de investigación, público en general		X	
C	Introducir depredadores nativos previamente evaluados	Instituciones gubernamentales, instituciones educativas		X	
G	Aplicar políticas de compensación en hábitats afectados	Instituciones gubernamentales			X
G	Crear comités locales con comunidad científica, autoridades y comunidades para la implementación de planes de manejos adaptativos	Instituciones gubernamentales, instituciones educativas, OSC, centros de investigación, público en general		X	
G	Fomentar el estudio de EEI en universidades del país	Instituciones gubernamentales, instituciones educativas, OSC		X	

Influencia de la convivencia entre la especie nativa de skiffias (*Skiffia bilineata*) y la especie invasora guppy (*Poecilia reticulata*) en los patrones de actividad

G	Restaurar las zonas afectadas por las invasiones biológicas	Instituciones gubernamentales, centros de investigación, instituciones educativas, OSC			X
G	Monitorear el estado de ecosistemas restaurados	Instituciones gubernamentales, centros de investigación, instituciones educativas, OSC, público en general			X

9. Conclusiones

La convivencia entre especies nativas e invasoras representa un fenómeno ecológico de relevancia dentro de la conservación de especies, debido a que pueden alterar de manera significativa la dinámica de las especies y de los ecosistemas. Comprender cómo afectan el comportamiento, la actividad y distribución de las especies resulta importante para prevenir y minimizar daños ecológicos, dado que, investigaciones como la presente contribuyen a la generación de información para evaluar riesgos asociados a las invasiones biológicas, fortalecer estrategias de conservación y fomentar gestiones más eficientes.

En el caso de *P. reticulata*, los resultados muestran que su sola presencia es suficiente para modificar los patrones de actividad de la especie nativa *S. bilineata*, lo que evidencia su potencial impacto en la conducta de especies endémicas. Este hallazgo resalta la necesidad de replantear las estrategias actuales de control y gestión de especies invasoras, incorporando las nuevas variables conductuales. Así también, se vuelve importante divulgar los resultados obtenidos y sensibilizar sobre los efectos menos visibles que la especie puede generar. Si bien, existen estudios previos sobre la interacción entre estas dos especies, hasta ahora no se había documentado cómo influyen factores como el tiempo de habituación, el tipo de convivencia y el sexo sobre los patrones de actividad.

La investigación cumplió con el objetivo general, el cual era determinar si la convivencia conespecífica o heteroespecífica y el tiempo de habituación a esta convivencia, afecta los patrones de actividad de la especie nativa, que dio como resultado un análisis estadístico que determinó no solo si las variables ya mencionadas influyen los patrones de actividad, sino que también, descubrió que otras variables afectan significativamente a las especies. También, se acepta la

hipótesis inicial que señala que el contexto social tendrá un efecto significativo en los patrones de actividad de *P. reticulata* y de *S. bilineata*.

La metodología utilizada estuvo basada y adaptada en Valero *et al.* (2009) creando dos tipos de convivencia entre las dos especies, heteroespecífica y conespecífica, durante un periodo de 52 días, en donde se realizaron cuatro rondas grabaciones por cada individuo para posteriormente crear y analizar modelos estadísticos que permitieron identificar las variables que afectan significativamente los patrones de actividad de las especies.

Dentro de los resultados destaca el hallazgo que destaca que el tiempo de habituación no influyó significativamente en los patrones de actividad, sin embargo, al existir cambios la actividad, se deduce que los guppys poseen un impacto inmediato sobre la especie nativa, por lo que esta última, al notar su presencia puede activar mecanismos de defensa dado el cambio en su comportamiento. Sin embargo, al ser diferentes los patrones entre los individuos en tratamientos heteroespecíficos y conespecíficos, se sugiere que la especie no termina de adaptarse a la presencia de una invasora.

