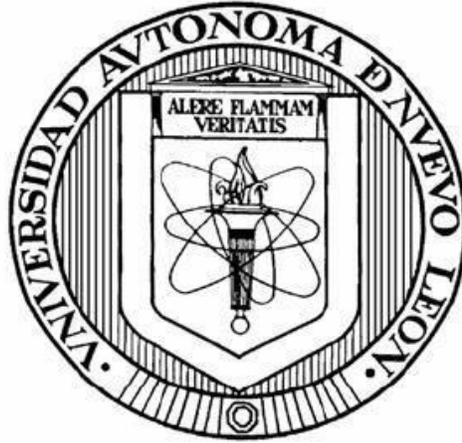


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



EVALUACIÓN POBLACIONAL Y ESTATUS DE CONSERVACIÓN DEL CACHORRITO
DE SAN IGNACIO *Cyprinodon bobmilleri* (LOZANO Y CONTRERAS, 1999) EN LA
RESERVA NATURAL BAÑO DE SAN IGNACIO, LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

POR

LESLIE SARAÍ GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CONSERVACIÓN FAUNA SILVESTRE Y SUSTENTABILIDAD

2024

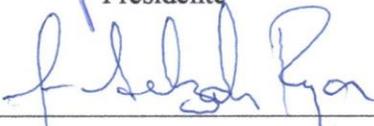
**EVALUACIÓN POBLACIONAL Y ESTATUS DE
CONSERVACIÓN DEL CACHORRITO DE SAN IGNACIO
CYPRINODON BOBMILLERI (LOZANO & CONTRERAS,
1999) EN LA RESERVA NATURAL BAÑO DE SAN
IGNACIO, LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

Comité de Tesis



Dr. Antonio Guzmán Velasco

Presidente



Dr. José Ignacio González Rojas

Secretario



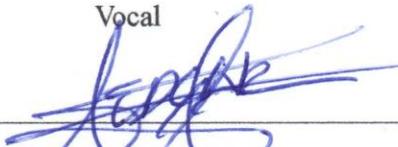
Dra. Alina Olalla Kerstupp

Vocal



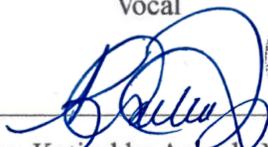
Dra. Susana Favela Lara

Vocal



Dr. Edgar Cruz Acevedo

Vocal



Dra. Katiushka Arevalo

**SUBDIRECCIÓN
DE POSGRADO**

Subdirectora de Posgrado



**EVALUACIÓN POBLACIONAL Y ESTATUS DE
CONSERVACIÓN DEL CACHORRITO DE SAN IGNACIO
CYPRINODON BOBMILLERI (LOZANO & CONTRERAS,
1999) EN LA RESERVA NATURAL BAÑO DE SAN
IGNACIO, LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.**

Dirección de Tesis



Dr. Antonio Guzmán Velasco

Director



Dra. Ana Laura Lara Rivera

Asesor Externo

DERECHOS RESERVADOS©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta Tesis está protegido, el uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material contenido que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo mencionando al autor o autores.

Este proyecto de tesis fue realizado bajo el permiso de colecta científica otorgado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) con el número de bitácora 0340/05/23 y oficio No. SGPA/DGVS/06235/23.

Este permiso permitió la colecta y manejo de especímenes necesarios para la investigación, asegurando el cumplimiento de todas las normativas legales y éticas pertinentes para la conservación de la biodiversidad.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por otorgar la beca para la realización de mis estudios de Maestría en Conservación, Fauna Silvestre y Sustentabilidad.

Al Dr. Antonio Guzmán Velasco, Jefe del Laboratorio de Biología de la Conservación y Desarrollo Sostenible y director de tesis, por su confianza y apoyo incondicional además del apoyo económico y académico para la ejecución de este proyecto. Con todo mi respeto y gratitud, gracias por todo.

Al Dr. José Ignacio González Rojas, Director de la Facultad de Ciencias Biológicas, por su gestión para facilitar la autorización de ingreso al área de estudio de esta investigación.

Al Lic. Gerardo Guidi Kawas, Director General de Baños de San Ignacio A.C, por su autorización para realizar el muestreo y monitoreo de la especie estrella de su Reserva Natural. Gracias por su confianza y apoyo incondicional en la ejecución de este proyecto, pero, sobre todo, por su labor en pro de la conservación de la biodiversidad en Nuevo León.

A la Dra. Susana Favela Lara, Coordinadora de la Maestría en Conservación, Fauna Silvestre y Sustentabilidad, por creer en mi capacidad para la obtención de este grado y su apoyo como parte del comité de tesis.

Al Centro de Resguardo Para Peces en Peligro de Extinción y a su coordinador y amigo el QBP. Joaquín Alberto Saucedo Zamora, por su gestión para la obtención de materiales, transporte y personal de campo para este proyecto. Gracias por siempre manejar el barco.

Al todos los que formaron parte del equipo de campo: Joaquín Saucedo, Ana Lara, Valeria Aguilera, Fernando Mora, Oziel Mena, Dilan García, Eduardo Hernández, Fernando Chávez, Alan Hernández, Kevin Cruz, prestadores de servicio social, prácticas profesionales y becarios. Gracias por ayudarme con el trabajo pesado, su compañía y ocurrencias siempre hicieron más ligero este trabajo.

A mi comité de tesis por todo su apoyo durante la realización de esta investigación.

A mi asesora externa la Dra. Ana Laura Lara Rivera, por su apoyo y consejos como investigadora y amiga. Por creer y darme la confianza en mi misma que tanto necesitaba.

A mi compañero de investigación Oziel Mena, por su apoyo en campo y por su aportación de información de su investigación que fue de gran relevancia para el desarrollo de este proyecto. Gracias infinitas.

DEDICATORIAS

A mis padres: José Guadalupe y Sonia Rodríguez, por ser mi soporte. Su amor, sacrificio y apoyo incondicional han sido la base sobre la que he construido todos mis logros. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A mi hermano: Gerson González que, aunque a veces nos agarremos de la greña, siempre puedo encontrar en ti a un cómplice y un mejor amigo.

A mis abuelos: Mis ángeles en el cielo, quienes con su sabiduría y cariño han dejado una huella imborrable en mi vida. Gracias por sus enseñanzas y por mostrarme el verdadero significado de la humildad y el amor incondicional.

A mi novio: Oziel Mena, cuya paciencia, amor y comprensión han sido fundamentales en este viaje. Gracias por tu apoyo inquebrantable y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Tu amor me ha dado la fuerza para seguir adelante.

A mis amigos y compañeros: por su amistad sincera y por los momentos inolvidables que hemos compartido. Gracias por su apoyo, por las risas y por estar siempre ahí, recordándome la importancia de disfrutar el camino.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
Generalidades	3
Taxonomía	4
Morfología	4
Dimorfismo sexual	4
Coloración periodo reproductivo	5
Hábitat de <i>Cyprinodon bobmilleri</i>	6
Área de Estudio	6
Clima	6
Características fisicoquímicas del agua	7
Suelos	7
Caracterización y Monitoreo Biológico	7
Riesgo de extinción	8
Categorías de riesgo de extinción	9
Método de Evaluación de riesgo de Extinción de Especies Silvestres en México	10
JUSTIFICACIÓN	12
HIPÓTESIS	13
OBJETIVOS	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos	14
MATERIAL Y MÉTODOS	15
Área de Estudio	15
Muestreo de Población	18
Caracterización del hábitat	18
Evaluación de Riesgo de Extinción	19
Análisis estadístico	19
RESULTADOS	21
Evaluación Poblacional	21
Hábitat	25
Suelo	25

<i>Características Fisicoquímicas</i>	26
<i>Vegetación</i>	26
<i>Comunidad Ictiológica</i>	26
Evaluación de Riesgo de Extinción de Especies Silvestres	28
Criterios del MER.....	28
A. Amplitud de la distribución del taxón en México	28
B. Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón.....	28
C. Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón.....	28
D. Impacto de la actividad humana sobre el taxón	29
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	30
PERSPECTIVAS	34
BIBLIOGRAFÍA	35
RESUMEN BIOGRÁFICO	39

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de <i>Cyprinodon bobmilleri</i>	4
Tabla 2. Resultados de los parámetros estimados por el modelo de Jolly-Saber y los valores de ajuste del modelo de acuerdo con los resultados.	24
Tabla 3. Valor de parámetros del modelo de comparación N-mixture.	24
Tabla 4. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los sitios de muestreo.	26

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Especímenes de <i>Cyprinodon bobmilleri</i> de Baños de San Ignacio, Nuevo León, México (Lozano y Contreras, 1999). A) adulto macho, B) adulto hembra.....	5
Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio " ANP Baño de San Ignacio, Nuevo León, México.....	15
Figura 3. Poza Turquesa, Reserva Natural Baños de San Ignacio.	16
Figura 4. Poza Cachorrito, Reserva Natural Baños de San Ignacio.....	17
Figura 5. Poza La Palma, Reserva Natural Baños de San Ignacio.....	17
Figura 6. Distribución de individuos colectados por grupo taxonómico.	21
Figura 7. Número de individuos de <i>C. bobmilleri</i> por cohorte de edad.....	22
Figura 8. Número de individuos de <i>Cyprinodon bobmilleri</i> según el sexo.	22
Figura 9. Curva de Wittaker donde se muestran las especies de la más a la menos capturada durante el estudio.....	23
Figura 11. Vegetación representativa de los sitios.	26
Figura 12. Comunidad de peces de Baño de San Ignacio. A) <i>Cyprinodon bobmilleri</i> , B y C) Poecilidos, D) Cíclido (cf <i>Mayaheros urophthalmus</i>).....	27

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

AIC: Aikaike Information Criterion.

CJS: Cormack-Jolly Seber.

JS: Jolly-Seber.

MER: Método de Evaluación de Riesgo de Especies Silvestres en México.

NOM: Norma Oficial Mexicana

ppt: partes por trillón.

RESUMEN

El Cachorrillo de San Ignacio (*Cyprinodon bobmilleri*) es un pez microendémico del manantial hidrotermal Baño de San Ignacio en Linares, Nuevo León. El conocimiento sobre los aspectos biológicos del Cachorrillo de San Ignacio es limitado, incluyendo sus características poblacionales, de los cuales no existe registro. El objetivo de este estudio fue determinar el tamaño y estructura poblacional del Cachorrillo de San Ignacio, además de describir las características de su hábitat y realizar un análisis de su estado de conservación por medio de los criterios utilizados por el Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Especies Silvestres en México. Se realizaron 8 muestreos entre Julio 2023 y abril 2024, considerando abarcar todas las estaciones climáticas. Se obtuvieron 751 registros de la especie entre los que se consideran adultos, juveniles y crías. La estructura mostró predominancia de los individuos de edad adulta (45.93 %) con una proporción de 1.6 hembras por cada macho. La especie presenta una densidad de 0.30 individuos por metro cuadrado y una abundancia relativa de 23.70 % respecto a los otros cuatro taxones identificados en el sitio. El tamaño de la población estimada, considerando la población efectiva reproductiva asciende a 935.36 individuos, por lo que se considera que es una población poco estable por el bajo número de individuos y la proporción de juveniles (23.03 %) en la población. Considerando las características poblacionales, la distribución altamente restringida, su vulnerabilidad biológica y el impacto de la actividad humana sobre la explotación del hábitat y la introducción de especies exóticas que afectan directamente a la población, se considera que el cachorrillo de San Ignacio debe considerarse en la categoría de riesgo: En Peligro de Extinción. Estos resultados proporcionan datos suficientes para proponer su cambio de categoría de riesgo en la NOM-059-SEMARNAT y sirven como línea base para la implementación de estrategias de conservación y manejo de la especie y el hábitat, considerando aquellos aspectos que tienen incidencia directa sobre la población de *Cyprinodon bobmilleri*.

