

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



VALIDACIÓN DEL PROTOCOLO DE CONTROL DE PEZ JOYA (*Hemichromis guttatus*) EN EL ÁREA NATURAL DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA.

Por:

RANDI CAROLINA ALDABA LUCIO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

VALIDACIÓN DEL PROTOCOLO DE CONTROL DE PEZ JOYA (*Hemichromis guttatus*) EN EL ÁREA NATURAL DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA.

Por:

RANDI CAROLINA ALDABA LUCIO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Comité de Asesoría:



Dr. José Javier Ochoa Espinoza

Director



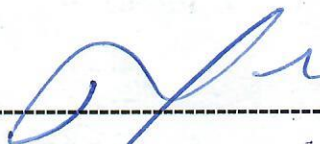
Dr. José Antonio Hernández Herrera

Asesor



Dra. Michelle Ivonne Ramos Robles

Asesor



M.C. Pedro Carrillo López

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2026



Declaración de No Plagio

Salttillo, Coahuila, México
Junio de 2026

DECLARO QUE:

El autor quien es el responsable directo del trabajo de investigación titulado: **“Validación del protocolo de control de Pez Joya (*Hemichromis guttatus*) en el Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, Coahuila.”**, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citar; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.



RANDI CAROLINA ALDABA LUCIO

DEDICATORIA

A Dios, por el regalo de la vida y la dicha de despertar cada día con una nueva oportunidad. Gracias por escuchar cada una de mis peticiones, por sostener mi fe en los momentos de incertidumbre y por darme la voluntad, la fortaleza y la esperanza necesarias para seguir adelante. A lo largo de este camino he encontrado consuelo en las palabras del Salmo 23:

«Jehová es mi pastor; nada me faltará.

En lugares de delicados pastos me hará yacer;

junto a aguas de reposo me pastoreará.

Confortará mi alma;

guiaráme por sendas de justicia por amor de su nombre.

Aunque ande en valle de sombra de muerte,

no temeré mal alguno; porque tú estarás conmigo;

tu vara y tu cayado me infundirán aliento.

Aderezarás mesa delante de mí en presencia de mis angustiadores;

ungiste mi cabeza con aceite; mi copa está rebosando.

Ciertamente el bien y la misericordia me seguirán todos los días de mi vida;

y en la casa de Jehová moraré por largos días.»

Gracias, Señor, porque en cada etapa de mi vida has sido mi guía, mi refugio y mi fortaleza. Este logro es también testimonio de tu amor, tu misericordia y tu fidelidad.

A mis padres, Mariano Aldaba y Norma Lucio, por hacer de su vida un acto de amor y entrega para que yo pudiera construir la mía. Gracias por sacrificar su tiempo, su esfuerzo y gran parte de su vida para hacer posibles mis sueños. Cada paso que doy y cada logro que alcanzo llevan la huella de su trabajo, sus enseñanzas y su amor incondicional. No existen palabras suficientes para agradecer todo lo que han hecho por mí; esta meta también les pertenece, porque antes de que yo creyera en mis capacidades, ustedes ya creían en mí.

A mis hermanas, Mariana, Paola y Sofía, por ser parte de mi refugio y de mi fortaleza. Gracias por su amor, por las risas compartidas, por las palabras de aliento y por enseñarme que la familia es el lugar al que siempre se puede volver. Cada una de ustedes ha dejado una huella especial en mi vida y ha contribuido a la persona que hoy soy.

A mis amigos, “los de la banca”: Mar, Fernanda, Andrés, Axel, Arely, Torres, Karla, Fernando, Iker, Jairo, Luis y Alfredo. Gracias por convertirse en una familia elegida en medio de este camino. Gracias por las conversaciones interminables, las risas que hicieron más ligeros los días difíciles, el apoyo sincero y los recuerdos que permanecerán para siempre. Más que compartir un espacio, compartimos sueños, preocupaciones, aprendizajes y una etapa irrepetible de nuestras vidas. Cada uno de ustedes hizo que este recorrido fuera más humano, más alegre y mucho más significativo.

A mí misma, por tener el valor de seguir adelante cuando el camino se tornó incierto, por aprender a levantarme después de cada caída y por descubrir que la verdadera fortaleza nace de la perseverancia y de la fe. Por no renunciar a mis sueños, aun cuando el cansancio, el miedo y las dificultades parecían más grandes que mis fuerzas. Que este logro sea siempre un recordatorio de que soy capaz de enfrentar la adversidad y seguir construyendo el futuro que deseo.

Y finalmente, a aquel atardecer que llegó sin aviso y se marchó demasiado pronto. Su luz fue breve, pero suficiente para dejar en mí una huella eterna y recordarme que incluso lo más efímero tiene un propósito. Hay ausencias que el tiempo no logra explicar ni llenar, pero también hay amores que permanecen para siempre, más allá de la distancia y de la despedida. Te amo, en esta vida y en la próxima, mamá.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi alma mater, por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de formarme profesional y personalmente. Gracias por convertirse en el espacio donde adquirí conocimientos, experiencias y valores que me acompañarán a lo largo de mi vida y de mi ejercicio profesional.

A mi director principal de tesis, el Dr. José Javier Ochoa Espinoza, por su guía, confianza, paciencia y acompañamiento académico durante el desarrollo de esta investigación. Gracias por compartir sus conocimientos, por sus observaciones y por impulsarme a fortalecer este trabajo con profesionalismo y dedicación. Su orientación fue fundamental para la culminación de esta etapa de mi formación.

Al Ing. Erwin Ricardo Morales Guajardo, por su tiempo, disposición y valioso apoyo en la parte práctica de esta investigación. Gracias por brindarme la oportunidad de participar en las actividades desarrolladas en el Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, Coahuila, y por compartir su experiencia y conocimientos durante el trabajo de campo. Su acompañamiento enriqueció significativamente mi formación académica y personal.

A la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), en particular al Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, Coahuila, por las facilidades, el respaldo y las oportunidades brindadas para el desarrollo de esta investigación. Gracias por permitirme participar en las actividades de conservación y manejo de especies exóticas invasoras y por fortalecer mi formación profesional a través de esta valiosa experiencia de campo.

A la brigada de Especies Exóticas Invasoras, a la brigada Coyotes y a la brigada de Experimentales del Desierto, por su disposición, apoyo y enseñanzas durante las jornadas de trabajo de campo. Gracias por compartir sus conocimientos, experiencias y el compromiso que diariamente demuestran en la conservación de los recursos naturales. El tiempo compartido con ustedes dejó en mí valiosos aprendizajes, tanto profesionales como personales.

A la familia Castillo Zamorano, por abrirme las puertas de su hogar y brindarme un espacio donde sentirme bienvenida durante mi estancia en Cuatrociénegas, Coahuila. Gracias por su hospitalidad, su generosidad y las atenciones que tuvieron conmigo mientras se llevaban a cabo las actividades de campo de esta investigación. Su apoyo

hizo que este proceso fuera más llevadero y me permitió desarrollar este trabajo en un ambiente de calidez y confianza. Siempre les estaré profundamente agradecida por hacerme sentir parte de su familia.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de este proceso y dejaron una enseñanza, una palabra de aliento o un gesto de apoyo en mi camino. Cada experiencia vivida y cada persona que encontré en esta etapa contribuyeron a la profesionalista y a la persona que hoy soy, y por ello les guardaré siempre mi más sincero agradecimiento.

RESUMEN

Las especies exóticas invasoras (EEI) representan una de las principales amenazas para la conservación de la biodiversidad a nivel mundial. Entre las EEI más agresivas de hábitats acuáticos destaca el pez joya (*Hemichromis guttatus*), el cual es un cíclido africano que ha logrado establecer poblaciones en diversos cuerpos de agua de la región de Cuatrociénegas, Coahuila ocasionando efectos negativos sobre especies nativas mediante competencia por recursos, alteración del hábitat e interferencia en procesos ecológicos. El objetivo fue evaluar la efectividad de las acciones de control aplicadas sobre *H. guttatus* en sitios estratégicos del Rio Mezquites dentro del APFF Cuatrociénegas. Para ello se comparó la eficiencia de captura en función de la temporalidad (verano y otoño), el tipo de atrayente utilizado (alimento para mascotas peletizado -croquetas y sardina), el acondicionamiento del microhábitat y el horario de aplicación del protocolo. Se utilizaron nazas como dispositivos de captura y se registró el número de individuos capturados por unidad de esfuerzo, así como la captura incidental de especies acompañantes. Los resultados indicaron que la temporada de otoño presentó una mayor eficiencia general de captura respecto al verano. Asimismo, el horario matutino mostró mayores valores de captura para la especie objetivo, mientras que la efectividad de los atrayentes varió entre temporadas. La captura incidental de especies nativas fue considerablemente menor en comparación con la captura de *H. guttatus*, lo que evidencia una adecuada selectividad del método empleado. Se concluye que la temporalidad y el horario de aplicación son factores determinantes en la eficiencia del protocolo de control, por lo que la programación estratégica de las actividades de manejo puede contribuir a optimizar el uso de recursos humanos, logísticos y económicos destinados a la conservación de los ecosistemas acuáticos del área.

Palabras clave: Control, Especie invasora; Hábitat acuático; Temporalidad.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo General.....	3
1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Especies Exóticas Invasoras y su Control.....	4
2.1.1. Concepto y Problemática General.....	4
2.1.2. Proceso de Invasión.....	4
2.1.3. Principales Impactos Ecológicos.....	6
2.1.4. Control sobre Especies Exóticas Invasoras.....	7
2.2. Especies Acuáticas Invasoras.....	8
2.2.1. Presencia de EEI en ANP.....	8
2.2.2. Priorización de las acciones de control sobre EEI acuáticas.....	8
2.2.3. Biología y Comportamiento.....	9
2.3. Administración de Apoyos Económicos en Conservación.....	10
2.3.1 El Papel de las Áreas Naturales Protegidas en el control de EEI.....	10
2.3.2 Tipos de Apoyos Existentes para la Conservación.....	11
2.3.3 Desafíos de Aplicar Recursos sin una Estrategia Temporal.....	12
2.3.4 Casos de Eficiencia en el uso de los Recursos para el Control de EEI.....	12

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1 Localización del área de estudio.....	14
3.2. Protocolo de Control.....	15
3.2.1. Diseño del experimento.....	15
3.2.2 Procedimiento de Captura y Registro.....	18
3.2.3 Medición de los Individuos Capturados.....	21
3.3 Análisis de la información.....	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1 Efectividad de Captura con Base a la Temporada del Año.....	23
4.2 Efectividad de Captura de Pez Joya con Base al tipo de Atrayente.....	25
4.3 Efectividad de Captura de pez Joya con Base en el Horario.....	26
4.4 Efectividad de Captura de pez Joya con Base en el Acondicionamiento.....	27
4.5 Métricas del Pez Joya.....	27
V. CONCLUSIÓN.....	31
VI. LITERATURA CITADA.....	34
VII. ANEXOS.....	37