También, la investigación permitió determinar la variable que más influyó sobre el comportamiento, que fue el sexo, es decir, el sexo tiene un efecto estadísticamente significativo sobre las variables dependientes, lo que indica que machos y hembras presentan diferencias claras en su comportamiento locomotor, lo que puede reflejar diferencias fisiológicas, de roles sociales o estrategias de interacción.

Uno de los hallazgos más relevantes dentro de la investigación fue encontrar que el tipo de convivencia más el sexo condiciona el comportamiento de los individuos, por lo que una especie invasora puede modificar significativamente el comportamiento de una especie nativa, confirmándose así la hipótesis inicial de la investigación. El

contexto social influye directamente sobre cómo machos y hembras se comportan, la especie invasora está generando una presión social que cambia el comportamiento natural de la especie nativa, la alteración al ser más intensa en uno de los sexos puede tener consecuencias en la reproducción, alimentación o supervivencia.

Aunque esta investigación aporta información valiosa sobre la influencia de especies invasoras en el comportamiento de especies nativas, aún persisten vacíos que es necesario abordar. Para fortalecer la comprensión de estos procesos, se sugiere ampliar las investigaciones a otras especies nativas e invasoras, con el fin de identificar si las alteraciones en los patrones de actividad observadas son consistentes o específicas.

También se sugiere llevar a cabo estudios en condiciones más cercanas a su hábitat natural, ya sea mediante pruebas *in situ* o mediante la incorporación de elementos que asemejen más a su medio natural como plantas naturales, sustrato natural, y refugios dentro del acuario, que permitan observar cómo las especies hacen uso de estos elementos como estrategias de escape o refugio frente a especies invasoras y que también permitan validar los resultados obtenidos en condiciones de laboratorio, lo cual, aunque implica mayores recursos, ofrecería un panorama más real del impacto ecológico. Además, futuras investigaciones podrían explorar si las especies invasoras modifican los nichos temporales de las especies nativas. Incorporar variables fisiológicas o de estrés podría enriquecer la interpretación de las respuestas observadas y contribuir a una evaluación más integral de los impactos de las invasiones.

A partir de los resultados obtenidos y considerando las limitaciones del presente estudio, se pueden proponer diversas líneas de investigación que podrían fortalecer o complementar el conocimiento sobre las interacciones heteroespecíficas. En

primer lugar, sería recomendable trabajar con un tamaño de muestra mayor y un mayor número de tratamientos replicados, los cuales aumentarían la precisión estadística y permitiría detectar diferencias más claras entre los grupos.

Así mismo, la inclusión de otras variables relacionadas con la actividad locomotora podría ofrecer un panorama más amplio sobre las interacciones sociales entre especies. También sería pertinente replicar el experimento con otras especies nativas, permitiendo así explorar si los patrones observados se repiten o difieren entre otras especies.

El estudio de las interacciones entre especies invasoras y nativas y cómo estas afectan los patrones de actividad, pueden generar resultados con aplicaciones directas en la conservación y manejo de especies: diseño de estrategias de control de especies invasoras; protección de hábitats; restauración ecológica basada en comportamientos; educación y políticas públicas; así como modelos predictivos para otras especies.

Referencias

- Acuerdo por el que se determina la Lista de las Especies Exóticas Invasoras para México (2016).
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464456&fecha=07/12/2016&print=true
- Aguilera Lara, J., & Urquijo Torres, P. S. (2024). *Cultura y naturaleza en el lago de Pátzcuaro: Perspectivas históricas, geográficas y ambientales* (Silla Vacía Editorial, Ed.). Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Alcock, J. (2013). *Animal Behavior: An evolutionary approach tenth edition* (10a ed.).
www.sinauer.com
- Baena, M., & Halffter, G. (2008). Extinción de especies. En CONABIO (Ed.), *Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. (pp. 263–282).
- Bean, T. H. (1887). Descriptions of five new species of fishes sent by Prof. A. Dugès from the Province of Guanajuato, Mexico. *Proceedings of the United States National Museum*, 10(637), 370–375. <https://doi.org/10.5479/si.00963801.10-637.370>
- Bellard, C., Cassey, P., & Blackburn, T. M. (2016). Alien species as a driver of recent extinctions. *Biology Letters*, 12(4). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0623>
- Betanzos, A., Rangel, H., Martínez, C., Rodríguez, M., González, K., Rivas, M., & Contreras, T. (2020). *Producción de peces Poecilia maylandi y su implementación para el control biológico de Aedes spp* (Instituto de Salud Pública, Ed.).
https://www.insp.mx/resources/images/stories/2023/docs/Produccion_de_peces_Poecilia_maylandi_y_su_impleme.pdf
- New Zeland Legislation Biosecurity Act 1993 (1993).
- Branquart, E., Verreycken, H., Vanderhoeven, S., & Rossum, F. Van. (2009). ISEIA, a Belgian non-native species assessment protocol. En *Science Facing Aliens: Proceedings of a scientific meeting* (pp. 11–17). <http://ias.biodiversity.be>