ABSTRACT

The San Ignacio Pupfish (*Cyprinodon bobmilleri*) is a microendemic fish of the Baño de San Ignacio hydrothermal spring in Linares, Nuevo León. Knowledge about the biological aspects of the San Ignacio Pupfish is limited, including its population characteristics, for which there are no records. The objective of this study was to determine the population size and structure of the San Ignacio Pupfish, as well as to describe the characteristics of its habitat and perform an analysis of its conservation status using the criteria of the Risk Assessment Method for Wild Species Extinction in Mexico. Eight samplings were conducted between July 2023 and April 2024, covering all climatic seasons. A total of 751 records of the species were obtained, including adults, juveniles, and fry. The structure showed a predominance of adult individuals (45.93%) with a ratio of 1.6 females for every male. The species has a density of 0.30 individuals per square meter and a relative abundance of 23.70% compared to the other four taxa identified at the site. The estimated population size, considering the effective reproductive population, is 935.36 individuals, indicating an unstable population due to the low number of individuals and the proportion of juveniles (23.03%) in the population. Considering the population characteristics, the highly restricted distribution, its biological vulnerability, and the impact of human activities on habitat exploitation and the introduction of exotic species that directly affect the population, it is considered that the San Ignacio Pupfish should be categorized as Endangered. These results provide sufficient data to propose changing its risk category in NOM-059-SEMARNAT and serve as a baseline for the implementation of conservation and management strategies for the species and its habitat, considering aspects that have a direct impact on the population of *Cyprinodon bobmilleri*.

INTRODUCCIÓN

Los peces son los vertebrados de mayor abundancia y riqueza del planeta. Particularmente México, que es un país reconocido por su alta biodiversidad, cuenta con aproximadamente 2,763 especies marinas y de agua dulce registradas, albergando una diversidad de peces tan vasta como fascinante, con un total de 505 especies dulceacuícolas (Espinoza, 2014). El Orden de los Cyprinodontiformes cuenta con el mayor número de especies dulceacuícolas en el territorio nacional, sin embargo, cerca del 40% de estas (75 especies) se encuentran en una categoría de riesgo.

Los Cyprinodontiformes representan una parte significativa de la biodiversidad ictiológica de México y están expuestas a una serie de amenazas como la introducción de especies exóticas invasoras, cambios en la temperatura y fisicoquímica del agua (Lyons et al. 2020). Además, el riesgo de la población puede ser causado por cuestiones naturales como el tamaño de la población, la talla corporal de los individuos, las relaciones con otras especies y una distribución geográfica restringida y el impacto que las actividades humanas tienen sobre los ecosistemas, especies y genes, que derivan de los factores de la pérdida de la biodiversidad y en algunos casos los desastres naturales exacerbados por el cambio climático (Collen et al. 2014).

Ante este panorama, es crucial implementar planes de manejo y políticas públicas para la conservación de la biodiversidad (Alfonsín y Bucetto, 2019). El uso de instrumentos legales y reglamentarios, como la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2019), es fundamental. Esta norma, mediante el Método de Evaluación de Riesgo, proporciona información clave sobre el estado del hábitat de la especie, su vulnerabilidad biológica intrínseca y el impacto de las actividades humanas. Unifica los criterios para asignar categorías de riesgo, estableciendo un marco para la protección, conservación y uso sostenible de las especies silvestres. Sin embargo, se requiere un esfuerzo adicional para asegurar la supervivencia a largo plazo de estas especies (Mar et al. 2020).

Un ejemplo de ello es la especie *Cyprinodon bobmilleri*, conocida como el cachorrito de San Ignacio, que sólo se encuentra en el manantial termal y salino Baños de San Ignacio, en Nuevo León y que, al presentar una distribución altamente restringida, se encuentra catalogada como amenazada por la NOM-059 (DOF, 2019; Mar et al. 2020). Sin embargo,

su densidad, tamaño y dinámica poblacional es desconocida hoy en día, por lo que el estudio de esta es altamente importante ya que podría ser considerada como especie bandera para fomentar la conservación de especies en el estado.

La necesidad de este estudio se hace evidente al considerar la importancia de la biodiversidad para el equilibrio ecológico y la supervivencia de las especies. La pérdida de la biodiversidad no sólo amenaza la supervivencia de las especies individuales, sino también la salud y el funcionamiento de los ecosistemas en su conjunto (Mar et al. 2020). A través de este enfoque se espera identificar las amenazas actuales de esta especie y proporcionar recomendaciones para su conservación futura y contribuir en la preservación de la gran diversidad ictiológica de México.

ANTECEDENTES

Generalidades

Los cachorritos, de la familia Cyprinodontidae, son un grupo de peces pequeños (por lo general menores de 100 mm), los cuales habitan en aguas costeras marinas, salobres y dulces.). Se distinguen por ser de reproducción ovípara. Presentan el proceso ventral de su hueso ángulo-articular reducido y carecen de un canal abierto del sistema acústico-lateral en su superficie lateral. También tienen órganos de contacto en las aletas dorsal y anal y costados del cuerpo (Miller, 2009).

Del género *Cyprinodon*, existen trece especies nativas del norte de México y sur de Estados Unidos, la mayoría de las cuales habitan regiones desérticas. Las especies de esta zona, en su mayoría, poseen un origen filogenético reciente y pueden haber tenido un ancestro común en unos pocos peces ciprinodóntidos que migraron de Eurasia durante el Mioceno (Alfonsi et al. 2003).

La mayoría de las especies de *Cyprinodon* existentes tienen una distribución alópatrica endémica, en cuerpos de agua de poca extensión, corrientes individuales o manantiales aislados (Echelle et al. 2005).

Los miembros de este género han sido extensivamente estudiados en ensayos de laboratorio para detectar niveles de toxicidad producida por diversas fuentes, como control biológico para las larvas de mosquitos, tolerancias térmicas y salinas, comportamiento territorialista asociado a la reproducción, primero para defender el área de apareamiento y desove y posteriormente en la protección de los huevos (Miller, 2009).

Cyprinodon bobmilleri es una especie endémica del manantial termal y salino Baño de San Ignacio, Nuevo León, México de la cuenca del Río San Fernando. Su pariente probable más cercano es el costero y de distribución amplia *C. variegatus* Lacépède (1803). Las dos especies son similares en merística, forma general y coloración.

Taxonomía

Tabla 1. Clasificación taxonómica de *Cyprinodon bobmilleri*.

Reino	Animalia
Filo	Chordata
Clase	Actinopterygii
Orden	Cyprinodontiformes
Familia	Cyprinodontidae
Género	<i>Cyprinodon</i>
Especie	<i>C. bobmilleri</i> (Lozano-Vilano y Contreras-Balderas, 1999)

Morfología

C. bobmilleri es un pez de cuerpo rómbico, tiene un rostro agudo y boca ligeramente superior. Sus aletas pectorales son depresas y alcanzan hasta debajo de la línea media de la base dorsal y cubren la mayor parte de la longitud de las pélvicas. Los costados presentan un notable punteado, oscurecido en machos maduros. Las hembras tienen una dorsal con un ocelo obsoleto, también presenta de tres a cuatro lunares oscuros en dos hileras (Figura 1) (Lozano y Contreras, 1999).

Su estructura radial en las aletas se compone de la siguiente manera: dorsal 11-12 [12]; anal 11-12 [12]; pectorales 14-17 [15]; pélvico 6-7 [7]; caudal 12-15 [14]. Escalas: serie lateral 23-25 [25]; dorsal a anal 10-12 [11]; dorsal a pélvica 11-13 [12]; predorsal 14-16 [14]; alrededor del pedúnculo caudal 15-16 [16]; agallas 18-24 [21]; poros mandibulares (n = 20) 2 [2] (Lozano y Contreras, 1999).

Dimorfismo sexual

Los machos adultos presentan cuerpo en forma de diamante más agudo que las hembras (Figura 1). Su aleta dorsal se encuentra insertada ligeramente detrás de la joroba, sobre la inserción de las aletas pélvicas, terminando antes de la aleta anal apenas alcanzando el pedúnculo caudal. La aleta anal se encuentra insertada posterior a la base de la aleta dorsal y se observa de forma deprimida, alcanzando el tercio posterior del pedúnculo caudal. Aletas pectorales insertadas en la parte baja del cuerpo, de forma redondeada y ubicadas detrás de la inserción de las aletas pélvicas, cubriendo más de dos tercios de las aletas. Las pélvicas se encuentran reducidas llegando a la zona anal. Sus dimensiones de acuerdo con

la longitud estándar son: longitud dorsal deprimida 2,9-3,4; longitud predorsal 1,7-1,9; base de la aleta postdorsal a base de la aleta postanal 3.6-4.3. En LH: base de la aleta anal 2.6-3.1; longitud de la aleta pectoral 1.2-1.4; pedúnculo caudal, profundidad 1.6-1.9. (Lozano y Contreras, 1999).

Las hembras adultas tienen el cuerpo más regordete con aletas cortas (Figura 1), las pectorales llegan al origen pélvico, la anal se extiende hasta la mitad del pedúnculo caudal y tiene forma angular no puntiaguda y las aletas pélvicas apenas llegan a la zona anal. Sus proporciones en longitud estándar son: longitud dorsal deprimida 3.3-3.7; longitud predorsal 1,6-1,7; base de la aleta postdorsal a la base de la aleta postanal 4.1-5.0. (Lozano y Contreras, 1999).

