



CUATRO CIÉNEGAS Y SU ESTADO DE CONSERVACIÓN A TRAVÉS DE SUS PECES

Pronatura Noreste

Pronatura Noreste nace del deseo de fomentar mejores prácticas para propiciar la conservación de la diversidad biológica regional. Con esta intención, posee la visión de ser una organización líder en conservación con reconocimiento internacional, que promueve el manejo sustentable de los recursos naturales, implementando proyectos innovadores con una fuerte base científica, a la par que involucra activamente en su causa a la sociedad.

Nos hemos encontrado en la necesidad de estar en constante alerta, caminando a la par del desarrollo económico, social y ambiental en el que nuestra sociedad se desenvuelve. Algunos de los principales retos que enfrentamos continúan siendo el crecimiento de la mancha urbana, de la infraestructura productiva y de comunicación, así como de la frontera agrícola ante las necesidades incrementales de alimentos y materias primas para la producción económica.

Además, nos enfrentamos siempre con nuevos retos; el cambio climático funge como un nuevo factor que impacta toda la región con el rostro de eventos climáticos extremos, tales como la sequía recurrente y eventos meteorológicos intensos como huracanes, tormentas e inundaciones cada vez más intensos. Tenemos que operar en el marco de este nuevo fenómeno, incorporando acciones para la adaptación y mitigación al mismo en nuestros proyectos de conservación.

Existen además retos de la humanidad que nos atañen colateralmente, como lo es la pobreza, inseguridad, políticas insostenibles, salud pública insuficiente, entre otros, que representan la causa raíz de muchos de los problemas ambientales. No buscamos restar valor a estas necesidades aparentemente más inmediatas, sino dar la misma importancia a las acciones realizadas por la preservación del patrimonio natural del cual todos dependemos.

A pesar de que México es uno de los países más ricos en biodiversidad a nivel global, nos hace mucha falta crear conciencia ambiental. Desconocemos los estragos que provocamos en ella con nuestros actos cotidianos y nuestra actividad productiva recurrente. La educación es el primer paso hacia el cambio, procurando mejores prácticas al comprender la relevancia y el impacto que tienen nuestras acciones.

Nos hemos encomendado a la tarea de restaurar áreas degradadas, y podemos asegurar que los ecosistemas en los cuales habitamos serían muy distintos si llegamos a comprender el verdadero valor del sentido de pertenencia, y la relevancia de los servicios ambientales que ellos nos proveen. No se trata de frenar el desarrollo de nuestras sociedades, sino mejorar las prácticas hacia una convivencia más armónica con la naturaleza, conservando así nuestros hábitats y ecosistemas.

El desarrollo sano y sostenible está directamente vinculado con el manejo racional de los recursos naturales, sin los cuales no es posible alcanzar el nivel de plenitud social a la que todos aspiramos.

Daniel Milmo Brittingham
Presidente de Consejo, Pronatura Noreste A.C.

Créditos:

Revisión y corrección científica: Adrián Varela Echavarría y Velia Patricia Carrillo Buentello
Corrección de estilo literario: Gabriela Carolina Salazar Cavazos
Ilustraciones: Gabriela Rendón Herrera
Fotografía: Mauricio De la Maza Benignos
Edición fotográfica: Ángel Israel Arriaga Calera y Samantha Dalaí López Pérez
Diseño: Roxana Elizabeth González Cantú



Primera edición, Marzo 2017 © PRONATURA Noreste, A. C. www.pronaturane.org
Para mayor información contactar a © PRONATURA Noreste, A. C. Loma Grande 2623 Colonia Loma Larga C.P. 64710, Monterrey, N.L., México.
Cuatro Ciénegas y su estado de conservación a través de sus peces se terminó de imprimir en Marzo de 2017 en FUERZA GRAFICA Ayutla 1012 Colonia Nuevo Repueblo Monterrey, N.L., México.
La primera edición consta de 1,000 ejemplares.