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	14
Figura 2. Ubicación específica dentro del Río Mezquites y puntos de muestreo.....	15
Figura 3. Dispositivo de captura de peces en vida libre “naza”.....	16
Figura 4. Dispositivo de captura con acondicionamiento.....	17
Figura 5. Tipos de atrayentes usados; A) croquetas B) sardina.....	17
Figura 6. Distribución de los tratamientos y espaciamiento entre sitios experimentales.....	19
Figura 7. A) Recuperación de las nazas después del periodo de inmersión; B) Separación e identificación de organismos capturados durante la revisión de las nizas.....	20
Figura 8. Captura de individuos de pez joya (<i>Hemichromis guttatus</i>) obtenidos durante los muestreos de control de EEI en Cuatrociénegas, Coahuila.....	21
Figura 9. Efectividad de captura con base a la temporada del año de individuos en general.....	23
Figura 10. Efectividad de captura con base a la temporada del año, <i>Hemichromis</i> <i>guttatus</i> vs <i>Herichthys minckleyi</i>	24
Figura 11. Efectividad promedio de captura de pez joya por naza con base al tipo de atrayente.....	25
Figura 12. Porcentajes de captura de pez Joya con base en el horario aplicado en temporada de verano y otoño.....	26
Figura 13. Captura total con acondicionamiento y sin acondicionamiento.....	27
Figura 14. Medición de individuos de pez Joya al azar.....	28

Figura 15. Distribución porcentual de métricas de pez Joya al azar en las capturas de temporada de verano y otoño.....	28
Figura 16. Campamento de brigada experimentales del desierto.....	37
Figura 17. Individuos de <i>H. guttatus</i> en resguardo para conteo.....	37
Figura 18. A) Sitio de estudio; B) Acciones de trampeo por parte de la brigada de control de exóticos invasores Cuatrociénegas; C) Ejemplar de <i>H. guttatus</i> ; D) Monitoreo de nazas tras su recuperación.....	38

I. INTRODUCCIÓN

El desierto Chihuahuense, es uno de los principales biomas de las zonas áridas y semiáridas del norte de México. Siendo de gran relevancia el estado de Coahuila ya que en este se encuentra una zona destacada de humedales de ambientes desérticos que comprende el Valle de Cuatrociénegas. Desde el punto de vista geológico Cuatrociénegas destaca por ser una cuenca de tipo endorreica, lo que quiere decir que sus corrientes de agua son las responsables de alimentar los humedales del Valle, estos procesos dan pie a la formación de diferentes tipos de suelos (Ramírez, 2011). Con respecto a estos procesos el área alberga otros recursos naturales de suma importancia como los afloramientos de yeso, responsables de la formación de las grandes extensiones de dunas obteniendo el segundo lugar de importancia en América (SEMARNAT, 2025).

El acuífero de Cuatrociénegas es un sistema hidrogeológico complejo, compuesto por calizas fracturadas y sedimentos clásticos que permiten la infiltración del agua en zonas montañosas. Esta recarga natural da origen a manantiales y pozas que sostienen la biodiversidad del valle, incluidos numerosos endemismos acuáticos. Sin embargo, la extracción intensiva del recurso agua, principalmente para uso agrícola, y la alteración del flujo natural mediante canales, han provocado un desequilibrio hídrico. Actualmente, el acuífero presenta un déficit en su disponibilidad anual, lo que incrementa la presión sobre los ecosistemas locales y complica los esfuerzos de conservación frente a amenazas (CONAGUA, 2022). Dado el escenario anterior y a la importancia de la diversidad y riqueza de especies de flora y fauna que se encuentran en el valle, surge la necesidad de proteger especies vulnerables como lo son las endémicas, en ese sentido aunque los peces han sido los más estudiados, la riqueza de invertebrados descubiertos en la región ha incrementado la lista de endemismos. Entre las especies nativas más representativas de peces se encuentran el guayacón (*Gambusia marshi*), la mojarra de Cuatro Ciénegas (*Herichthys minckleyi*), el charal (*Cyprinella xanthicara*), la perca de toba (*Etheostoma lugo*) y el caracol (*Paludiscala caramba*), estas especies enfrentan riesgos por competencia, depredación y alteración del hábitat (SEMARNAT, 2025).

En lo que respecta en materia de legislación ambiental en México, el artículo 44 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), aplica la soberanía y jurisdicción sobre áreas del territorio nacional que se pronuncian de gran relevancia por sus procesos ecológicos donde su riqueza biológica y endemismos en riesgo requiere ser preservada, protegida y/o restaurada frente a las amenazas del ser humano. También de acuerdo con CONANP (2025), promueven la investigación científica, el uso sustentable de los recursos, y la protección de zonas forestales clave para el ciclo hidrológico, además, resguardan sitios de valor cultural, recreativo o identitario para comunidades locales e indígenas, entre otros objetivos.

Las amenazas a la conservación identificadas para el APFF Cuatrociénegas, se identificaron mediante un proceso de planificación participativa en el que intervinieron manejadores de las áreas naturales protegidas, biólogos y ecólogos especialistas y actores locales clave de la sociedad, las dos principales amenazas que se identificaron fueron la extracción del recurso agua fuera de los límites que establece la dependencia competente y en segundo plano pero no menos importante el reto que representa el incremento de especies exóticas e invasoras sobre las poblaciones endémicas en hábitats frágiles como los humedales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2014). *Estrategia nacional sobre especies invasoras en México: Prevención, control y erradicación*. Gobierno de México). Siendo la principal antagonista de este trabajo una especie de *Cichlidae* específicamente el pez joya (*Hemichromis guttatus*), esta representa una amenaza para varias especies endémicas ya mencionadas (Luna, 2021).

Debido a estos impactos, diferentes instituciones ambientales han implementado acciones de control y erradicación con el objetivo de disminuir la presión ejercida por estas especies sobre la biodiversidad endémica. No obstante, aún existe limitada información respecto a la eficiencia de dichas estrategias, particularmente en relación con la temporalidad de aplicación, el esfuerzo de captura y el aprovechamiento de los recursos disponibles. Por lo anterior, este presente estudio tiene como finalidad evaluar la efectividad de las acciones de control aplicadas sobre la especie invasora en sitios estratégicos de Río Mezquites, dentro del Área de Protección de Flora y Fauna

Cuatrociénegas, Coahuila, con el propósito de generar recomendaciones técnicas que contribuyan a optimizar las estrategias de manejo y conservación.

1.1 Objetivo General

Evaluar la efectividad de las acciones de control sobre pez Joya (*Hemichromis guttatus*), en sitios estratégicos dentro del margen del Río Mezquites perteneciente al APFF Cuatrociénegas, Coahuila.

1.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la efectividad de captura en función de la técnica del trabajo implementada y del tipo de cebo utilizado.
- Analizar la variación en abundancia del pez Joya durante los periodos de verano y otoño durante el año 2025, en los márgenes del Río Mezquites.
- Proponer recomendaciones técnicas que permitan guiar la aplicación eficiente de los recursos disponibles utilizados por el área protegida.

1.3 Hipótesis

- El protocolo de control de pez Joya es efectivo en más del 50% de las veces cuando se lleva a cabo en la temporada de otoño.
- El protocolo de control de pez Joya es efectivo en más del 50% de las veces que se usa cuando se usa sardina como atrayente.
- El protocolo de control de pez Joya es efectivo en más del 50% de las veces cuando se lleva a cabo en horario matutino.
- La abundancia relativa y la talla de pez joya es mayor durante verano que en otoño.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Especies Exóticas Invasoras y su Control

2.1.1. Concepto y Problemática General

Respecto al término “Especie Exótica Invasora” (EEI), la Ley General de Vida Silvestre (LGVS, 2018) la denomina textualmente como “...*aquella especie o población que no es nativa, que se encuentra fuera de su ámbito de distribución natural, que es capaz de sobrevivir, reproducirse y establecerse en hábitat y ecosistemas naturales y que amenaza la diversidad biológica nativa, la economía o la salud pública*”. En otras palabras, una especie exótica se caracteriza por ser una amenaza de cierta manera silenciosa, que no pertenece a la zona, está a llegado por medio de diversos factores, ya sea de manera voluntaria es decir gracias a los humanos quienes han introducido especies de interés económico en el desarrollo acuícola o, de manera accidental, como lo es la falta de información a la hora de liberar o introducir algún individuo al entorno silvestre; aunque este proceso se entiende con simpleza, tiene ciertos pasos para que se dé su establecimiento de una EEI lo que entendemos como un proceso de invasión (Vargas, 2003).

Schüttler *et al.* (2008) y Siller *et al.* (2022) mencionan que la invasión de especies no es exclusiva de la mano del humano, pero resulta importante en cuanto al comercio, distribución y el desarrollo humano que da pie a la globalización, lo que a permitido que diferentes especies están presentes en zonas no antes pensadas, asimismo que tanto la fauna y la flora puede ser introducida por diversos medios como de esporas y otras maneras respecto a la flora, mientras que hablando de la fauna esta cuenta con la capacidad de trasladarse y dispersarse por su propia cuenta.

2.1.2. Proceso de Invasión

En los últimos 20 años, se ha abordado con mayor interés el concepto de EEI, en esta ventana de tiempo se han enriquecido las investigaciones y el lenguaje respecto a este tema, lo que, de acuerdo al área de experiencia o geografía de las especies estudiadas, se ha prestado a algunas confusiones al respecto e incluso en la composición de cómo se entienden e identifican los modelos sobre el proceso de invasión (Blackburn *et al.*,

2011). Como un ejemplo consistente al proceso de invasión, Vilches *et al.*(2010), enlistan los siguientes pasos: transporte, establecimiento o naturalización, dispersión y percepción humana, mientras que Sandoval (2020) describe la secuencia de la siguiente forma: introducción, colonización (establecimiento), naturalización (expansión); comprendiendo estos dos escenarios, se puede deducir que el proceso de invasión se da en cuatro fases planteando la siguientes: 1) identificación del arribo al hábitat, 2) establecimiento, 3) reproducción y 4) expansión.

Las poblaciones se establecen de acuerdo a la existencia de características específicas que propician su asentamiento, como disponibilidad de alimento y territorio, ya que esto les permite llevar a cabo su ciclo biológico, siendo su ciclo biológico y tipo de organismo lo que dará la pauta a la amplitud del rango de distribución, a su vez de acuerdo al tamaño del rango y su capacidad de invasión, ya sea específico o restringido; otros factores a considerar en la distribución es la topografía la cual puede limitar o favorecer la invasión (Siller *et al.*, 2022).

En ejemplo a lo anterior contamos con el caso de Ecuador, donde el establecimiento de especies exóticas como la polilla de la papa (*Tecia solanivora*) se ha estudiado usando modelos que simulan cómo se mueve y se adapta la especie, considerando factores específicos como la altitud, el clima y la influencia de la gente al mover productos agrícolas; estos modelos ayudan a ver por dónde se está expandiendo y en qué zonas puede volverse un problema (Carrasco *et al.*, 2010). Por otro lado, en Brasil se han enfocado más en prevenir que estas especies lleguen a establecerse, sobre todo las que vienen del comercio de mascotas, como los reptiles, para eso usan un sistema de evaluación donde analizan si la especie ya ha sido invasora en otros lugares, cuántas veces se ha liberado y qué características biológicas tiene, para saber si representa un riesgo alto o bajo y así tomar decisiones antes de que se suelte en el medio natural (Pereira & Ziller, 2017), basado en lo anterior Ecuador modela la expansión de los invasores ya presentes, mientras que Brasil evalúa el riesgo desde antes de que entren al ecosistema.

2.1.3. Principales Impactos Ecológicos

Entrando en materia sobre el impacto ecosistémico, se han tenido registros de que este va de la mano con el asentamiento de las EEI en distintas zonas geográficas del mundo y no solo centra su impacto respecto a estas, sino que también degradan los ecosistemas, modifican los ciclos biogeoquímicos, pueden llegar a transmitir enfermedades, dañan infraestructura y equipos de trabajo, afectan la calidad del líquido vital, alteran visualmente los paisajes e incluso pueden propiciar la extinción de especies nativas, considerándose como una de las principales causas de pérdida de la biodiversidad en el mundo (Aguirre *et al.* 2009).