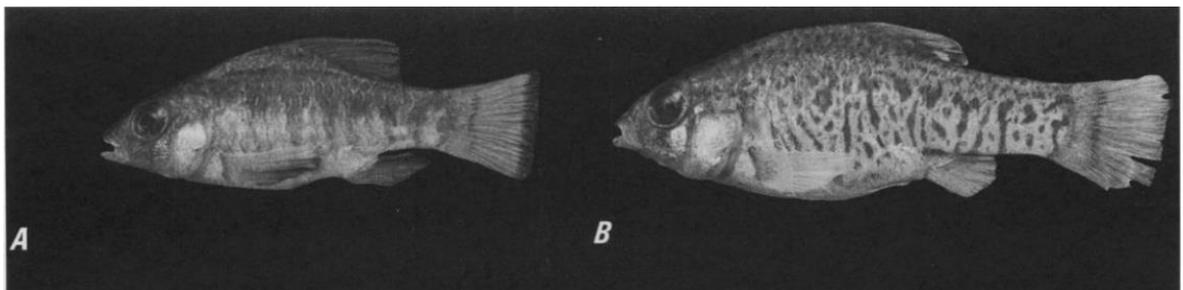


Figura 1. Especímenes de *Cyprinodon bobmilleri* de Baños de San Ignacio, Nuevo León, México (Lozano y Contreras, 1999). A) adulto macho, B) adulta hembra.

Coloración periodo reproductivo

Los machos nupciales vivos son generalmente de color negro, al menos en todas las aletas, de acuerdo con su estadio presentan el pecho amarillo, cabeza y cuerpo plateados, costados con 1 a 6 líneas marrones cortas que se unen generando formaciones en T o Y alternando entre bandas anchas y estrechas (Lozano y Contreras, 1999).

En las hembras, las bandas laterales son generalmente 6 y suelen ser muy cortas, extendiéndose desde la parte superior hacia los lados inferiores como bandas muy angostas o rotas en numerosas manchas irregulares raramente verticales. En el área superior a las bandas laterales se encuentra un área con pequeñas motas. Aleta dorsal negruzca, con melanóforos dispuestos en dos filas paralelas de 3-4 puntos cada uno, uno encima de la base y uno antes del borde distal. La aleta caudal presenta una barra oscura angosta y difusa distal a la base (Lozano y Contreras, 1999).

Hábitat de *Cyprinodon bobmilleri*

El manantial Baño de San Ignacio muestra corrientes lentas; el agua es clara y fácil de enturbiar. El fondo es lodo, burbujeante con olorosos gases, y desprovista de vegetación, con excepción de algunas algas. Las paredes son en su mayoría de travertino o barro endurecido, aunque algunas áreas en la salida tienen estromatolitos (Lozano y Contreras, 1999).

Área de Estudio

Este manantial se estableció oficialmente como zona sujeta a conservación ecológica el 24 de noviembre de 2000 por el Gobierno del Estado de Nuevo León y como sitio RAMSAR el 02 de febrero del 209 (RAMSAR, 2009). Comprende 4225.4 ha, que incluye un manantial de aguas sulfurosas. Este se encuentra enclavado en un pantano de aproximadamente 450 ha, cuyas condiciones de alta humedad en el suelo, permiten la presencia de un pastizal natural. Asimismo, en los márgenes meridionales del pantano, se desarrolla una comunidad de matorral espinoso tamaulipeco en buen estado de conservación (RAMSAR, 2009; Benítez, 1997).

Desde el punto de vista socioeconómico, la región presenta una fuerte presión antropogénica sobre los recursos naturales, a través del uso de las áreas de matorral que realizan los lugareños, sobre todo los ejidatarios, se ven forzados a extraer leña y madera para construcciones rurales debido a la baja producción agropecuaria que obtienen de los agostaderos y áreas de cultivo temporal (RAMSAR, 2009).

La región del Baño de San Ignacio se ubica geológicamente en la provincia de la Plataforma de Tamaulipas. El plegamiento que se ha dado en esta zona, además de doblar las rocas, fracturó las lutitas quebradizas formando así juntas (fracturas sin movimiento en sus lados) y fallas (fracturas con movimientos en sus lados), las cuales están comunicadas con las profundidades permitiendo así el ingreso y transmisión de agua subterránea (Anderson, 1985; Schildknecht y Werner, 1992).

Clima

El clima que predomina en la región es del tipo BS1(h) hw"(e) según la clasificación climática de Köppen, modificada por García (1965). La precipitación promedio anual es de 657 mm, presentándose de manera torrencial e irregular. Septiembre es el mes más

lluvioso y enero el más seco, presentándose un período de sequía de 6 a 7 meses de duración. La temperatura media anual es de 19.3°C, con una variación de 15.9 °C, desde 10.5 °C en enero hasta 25.9°C en julio. Asimismo, se presentan heladas en un rango de 0 a 20 días al año y 0 a 2 días con granizadas (RAMSAR, 2009).

Características fisicoquímicas del agua

El agua de los manantiales termales del ANP-BSI (Campo Curricán y Campo Gallo) contiene sólidos disueltos en una concentración cercana a 5 g/L y muestran una temperatura de 37°C (Barbarín y Hubberten, 1988). Si no hay mezclado con aguas frías y ya que no existe un foco volcánico reciente, la profundidad del acuífero termal se calcula, a partir de la temperatura y de un gradiente térmico normal, como de 500 m aproximadamente. Posiblemente este acuífero profundo corresponde con las calizas masivas de la Formación Tamaulipas (Cretácico Inferior). El agua de los manantiales, termales y fríos, se acumula en un derrame de esta cuenca pantanosa saliendo al Oeste y desembocando en el arroyo "El Anegado" (RAMSAR, 2009). La temperatura fue de 34 a 37 °C (Anderson, 1984) y la salinidad fue de 16 ppt a principios de la década de 1980 (Lozano y Contreras, 1999).

Suelos

Los suelos que predominan en el área son los Vertisoles, Regosoles y Gleysoles; encontrándose, además, en forma menos conspicua Castañozems y Chernozems (RAMSAR, 2009).

Caracterización y Monitoreo Biológico

La caracterización biológica comprende todas las actividades asociadas con la identificación, descripción cuantitativa y cualitativa, y documentación de las poblaciones de la raza y su hábitat natural. El monitoreo de la biodiversidad es fundamental para la generación de información que ayude a la toma de decisiones y creación de políticas basado en datos y hechos científicos. La caracterización biológica permitirá tener un marco de referencia para análisis posteriores y observar la fluctuación de los componentes ecológicos (Domínguez et al. 2008; Lyons et al. 2019; Mar et al. 2020).

Varela et al (1998) con la finalidad de conocer la situación del pez cachorrito del desierto *Cyprinodon macularius*, realizó una serie de muestreos bimensuales en localidades donde

se registró la presencia de la especie. Muestrearon con chinchorros playeros y trampas. Realizaron una evaluación fisicoquímica del hábitat donde midieron la temperatura, oxígeno disuelto, potencial de iones hidrógeno (pH), salinidad y profundidad. Concluyeron que la distribución del pez está confinada a cuatro localidades, una en Baja California (estanques de aguas residuales de Cerro Prieto) y otras de Sonora (zonas de inundación adyacentes al canal Welton-Mohawk, ciénegas El Doctor y Ciénega de Santa Clara frente al Ejido La Flora del Desierto). Se registró una amplia fluctuación espaciotemporal en la distribución y abundancia de las poblaciones de *C. macularius* en el área de estudio, que concordó con las tendencias registradas en estudios previos. El hábitat de distribución y permanencia de las poblaciones del pez cachorrito del desierto está condicionado y actualmente restringido por la periodicidad y el volumen de los flujos de agua vertidos hacia la porción mexicana de la cuenca.

Riesgo de extinción

La disminución de la biodiversidad es un fenómeno preocupante que, lamentablemente, ha experimentado un crecimiento tanto en México como a nivel global en las últimas dos décadas. Gran parte de la biodiversidad que necesitamos preservar se encuentra en los países en desarrollo, donde la conservación no es necesariamente una prioridad. El crecimiento de la población, junto con las características geográficas y climáticas del noreste de México, ha tenido un gran impacto ambiental, especialmente en los organismos que dependen directamente del agua, un recurso limitado en esta región. En cuanto a los peces, el uso excesivo de los cuerpos de agua, la desecación, la reducción del espacio debido a los cambios de uso del suelo, entre otros factores, han provocado un rápido aumento en el número de especies de peces de agua dulce consideradas en alguna categoría de riesgo (Torres y Pérez, 2011). En 1963, se conocían 11 especies en peligro de extinción y siete extintas, cifra que después de 40 años aumentó a 83 en peligro y 25 extintas (Contreras et al. 2003). Esta situación se ha agravado en los últimos 20 años, colocando a México entre los países con mayor número de especies de peces de agua dulce en peligro de extinción en el mundo. En México, la distribución limitada contribuye en gran medida a la vulnerabilidad de extinción. Recordemos que México ha descrito 505 especies de peces de agua dulce, de las cuales 208 tienen áreas de distribución menores a 1,000 kilómetros cuadrados, ya sea de forma natural o como resultado de las actividades

humanas. De estas, el 50% son endémicas de México y 104 están en peligro de extinción (Torres y Pérez, 2011).

Las especies de *Cyprinodon* son altamente vulnerables debido a factores intrínsecos y extrínsecos que, en combinación aumentan el riesgo de extinción de este grupo. La limitación y especificidad de hábitat a cuerpos de agua como manantiales, lagos pequeños o zonas hipersalinas y su alteración por factores antropogénicos o climáticos, pueden tener un impacto directo en sus poblaciones. Además, el aislamiento geográfico y el tamaño de sus poblaciones generalmente pequeñas hacen a los *Cyprinodon* más susceptibles ante eventos estocásticos y a la pérdida de su diversidad genética, lo que reduce ampliamente su capacidad de adaptación ante amenazas y condiciones cambiantes (Horstkotte y Strecker, 2005).

Categorías de riesgo de extinción

La NOM-059 es un instrumento legal y administrativo que identifica a nivel nacional a las especies silvestres en riesgo de extinción, por lo que su implementación es esencial (Sánchez et al. 2013). Sus categorías son:

1. Probablemente extinta en el medio silvestre (E). “Aquella especie nativa de México cuyos ejemplares en vida libre dentro del territorio nacional han desaparecido, hasta donde la documentación y los estudios realizados lo prueban, y de la cual se conoce la existencia de ejemplares vivos, en confinamiento o fuera del territorio mexicano” (Tambutti et al. 2001; DOF, 2010).
2. En peligro de extinción (P): “Aquellas especies cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones en el territorio nacional han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural, debido a factores como la modificación o destrucción drástica del hábitat, aprovechamiento no sustentable, enfermedades o depredación entre otros (Tambutti et al. 2001; DOF, 2010).
3. Amenazadas (A): “Aquellas especies, o poblaciones de estas, que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazos, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o

modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones (Tambutti et al. 2001; DOF, 2010).

4. Sujeta a protección especial (Pr): “Aquellas especies o poblaciones que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas (Tambutti et al. 2001; DOF, 2010).

Para evaluar el riesgo de extinción de una especie es necesario considerar mínimamente la distribución, características del hábitat y características biológicas que puedan aumentar su fragilidad ante eventos de disturbio e impacto del quehacer antrópico sobre las poblaciones (Tambutti et al. 2001; DOF, 2010).