Prólogo

La importancia de la biodiversidad, así como la magnitud de sus amenazas en Cuatro Ciénegas son difíciles de exagerar. Este valle, relativamente pequeño alberga un conjunto extraordinariamente concentrado y diverso de organismos acuáticos nativos y endémicos que se encuentran en peligro de extinción por causa del uso irracional e insostenible de los recursos hídricos en dicha cuenca y las adyacentes. No obstante lo anterior, existen razones para ser optimistas, como pronto leerás. En esta obra, Cuatro Ciénegas y su conservación a través de sus peces, el Dr. Mauricio De la Maza Benignos junto con otros autores y staff de Pronatura Noreste, A.C., presentan un enfoque provocador hacia la conservación de la biodiversidad acuática de Cuatro Ciénegas. El tratamiento en breves descripciones de la historia y la hidrología del valle proporciona un contexto técnico (peces) y franco (bacterias) relativo a algunos de los organismos emblemáticos del valle, demostrando el ámbito y alcance de la conservación. La naturaleza innovadora de este libro se muestra en primera instancia en el capítulo acerca de nuevos enfoques para el control de especies invasoras, mientras que tres capítulos conforman el corazón del libro. En ellos se articula un enfoque holístico hacia la conservación, y se introduce un Índice visual de integridad biológica, que utiliza métodos mínimamente intrusivos para documentar la diversidad biológica, aparejado de un plan de manejo que se basa en el reconocimiento legal del medio ambiente como un usuario de recursos hídricos. La publicación de este libro es invaluable ya que además de documentar un nuevo enfoque que resulta audaz para la conservación de Cuatro Ciénegas, servirá como un modelo para la conservación en otras partes.

Evan W. Carson

Prologue

The importance of and threats to the biodiversity of Cuatro Ciénegas are hard to overstate. This relatively small valley harbors an exceptionally diverse and concentrated suite of native and endemic aquatic organisms that are endangered by rapidly accelerating, unsustainable uses of water resources in this and adjacent basins. Yet there also is reason for optimism, as you will soon read. In "Cuatro Ciénegas y su estado de conservación a través de sus peces", Dr. Mauricio De la Maza-Benignos, together with the other authors and the staff at Pronatura Noreste, A.C., introduce a provocative approach to conservation of aquatic biodiversity in Cuatro Ciénegas. Brief descriptions of the history and hydrology of the valley provide context, and technical (fishes) and heartfelt (bacteria) treatments of some of the valley's iconic organisms demonstrate the scope of conservation concern. The innovative nature of this book first appears with a chapter on novel approaches to control of invasive species. The next three chapters, however, form the heart of the book, by articulating a holistic approach to conservation in which the authors introduce a Visual Index of Biological Integrity, which uses minimally intrusive methods to document biodiversity, and pair with a management plan that is anchored in legal recognition of the environment as a user of water resources. Publication of this book is invaluable because it not only documents a bold new approach to conservation in Cuatro Ciénegas, but also will serve as a model for conservation elsewhere.

Evan W. Carson

Cuatro Ciénegas y su economía productiva

El Área de Protección de Flora y Fauna (APFF) Cuatrociénegas está conformada por alrededor de 84,347 ha; es un lugar único en el mundo por sus características biológicas y su importancia ecológica. No obstante, se encuentra en un estado de serio deterioro, principalmente debido a las actividades productivas mal planeadas y sesgadas. Hoy, la economía de Cuatro Ciénegas se basa principalmente en cuatro modelos productivos: la agricultura, la ganadería, el turismo y la minería. Su situación fue afectada, en parte, por la disyuntiva económica que se vivió relativa a la explotación de los recursos naturales, incluido el ocaso de las industrias maderera y peletera en las décadas de los años 70 y 80.

En términos sociales, la rígida y estricta legislación existente en materia ambiental, ha provocado en las personas una sensación de inconformidad, debido a que existe la percepción entre los habitantes de que aquellas actividades que antaño proveyeron a sus familias de sustento económico, en la actualidad no se les permite desarrollarlas. La economía municipal se encuentra en franco deterioro y las personas sobreviven con salarios mínimos.

¿Por qué no permitir que los habitantes de Cuatro Ciénegas continúen viviendo de algunas de sus atracciones turísticas? Considero que el permitir nuevamente el desarrollo de ciertas actividades turísticas, que solían ser el principal sustento del municipio podría regresar a la comunidad parte importante de su sustento económico; con la prohibición total de las mismas, la economía local se derrumbó en algunas de las zonas más afectadas biológicamente.

La conservación del medio ambiente y la producción pueden ir de la mano, siempre y cuando se alcancen acuerdos entre las autoridades y los productores. Cuando la gente se siente apoyada, se pueden lograr grandes cosas; por el contrario, si se sienten agredidos por las leyes, la comunidad no coopera, pues se siente desplazada por una autoridad que no le representa.