- Britton, J. R., Gozlan, R. E., & Copp, G. H. (2011). Managing non-native fish in the environment. *Fish and Fisheries*, 12(3), 256–274. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2010.00390.x>
- Camacho-Cervantes, M., & Garcia, C. M. (2021). Comportamiento animal como indicador de la calidad de cuerpos de agua dulce. En *RECURSO ÁGUA - Tecnologías e pesquisas para o uso e a conservação de ecossistemas aquáticos* (pp. 220–234). Editora Cubo. <https://doi.org/10.4322/978-65-86819-07-6-08>
- Camacho-Cervantes, M., Garcia, C. M., Ojanguren, A. F., & Magurran, A. E. (2014). Exotic invaders gain foraging benefits by shoaling with native fish. *Royal Society Open Science*, 1(3). <https://doi.org/10.1098/rsos.140101>
- Camacho-Cervantes, M., Keller, R. P., & Vilà, M. (2023). Could non-native species boost their chances of invasion success by socializing with natives? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 378(1878). <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0106>
- Camacho-Cervantes, M., Ojanguren, A. F., Domínguez-Domínguez, O., & Magurran, A. E. (2018). Sociability between invasive guppies and native topminnows. *PLoS ONE*, 13(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192539>
- Camacho-Cervantes, M., Ojanguren, A. F., & Magurran, A. E. (2015). Exploratory behaviour and transmission of information between the invasive guppy and native Mexican topminnows. *Animal Behaviour*, 106, 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2015.05.012>
- Carter, C. A., Chalfant, J. A., & Goodhue, R. E. (2004). Invasive species in agriculture: A rising concern. *AgEcon Search*, 3(2), 1–6. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.27979>
- CBD. (2009). *The International Day for Biological Diversity 22 May 2009 Invasive Alien Species*. <https://www.cbd.int/idb/2009>
- CCA. (2025). *Acerca de la CCA*. <https://www.cec.org/es/acerca-de-la-cca/>

- CONABIO. (2008). *Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ed.).
- CONABIO. (2010). *Estrategia nacional sobre especies invasoras en México: Prevención, control y erradicación* (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ed.). www.conabio.gob.mx
- CONABIO. (2014). *Especies acuáticas invasoras en México* (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ed.; 1a ed.).
- CONABIO. (2015). *Método de Evaluación Rápida de Invasividad (MERI) para especies exóticas en México*.
- CONABIO. (2020, febrero 24). *En la Semana de Concientización sobre Especies Invasoras en México*. <https://www.gob.mx/conabio/prensa/en-la-semana-de-concientizacion-sobre-especies-invasoras-en-mexico?idiom=es>
- CONABIO. (2023). *Proyecto GEF - Invasoras*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/Invasoras/proyecto.html>
- CONABIO. (2024, septiembre 24). *Convenio Sobre la Diversidad Biológica*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/planeta/internacional/cbd.html>
- Contreras Alvarado, M. (2012). *Los inicios de la Piscicultura en México: actores y redes (1883 - 1892)*. Instituto Politécnico Nacional.
- Cuthbert, R. N., Diagne, C., Haubrock, P. J., Turbelin, A. J., & Courchamp, F. (2022). Are the “100 of the world’s worst” invasive species also the costliest? *Biological Invasions*, 24(7), 1895–1904. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02568-7>
- De La Vega-Salazar, M. Y. (2006). Estado de conservación de los peces de la familia Goodeidae (Cyprinodontiformes) en la mesa central de México. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN, 54(1)*, 163–177.
- Deacon, A. E., & Magurran, A. E. (2016). How Behaviour Contributes to the Success of an Invasive Poeciliid Fish: The Trinidadian Guppy (*Poecilia reticulata*) as a Model Species. En *Biological Invasions and Animal Behaviour* (pp. 266–290). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139939492.016>