Método de Evaluación de riesgo de Extinción de Especies Silvestres en México

El “Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Especies Silvestres en México.” (MER) es un instrumento utilizado exclusivamente en México para documentar de manera simple los factores que impactan a un taxón dentro del país. Estos factores son reconocidos por su capacidad para aumentar la tendencia o vulnerabilidad hacia la extinción. El MER se compone de cuatro criterios, tres de los cuales se enfocan en la biología e historia natural de una especie o subespecie, y el cuarto se centra en la interacción con los humanos (DOF, 2010).

Estos criterios emplean una escala de tres a cuatro valores que representan niveles crecientes de riesgo de extinción. Estos criterios son independientes entre sí, de manera que tiene una correlación directa con el grado acumulativo de riesgo de extinción al sumar los puntajes obtenidos. A continuación, se presentan estos criterios:

A. Amplitud de la distribución del taxón en México

Muy restringida = 4

Restringida = 3

Medianamente restringida o amplia = 2

Ampliamente distribuida o muy amplia = 1

B. Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón

Hostil o muy limitante = 3

Intermedio o limitante = 2

Propicio o poco limitante = 1

C. Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón

Vulnerabilidad amplia = 3

Vulnerabilidad media = 2

Vulnerabilidad baja = 1

D. Impacto de la actividad humana sobre el taxón

Alto impacto = 4

Impacto medio = 3

Bajo Impacto = 2

Una vez que se aplican los criterios del MER, se suman los puntos obtenidos en cada uno de estos criterios. Esta suma se utiliza para determinar el riesgo de extinción, basándose en los intervalos predefinidos para asignar la categoría de riesgo correspondiente. Un taxón con una suma de puntos entre 12 y 14 se clasifica como en “Peligro de Extinción” (Pr), mientras que un taxón con una suma de puntos entre 10 y 11 se clasifica como “Amenazado” (A) (Tambutti et al. 2001).

JUSTIFICACIÓN

Las especies endémicas, como *Cyprinodon bobmilleri*, desempeñan un papel crucial en nuestros ecosistemas, sirviendo como indicadores de condiciones potencialmente dañinas. Su alta sensibilidad a las alteraciones en su hábitat puede alertarnos sobre cambios que podrían tener graves consecuencias para la vida humana. Sin embargo, a pesar de su importancia, existe un vacío significativo en la información científica disponible sobre el estatus poblacional de esta especie. Este vacío de conocimiento sobre la ictiofauna mexicana limita nuestra capacidad para tomar decisiones informadas sobre la conservación y manejo de *C. bobmilleri* y otros peces dulceacuícolas en México. Al realizar una evaluación de la población y su hábitat, podemos obtener una mejor comprensión de su estado actual y los riesgos que enfrenta.

Dada la extinción de otras especies del género *Cyprinodon* bajo condiciones de distribución restringida y presiones antropogénicas similares, la importancia de este trabajo radica en la generación de información para prevenir la extinción de un pez endémico de Nuevo León y sentar un precedente importante para la conservación de otras especies de peces dulceacuícolas en el noreste de México.

HIPÓTESIS

La determinación de los parámetros poblacionales y la aplicación de los criterios del MER permitirá determinar los parámetros poblacionales y la categoría de riesgo de extinción actual de la población de *Cyprinodon bobmilleri* de la localidad Baños de San Ignacio, Nuevo León, México.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar de manera integral el estado de conservación de *Cyprinodon bobmilleri*, incluyendo la determinación de parámetros poblacionales, la composición del hábitat y un análisis de su riesgo de extinción.

Objetivos Específicos

1. Determinar los parámetros poblacionales de *C. bobmilleri* (densidad, abundancia, estructura por edad y sexo), por medio del método de marcaje-recaptura.
2. Evaluar la composición del hábitat de *C. bobmilleri* incluyendo suelo, vegetación y parámetros fisicoquímicos del agua.
3. Evaluar la categoría de riesgo de extinción de *C. bobmilleri* de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, aplicando los criterios del Método de Evaluación de Riesgo de Extinción de Especies Silvestres en México (MER).

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de Estudio

La Reserva Natural Baños de San Ignacio (ANP-BSI) está ubicada en la ciudad de Linares, Nuevo León, en las montañas a 21 kilómetros al este del municipio de Linares (Figura 2). De acuerdo con las características geomorfológicas, el ecosistema se divide en 5 unidades ecológicas menores: pastizal natural inundable, pastizal natural no inundable, bosque espinoso, matorral medio subinmerme y la zona agrícola (RAMSAR, 2009).

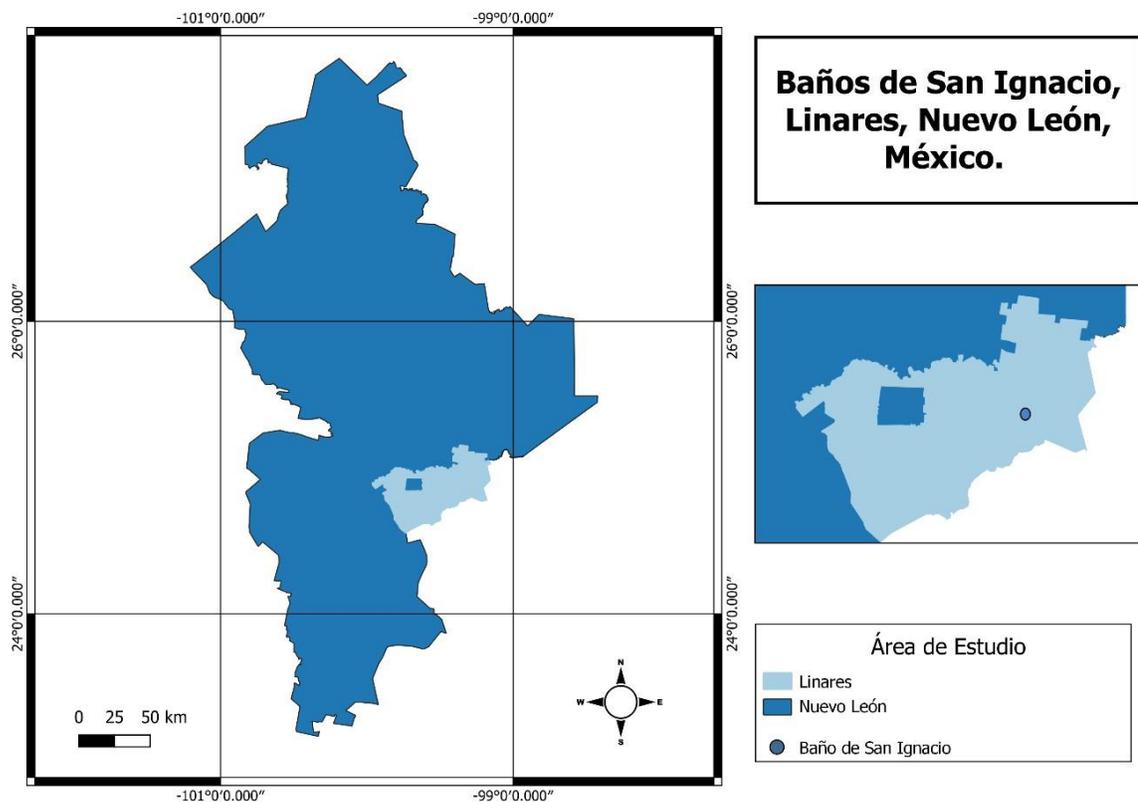


Figura 2. Mapa de ubicación del área de estudio " ANP Baño de San Ignacio, Nuevo León, México.

El área se encuentra dentro de la provincia geográfica natural de la Llanura Costera del Golfo. La provincia rodea el límite geográfico de las Sierras de San Carlos y los ríos Tamaulipas. La cuenca está ubicada en el antiguo valle del río Pablillo, que es un valle somero de 3 a 4 km de ancho y orientado de oeste a este.

La cuenca del ANP-BSI contiene un respiradero hidrotermal tipo laguna (Poza Turquesa) con temperaturas que van desde los 34,5°C hasta los 37°C (Anderson, 1984).

Esta zona tiene un área de unos 2500 m² con una profundidad máxima de 7,5 m y tiene forma de tronco de cono invertido con base y lados fuertemente inclinados (Figura 3) (RAMSAR, 2009).



Figura 3. Poza Turquesa, Reserva Natural Baños de San Ignacio.

Su fondo, está formado por limo y carbonato en suspensión bajo la presión del agua que sale del poro. Falso fondo, bordes de limo y carbonato de calcio de baja viscosidad en un ángulo que se desliza fácilmente al tacto (RAMSAR, 2009).

En la primera evaluación del sitio se detectaron otras dos pozas donde habita *C. bobmilleri*, la Poza Cachorrillo (Figura 4), sitio adyacente a Poza Turquesa y Poza La Palma (Figura 5), ubicada aproximadamente a 800 metros al noroeste de la Poza Turquesa.



Figura 4. Poza Cachorrito, Reserva Natural Baños de San Ignacio.



Figura 5. Poza La Palma, Reserva Natural Baños de San Ignacio.

Muestreo de Población

El muestreo se realizó de forma mensual de julio de 2023 a abril del 2024. La captura de los ejemplares se realizó mediante el establecimiento de puntos de muestreo (10 Poza Turquesa, 2 en Poza Cachorrillo y 4 en Poza La Palma) en los sitios con mayor representatividad de hábitat asociado a *C. bobmilleri* (Lozano y Contreras, 1999). Se utilizaron trampas tipo “Minnow” con cebo (Varela et al. 1998) y se instalaron de acuerdo con el cauce natural del manantial. Las trampas fueron sumergidas y sujetadas al borde en donde se registró la profundidad del área. Una vez colocadas, fueron monitoreadas cada hora, repitiendo el procedimiento en 5 ocasiones, para recolectar y procesar los ejemplares capturados.

Los individuos capturados fueron extraídos y colocados en recipientes de 20 L con agua de la zona de extracción. Se utilizaron 3 acuarios de 5 litros para sumergir los ejemplares en una solución de anestésico natural a base de aceite de clavo en concentraciones de 5, 8 y 13 $\mu\text{L/L}$ (Vázquez et al. 2013). Al entrar a la fase 2 de anestesia (sedación profunda) los ejemplares fueron extraídos para su marcaje mediante el etiquetado por inyección con el implante de elastómero visible, en la base de la aleta dorsal (Hohn y Petrie, 2013). El marcaje fue aplicado a la población efectiva reproductiva (adultos) y el resto de los ejemplares (juveniles y crías) fueron contabilizados y liberados. Los individuos marcados se colocaron en otro acuario con agua del sitio para la recuperación de los ejemplares y su posterior liberación.

La metodología de marcaje recaptura fue replicada de la misma forma en cada visita. Por ocasión única 8 de los ejemplares adultos extraídos se fijaron en alcohol al 70% para su identificación taxonómica en laboratorio de acuerdo con Miller et al (2009).