La respuesta a dicho dilema radica en el diálogo. Las autoridades que representan al Área Natural Protegida debieran fomentar el diálogo y promover no solo una voz, sino la acción. Si caminamos de la mano promoviendo la conservación ambiental y la economía productiva de Cuatro Ciénegas, entonces todo a lo que aspiramos puede ser alcanzado.

Tomás Villarreal

Presidente del Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) Cuatro Ciénegas



ÍNDICE

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS	10
ÍNDICE DE ESPECIES	14
DE LA ILUSTRACIÓN DEL LIBRO	16
INTRODUCCIÓN	18
HIDROLOGÍA DE CUATRO CIÉNEGAS Y SU RELACIÓN CON LOS HUMEDALES	22
BACTERIAS, ESTROMATOLITOS Y TAPETES MICROBIANOS DE CUATRO CIÉNEGAS: UN OASIS DONDE SE GUARDÓ EL PASADO DE LA TIERRA	26
LOS PECES DE CUATRO CIÉNEGAS	32
Fichas descriptivas de los peces	37
Orden Cypriniformes	38
Familia Cyprinidae	38
Familia Characidae	44
Familia Ictaluridae	46
Orden Cyprinodontiformes	50
Familia Poeciliidae	50
Familia Fundulidae	56
Familia Cyprinodontidae	58
Familia Centrarchidae	62
Familia Percidae	66
Familia Cichlidae	70
EL ÍNDICE BIÓTICO VISUAL DE INTEGRIDAD (IBVI)	80

CONTROL DE ESPECIES ACUÁTICAS INVASORAS EN EL ANP
CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA.. 122

PROPUESTA DE PLANES DE MANEJO *IN SITU* Y *EX SITU* PARA LAS ESPECIES
DE PECES DE CUATRO CIÉNEGAS. 139

¿LA SEGURIDAD HÍDRICA EN EL VALLE DE CUATRO CIÉNEGAS, ES ALCANZABLE?:
PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE RESCATE DE DERECHOS
DE AGUA EN CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA 142

COLOFÓN 162

SEMBLANZAS 164



ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS



Índice de tablas

LOS PECES DE CUATRO CIÉNEGAS	
Tabla 1	Especies endémicas (En), nativas (N), exóticas (Ex) y microendémicas asociadas (Ma) que se localizan en el valle de Cuatro Ciénegas. 34
EL ÍNDICE BIÓTICO VISUAL DE INTEGRIDAD (IBVI)	
Tabla 1	Cuadro de especies y criterios base por características biológicas. 82
Tabla 2	Tabla general de métricas utilizadas y razonamiento en la selección de las mismas. 84
Tabla 3	Procedimiento matemático por la puntuación en cada una de las métricas seleccionadas para la evaluación de la integridad biológica de los sitios. 85
Tabla 4	Escala cualitativa para la integridad biológica de los sitios en base al puntaje de IBVI obtenido. 86
Tabla 5	Cuadro comparativo de calificaciones entre los sitios estudiados, donde el menor puntaje posible es 40 (i.e. sistema colapsado) y el mayor puede ser igual o mayor a 100 (i.e. excelente), considerando los puntos extras que pueden recibir los sitios por presencia confirmada de algunas especies consideradas como raras. 86
Tabla 6	Cambios observados en la diversidad de especies de peces del sistema Churince. *No se cuenta con registros históricos, pero es probable que se encuentren presentes. 88