Experimentalmente, en otros lugares del mundo como lo es en España se ha demostrado que el ciclo de alimentación de ciertas EEI han llevado a la alteración de la calidad del agua, a causa de las diversas variaciones de concentraciones de nutrientes y dejando el paso libre para el aumento y proliferación de otras especies y la disminución de otras, ya que las nuevas condiciones pueden no resultar favorables, dando como resultado la pérdida espacial impactando negativamente la biodiversidad y la homogeneidad biótica (García *et al.* 2015). De acuerdo a Valdés & Vanessa (2009) se entra en discrepancia de los efectos mayormente nocivos que se mencionan anteriormente, ya que plasma que "La introducción de animales exóticos permite suplir los defectos de la fauna local"; justificando la introducción de estas especies con: "Resistencia a enfermedades, resistencia a lluvias y humedad, además de otros factores climáticos desfavorables y crecimiento y producción superior"; lo que se puede interpretar como el fortalecimiento del proceso evolutivo de las especies nativas al tener depredadores.

Otro factor en el que se ve presente el impacto de las EEI y que resulta como parte del éxito de su establecimiento es su carácter oportunista ya que llegan a ocupar los llamados nichos vacíos; es decir, al no tener enemigos naturales ni competidores significativos y contar con las condiciones favorables, las poblaciones tienden a crecer en ocasiones de manera acelerada (Williamson, 1996; Simberloff, 2013). Algunos ejemplos de relevancia registrados alrededor del mundo incluyen la expansión del mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) en América del Norte y el pez león (*Pterois*

volitans) en el Caribe occidental y el sapo de caña (*Rhinella marina*) en Australia (Simberloff, 2013).

2.1.4. Control sobre Especies Exóticas Invasoras

Para desarrollar procedimientos de acción rápida y estrategias de mejora continua frente a una problemática de especies exóticas invasoras (EEI), resulta fundamental identificar la etapa del proceso de invasión en la que se encuentra el ecosistema afectado. Esto permite establecer objetivos y metas de manejo orientadas al control, contención o, en casos favorables, a la erradicación de las especies invasoras. Asimismo, es necesario considerar los posibles impactos derivados de estas acciones sobre las especies nativas y sobre la dinámica ecológica del hábitat, incluyendo fenómenos como la ocupación de nichos vacíos por otras especies oportunistas (Vega et al., 2016).

En diversos países, el manejo de especies exóticas invasoras forma parte de las estrategias nacionales de conservación ambiental. Un ejemplo de ello es Cuba, donde las EEI representan una amenaza importante para los ecosistemas naturales y las actividades agrícolas. Estas especies son reconocidas como una de las principales causas de pérdida de biodiversidad, debido a los efectos que generan sobre las redes tróficas, la transmisión de enfermedades y la alteración de ecosistemas nativos. Sin embargo, para lograr un manejo efectivo, es indispensable establecer prioridades y metas claras de control, ya que la ausencia de planificación puede incrementar el riesgo de impactos negativos sobre la integridad ecológica de cada región (Almaguer & Báez, 2016)

La prevención constituye uno de los elementos más importantes dentro del manejo de especies invasoras, debido a que no es necesario esperar a que una invasión alcance niveles críticos para implementar acciones de control. (García-Lahera et al., 2017). señalan que las estrategias preventivas deben basarse principalmente en tres componentes fundamentales: monitoreo, alerta temprana y respuesta rápida. La integración de estos elementos permite actuar oportunamente frente a nuevas invasiones, además de fomentar prácticas más responsables orientadas a la protección y conservación de la flora y fauna nativa. (Almaguer, 2022)

2.2. Especies Acuáticas Invasoras

2.2.1. Presencia de EEI en ANP

Las Áreas Naturales Protegidas son un modelo de conservación que atiende necesidades sociales, económicas y ecológicas de quienes viven y son usuarios de las mismas. El modelo mexicano de ANP considera la atención de la conservación directa mediante tres ejes, que son el manejo, la restauración y la protección de ecosistemas, dentro de estos de estos dos últimos ejes se centra la prevención y control de EEI (CONABIO 2012).

En la actualidad parte de las amenazas principales que presentan las ANP es la fragmentación del área por urbanización, el cambio de uso de suelo, explotaciones de las áreas con fines no estipulados y consecuencias abruptas de que el respaldo legal no es fiable para la protección y mantenimiento de las mismas, volviéndose altamente vulnerables ante diversos factores, aun siendo las ANP parte de la solución ante la crisis ambiental que se vive hoy en día (García, 2022).

2.2.2. Priorización de las acciones de control sobre EEI acuáticas

Las EEI acuáticas representan una de las principales amenazas para la conservación de los ecosistemas dulceacuícolas a nivel mundial (Pysek et al.,2020), estos mismos autores mencionan que la introducción de organismos desde su área de distribución natural hacia nuevos espacios, puede generar alteraciones significativas en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas receptores, afectando la biodiversidad nativa, las interacciones ecológicas y los servicios ecosistémicos. Aunque no todas las especies introducidas logran establecerse exitosamente o provocar impactos inmediatos, aquellas que superan las barreras ambientales y biológicas pueden convertirse en invasoras y ocasionar efectos negativos a largo plazo sobre las comunidades autóctonas.

Los ecosistemas acuáticos son particularmente susceptibles a las invasiones biológicas debido a su conectividad hídrica y a la creciente intervención humana. A nivel mundial, una de las principales vías de introducción de las especies exóticas de agua dulce ha sido la acuicultura, actividad que ha favorecido el movimiento intencional y accidental de

organismos entre regiones geográficas. La introducción de especies para fines productivos, ornamentales o recreativos ha contribuido significativamente al establecimiento de poblaciones exóticas en ambientes naturales, muchas de las cuales han desarrollado características invasoras que les permiten expandirse y desplazar especies nativas (Gozlan *et al.*, 2010).

En México, la problemática de las EEI acuáticas adquiere especial relevancia debido a la gran diversidad biológica presente en los ecosistemas del país. Dentro de estos sistemas, el Valle de Cuatrociénegas en el estado de Coahuila destaca por ser considerado uno de los humedales más importantes del mundo por su elevada riqueza biológica y altos niveles de endemismos, Los humedales presentes en esta región poseen características ambientales particulares que han favorecido la evolución y adaptación de numerosas especies únicas; sin embargo, estas mismas condiciones también pueden facilitar el establecimiento de organismos exóticos introducidos por actividades humanas (Ortiz, 2014). Por ello resulta fundamental generar información que contribuya al desarrollo y optimización de estrategias de control que permitan reducir sus impactos sobre los ecosistemas acuáticos de la región.

2.2.3. Biología y Comportamiento

Por sus orígenes pertenecientes al continente africano. En la mayoría de las ocasiones esta especie fue introducida de forma ilegal en cuerpos de agua termales, probablemente mediante la liberación de ejemplares de acuario. En Europa se registró su presencia en el lago termal de Heviz Hungría, donde se considera una especie exótica introducida por acuaristas. Debido a su atractivo colorido y facilidad de mantenimiento en cautiverio esta especie ha sido ampliamente comercializada en el mercado de peces ornamentales, lo que ha favorecido su distribución fuera de su territorio (Harka *et al.*, 2015).

Por la naturaleza de sus orígenes requiere aguas cálidas de entre 22 y 28°C. Esta especie tiende a tener un comportamiento agresivo y territorial y puede atacar incluso a otros peces de su misma especie durante la reproducción. Presenta dieta omnívora, alta capacidad reproductiva y cuidado biparental. Puede reproducirse durante todo el año y alcanzar la madurez sexual en su primer año de vida, presentando una reproducción

ovípara. Su periodo reproductivo ocurre principalmente entre los meses de mayo y agosto, siendo los meses en los que el hábitat alcanza las temperaturas requeridas. Durante el proceso de reproducción en la etapa de desove, la hembra deposita los huevos sobre superficies sólidas como rocas o troncos, mientras que el macho los fertiliza y protege el territorio de reproducción desde que son huevos hasta que se vuelven larvas y pueden desplazarse con libertad (Dugan, 2014)

En condiciones favorables, la reproducción puede ocurrir varias veces al año, dependiendo de estas características, combinadas con su comportamiento territorial, amplia tolerancia ambiental y dieta generalista, favorecen el establecimiento de poblaciones estables y la rápida expansión de la especie en ecosistemas invadidos (Luna, 2021).

El organismo fue registrado por primera vez en 1996 en Cuatrociénegas. Se cree que fue introducido por liberación de acuaristas, ya que la especie es utilizada en el ecoturismo ornamental. Posteriormente se expandió rápidamente a otros cuerpos de agua de la región. La invasión de esta especie ha afectado a varias especies endémicas de Cuatrociénegas, principalmente a *Herichthys minckleyi*. Sus efectos incluyen competencia por alimento, agresividad e interferencia en la reproducción de especies nativas. Además, altera las redes tróficas y el equilibrio ecológico del ecosistema (Dugan, 2014; Luna, 2021).

2.3. Administración de Apoyos Económicos en Conservación

2.3.1 El Papel de las Áreas Naturales Protegidas en el control de EEI

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) constituyen uno de los principales instrumentos para la conservación de la biodiversidad en México, ya que permiten proteger ecosistemas representativos, especies prioritarias y procesos ecológicos fundamentales para el mantenimiento de la diversidad biológica. Además de su función de conservación, las ANP desempeñan un papel fundamental en la prevención, monitoreo y control de especies exóticas invasoras, debido a que estas representan una de las principales amenazas para la integridad ecológica de los ecosistemas protegidos (CONANP, 2025).

Para alcanzar estos objetivos, las ANP operan mediante programas de manejo que funcionan como instrumentos rectores de planeación y regulación. Estos programas establecen las actividades, acciones y lineamientos necesarios para la administración del ANP incluyendo estrategias de restauración ecológica, monitoreo biológico y control de EEI (CONANP, 2025). La planificación resulta particularmente importante cuando los recursos económicos son limitados, ya que permite dirigir esfuerzos de manejo hacia aquellas acciones que generan un mayor beneficio para la conservación. En este contexto, la identificación de los periodos y condiciones que favorecen una mayor eficiencia en las acciones de control puede contribuir significativamente a optimizar la utilización de recursos humanos, materiales y financieros (Margules y Pressey, 2000).

2.3.2 Tipos de Apoyos Existentes para la Conservación

En México existen diversos mecanismos financieros destinados a fortalecer las acciones de conservación dentro de las ANP. Entre los más importantes se encuentra el Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies prioritarias (PROREST), operado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), cuyo objetivo es promover la conservación de la biodiversidad mediante acciones de protección, restauración y manejo de ecosistemas y especies prioritarias (CONANP, 2023).

Asimismo, el Fondo para Áreas Naturales Protegidas (FANP) constituye uno de los mecanismos financieros más relevantes para garantizar la conservación a largo plazo. Este fondo apoya el uso eficiente de recursos económicos destinados a las ANP mediante el financiamiento de actividades estratégicas como vigilancia comunitaria, manejo del fuego y fortalecimiento de capacidades institucionales (FMCN, 2025).

De manera complementaria, diversas dependencias federales y estatales participan en programas relacionados con la protección ambiental, vigilancia, restauración ecológica y manejo de recursos naturales, contribuyendo indirectamente a la atención de problemáticas asociadas con las especies invasoras. (Bruner *et al.*, 2004).