Caracterización del hábitat

La caracterización del hábitat se realizó mediante un estudio del sitio que incluyó un análisis de las características fisicoquímicas del manantial tales como la temperatura del agua, pH, niveles de oxígeno disuelto y la salinidad., así como también la identificación de la vegetación que rodea el manantial. Se analizaron las variaciones espaciales y

temporales para determinar cualquier cambio en el hábitat a lo largo del tiempo, analizando los cambios en la química del agua y la vegetación.

Evaluación de Riesgo de Extinción

Mediante una recopilación de información preexistente y lo obtenido de la presente investigación sobre la distribución geográfica, el tamaño y las tendencias de la población, el hábitat, la ecología, el comportamiento y cualquier amenaza conocida para la especie., se aplicó el ME basado en los criterios establecidos en la NOM-059-SEMARNAT-2010.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos mediante la aplicación del método de marcaje-recaptura y parámetros fisicoquímicos fueron sometidos a análisis de estadística descriptiva (media aritmética, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación, mediana y moda). Asimismo, se analizaron los datos obtenidos por el método de captura recaptura mediante el modelo de Jolly-Seber (JS), extensión del modelo Cormack-Jolly-Seber (CJS) para poblaciones abiertas, que se basa en el análisis de individuos que son capturados, marcados y recapturados en diferentes ocasiones de captura (Pozo, 2018).

Este modelo estima dos parámetros principales que son: Phi y p y los componentes adicionales.

- Phi (Φ): La probabilidad de supervivencia entre dos ocasiones de muestreo consecutivas, lo que representa la proporción de individuos que sobreviven desde la ocasión t hasta la ocasión $t + 1$.

$$\phi = \frac{M_{t+1}}{M_t}$$

- p: La probabilidad de recaptura en una ocasión de muestreo determinada, lo que representa la proporción de individuos que están presentes en la población y que son recapturados en la ocasión t.

$$p^{\wedge} = \frac{m_t}{M_t}$$

- Entrada (p_{ent} , B): La cantidad de nuevos individuos que ingresan a la población entre dos periodos de muestreo.

$$B_t = n_t - m_t + \sum_{i=1}^{t-1} - (n_i - m_i)(1 - p^i)$$

- Tamaño de la Población (N): El tamaño total de la población en cada periodo de muestreo. Donde C_t es el número de individuos capturados en el tiempo t .

$$N^{\wedge} = \frac{C_t}{p^{\wedge}}$$

Este análisis fue realizado mediante el lenguaje de programación R (R Core Team, 2023) en el entorno de desarrollo Rstudio (RStudio Team, 2023), por medio de los paquetes dplyr (Wickham et al. 2023) para la manipulación de datos y RMark (Laake, 2013) que es ampliamente utilizado en ecología para el análisis de datos de captura-recaptura, así como otros estudios de marcaje y recaptura. El análisis del tamaño poblacional también se realizará aplicando un modelo multiestrato más complejo (N-mixture) para realizar la comparación y verificar el ajuste del modelo por el criterio de Aikaike (AIC) y bondad del ajuste (Pozo, 2018).

RESULTADOS

Evaluación Poblacional

La captura total de peces fue de 3,168 individuos, de los cuales 751 corresponden a la especie en estudio *Cyprinodon bobmilleri*, el resto de los individuos se distribuyen en otros 4 taxones no incluidos en este estudio (Figura 6). De los 8 muestreos realizados de julio 2023 a abril 2024, el mayor número de individuos capturados fue en el mes de marzo 2024 con 402 individuos. Los datos utilizados para el análisis corresponden a individuos los sitios “Poza Turquesa” y “Poza Cachorrito”, ya que, aunque se observó la presencia de la especie en el sitio “Poza La Palma” solo fueron capturados 2 individuos durante los muestreos.

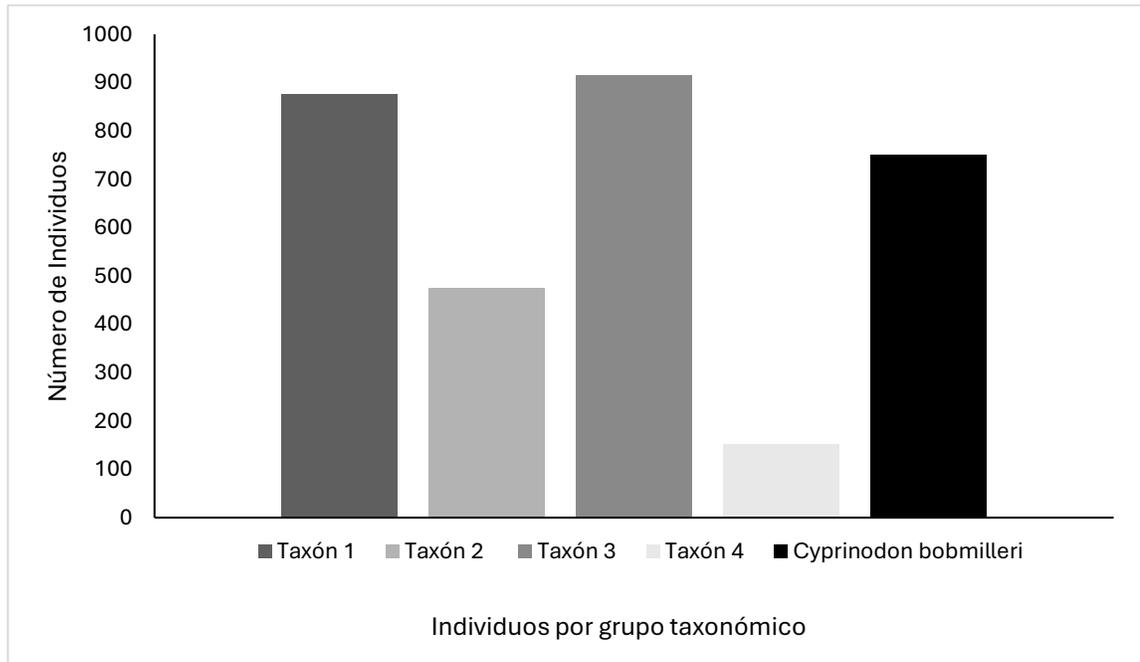


Figura 6. Distribución de individuos colectados por grupo taxonómico.

Los individuos de *C. bobmilleri* muestreados fueron agrupados por cohorte de edad en adultos, juveniles y crías. La estructura de la población mostró una predominancia de adultos, ya que fue el grupo con mayor representatividad al final del muestreo con un 45.93%, seguido de las crías con un 31.02% y finalmente los juveniles con 23.03% (Figura 7).

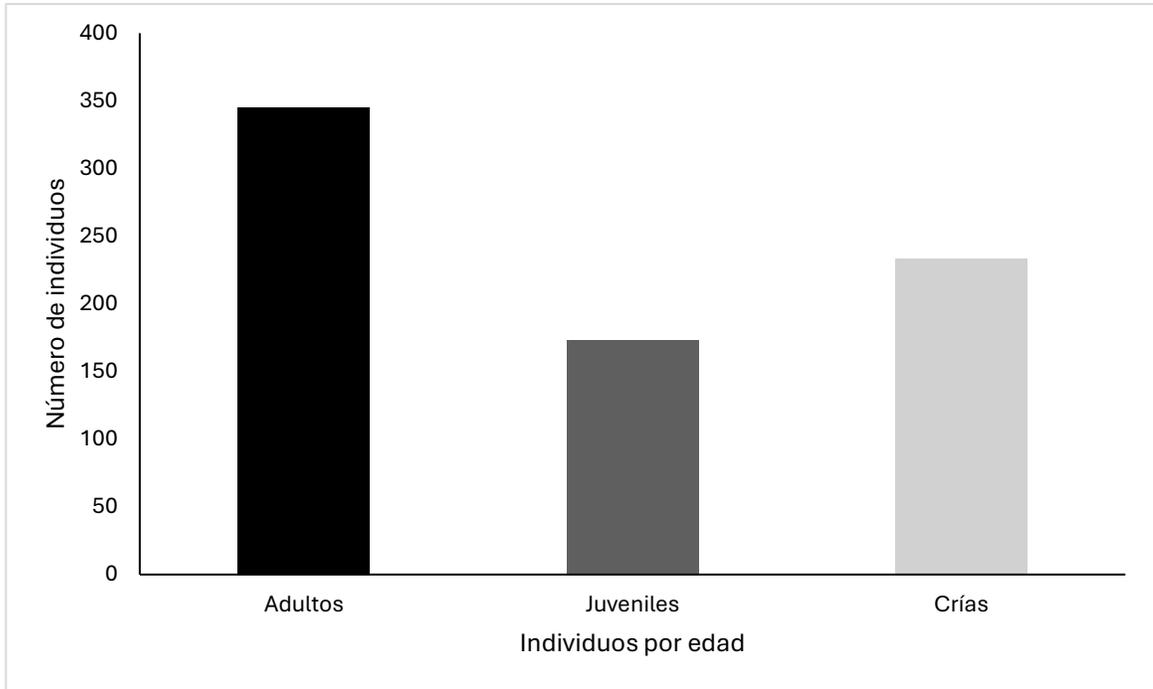


Figura 7. Número de individuos de *C. bobmilleri* por cohorte de edad.

El número de adultos muestreados, que corresponde a la muestra marcada, fue de 345 individuos. El número de hembras está representado por el 62.02% y los machos por el 37.98% (Figura 8), lo que indica que la proporción de hembras por cada macho es de 2:1 aproximadamente (1.6 hembras).

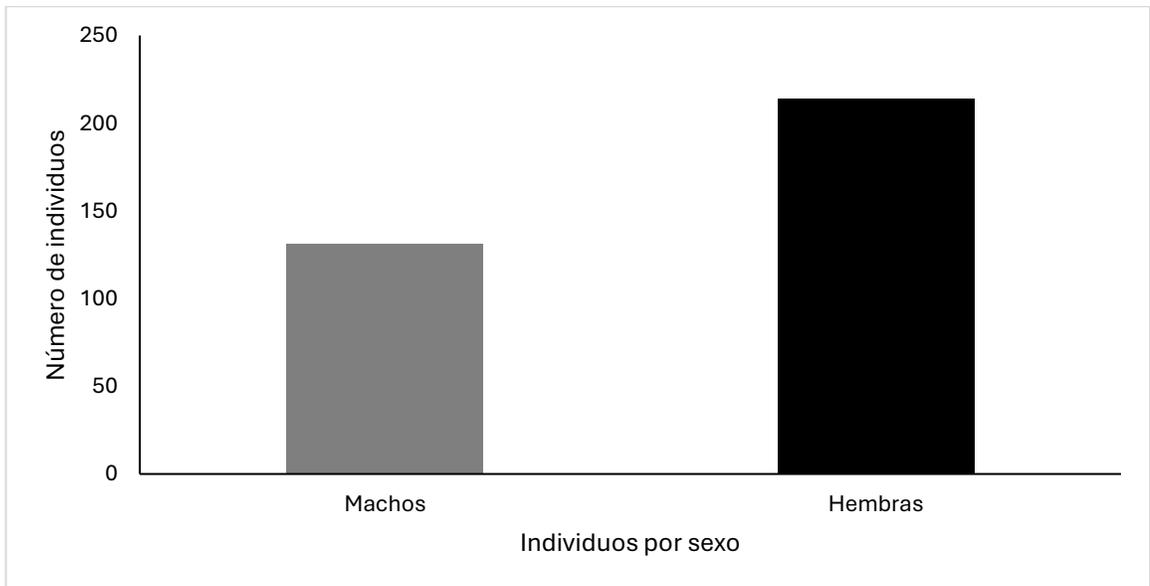


Figura 8. Número de individuos de *Cyprinodon bobmilleri* según el sexo.