Tabla 7	Cálculo del IBVI para el Churince 88
Tabla 8	Cambios observados en la diversidad de especies de peces del sistema Becerra. 92
Tabla 9	Cálculo del IBVI para el sistema Becerra/río Garabatal. 93
Tabla 10	Cuadro de especies históricas y observadas en Mojarral Oeste. 94
Tabla 11	Cuadro de especies históricas y observadas en Charcos Prietos. 94
Tabla 12	Cuadro de especies históricas y observadas en el sistema Mezquites en Las Palapas. 96
Tabla 13	Cálculo de IBVI para el sistema Mezquites en Las Palapas. 96
Tabla 14	Cuadro de especies históricas y observadas en la poza de la Angostura. 98
Tabla 15	Cuadro de especies históricas y observadas en la ciénega de la Angostura. 98
Tabla 16	Cuadro de especies históricas y observadas en Playitas. 99
Tabla 17	Cambios observados en la diversidad de especies de peces del sistema los Anteosojos. 100
Tabla 18	Cálculo de IBVI para el sistema de los Anteosojos. 100
Tabla 19	Cuadro de especies históricas y observadas en la poza Escobedo. 102
Tabla 20	Cálculo de IBVI para la poza Escobedo. 103
Tabla 21	Cuadro de especies históricas y observadas en Poza Orozco. 103
Tabla 22	Cuadro de especies históricas y observadas en el sistema Tío Cándido. 105
Tabla 23	Cálculo de IBVI para el sistema Tío Cándido. 105
Tabla 24	Cuadro de especies históricas y observadas en el sistema los Hundidos. 107
Tabla 25	Cálculo de IBVI para el sistema los Hundidos. 107
Tabla 26	Cuadro de especies históricas y observadas en el sistema Los Gatos. 108
Tabla 27	Cálculo de IBVI para el sistema Los Gatos. 108
Tabla 28	Cuadro de especies históricas y observadas en el Complejo de Pozas Azules. 110
Tabla 29	Cálculo de IBVI para el Complejo de Pozas Azules. 110
Tabla 30	Cuadro de especies históricas y observadas en el sistema Santa Tecla. 112
Tabla 31	Cálculo de IBVI para el sistema Santa Tecla. 113
Tabla 32	Cuadro de especies históricas y observadas en el sistema Teclitas. 114
Tabla 33	Cálculo de IBVI para el sistema Teclitas. 114
CONTROL DE ESPECIES ACUÁTICAS INVASORAS EN EL ANP CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA -IMACTO DEL CÍCLIDO JOYA EN PECES DE CUATRO CIÉNEGAS.	
Tabla 1	Relación de especies observadas en diferentes localidades y tiempo 125
Tabla 2	Marcadores genéticos candidatos para evaluar la intersexualidad y reversión sexual en el cíclido joya. 129
¿LA SEGURIDAD HÍDRICA EN EL VALLE DE CUATRO CIÉNEGAS, ES ALCANZABLE?: PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE RESCATE DE DERECHOS DE AGUA EN CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA.	
Tabla 1	Sobre-concesión de agua superficial en distritos de riego del río Conchos. 152
Tabla 2	Aguas superficiales: superficies y volúmenes a rescatar y montos a pagar. 152
Tabla 3	Resultados PADUA 2003-2006. 152
Tabla 4	Distribución del gasto anual entregado, asociado a las diferentes fuentes de agua. 157