- Diagne, C., Leroy, B., Vaissière, A. C., Gozlan, R. E., Roiz, D., Jarić, I., Salles, J. M., Bradshaw, C. J. A., & Courchamp, F. (2021). High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature*, *592*(7855), 571–576. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03405-6>
- Dugatkin, L. A. (2020). *Principles of Animal Behavior* (University of Chicago Press, Ed.; 4a ed.).
- Dugatkin, L. A., & Godin, J.-G. J. (1992). Predator inspection, shoaling and foraging under predation hazard in the Trinidadian guppy, *Poecilia reticulata*. *Environmental Biology of Fishes*, *34*(3), 265–276. <https://doi.org/10.1007/BF00004773>
- Early, R., Bradley, B. A., Dukes, J. S., Lawler, J. J., Olden, J. D., Blumenthal, D. M., Gonzalez, P., Grosholz, E. D., Ibañez, I., Miller, L. P., Sorte, C. J. B., & Tatem, A. J. (2016). Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. *Nature Communications*, *7*. <https://doi.org/10.1038/ncomms12485>
- Fausch, K. D. (2008). A paradox of trout invasions in North America. *Biological Invasions*, *10*(5), 685–701. <https://doi.org/10.1007/s10530-007-9162-5>
- García García, J. H. (2022). *Harina de pez diablo (Pterygoplichthys spp) como fuente de proteína en la alimentación del cerdo (Sus scrofa domestica) en la etapa de crecimiento y su efecto en algunos parámetros productivos*. Instituto Tecnológico de Altamira.
- GBIF Secretariat. (2023a). *Poecilia reticulata* Peters, 1859. <https://doi.org/https://doi.org/10.15468/39omei>
- GBIF Secretariat. (2023b). *Skiffia bilineata* (Bean, 1887). <https://doi.org/https://doi.org/10.15468/39omei>
- Gozlan, R. E., Britton, J. R., Cowx, I., & Copp, G. H. (2010). Current knowledge on non-native freshwater fish introductions. En *Journal of Fish Biology* (Vol. 76, Número 4, pp. 751–786). <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02566.x>

- Gurevitch, J., & Padilla, D. K. (2004). Are invasive species a major cause of extinctions? *Trends in Ecology and Evolution*, 19(9), 470–474. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.07.005>
- Hinke, N. (2000). La llegada del eucalipto a México. *Ciencias*, 58, 60–62. <http://redalyc.uaemex.mx>
- Holway, D. A., & Suarez, A. V. (1999). Animal behavior: an essential component of invasion biology. *Trends in Ecology & Evolution*, 14(8), 328–330. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01636-5](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01636-5)
- INaturalist Mexico. (2025). *¿Qué es el Reto Naturalista 2025?* <https://mexico.inaturalist.org/posts/109646-que-es-el-reto-naturalista-2025-como-puedo-participar>
- Invasive Species Action Network. (2012). *About Don't Let It Loose*. <https://www.dontletitloose.com/about-us/>
- IUCN. (2024). *The IUCN Red List of Threatened Species: Estadística de resumen*. <https://doi.org/10.48580/dg9ld-4hj>
- Jacobs, G. R., Bruestle, E. L., Hussey, A., Gorsky, D., & Fisk, A. T. (2017). Invasive species alter ontogenetic shifts in the trophic ecology of Lake Sturgeon (*Acipenser fulvescens*) in the Niagara River and Lake Ontario. *Biological Invasions*, 19(5), 1533–1546. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1376-6>
- Kiruba-Sankar, R., Praveen Raj, J., Saravanan, K., Lohith Kumar, K., Raymond, J., Angel, J., Velmurugan, A., & Dam Roy, S. (2018). Invasive species in freshwater ecosystems-threats to ecosystem services. En *Biodiversity and Climate Change Adaptation in Tropical Islands* (pp. 257–296). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813064-3.00009-0>
- Koeck, M. (2019). *Twoline Skiffia Neotoca bilineata*. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T191713A2000012>.
- Krause, J., & Ruxton, G. D. (2002). *Living in Groups*. Oxford University. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/oso/9780198508175.001.0001>