Considerando los individuos capturados, *Cyprinodon bobmilleri* presenta una densidad de 0.30 individuos por metro cuadrado y una abundancia relativa de 0.23, representando el 23.7% de la muestra total obtenida. Fue la tercera especie más capturada de la comunidad ictiológica, de acuerdo con el gráfico de Whittaker realizado (Figura 9).

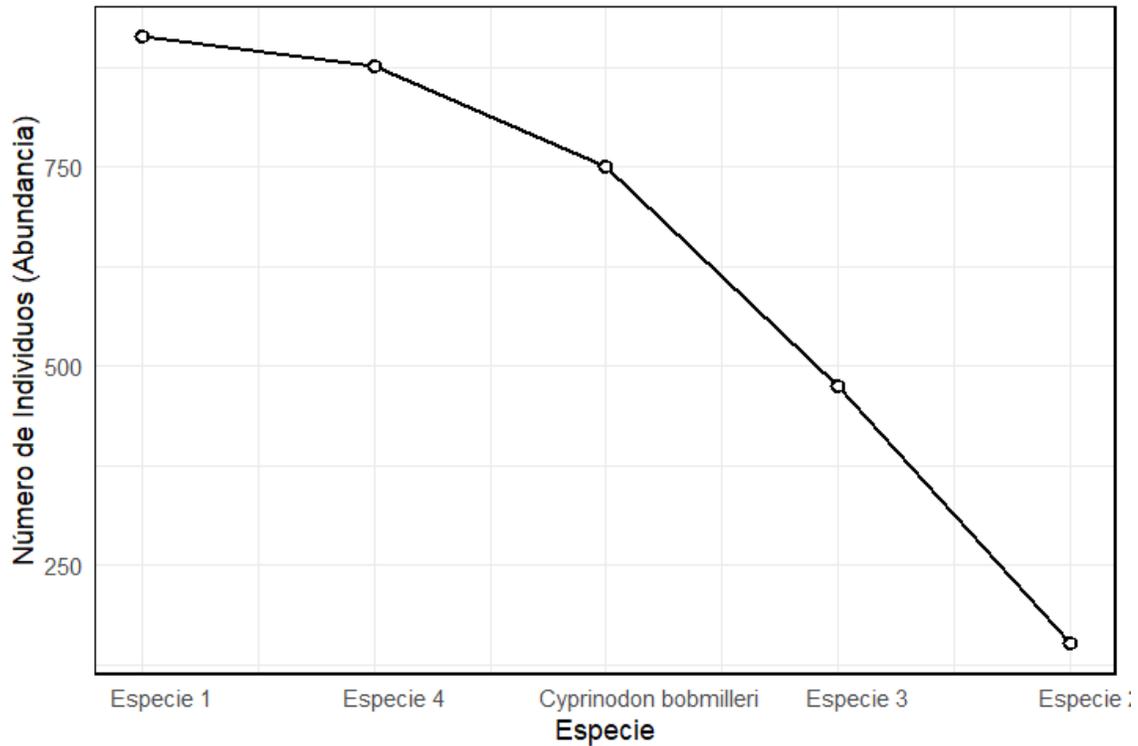


Figura 9. Curva de Wittaker donde se muestran las especies de la más a la menos capturada durante el estudio.

Se estima que el tamaño de la población, de acuerdo con el modelo ajustado de Jolly-Seber (sin considerar migración y emigración), es de 935.36 individuos. El intervalo de confianza del 95% para esta población se encuentra entre 847.85 y 1022.87. Además de estos valores se obtuvieron los valores de la probabilidad de supervivencia y la probabilidad de recaptura, parámetros principales en este modelo y los valores del análisis de bondad del ajuste y AIC para determinar el ajuste del modelo (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de los parámetros estimados por el modelo de Jolly-Saber y los valores de ajuste del modelo de acuerdo con los resultados.

Estimación de la Población	Parámetros del Modelo		Criterio de Información de Aikaike	Bondad del Ajuste
<i>N Estimada</i>	<i>Phi (Φ)</i>	<i>p</i>	<i>AIC</i>	<i>Deviance</i>
935.36	0.6673	0.6961	856.83	1.136868e-13
<i>Error Estándar</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>AICc</i>	<i>Chi-cuadrada</i>
44.65	0.1750	0.1690	856.83	1.957461e-14
<i>Límite Inf 95%</i>	<i>Límite Inf 95%</i>	<i>Límite Inf 95%</i>	<i>BIC</i>	<i>c-hat</i>
847.85	0.5211	0.5271	861.26	1.0
<i>Límite Sup 95%</i>	<i>Límite Sup 95%</i>	<i>Límite Sup 95%</i>		
1022.87	0.8712	0.8652		

Los resultados del modelo N-mixture realizado para su comparación con el modelo JS, dieron como resultado una estimación de la población de 867 individuos. Los intervalos de confianza del 95% para esta estimación se encuentran entre 6.4938 y 7.0354. Los parámetros para la comparación entre modelos se resumen en la siguiente tabla (Tabla 3).

Tabla 3. Valor de parámetros del modelo de comparación N-mixture.

Estimación de la Población	Criterio de Información de Aikaike	Bondad del Ajuste
<i>N Estimada</i>	<i>AIC</i>	<i>Chi-cuadrada</i>
867	3835.45	4353.587
<i>Error Estándar</i>		<i>c-hat</i>
120		0.88
<i>Inf - Sup 95%</i>		
656 - 1136		

Los valores de criterios de complejidad y ajuste en ambos modelos indican que el modelo JS tiene un mayor ajuste a los datos proporcionados, con valores que reflejan una discrepancia mínima entre los datos observados y los esperados por el modelo. El valor de AIC de 856.83 (JS) y 3835.45 (N-mixture) indica que el modelo JS muestra un mejor ajuste a los datos, con un mayor equilibrio entre el ajuste y la complejidad.

Hábitat

Suelo

El hábitat de *C. bobmilleri* en la Poza Turquesa consiste en un manantial hidrotermal de forma lagunar con suelo de limo y carbonato de calcio en suspensión por la presión del agua saliente del fondo. Las áreas someras se encuentran formadas por rocas de travertino (Figura 10). El agua es cristalina con tintes azules tenues a más intensos (Figura 3) conforme incrementa la profundidad y tiene un olor particular a ácido sulfhídrico. Los bordes del cuerpo de agua se encuentran cubiertos por formaciones flotantes a manera de tapetes microbianos que fungen como refugio para las especies de peces. El sitio Poza La Palma comparte estas características, sin embargo, la Poza Cachorrito presenta un fondo limo-arcilloso de coloración más oscura en contraste con el color claro de las otras pozas.



Figura 10. Formaciones rocosas de Travertino Poza Turquesa.

Características Fisicoquímicas

Los sitios de muestreo mostraron una temperatura promedio que fluctuó entre los 26.7 a 31.65 °C, con valores de pH entre 7.9 a 8. Dada la temperatura del agua, el oxígeno disuelto se encuentra fluctuando entre 5.08 y 6.07 mg/L. Además de los parámetros anteriores, se evaluaron parámetros como sólidos disueltos totales, alcalinidad, dureza, y conductividad. Los valores de dichos parámetros se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Valores promedio de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los sitios de muestreo.

	Temperatura del agua °C	pH	Conductividad (mS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Alcalinidad (°KH)	Dureza (°GH)	Amonio (NH ₃)	TDS (ppt)
Poza Turquesa	31.65	8.0	5.83	5.38	15.11	6.62	0.07	2.91
Poza Cachorrito	28.79	7.9	5.88	6.07	15.15	5.87	0.07	2.95
Poza La Palma	26.77	7.9	5.53	5.08	14.73	5.12	0	2.77

Vegetación

La vegetación circundante los cuerpos de agua se encuentra compuesta por especies como *Eustoma exaltatum*, *Samolus ebracteatus*, *Senecio odoratus*, *Conoclinium betonicifolium*, *Schoenoplectus acutus*, *Hydrocotyle verticillata*, *Bothriochloa hybrida*, *Scirpus americanus* y rodeada principalmente por *Thypha sp* (Figura 11).



Figura 10. Vegetación representativa de los sitios.

Comunidad Ictiológica

La riqueza ictiológica de Baño de San Ignacio se encuentra limitada a especies con adaptaciones a aguas hidrotermales azufrosas, además de la especie en estudio, se observó

la presencia de otras especies con las que convive el cachorrillo de San Ignacio. La ictiofauna se encuentra dominada por individuos de la familia Poecílidae y Cichlidae, representada por individuos del género *Poecilia*, *Gambusia*, *Herichthys* y posiblemente *Mayaheros urophthalmus* (Figura 12). No se observaron interacciones negativas entre la mayoría de las especies a excepción de *M. urophthalmus* el cual presentó comportamiento depredador principalmente con el cachorrillo de San Ignacio.

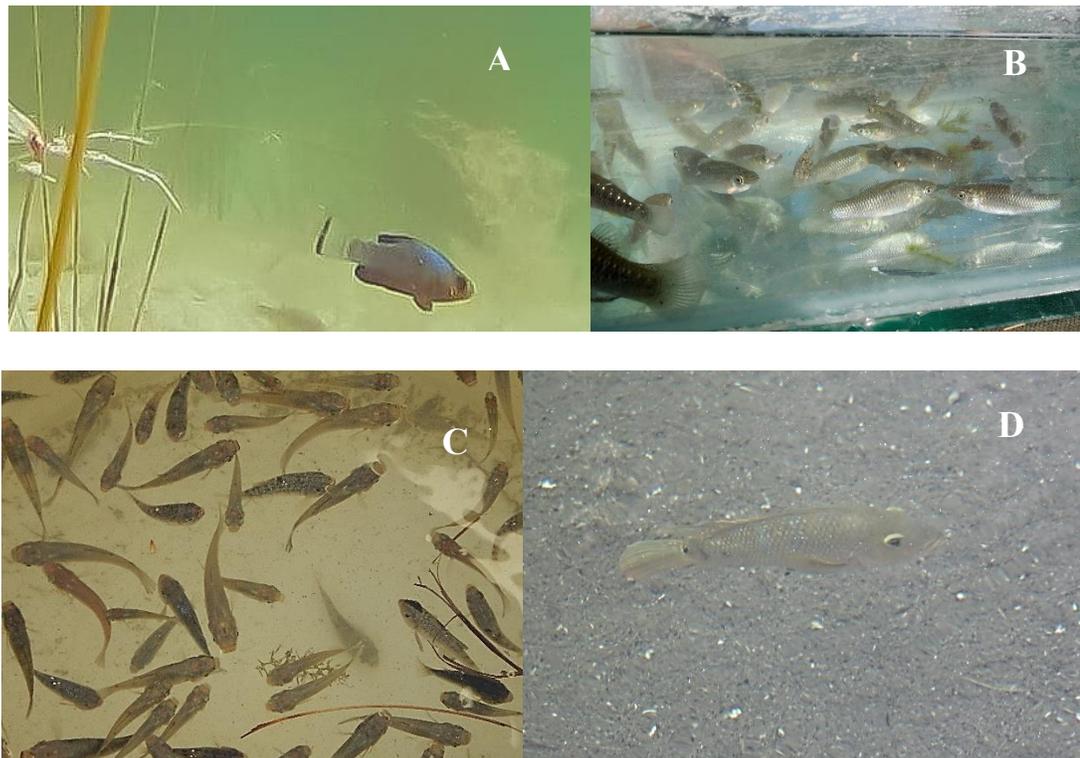


Figura 11. Comunidad de peces de Baño de San Ignacio. A) *Cyprinodon bobmilleri*, B y C) Poecilidos, D) Cíclido (cf *Mayaheros urophthalmus*).