2.3.3 Desafíos de Aplicar Recursos sin una Estrategia Temporal

Uno de los principales desafíos en los programas de control de EEI consiste en la aplicación de recursos económicos sin una estrategia basada en información técnica y evidencia científica. Cuando las actividades de manejo se desarrollan únicamente en función de la disponibilidad presupuestal, sin considerar factores biológicos como la temporada del año, los ciclos reproductivos o los patrones de actividad de la especie objetivo, la eficiencia de las acciones, la eficiencia de las acciones puede verse considerablemente reducida (McGeoch *et al.*, 2016).

La literatura sobre manejo de EEI señala que la priorización espacial y temporal de las intervenciones permite maximizar los beneficios ecológicos obtenidos por unidad de inversión, especialmente en escenarios donde los recursos son limitados. Por ello, la generación de información que permita identificar los momentos y condiciones de mayor efectividad constituye una herramienta esencial para optimizar los programas de control (Science of the Total Environment, 2023).

En las ANP de México, donde los recursos económicos deben distribuirse entre múltiples actividades de conservación, resulta indispensable desarrollar estrategias que permitan incrementar la eficiencia del gasto y maximizar los resultados obtenidos mediante las acciones de manejo (Carrasco *et al.*, 2010).

2.3.4 Casos de Eficiencia en el uso de los Recursos para el Control de EEI

Diversos programas de conservación han demostrado que la planeación estratégica permite mejorar significativamente la eficiencia en el uso de los recursos económicos destinados al manejo de especies invasoras. La priorización de sitios críticos, la identificación de periodos óptimos de intervención y la focalización de esfuerzos sobre áreas de mayor impacto ecológico han permitido incrementar los beneficios de conservación sin necesidad de aumentar proporcionalmente los costos de operación. De acuerdo con estos estudios recientes, las estrategias basadas en priorización espacial y temporal pueden generar mayores beneficios ecológicos que los programas de control aplicados de forma homogénea o sin criterios técnicos de selección, Esto resulta

particularmente relevante para las ANP, donde las limitaciones presupuestarias obligan a maximizar la efectividad de cada acción implementada (Science of the Total Environment, 2023).

En este sentido, la evaluación de la efectividad de los protocolos de control aplicados sobre *Hemichromis guttatus* en Cuatrociénegas permite generar información que contribuya a optimizar el uso de los recursos destinados al manejo de la especie invasora. La identificación de las temporadas, horarios y condiciones de captura más favorables puede traducirse en una mayor eficiencia operativa y en un mejor aprovechamiento de los recursos económicos disponibles para la conservación del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas (Luna, 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el Área Natural Protegida (ANP) federal Cuatro Ciénegas (Figura 1), ubicada en la región centro del estado de Coahuila, al norte de México. Esta área forma parte de la ecorregión del Desierto Chihuahuense, y fue decretada como Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) el 7 de noviembre de 1994, debido a la gran concentración de endemismos con los que cuenta el área. Cuenta con una superficie aproximada de 84,347 hectáreas, en las que se encuentran diversos ecosistemas acuáticos de gran valor ecológico (CONANP, 2022).

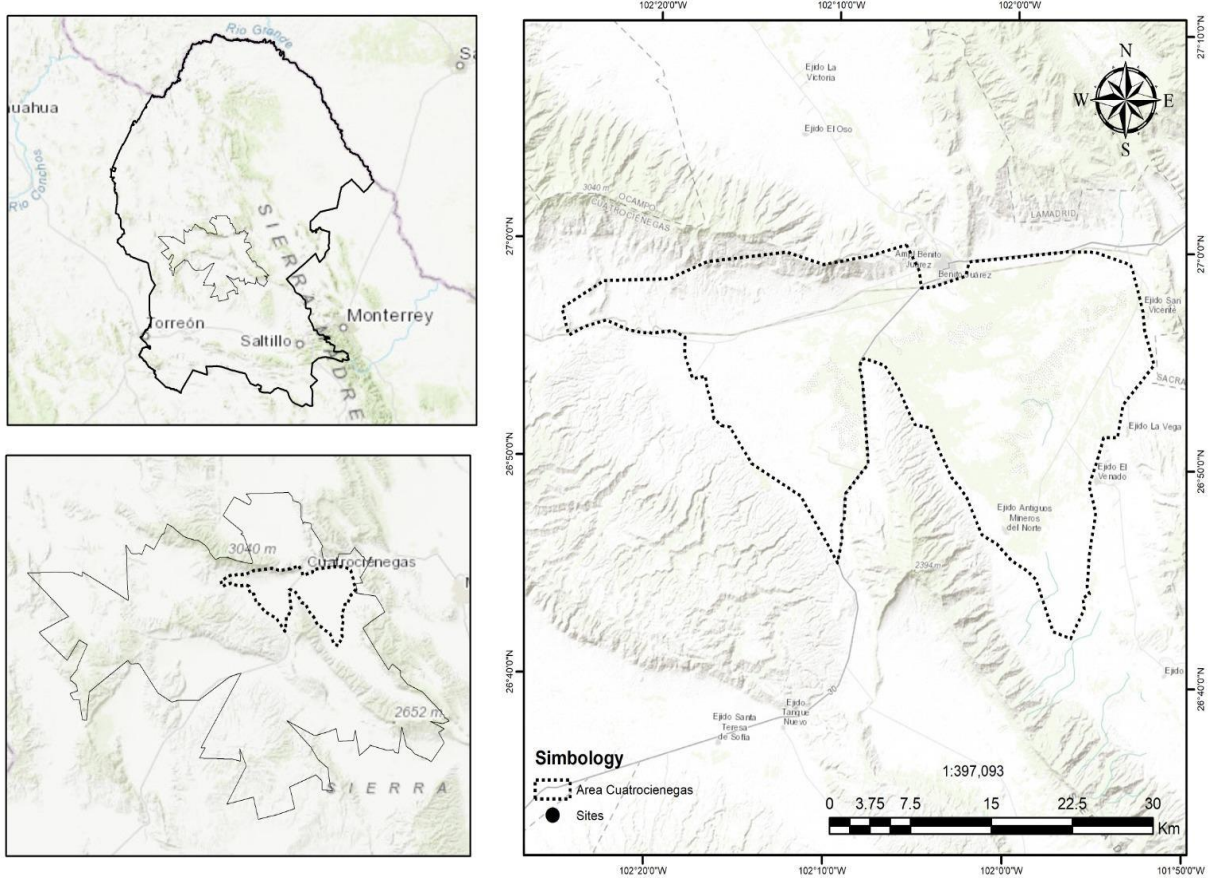


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

El estudio tomó lugar específicamente en puntos estratégicos sobre el margen del Río Mezquites (Figura 2), en predios donde el personal del ANP gestiona la accesibilidad a los sitios de muestreo, tomando esto como criterio principal para la elección de los sitios. Una vez permitido el acceso, la localización específica de los sitios de muestreo obedeció a la experiencia práctica de los integrantes de la brigada de control y personal técnico del ANP que brindó el acompañamiento al estudio del área.

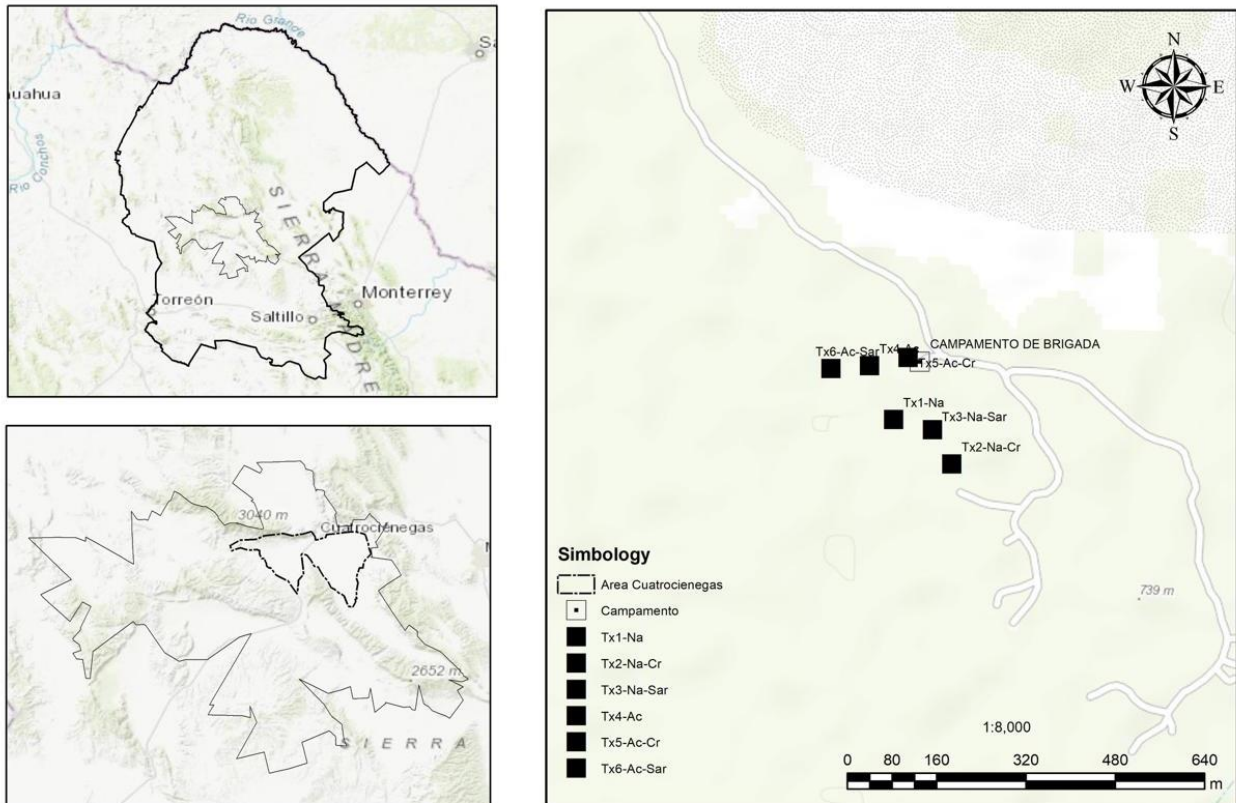


Figura 2. Ubicación específica dentro del Río Mezquites y puntos de muestreo.

3.2. Protocolo de Control

3.2.1. Diseño del experimento.

Para establecer el experimento se tomaron en cuenta las variables de temporalidad, acondicionamiento del sitio y tipo de atrayente. La unidad de muestreo por tratamiento corresponde al dispositivo de captura (“naza”), la cual consiste en una trampa cilíndrica fabricada con malla metálica galvanizada que cuenta con dos entradas en forma de

embudo ubicadas en extremos opuestos, permitiendo un fácil y rápido ingreso de los organismos, mientras que por este mismo efecto se dificulta su salida. Con este mecanismo se aumenta la probabilidad de captura al permitir el acceso desde diferentes direcciones, convirtiéndose en una herramienta eficiente para el monitoreo y la captura de los individuos (Figura 3). Para cada tratamiento se contó con cuatro nazas y siete repeticiones por naza, totalizando 42 repeticiones por tratamiento y temporada.



Figura 3. Dispositivo de captura de peces en vida libre “naza”.

Temporalidad. Se llevaron a cabo dos evaluaciones comparativas, la primera el 22 de agosto (verano) y la segunda el 27 y 28 de octubre (otoño) del 2025, con un espaciado de aproximadamente 66 días entre una y otra, siendo una muestra de las condiciones climáticas que se presentan entre verano y otoño en el área de estudio.