- Lapointe, N. W. R., Thorson, J. T., & Angermeier, P. L. (2010). Seasonal meso- and microhabitat selection by the northern snakehead (*Channa argus*) in the Potomac river system. *Ecology of Freshwater Fish*, 19(4), 566–577. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2010.00437.x>
- Leung, B., Lodge, D. M., Finnoff, D., Shogren, J. F., Lewis, M. A., & Lamberti, G. (2002). An ounce of prevention or a pound of cure: Bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 269(1508), 2407–2413. <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2179>
- Llorente-Bousquets, J., & Ocengueda, S. (2008). Estado del conocimiento de la biota. En CONABIO (Ed.), *Capital natural de México, vol I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (Vol. 1, pp. 283–322).
- López, A. (2021, marzo 6). *La plaga que Porfirio Díaz introdujo en Xochimilco por su belleza y pone en riesgo el humedal* (National Geographic en Español, Ed.). <https://www.ngenespanol.com/ecologia/la-plaga-que-porfirio-diaz-introdujo-en-xochimilco-por-su-belleza-y-pone-en-riesgo-el-humedal/>
- López Fuentes, P., Anzueto Calvo, M. de J., Velázquez Velázquez, E., Matamoros, W. A., & Salgado Maldonado, G. (2021). First record of the non-native fish *Poecilia reticulata* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae), in Chiapas, southern Mexico. *UNED Research Journal*, 13(1), 7. <https://doi.org/10.22458/urj.v13i1.3266>
- Loreto Viruel, R. M., Rendón Hernández, E., & Espíndola Barrientos, S. R. (2023). *Plan de acción nacional para el manejo y control del pez león en México*.
- Magurran, A. E. (1990). The adaptive significance of schooling as an anti-predator defence in fish. *Finnish Zoological Publishing Board*, 27(2), 51–66.
- Magurran, A. E. (2005). *Evolutionary ecology; the Trinidadian guppy* (Oxford University, Ed.).
- March, Ignacio., & Martínez Jiménez, Maricela. (2008). *Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad: prioridades en México*. IMTA - The Nature Conservancy - Conabio - AridAmerica - GECL.

- Mendoza, R., & Koleff, P. (2014). Introducción de especies exóticas acuáticas en México y en el mundo. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Ed.), *Especies acuáticas invasoras en México* (pp. 17–41). <https://www.researchgate.net/publication/273143241>
- Miller, R. R., Minckley, W. L., & Norris, S. M. (2009). *Peces dulceacuícolas de México*.
- NAISMA. (2025). *What is The PlayCleanGo?* <https://playcleango.org/about/what-is-playcleango/>
- Olden, J. D., Poff, N. L. R., Douglas, M. R., Douglas, M. E., & Fausch, K. D. (2004). Ecological and evolutionary consequences of biotic homogenization. *Trends in Ecology and Evolution*, *19*(1), 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.09.010>
- Padilla, D. K., & Williams, S. L. (2004). Beyond ballast water: aquarium and ornamental trades as sources of invasive species in aquatic ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environmental*, *3*(2), 131–138. [https://doi.org/https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0131:BBWAAO\]2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0131:BBWAAO]2.0.CO;2)
- Peeler, E. J., Oidtmann, B. C., Midtlyng, P. J., Miossec, L., & Gozlan, R. E. (2011). Non-native aquatic animals introductions have driven disease emergence in Europe. *Biological Invasions*, *13*(6), 1291–1303. <https://doi.org/10.1007/s10530-010-9890-9>
- Pejchar, L., & Mooney, H. A. (2009). Invasive species, ecosystem services and human well-being. *Trends in Ecology and Evolution*, *24*(9), 497–504. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.03.016>
- Pimentel, D., Zuniga, R., & Morrison, D. (2005). Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, *52*(3), 273–288. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.002>