Evaluación de Riesgo de Extinción de Especies Silvestres

Basándonos en los criterios del Método de Evaluación de Riesgo de Extinción (MER), la población de *Cyprinodon bobmilleri* se clasifica como “En Peligro de Extinción”. Los factores contribuyentes a este riesgo se incluyen dentro de 4 criterios que se describen detalladamente a continuación.

Criterios del MER

A. Amplitud de la distribución del taxón en México

Se considera como distribución muy restringida a aquellas especies que presenten una distribución menor al 5% del territorio nacional. Siendo que la especie *C. bobmilleri* se encuentra únicamente dentro de un polígono de 4,225 hectáreas, correspondiente al ANP y de esa área el cuerpo de agua en el que habita ocupa únicamente 1,940 m², se considera una especie microendémica al cual se le asigna el criterio de valor 4, distribución muy restringida.

B. Estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón

El hábitat aledaño se encuentra en proceso de recuperación, ya que sufrió con anterioridad compactación y erosión de suelo por actividades agrícolas y ganaderas que generó la degradación del ecosistema (RAMSAR, 2009). Además, la explotación del agua genera una fluctuación en los niveles del agua que afecta la estabilidad de las especies acuáticas. Actualmente la zona es de acceso controlado, lo que influye en la recuperación del área, sin embargo, la recuperación del equilibrio ecológico es a largo plazo, por lo que se le asigna el criterio de valor 2 intermedio o limitante.

C. Vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón

De acuerdo con la densidad, tamaño poblacional y la especificidad de hábitat de esta especie, se considera como vulnerabilidad media, ya que cambios repentinos en la calidad del agua o de interacciones biológicas negativas, podría influir en la disminución de la población de *C. bobmilleri*. Además de que generalmente las especies microendémicas presentan a largo plazo problemas de pérdida de la variabilidad genética (endogamia), que podría agravar su vulnerabilidad biológica al nivel más alto (Pinto et al. 2024).

D. Impacto de la actividad humana sobre el taxón

Además del uso del área para la explotación del agua y la degradación del hábitat, el uso del área para la recreación y pesca trajo consigo la introducción de especies exóticas tales como el caracol trompeta (*Melanoides tuberculata*), el cual puede ser vector de enfermedades que afectan a la ictiofauna y el cíclido jaguar del sureste (*Mayaheros urophthalmus*), el cual es el principal depredador de *C. bobmilleri*. Durante el estudio se observó como los individuos del cíclido jaguar depredaron individuos de Cachorrito de San Ignacio, motivo por el cual se considera que la introducción de esta especie representa un alto impacto (criterio valor 4) sobre la estabilidad de la población.

La suma total de estos criterios resulta en un valor de 12, lo que categoriza a *C. bobmilleri* como en peligro de extinción.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con los individuos colectados se observa la presencia de cinco grupos taxonómicos incluida la especie en estudio *Cyprinodon bobmilleri*. Fue la tercera especie con mayor número de individuos muestreados. La familia de los Cyprinodontidos exhibe una mayor representatividad de taxones en el sitio con tres taxones respecto a dos del grupo de los Cíclidos. El manantial hidrotermal Baño de San Ignacio presenta una baja riqueza de especies solo contando con cinco grupos taxonómicos, lo cual concuerda con Greenway et al. (2014), planteó que la diversidad de fuentes hidrotermales es considerablemente baja gracias a sus características particulares de temperatura y contenido de sulfuros. Asimismo, la biodiversidad que presentan estos cuerpos de agua va orientada hacia las especies endémicas que presentan adaptaciones para sobrevivir en dichos ambientes, siendo el grupo de los Cyprinodontiformes el más abundante en estos ambientes acuáticos tan particulares (Greenway et al. 2014).

La población de *C. bobmilleri* se encuentra representada principalmente por individuos adultos seguido por crías; sin embargo, este último grupo es más abundante en los meses de primavera y verano, siendo estos fenómenos coincidentes con los periodos de reproducción (Jones, 2017). No hay datos previos que indiquen que la reproducción de esta especie se dé en este periodo, pero las condiciones de temperatura del manantial tienen poca variación estacional por su carácter hidrotermal, por lo que se esperaría que la especie se reproduzca todo el año. A pesar de ello, es posible que sea afectado por la temperatura exterior, ya que es una especie que se encuentra generalmente en la columna superficial del agua (McCauley y Thomson, 1977).

Si bien Varela *et al* (1998) consideró las poblaciones como estables debido a la presencia de juveniles en periodo invernal (diciembre a febrero) para la especie *Cyprinodon macularius*, en nuestro caso no fue así, ya que el número de juveniles muestreados fue bajo en comparación con las otras cohortes de edad. También indican que el comportamiento reproductivo y la coloración nupcial de los machos fue observada en la temporada de primavera-verano entre los meses de abril a junio. Por el contrario, en este caso se detectó el comportamiento reproductivo (Kodric, 1977) y coloración nupcial en

machos durante todo el muestreo, lo que apoya el supuesto de que la especie puede reproducirse durante todo el año.

La proporción sexual detectada en este estudio es de 1.6 hembras por cada macho, redondeada a 2:1. Aunque no existe información previa sobre la proporción sexual de la población de *C. bobmilleri* podemos comparar nuestros datos con la descripción realizada por Soto y Alcántara (2007), en el que mencionan la proporción de hembras y machos de una población de *Cyprinodon atrorus*, especie hermana del taxón en estudio, en la que coinciden con una proporción de 2:1.

En función de los datos obtenidos durante las capturas y la estimación del tamaño poblacional, la especie en estudio presenta una densidad de 0.3004 /m² y una abundancia relativa de 0.2370 respecto a los otros cuatro taxones presentes. Si tomamos en consideración que el valor de densidad calculado incluye a los individuos de todas las cohortes de edad, el valor de densidad considerando a la población efectiva reproductiva es menor, con un valor de 0.2243. Analizando estos datos, se considera que la densidad por metro cuadrado de la población es realmente baja, al ser valores incluso por debajo de un individuo por metro cuadrado lo que podría ser alarmante. Por otro lado, no existe información previa sobre patrones de densidad de esta especie, por lo que no se puede descartar que dichos valores puedan ser regulares en esta especie.

El tamaño de la población estimada asciende a 935 individuos, esto considerando únicamente la población efectiva reproductiva. Teniendo en cuenta los valores de densidad, tamaño poblacional y estructura por edades, se puede considerar que es una población poco estable dado el bajo número de individuos y la baja cantidad de individuos juveniles (Varela et al. 1998), puesto que son los próximos a contribuir en la reproducción y permanencia de la población.

El hábitat estudiado de *C. bobmilleri*, correspondiente al manantial hidrotermal “Poza Turquesa”, tuvo un suelo altamente limoso y con carbonato de calcio en suspensión, lo que es característico de este cuerpo de agua. Su composición y coloración lo hacen perfecto para camuflarse. La presencia de pastos y tapetes microbianos proveen refugio para ellos y otras especies de la comunidad ictiológica. La vegetación del área circundante no solo contribuye a la belleza escénica del sitio, sino que también juega un papel vital en

la regulación del clima microambiental, la prevención de la erosión del suelo y la provisión de alimento y refugio para diversas especies.

La temperatura del agua no tuvo una variación estacional significativa, por lo que se presume sea un factor ideal para la supervivencia y crecimiento de la especie. Por otro lado, la concentración de oxígeno disuelto sí tuvo variaciones, lo que podría indicar que factores externos están influyendo sobre la cantidad de oxígeno presente, a pesar de que las comunidades de peces en manantiales hidrotermales están adaptadas a las bajas concentraciones (Greenway et al. 2014).

La distribución menor al 5% del territorio nacional, hacen al cachorrito de San Ignacio una especie microendémica con distribución altamente restringida. Los fenómenos de degradación del hábitat, como compactación y erosión del suelo por actividades agrícolas y ganaderas y la sobreexplotación del agua, generaron un desequilibrio ecológico que actualmente está en vías de recuperación.

Tomando en cuenta la información generada por el presente estudio junto con la historia ecológica del sitio, (datos que fueron analizados tomando en cuenta los criterios del Método de Evaluación de Riesgo de Extinción para Especies Silvestres en México), podemos considerar que la especie se encuentra en peligro de extinción (SEMARNAT, 2010).

Se considera a esta especie como altamente vulnerable debido a su densidad y tamaño poblacional. La presión hídrica y de actividades podrían causar cambios repentinos en la calidad del agua del manantial, lo que repercutiría directamente sobre la supervivencia de la especie. Debido a que la especie se encuentra altamente adaptada a las condiciones en las que habita, la modificación de sus condiciones óptimas sería negativa. Lo anterior sin tomar en cuenta otros factores intrínsecos no evaluados en este estudio como la endogamia y que podría agravar su vulnerabilidad.

El impacto de la actividad humana referente al ecosistema de humedal no ha sido evaluado previamente, sin embargo, el uso directo del manantial y sus pozas adyacentes para recreación y pesca, se vieron afectados por la introducción de especies exóticas tales como el presunto cíclido jaguar del sureste (*Mayaheros urophthalmus*) y el caracol trompeta

(*Melanoides tuberculata*). Dado su recién descubrimiento a raíz de esta investigación, no se realizó un estudio de depredación, sin embargo, la especie *M. urophthalmus* fue una de las más muestreadas y se observó que presenta un alto comportamiento depredador sobre la especie en estudio. Motivo por el cual se considera tiene un alto impacto sobre la permanencia y estabilidad de la población de *C. bobmilleri*.