Acondicionamiento. Dadas las condiciones climáticas del sitio y la experiencia previa de la brigada de control y el personal técnico, se diferenciaron dos condiciones de manejo del microhábitat consistente en proveer de condiciones diversas como en este caso el efecto sombra (Figura 4).



Figura 4. Dispositivo de captura con acondicionamiento

Atrayentes. Se estipulan dos tipos de cebos consistentes en croqueta para perro y sardina, la primera es lo que el protocolo del ANP ha utilizado por los últimos años de manera recurrente, la sardina se propuso debido a al comportamiento de la especie en dieta (Kouadio et al., 2019), adicionalmente se estableció un testigo, los tipos de cebos (Figura 5).



Figura 5. Tipos de atrayentes usados; A) croquetas B) sardina.

Hora del día. Se establecen rangos de horarios para la toma de muestras en diversas horas del día siendo el amanecer (de las 8:30 a las 10:30), atardecer (de las 2:30 a las 3:10) y crepuscular (de las 7:00 a las 7:50). Los rangos de tiempo obedecieron a 40 minutos de toma de muestra, 10 minutos para extracción, revisión y reinicio del nuevo ciclo de muestreo, así sucesivamente durante el día hasta completar un aproximado de hasta siete (7) repeticiones por unidad de muestreo.

Con los criterios mencionados se establecieron los siguientes tratamientos:

Tx1-NA-No tiene acondicionamiento y no tiene atrayente.

Tx2-NA-Cr-No tiene acondicionamiento y atrayente de croqueta.

Tx3-NA-Sar-No tiene acondicionamiento y atrayente de sardina.

Tx4-Ac-Tiene acondicionamiento y no tiene atrayente.

Tx5-Ac-Cr-Tiene acondicionamiento y atrayente de croqueta.

Tx6-Ac-Sar-Tiene acondicionamiento y atrayente sardina.

3.2.2 Procedimiento de Captura y Registro

La variable principal evaluada fue el número de individuos (densidad) de captura de pez Joya, expresada mediante el número de individuos capturados por naza en cada inmersión (No. Ind/Naza/Inmersión). Adicionalmente, se registró la densidad de las especies acompañantes capturadas durante los muestreos con el fin de evaluar la selectividad de los tratamientos aplicados y documentar la composición de organismos presentes en el área de estudio.

Para garantizar la independencia de los tratamientos, los sitios experimentales fueron establecidos con una separación aproximada de 70 metros lineales entre cada una totalizando una sección de 350 metros, considerando ojos meandros (curvas) y secciones aproximadamente rectas (Figura 6). Cada tratamiento estuvo conformado por cuatro nazas (sub muestras), las cuales fueron colocadas con una distancia aproximada

de 50 cm entre ellas. Esta disposición permitió minimizar posibles interferencias entre dispositivos de captura y mantener condiciones similares dentro de cada unidad experimental.



Figura 6. Distribución de los tratamientos y espaciamiento entre sitios experimentales.

Las nazas permanecieron sumergidas durante periodos de 40 minutos. Una vez concluido el tiempo de inmersión, se destinaban aproximadamente 10 minutos para la revisión de capturas, el registro de la información y la reinstalación de las nazas, completando ciclos de trabajo de aproximadamente 50 minutos por evaluación (Figura 7A). Durante cada revisión, las nazas eran retiradas cuidadosamente del agua y los organismos capturados eran separados inmediatamente de acuerdo a la especie. Los individuos correspondientes a la especie objetivo del estudio, eran colocados en cubetas identificadas para cada tratamiento, mientras que los organismos pertenecientes a especies no objetivo eran contabilizados y liberados en el mismo sitio de captura, debido a que corresponden a especies nativas presentes en el ecosistema (Figura 7 A; B).

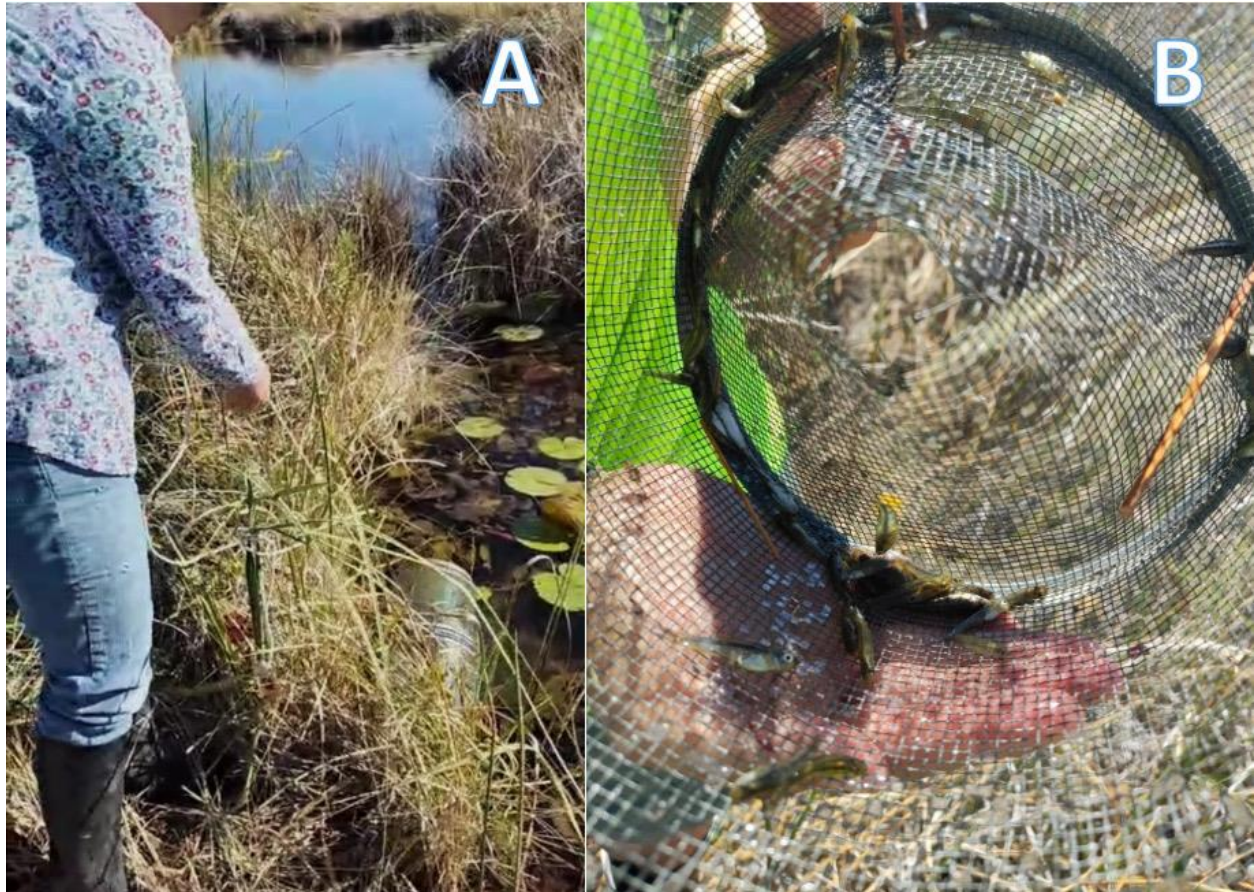


Figura 7. A) Recuperación de las nazas después del periodo de inmersión; B) Separación e identificación de organismos capturados durante la revisión de las nazas.

La información obtenida se registró manualmente en formatos de campo diseñados para cada experimento. Para cada naza se anotó el tratamiento correspondiente, clave de unidad de captura, horario de evaluación, temporada, cantidad de individuos capturados tanto de la especie objetivo como de las especies acompañantes. Estos registros constituyen la base de datos utilizada para los análisis posteriores de efectividad de captura.

Entre las especies acompañantes registradas se encontraron principalmente mojarras nativas, sardinas, lisas, tripoletas, camarón de río, así como captura ocasional de langostino rojo, serpientes acuáticas y otros organismos presentes en el sistema. Debido a que dichas especies no formaban parte de los objetivos del programa de control y no

representaban un riesgo para el ecosistema, fueron liberadas inmediatamente después de su identificación y conteo.

3.2.3 Medición de los Individuos Capturados

Los ejemplares de pez joya eran trasladados al campamento de brigada para el registro de métricas. A partir del total de organismos capturados por cada tratamiento en cada muestreo, se seleccionaron aleatoriamente cinco individuos para registrar su longitud total mediante una regla. Estas mediciones permiten obtener la información necesaria sobre la estructura de la población capturada y se dividió en cuatro rangos: 0-6, 6-8, 8-10 y 10-12. No se realizaron determinaciones de sexo ni registros de peso corporal.

Finalmente, los ejemplares de pez joya fueron sometidos al protocolo de manejo establecido por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) para especies exóticas invasoras. Dicho procedimiento consistió en la disposición final de los ejemplares mediante entierro en un sitio designado previamente por el equipo técnico a cargo del área, evitando así su reincorporación al ecosistema (Figura 8).



Figura 8. Captura de individuos de pez joya (*Hemichromis guttatus*) obtenidos durante los muestreos de control de EEI en Cuatrociénegas, Coahuila.

3.3 Análisis de la información

Para concretar el análisis de la información se obtuvieron valores promedio y desviación estándar por tratamiento de acuerdo a la especie objetivo y también las especies acompañantes. Las comparaciones bimodales como temporadas (verano y otoño) y especies clave (pez Joya vs. mojarra *Minckleyi*), fueron analizadas mediante un ANOVA de un sólo factor, y como prueba post-hoc se aplicó una T-student.

En los casos de comparaciones con múltiples variables, tales como horario (matutino, tarde y crepuscular), tipo de atrayente (testigo, croqueta y sardina) y la combinación de todos los escenarios que cambió: temporada, horario, atrayente y acondicionamiento, se aplicó un MANOVA y una prueba de Tukey ($P < 0.05$). Se acompañó la presentación de la información con gráficos de intervalos de confianza e histogramas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Efectividad de Captura con Base a la Temporada del Año

La evaluación de protocolo de control de *Hemichromis guttatus* permitió identificar variaciones en la eficiencia de captura entre las temporadas de verano y otoño. De manera general, durante otoño se observaron mayores valores promedio de individuos capturados sin importar la especie (3.58 ± 7.23 individuos/inmersión), mientras que en verano la diferencia fue significativamente menor (1.73 ± 2.79 individuos/inmersión; $P < 0.05$) (Figura 9). Lo anterior, sugiere que la temporalidad influye sobre la vulnerabilidad de la especie a los métodos de captura utilizados.