- Pitcher, T. J. (1986). Functions of Shoaling Behaviour in Teleosts. En T. J. Pitcher (Ed.), *The Behaviour of Teleost Fishes* (pp. 294–337). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8261-4_12
- Portilla, K., Velarde, E., Oña, T., Decaestecker, E., Teixeira de Mello, F., & Muylaert, K. (2024). Effects of the invasive fish *Poecilia reticulata* on the behavioral response of *Daphnia pulex* to the exotic submerged macrophyte *Egeria densa*. *Hydrobiologia*, 851(5), 1183–1201. <https://doi.org/10.1007/s10750-023-05377-2>
- PROFEPA. (2019, julio 11). *La introducción de especies exóticas invasoras afecta la biodiversidad del país*.
- Quiroz López, E. G. (2014). *Interferencia química entre Skiffia bilineata y Poecilia reticulata*. Universidad Autónoma Nacional de México.
- Redacción El Universal. (2019, mayo 22). *Jacarandas, los árboles que llegan con la primavera; regalo de un inmigrante japonés*. El Universal. <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/jacarandas-los-arboles-que-llegan-con-la-primavera-regalo-de-un-inmigrante-japones/>
- Romo Lozano, J. L., García Jiménez, J., Cibrián Tovar, D., & Serrano Gálvez, E. (2007). Análisis económico del control biológico del Psílido del eucalipto en la ciudad de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(1), 47–52.
- Roy, H. E., Pauchard, A., Stoett, P. J., Renard Truong, T., Meyerson, L. A., Bacher, S., Galil, B. S., Hulme, P. E., Ikeda, T., Kavileveettil, S., McGeoch, M. A., Nuñez, M. A., Ordonez, A., Rahlao, S. J., Schwindt, E., Seebens, H., Sheppard, A. W., Vandvik, V., Aleksanyan, A., ... Ziller, S. R. (2024). Curbing the major and growing threats from invasive alien species is urgent and achievable. *Nature Ecology and Evolution*, 8(7), 1216–1223. <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02412-w>
- Ruiz-Aguilar, M. Y., Montes-Molina, J. A., Castañón-González, J. H., Gutiérrez-Miceli, F. A., Hernández-Guzmán, M., López-López, H., Ruiz-Valdiviezo, V. M.,

- & Villalobos-Maldonado, J. J. (2023). Use of devil fish (*Pterygoplichthys* spp.) flour in the organic fertilization of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 39, 159–169. <https://doi.org/10.20937/RICA.54848>
- Ruland, F., & Jeschke, J. M. (2020). How biological invasions affect animal behaviour: A global, cross-taxonomic analysis. *Journal of Animal Ecology*, 89(11), 2531–2541. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13306>
- Salazar Rueda, M. I. (2023). *Sociabilidad en hembras de guatopote manchado (Pseudoxiphophorus bimaculatus) con los poecílicos: guatopote jarocho (Poeciloopsis gracilis), guppy (Poecilia reticulata) y el nativo tiro rayado (Skiffia bilineata) en cardúmenes de diferente tamaño y composición*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Salazar-Rueda, I., Gomez-Maldonado, S., & Camacho-Cervantes, M. (2024). Heterospecific sociability and foraging behaviour of an invasive livebearer fish. *Ecology of Freshwater Fish*, 33(3). <https://doi.org/10.1111/eff.12785>
- Salgado-Maldonado, G., & Rubio-Godoy, M. (2014). Helmintos parásitos de peces de agua dulce introducidos. En *Especies acuáticas invasoras en México* (pp. 269–285).
- Santiago Arellano, A. (2023). *Latencia para encontrar comida del pez nativo Skiffia bilineata en un gradiente de temperatura y diferentes contextos sociales*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestre-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo (2010).
- Servicio Nacional de Sanidad, I. y C. A. (2020, febrero 12). *Inspección en aeropuertos*. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/inspeccion-en-aeropuertos-111186>