En resumen, tomando en cuenta la información generada por el presente trabajo, se estima que la especie *Cyprinodon bobmilleri*, actualmente categorizada como Amenazada por la NOM-059, debe someterse a un proceso de recategorización y se propone un estatus de “En peligro de extinción”.

Si bien, la información generada es suficiente para proponer el cambio de categoría de riesgo, se recomienda realizar estudios genéticos para determinar el futuro de la población a nivel intrínseco.

Es importante el desarrollo de un plan de manejo que tome en consideración el monitoreo constante de la especie para la reducción de riesgo de extinción, así como la conservación *ex-situ* de la especie. Además del monitoreo y control de las especies exóticas que inciden directamente sobre la población de *C. bobmilleri*.

PERSPECTIVAS

Los resultados de este estudio proporcionan una base sólida para futuras investigaciones sobre *Cyprinodon bobmilleri*. En primer lugar, sería beneficioso continuar con el monitoreo de la población a largo plazo, además de investigaciones adicionales sobre la biología de la especie, así como sobre su uso de hábitat y reproducción. Estos estudios podrían ayudar a entender mejor las necesidades de la especie y a desarrollar estrategias de conservación más efectivas. En segundo lugar, sería interesante explorar la posibilidad de realizar estudios genéticos para conocer el estado actual de sus poblaciones. Esto podría proporcionar información valiosa sobre la diversidad genética de la especie y ayudar a identificar posibles amenazas a su supervivencia. Finalmente, dado que el Cachorrillo de San Ignacio está confinado a una sola localidad y es especialmente vulnerable a cualquier impacto o modificación de su hábitat, sería importante investigar maneras de mitigar estos impactos para proteger y restaurar su hábitat. Con suerte, estos esfuerzos conducirán a estrategias de conservación más efectivas y ayudarán a asegurar la supervivencia a largo plazo de esta especie única.

BIBLIOGRAFÍA

- Alfonsi, C., López, H., & Pérez, J. (2003). Caracterización genética y morfológica de las poblaciones de *Cyprinodon dearborni* (Atherinomorpha: Cyprinodontidae) en Chacopata y Laguna de los Patos, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 51(4), 7-15. Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica.
- Alfonsín, M., & Bucetto, M. (2019). Las especies en peligro de extinción y los mecanismos para la recuperación y conservación de la biodiversidad: un estudio sobre la viabilidad de los mecanismos y las trabas burocráticas. *LEX*, 23(AÑO XVII-I), ISSN 2313-1861.
- Anderson, B. D. (1984). El manantial hidrotermal Baño de San Ignacio en Linares, N.L., México. Reporte Técnico. Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL. Linares, N.L., México. 19 pp.
- Barbarín, J., & Hubberten, H. (1988). Hidrogeoquímica de las aguas termales del Baño de San Ignacio, Linares, N.L., México. *Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra*, 3, 25 pp. Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL. Linares, N.L., México.
- Benítez, M. (1997). Contribución a la Caracterización Ecológica y Socioeconómica de la región “Baño de San Ignacio”, Linares, N.L., México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales, U.A.N.L.
- Contreras, S., Almada, P., Lozano, M., & García, M. E. (2003). Freshwater fish at risk or extinct in Mexico: A checklist and review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 12(3), 241–251. <https://doi.org/10.1023/A:1025116330223>
- DOF. (2010). NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental - especies nativas de México de flora y fauna silvestres - categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. Consultado el 15 de octubre de 2020. Obtenido de: https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf
- Domínguez-Domínguez, O., Pérez-Rodríguez, R., & Doadrio, I. (2008). Morphological and genetic comparative analyses of populations of *Zoogoneticus quitzeoensis* (Cyprinodontiformes: Goodeidae) from Central Mexico, with description of a new

- species. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 79(2), 373-383. Recuperado el 24 de julio de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532008000200011&lng=es&tlng=en.
- Echelle, A., Carson, E., Echelle, A., Van Den Bussche, R., Dowling, T., & Meyer, A. (2005). Historical Biogeography of the New World Pupfish Genus *Cyprinodon* (Teleostei: Cyprinodontidae). *Copeia*, 2005(2), 320-339. American Society of Ichthyologists and Herpetologists.
- Espinoza, H. (2014). Biodiversidad de peces en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85, S450-S159. <https://doi.org/10.7550/rmb.32264>
- Hohn, C., & Petrie-Hanson, L. (2013). Evaluación de etiquetas elastoméricas de implantes visibles en pez cebra (*Danio rerio*). *Biology Open*, 2(12), 1397-1401. <https://doi.org/10.1242/bio.20136460>
- Horstkotte, J., & Strecker, U. (2005). Trophic differentiation in the phylogenetically young *Cyprinodon* species flock (Cyprinodontidae, Teleostei) from Laguna Chichancanab (Mexico). *Biological Journal of the Linnean Society*, 85(1), 125-134. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2005.00475.x>
- Jones, A. (2017). Thermal and Developmental Ecology of Pupfish, *Cyprinodon*. UNLV Theses, Dissertations, Professional Papers, and Capstones, 2992. <https://doi.org/10.34917/10985955>
- Kodric, A. (1977). Reproductive Success and the Evolution of Breeding Territories in Pupfish (*Cyprinodon*). *Evolution*, 31(4), 750-766. <https://doi.org/10.2307/2407437>
- Laake, J. L. (2013). RMark: An R Interface for Analysis of Capture-Recapture Data with MARK. AFSC Processed Report 2013-01, 25 p. Alaska Fisheries Science Center, NOAA, National Marine Fisheries Service, Seattle, WA. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=RMark>.
- Lozano, M., & Contreras, S. (1993). Four new species of *Cyprinodon* from southern Nuevo León, México, with a key to the *C. eximius* complex (Teleostei: Cyprinodontidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 4, 295-308. ISSN 0936-9902.

- Lyons, J., Piller, K. R., Artigas-Azas, J. M., Dominguez-Dominguez, O., Gesundheit, P., Köck, M., Medina-Nava, M., Mercado-Silva, N., García, A. R., & Findley, K. M. (2019). Distribution and current conservation status of the Mexican Goodeidae (Actinopterygii, Cyprinodontiformes). *ZooKeys*, 885, 115–158. <https://doi.org/10.3897/zookeys.885.38152>
- Lyons, T. J., Máiz-Tomé, L., Tognelli, M., Daniels, A., Meredith, C., Bullock, R., Harrison, I. (Eds.), Contreras-MacBeath, T., Hendrickson, D. A., Arroyave, J., Mercado Silva, N., Köck, M., Domínguez Domínguez, O., Valdés González, A., Espinosa Pérez, H., Gómez Balandra, M. A., Matamoros, W., Schmitter-Soto, J. J., Soto-Galera, E., Rivas González, J. M., Vega-Cendejas, M. E., Ornelas-García, C. P., Norris, S., & Mejía Guerrero, H. O. (2020). *The status and distribution of freshwater fishes in Mexico*. Cambridge, UK and Albuquerque, New Mexico, USA: IUCN and ABQ BioPark.
- Mar-Silva, V., Herrerías-Diego, Y., Medina-Nava, M., Ramírez-Herrejón, J. P., Mendoza-Cuenca, L., Hernández-Morales, R., & Domínguez-Domínguez, O. (2021). Spatial and temporal variation of fish assemblage structure in a neotropical Mexican river. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92, 3433.
- McCauley, R. W., & Thomson, D. A. (1988). Thermoregulatory activity in the Tecopa pupfish, *Cyprinodon nevadensis amargosae*, an inhabitant of a thermal spring. *Environmental Biology of Fishes*, 23(2), 135–139. <https://doi.org/10.1007/BF00000744>
- Miller, R. (2009). *Peces dulceacuícolas de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Primera edición. México. ISBN: 978- 607-7607-20-5.
- Pinto, A. V., Hansson, B., & Patramanis, I. (2024). El impacto de la pérdida de hábitat y la fragmentación de la población en la erosión genómica. *Conservation Genetics*, 25, 49–57. <https://doi.org/10.1007/s10592-023-01548-9>
- Pozo, M. (2018). *Muestreo de captura-recaptura: Diseño, estimación y análisis de librerías en R*. Universidad de Sevilla.
- RAMSAR. (2009). *Ficha Informativa de los Humedales RAMSAR (FIR)*. Obtenido de: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1981RIS.pdf>

- R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- RStudio Team. (2023). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA. URL: <http://www.rstudio.com/>
- Sánchez, J., Muro, G., Estrada, E., & Alba, J. (2013). El MER: Un instrumento para evaluar el riesgo de extinción de especies en México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XII(1), 30-35. Universidad Autónoma Chapingo, Durango, México.
- Schildknecht, R., & Werner, J. (1992). Origen Geológico del Manantial Hidrotermal Baño de San Ignacio en Linares, N.L., México. Reporte Técnico. Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL. Linares, N.L., México. 35 pp.
- Tambutti, M., Aldama, A., Sánchez, O., Medellín, R., & Soberón, J. (2001). La determinación del riesgo de extinción de especies silvestres en México. *Gaceta Ecológica*, 61, 11-21. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Distrito Federal, México.
- Torres, R., & Pérez, M. (2011). Los Peces de México: Una Riqueza Amenazada. *Revista Digital Universitaria*, 12(1). ISSN: 1067-6079.
- Varela, A., Ruiz, G., Yépez, L., & Alanis, J. (1999). Evaluación de la situación actual de las poblaciones del pez cachorrito del desierto (*Cyprinodon macularius macularius*) en la Cuenca del Bajo Río Colorado, Sonora-Baja California, México. Universidad de Sonora. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. H126. México D.F.
- Vázquez, G., Castro, T., Hernández, A., Castro, J., & De Lara, R. (2013). Comparación del efecto anestésico del aceite de clavo, solución salina y solución coloidal en juveniles de *Chirostoma jordani* (Woolman, 1894). *Archivos de Medicina Veterinaria*, 45, 59-66.
- Wickham, H., François, R., Henry, L., & Müller, K. (2023). dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.0.10. URL: <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>

RESUMEN BIOGRÁFICO

Leslie González Rodríguez nació el 20 de agosto de 1996 en Guadalupe, Nuevo León. Estudió en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León de la que egresó como Lic. en Biología en el año 2020. Desde su egreso, ha trabajado en el “Centro de Resguardo para Peces en Peligro de Extinción” perteneciente al Laboratorio de Biología de la Conservación y Desarrollo Sostenible colaborando como encargada de la unidad de conservación. Su trabajo consta del manejo y conservación de especies de peces mexicanos, principalmente endémicos, que se encuentran en alguna categoría de riesgo de extinción nacional o internacional. Ha participado como ponente en foros y coloquios con pláticas referentes a la diversidad ictiológica y casos de extinción. También ha colaborado en la formación de recursos humanos de servicio social y prácticas profesionales y el desarrollo de proyectos referentes a la conservación de especies dulceacuícolas, biología general y reproductiva, sistemas acuáticos y aprovechamiento sustentable.