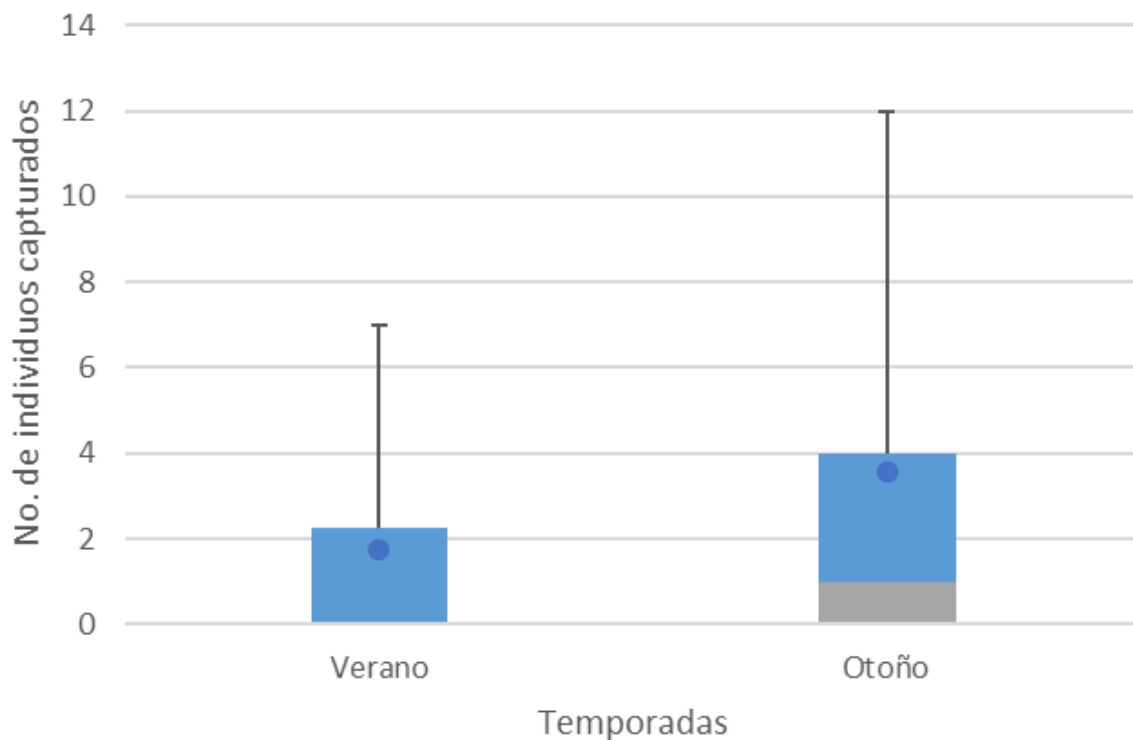


Figura 9. Efectividad de captura con base a la temporada del año de individuos en general.

Adicionalmente, se evaluó la captura incidental de la especie endémica *Herichthys minckleyi* con el propósito de determinar la selectividad del protocolo de control. En ambas temporadas, la densidad de captura de *Hemichromis guttatus* fue considerablemente superior a la registrada para la especie endémica, lo que indica que el método aplicado presentó una mayor frecuencia de captura no intencional de

Herichthys minckleyi sugiere que las técnicas utilizadas generan un impacto limitado sobre esta especie; sin embargo, la presencia ocasional de individuos nativos dentro de las trampas resalta la importancia de continuar optimizando los protocolos de control para reducir al mínimo los efectos sobre la fauna de interés respecto a su conservación. Dando como resultado en la temporada de verano el registro de un promedio de 4.61 ± 5.29 individuos de *Hemichromis guttatus* respecto a *Herichthys minckleyi* con un promedio de 1.88 ± 2.70 individuos, mientras que en otoño se tiene registro de un promedio de 5.73 ± 7.13 individuos de *Hemichromis guttatus* respecto a *Herichthys minckleyi* con un promedio de 1.02 ± 1.53 individuos. Lo que nos indica que las capturas de Pez Joya sobre *Minckleyi* en verano fueron 145.21% más altas, mientras que en otoño la captura de pez Joya fue 461.76% mayor (Figura 10).

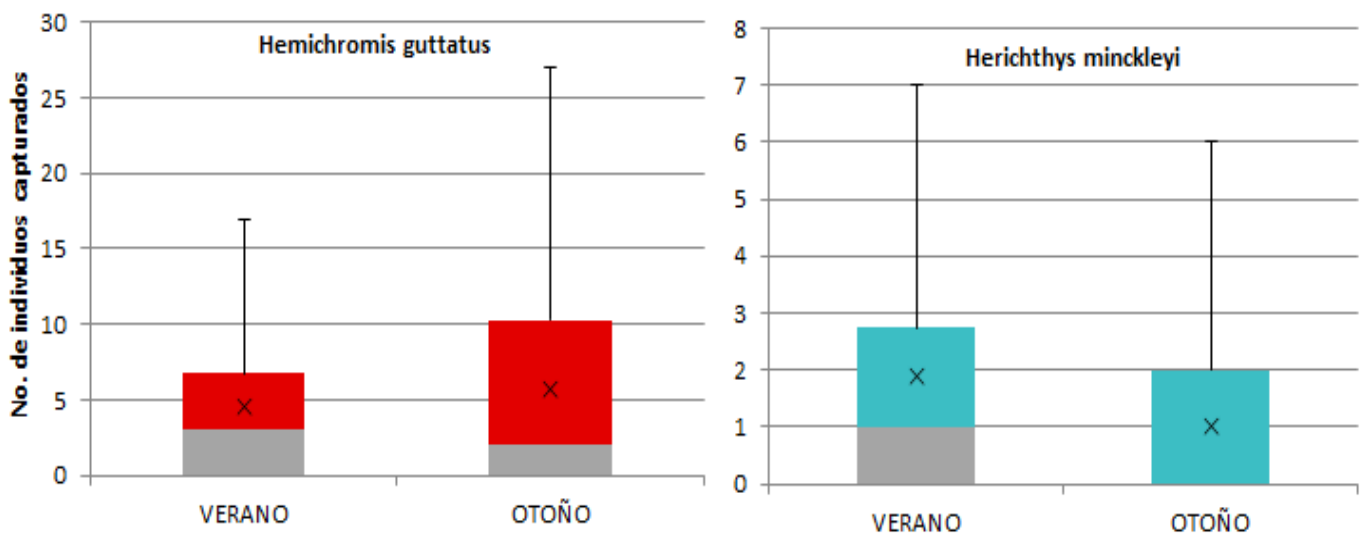


Figura 10. Efectividad de captura con base a la temporada del año, *Hemichromis guttatus* vs *Herichthys minckleyi*.

4.2 Efectividad de Captura de Pez Joya con Base al tipo de Atrayente

Los atrayentes utilizados durante el presente estudio fueron croqueta (CR) y sardina (SR), además de tratamientos sin atrayente como referencia. Sin tomar en cuenta ni la temporada del año, ni la hora del día, ni el acondicionamiento no hubo diferencias entre tratamientos ($P>0.05$), donde el testigo fue el más alto en capturas por inmersión (1.55 ± 2.54), seguido de CR (1.19 ± 2.23) y finalmente SR (1.15 ± 2.15) (Figura 11).

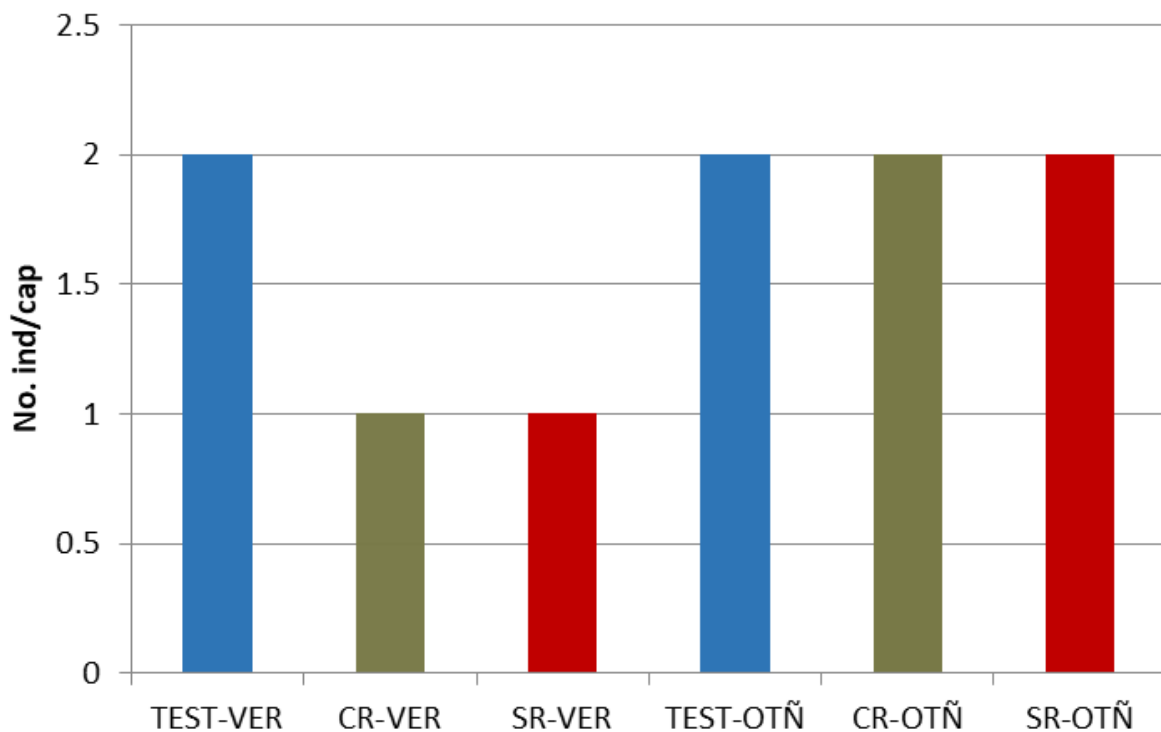


Figura 11. Efectividad promedio de captura de pez joya por naza con base al tipo de atrayente.

Al evaluar la efectividad de los atrayentes por temporada, se observó que durante verano el tratamiento testigo registró el mayor promedio de captura con (1.48 ± 2.39 ind/cap), mientras que en otoño presentó un promedio de (1.62 ± 2.70 ind/cap), sin diferencias significativas entre temporadas ($P>0.05$).

En relación con los tratamientos que utilizaron atrayentes, durante la temporada de verano SR registró el mayor promedio de captura con (1.01 ± 1.86 ind/cap), superando ligeramente a CR, que presentó un promedio de (0.96 ± 2.09 ind/cap). Por otro lado,

durante la temporada de otoño CR mostró el mayor promedio con $(1.42 \pm 2.36 \text{ ind/cap})$, mientras que SR registró un promedio de $(1.28 \pm 2.42 \text{ ind/cap})$.

4.3 Efectividad de Captura de pez Joya con Base en el Horario

Al evaluar la efectividad de las acciones de control dirigidas a la especie invasora, se analizaron los resultados obtenidos durante los diferentes horarios de aplicación del protocolo en los sitios de monitoreo establecidos. Sin importar el acondicionamiento, los resultados obtenidos muestran que, tanto en la temporada de verano (106 individuos, equivalentes al 54.64%), como en otoño (184 individuos, correspondientes al 75.72%), el horario matutino presentó mayor eficiencia de captura de las capturas alcanzadas la temporada; por el contrario en la temporada de verano, el horario crepuscular presentó la menor cantidad de organismos capturados, con un total de 17 individuos, equivalentes al 8.76% y con nulos registros de captura en la temporada de otoño (Figura 12).