- Servicio Nacional de Sanidad, I. y C. A. (2023, julio 20). *Campañas y programas fitosanitario*. <https://www.gob.mx/senasica/acciones-y-programas/campanas-fitosanitarias>
- Silk, J. B. (2007). The adaptive value of sociality in mammalian groups. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1480), 539–559. <https://doi.org/10.1098/rstb.2006.1994>
- Simberloff, D. (2001). Biological invasions: How are they affecting us, and what can we do about them? *Western North American Naturalist*, 61(3), 308–315.
- Simberloff, D., Martin, J. L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A., Aronson, J., Courchamp, F., Galil, B., García-Berthou, E., Pascal, M., Pyšek, P., Sousa, R., Tabacchi, E., & Vilà, M. (2013). Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. En *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 28, Número 1, pp. 58–66). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013>
- Simberloff, D., & Von Holle, B. (1999). Positive interactions of nonindigenous species: invasional meltdown? En *Biological Invasions* (Vol. 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1010086329619>
- Trujillo-Jiménez, P., Espinosa De Los, E., & Viveros, M. (2006). La ecología alimentaria del pez endémico *Girardinichthys multiradiatus* (Cyprinodontiformes: Goodeidae), en el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN, 54(4)*, 1247–1255.
- Tsang, A. H. F., & Dudgeon, D. (2021). A comparison of the ecological effects of two invasive poeciliids and two native fishes: a mesocosm approach. *Biological Invasions*, 23(5), 1517–1532. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02455-7>
- UNICAPAM. (2024, septiembre 27). *La Secretaría de Marina presentó la “Estrategia nacional sobre incrustaciones biológicas”*. <https://www.gob.mx/semar%7Cunicapam/articulos/la-secretaria-de-marina-presento-la-estrategia-nacional-sobre-incrustaciones-biologicas>

- Urriola Hernández, M., Cabrera Peña, J., & Protti Quesada, M. (2004). Fecundidad, fertilidad e índice gonadosomático de *Poecilia reticulata* (Pisces: Poeciliidae) en Heredia, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 52.
- Valero, A., Magurran, A. E., & Garcia, C. M. (2009). Guppy males distinguish between familiar and unfamiliar females of a distantly related species. *Animal Behaviour*, 78(2), 441–445. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.05.018>
- Vega y Ortega Baez, R. A. (2016). Ciencia y ambiente en la aclimatación del eucalipto en el Valle de México a través de la prensa, 1869-1880. *Historia y Sociedad*, 30, 237–264. <https://doi.org/10.15446/hys.n30.53809>
- Ward, A., & Webster, M. (2016). *Sociality: The Behaviour of Group-Living Animals* (Springer, Ed.).
- Weber, M. J., & Brown, M. L. (2009). Effects of Common Carp on Aquatic Ecosystems 80 Years after “Carp as a Dominant”: Ecological Insights for Fisheries Management. *Reviews in Fisheries Science*, 17(4), 524–537. <https://doi.org/10.1080/10641260903189243>
- Zandonà, E. (2010). *The trophic ecology of guppies (Poecilia reticulata) from the streams of Trinidad* [Drexel University]. <https://doi.org/10.17918/etd-3424>