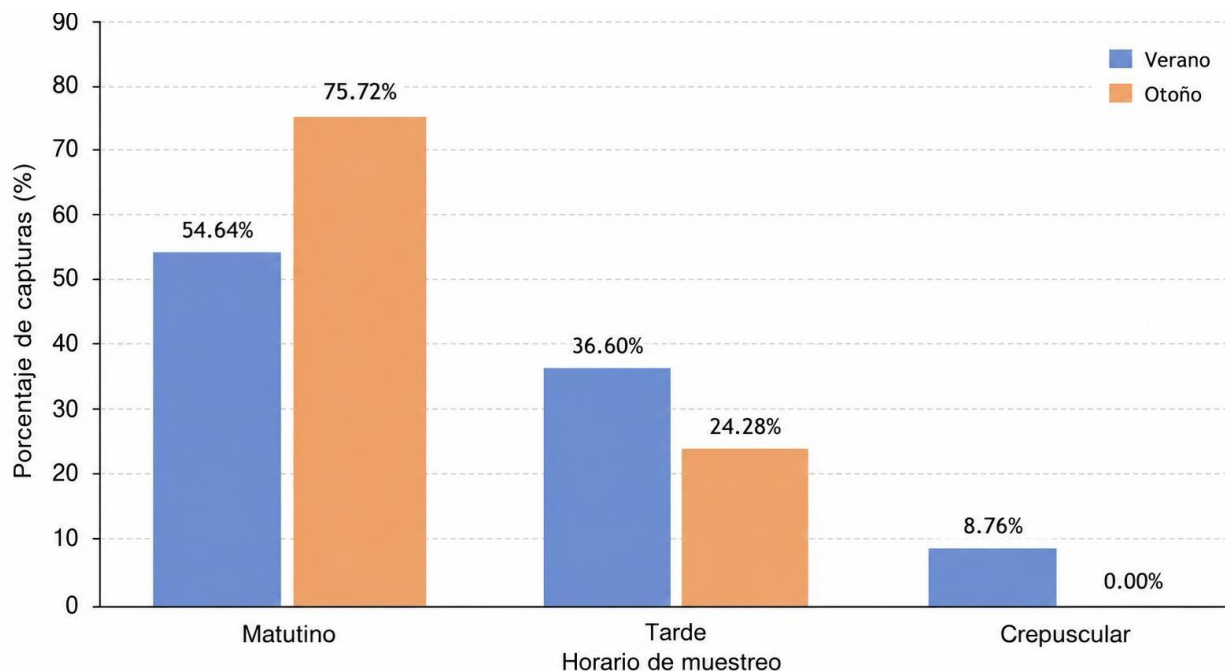


Figura 12. Porcentajes de captura de pez Joya con base en el horario aplicado en temporada de verano y otoño.

4.5 Efectividad de Captura de pez Joya con Base en el Acondicionamiento.

Durante el periodo de estudio se registró una captura total de 437 individuos de pez Joya en ambas temporadas, de este total, 213 individuos fueron capturados en sitios acondicionados y 224 en sitios no acondicionados. El promedio de captura por evento para los sitios acondicionados fue de 1.27 ± 2.23 ind/captura, mientras que para los no acondicionados fue un promedio de 1.33 ± 2.41 ind/captura (Figura 13).

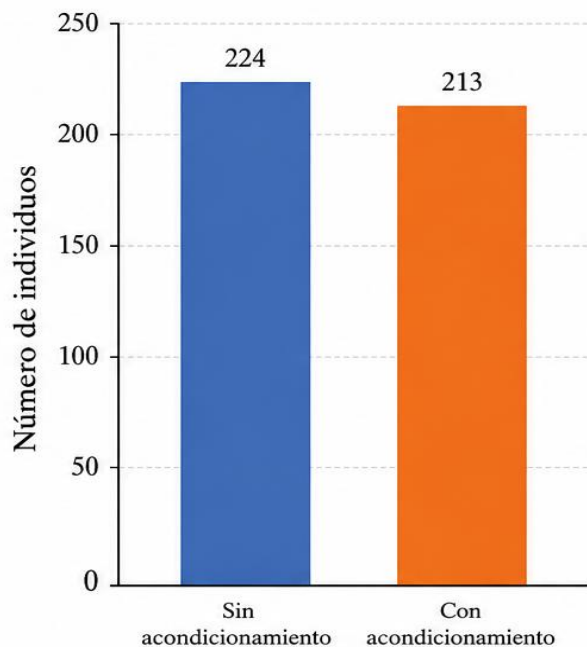


Figura 13. Captura total con acondicionamiento y sin acondicionamiento.

4.5 Métricas del Pez Joya

La distribución de tallas de la especie objetivo mostró una clara dominancia de individuos pertenecientes a las categorías de 0 a 6 cm, durante ambas temporadas evaluadas. En general la mayor proporción de organismos capturados se concentró dentro del intervalo de 0 a 6 cm, seguido por el rango 6 a 8 cm, mientras que los individuos con tallas superiores a los 8 cm fueron poco frecuentes (Figura 14). Durante la temporada de verano, tanto en los tratamientos acondicionados como en los no acondicionados, la mayoría de los individuos capturados corresponden al rango de 0 a 6 cm con un 89.83%. Los organismos comprendidos entre 6 y 8 cm se presentaron en menor proporción,

ocupando un 8.47%, mientras que los rangos de 8 a 10 cm se tiene un registro de 1.69% y de 10 a 12 cm registraron capturas nulas. De manera similar, durante la temporada de otoño se observó una predominancia de individuos pertenecientes a las categorías de talla más pequeñas dando como resultado en un rango de 0 a 6 cm el 67.35%, aunque se registró una mayor presencia de organismos dentro del rango de 6 a 8 cm con un 26.53%, mientras que en un rango de 8 a 10 cm se muestra un 6.12% y por último se vuelve a anular el rango de 10 a 12 cm, al igual que en el verano (Figura 15).



Figura 14. Medición de individuos de pez Joya al azar.

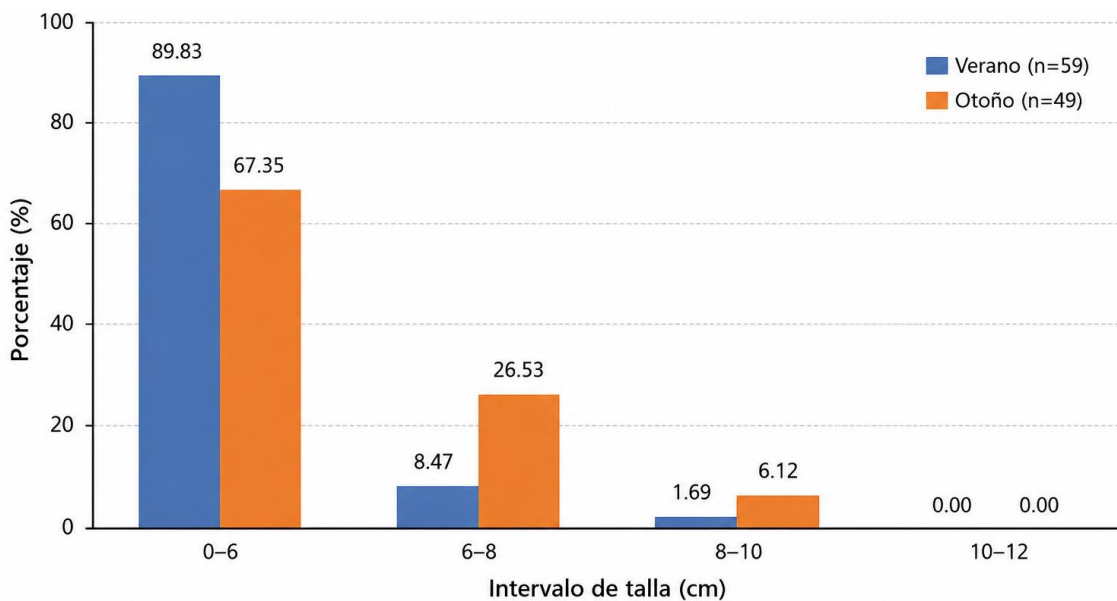


Figura 15. Distribución porcentual de métricas de pez Joya al azar en las capturas de temporada de verano y otoño.

Los resultados obtenidos muestran que la captura de *H. guttatus* fue mayor durante la temporada de otoño en comparación con la de verano. Este comportamiento puede estar relacionado con los cambios de actividad biológica de la especie a lo largo del año. De acuerdo con Dugan (2014) el pez joya presenta su principal periodo reproductivo entre los meses de mayo y agosto, cuando las temperaturas son más elevadas y los individuos muestran un comportamiento territorial asociado a la reproducción. Bajo estas condiciones, una parte importante de la población puede permanecer concentrada en áreas de refugio o cuidando de las crías, reduciendo su vulnerabilidad ante los métodos de captura. Por lo contrario, durante el otoño la actividad reproductiva disminuye y los organismos pueden desplazarse con mayor frecuencia en busca de alimento aumentando así la probabilidad de ingresar a las nazas.

De manera similar, Luna (2021) menciona que una de las características que han favorecido el establecimiento del pez Joya en Cuatrociénegas es su capacidad de adaptación a distintas condiciones ambientales. Esta plasticidad ecológica le permite mantener poblaciones estables a lo largo del año; sin embargo, los resultados obtenidos sugieren que existen periodos donde las acciones de control pueden resultar ser más eficientes. En este estudio el otoño presentó una mayor captura de individuos, lo que indica que la temporalidad debe considerarse como un factor importante en la planeación de futuras brigadas de control.

Respecto al horario de aplicación del protocolo, los mayores porcentajes de captura se registraron durante el periodo matutino en ambas temporadas. Aunque existen pocos estudios enfocados específicamente en los horarios de captura para *H. guttatus*, este resultado podría estar relacionado con los patrones diarios de actividad de la especie, ya que durante las primeras horas del día los organismos suelen encontrarse en búsqueda activa de alimento. Esto representa una ventaja operativa para los programas de manejo, ya que permite concentrar esfuerzos en los momentos de mayor probabilidad de captura.

En cuanto a los atrayentes evaluados, no se encontraron diferencias significativas entre croqueta, sardina y los tratamientos sin atrayente. Aunque inicialmente se esperaba una mayor efectividad de la sardina por sus características organolépticas, los resultados

indican que la presencia del atrayente no es un factor determinante en la eficiencia de la captura. Esto sugiere que variables como la ubicación de las trampas, La época del año o el comportamiento natural de los peces podrían tener una influencia mayor sobre la efectividad del protocolo. Por otra parte, el acondicionamiento del microhábitat mediante la generación de sombra tampoco mostró diferencias importantes respecto a los sitios no acondicionados. Luna (2021) señala que el pez Joya suele utilizar áreas con cobertura y refugios disponibles en el ambiente. Considerando que el Río Mezquites presenta de manera natural distintos elementos de protección y estructura, es posible que el acondicionamiento aplicado no representará un cambio suficientemente significativo para modificar el comportamiento de la especie.

Un aspecto relevante fue la selectividad del método empleado. A pesar de que se restringe la captura incidental de especies nativas, la cantidad de individuos de pez joya fue considerablemente superior a la de las especies acompañantes, Este resultado coincide con lo señalado por Gozlan *et al.*, (2010), quienes destacan la importancia de utilizar técnicas de control que permitan reducir las poblaciones invasoras minimizando al mismo tiempo los impactos sobre la fauna nativa. En este sentido, las nazas utilizadas durante el estudio demostraron ser una herramienta útil para el manejo de la especie invasora dentro del área de estudio.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten afirmar que la eficiencia del protocolo depende más de la selección adecuada del momento de aplicación que del uso de modificaciones adicionales como atrayentes o acondicionamientos. Desde una perspectiva de manejo, esto representa un área de oportunidad para optimizar el uso del recurso humano, material y económico, concentrando los esfuerzos de control durante las temporadas y horarios donde se obtienen mayores capturas. De esta manera, es posible incrementar la efectividad de las acciones de manejo sin la necesidad de aumentar significativamente los costos operativos.

V. CONCLUSIÓN

La hipótesis uno planteó que el protocolo de control de pez Joya sería efectivo en más de 50% de las ocasiones cuando se aplica durante la temporada de otoño. Los resultados obtenidos permiten aceptar esta hipótesis, debido a que durante otoño se registró una mayor cantidad de individuos capturados en comparación con la temporada de verano. Esto demuestra que la temporalidad influye significativamente en la efectividad de las acciones de control y que el otoño representa un periodo favorable para concentrar los esfuerzos de manejo de la especie invasora.

La hipótesis dos establece que el protocolo sería efectivo en más de 50% de las acciones utilizando sardina como atrayente. Los resultados muestran que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos con sardina, croqueta y aquellos sin atrayentes. Por lo tanto, esta hipótesis se rechaza, ya que la sardina no incrementó significativamente la captura a los demás tratamientos. Esto indica que el tipo de atrayente tiene una influencia limitada sobre la eficiencia del protocolo bajo las condiciones evaluadas.

La hipótesis tres propuso que el protocolo sería efectivo en más del 50% de las ocasiones cuando se aplica en horario matutino. Los resultados permiten aceptar esta hipótesis, debido a que tanto en verano como en otoño el mayor porcentaje de capturas se registró durante las primeras horas del día. En otoño, particularmente, el horario matutino concentró más del 75% de las capturas totales registradas.

La hipótesis cuatro planteó que la abundancia relativa y la talla del pez Joya serían mayores durante verano que en otoño. Esta hipótesis se rechaza parcialmente. Aunque durante verano se registró una alta proporción de individuos juveniles, la abundancia total fue superior durante otoño. Asimismo, las distribuciones de talla mostraron predominancia de organismos pequeños en ambas temporadas, por lo que no se observó una diferencia clara que respalda completamente la hipótesis planteada.

Los resultados obtenidos indican que el acondicionamiento del microhábitat mediante la generación de sombra utilizando materia seca no produjo diferencias significativas en comparación con los sitios sin acondicionamiento. Aunque los sitios no acondicionados presentaron una captura ligeramente superior de la especie objetivo, las diferencias

observadas fueron mínimas, por lo que esta práctica no puede considerarse un factor determinante para incrementar la eficiencia de captura bajo las condiciones evaluadas. De manera similar, los tratamientos basados en atrayentes tampoco mostraron un efecto relevante sobre el número de organismos capturados, lo que sugiere que la respuesta de la especie invasora está más relacionada con factores ambientales y de comportamiento que con modificaciones inducidas en el hábitat. Asimismo, el protocolo mostró una adecuada selectividad, ya que la captura de *H. guttatus* fue considerablemente superior a la de las especies nativas acompañantes, particularmente *H. minckleyi*, demostrando que las nazas representan una herramienta eficiente para el control de la especie invasora con impactos limitados sobre la fauna nativa. Estos resultados evidencian que la efectividad del protocolo depende principalmente de la temporada y del horario de aplicación más que del uso de atrayentes o acondicionamiento. Los mayores rendimientos se registraron durante la temporada de otoño y en horario matutino, lo que indica que una programación estratégica de las actividades puede incrementar significativamente la eficiencia de captura sin necesidad de aumentar la inversión económica. De esta manera, el diseño de estrategias técnicas basadas en evidencia científica permite optimizar el uso de los recursos disponibles y mejorar la efectividad de las acciones de manejo independientemente del momento en que los recursos financieros sean asignados.

Entre las principales fortalezas del protocolo destaca la posibilidad de evaluar diferentes tratamientos bajo condiciones reales de campo, generando información directamente aplicable a los programas de manejo implementados en el Área Natural Protegida de Cuatrociénegas. Además, la metodología facilita la obtención de datos comparables a través del tiempo, permitiendo identificar patrones relacionados con la temporalidad, los horarios de actividad y la eficiencia de captura. La continuidad de estos registros será fundamental para detectar tendencias poblacionales, evaluar cambios en la abundancia de *H. guttatus* y determinar con mayor precisión el impacto real de las acciones de control a largo plazo. Sin embargo, también existen limitaciones importantes que deben considerarse, entre ellas la alta variabilidad natural de las capturas, la influencia de factores ambientales externos y la dependencia de recursos humanos, materiales y económicos para la implementación de las actividades. Adicionalmente, las capturas

nulas registradas en algunos eventos pueden ocasionar una subestimación de la abundancia real de la especie. Aunque la disponibilidad de recursos económicos determina la frecuencia de muestreo, el número de inmersiones y la cantidad de personal disponible, los resultados sugieren que una mayor inversión no necesariamente garantiza una mayor eficiencia de captura si las acciones no se realizan durante los periodos más favorables. Por ello, la planeación estratégica resulta tan importante como el financiamiento disponible.

VI. LITERATURA CITADA

Almaguer, A. (2022). *Especies exóticas invasoras y estrategias de manejo en ecosistemas insulares de Cuba*. Editorial Universitaria.

Almaguer, A., & Báez, M. (2016). *Manejo y control de especies exóticas invasoras en Cuba*. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

Blackburn, T. M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J. T., Duncan, R. P., Jarošík, V., Wilson, J. R. U., & Richardson, D. M. (2011). A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(7), 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.023>

Bruner, A. G., Gullison, R. E., Rice, R. E., & da Fonseca, G. A. B. (2001). Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science*, 291(5501), 125–128. <https://doi.org/10.1126/science.291.5501.125>

Carrasco, L. R., Mumford, J. D., MacLeod, A., Harwood, T., Grabenweger, G., Leach, A. W., Knight, J. D., & Baker, R. H. A. (2010). Unveiling human-assisted dispersal mechanisms in invasive alien insects: Integration of spatial stochastic simulation and phenology models. *Ecological Modelling*, 221(17), 2068–2075. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.05.011>

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2023). *Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies Prioritarias (PROREST)*. Gobierno de México.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2025a). *Objetivos de las áreas naturales protegidas*. Gobierno de México.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2025b). *Programas de manejo de las áreas naturales protegidas*. Gobierno de México.

Comisión Nacional del Agua. (2022). *Actualización de la disponibilidad de agua en el acuífero Cuatrociénegas, estado de Coahuila*. Dirección General del Organismo de Cuenca Río Bravo.

Dugan, E. A. (2014). *Environmental influences on invasion success of the jewel cichlid (Hemichromis guttatus) in Cuatro Ciénegas, Coahuila, Mexico (Doctoral dissertation)*. The University of Texas at Austin.

Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. (2025). *Fondo para Áreas Naturales Protegidas (FANP)*.

García-Lahera, J., Rodríguez, D., & Pérez, M. (2017). Estrategias de prevención y respuesta temprana para el control de especies invasoras. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 31(2), 45–58.

Gozlan, R. E., Britton, J. R., Cowx, I., & Copp, G. H. (2010). Current knowledge on non-native freshwater fish introductions. *Journal of Fish Biology*, 76(4), 751–786. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02566.x>

Harka, Á., Nyeste, K., & Antal, L. (2015). Alien fishes in thermal waters of Hungary. *Pisces Hungarici*, 9, 97–102.

Ley General de Vida Silvestre. (2018). *Diario Oficial de la Federación*. Gobierno de México.

Luna Peña, S. A. (2021). El pez cíclido joya (*Hemichromis guttatus*) en Cuatrociénegas, Coahuila: una especie exótica invasora. *Biología y Sociedad*, 4(8), 24–30. <https://doi.org/10.29105/bys4.8-10>

Luna, S. A., Montiel-Condado, D., & Mendoza-Alfaro, R. (2023). First steps toward implementing Trojan-sex chromosomal control of the invasive jewel cichlid *Hemichromis guttatus*. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51(5), 745–755. <https://doi.org/10.3856/vol51-issue5-fulltext-2987>

Margules, C. R., & Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, 405(6783), 243–253. <https://doi.org/10.1038/35012251>

McGeoch, M. A., Genovesi, P., Bellingham, P. J., Costello, M. J., McGrannachan, C., & Sheppard, A. (2016). Prioritizing species, pathways, and sites to achieve conservation targets for biological invasions. *Biological Invasions*, 18(2), 299–314. <https://doi.org/10.1007/s10530-015-1013-1>

Ortiz Acosta, S. E. (2014). *Gestión del agua y sus impactos socioambientales en el Área de Protección de Flora y Fauna Cuatro Ciénegas, Coahuila* (Tesis de maestría). El Colegio de la Frontera Norte.

Pereira, A. V., & Ziller, S. R. (2017). Assessing the risk of invasion of species in the pet trade in Brazil: A 39-question protocol scoring system. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15(4), 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.09.002>

Pyšek, P., Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L. C., Genovesi, P., Jeschke, J. M., Kühn, I., Liebhold, A. M., Mandrak, N. E., Meyerson, L. A., Pauchard, A., Pergl, J., Roy, H. E., Seebens, H., & Richardson, D. M. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95(6), 1511–1534.

Ramírez González, J. G. (2011). *Marco geológico-estratigráfico del valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León.

Ríos, H. F., & Vargas, O. (2003). Ecología de las especies invasoras. *Pérez-Arbeláezia*, 14, 119–148.

Sandoval Pulgarín, L. (2020). Patrones y procesos de invasión de plantas en los alrededores del Macizo de Iguaque (Boyacá, Colombia). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Schüttler, E., & Karez, C. S. (Eds.). (2008). Especies exóticas invasoras en las reservas de biosfera de América Latina y el Caribe: Un informe técnico para fomentar el intercambio de experiencias entre las reservas de biosfera y promover el manejo efectivo de las invasiones biológicas. UNESCO.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). Estrategia nacional sobre especies invasoras en México: Prevención, control y erradicación. Gobierno de México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2025). Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas. Gobierno de México.

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. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(1), 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013>

Vega Rodríguez, M., Pérez, L., & Hernández, R. (2016). Control y erradicación de especies exóticas invasoras: Bases para la gestión adaptativa. *Revista Latinoamericana de Conservación*, 6(1), 15–29.

Williamson, M. (1996). *Biological invasions*. Chapman &

VII. ANEXOS



Figura 16. Campamento de brigada experimentales del desierto.



Figura 17. Individuos de *H. guttatus* en resguardo para conteo.

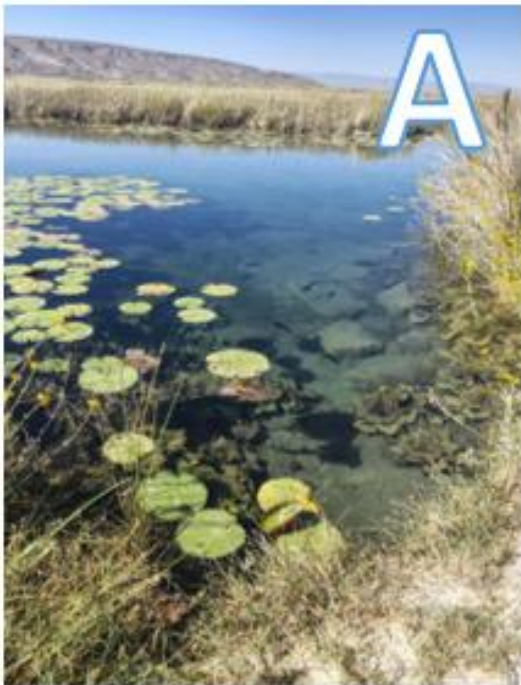


Figura 18. A) Sitio de estudio; B) Acciones de trampeo por parte de la brigada de control de exóticos invasores Cuatrociénegas; C) Ejemplar de *H. guttatus*; D) Monitoreo de nazas tras su recuperación.