Índice de figuras

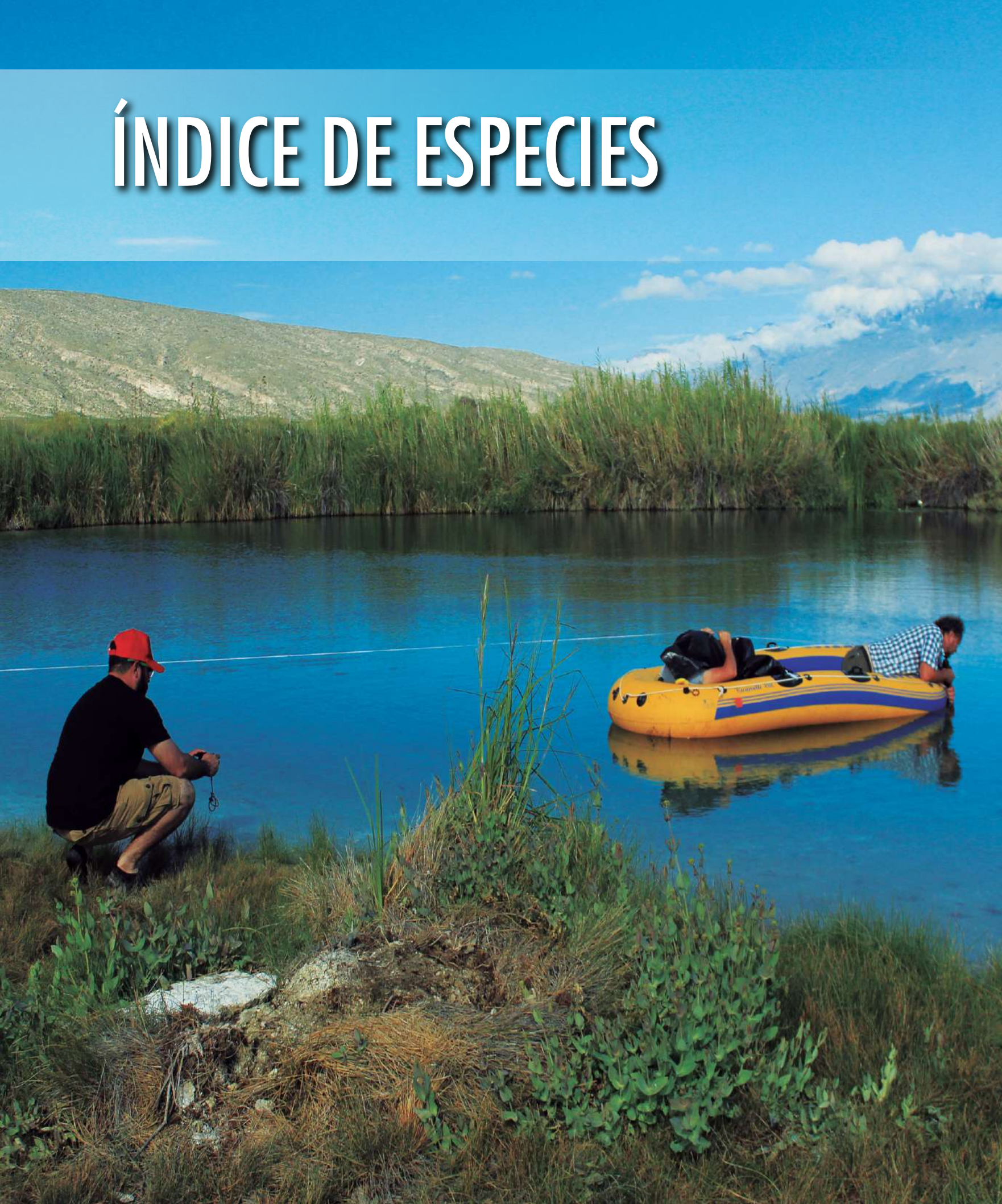
Figura 1	Vista aérea del Sistema de los Gatos.	6
Figura 2	Puente a la salida del canal de la Becerra.	9
Figura 3	Las dunas de yeso.	10
Figura 4	Monitoreo de peces en la poza Escobedo.	14
Figura 5	La ilustradora dibujando a la mojarra sol (<i>Lepomis megalotis</i>).	16
Figura 6	Vista aérea del lado oriente del Valle de Cuatro Ciénegas.	18
Figura 7	Mapa mostrando la ubicación geográfica del Valle de Cuatro Ciénegas.	21
Figura 8	Salida natural de la poza de la Becerra hacia el río Garabatal.	22
Figura 9	Vista panorámica desde el sur del valle de Cuatro Ciénegas.	25
Figura 10	La autora mostrando las diversas capas que conforman los tapetes microbianos en Cuatro Ciénegas.	26
Figura 11	Estromatolitos en la reserva ecológica de Pozas Azules.	31
Figura 12	Lobina negra (<i>Micropterus salmoides</i>) en la poza de Tío Cándido.	32
Figura 13	Hembra de pez mosquitero (<i>Gambusia marshi</i>) en la poza Escobedo.	35
Figura 14	Mojarras de minckley (<i>Herichthys minckleyi</i>) de la forma piscívora acechando un cardumen de cachorritos de Cuatro Ciénegas (<i>Cyprinodon bifasciatus</i>).	36
Figura 15	Macho de <i>Cyprinella xanthicara</i> arriba y hembra abajo.	38
Figura 16	Carpa común (<i>Cyprinus carpio</i>).	40
Figura 17	Macho de <i>Dionda cf. episcopa</i> arriba y hembra abajo.	42
Figura 18	<i>Astyanax mexicanus</i> .	44
Figura 19	Bagre lobo (<i>Ictalurus lupus</i>), vista lateral arriba, vista dorsal abajo.	46
Figura 20	Pintontle (<i>Pylodictis olivaris</i>), vista lateral arriba, vista dorsal abajo.	48
Figura 21	<i>Gambusia longispinis</i> , estructura gonopodial arriba, macho al centro, hembra abajo.	50
Figura 22	<i>Gambusia marshi</i> , estructuras gonopodiales arriba y en el margen derecho, macho centro y hembra abajo.	52
Figura 23	<i>Xiphophorus gordonii</i> , estructura gonopodial arriba, macho al centro y hembra abajo	54
Figura 24	Macho de <i>Lucania interioris</i> arriba y hembra abajo.	56
Figura 25	Macho de <i>Cyprinodon atlorus</i> arriba y hembra abajo.	58
Figura 26	Macho de <i>Cyprinodon bifasciatus</i> arriba y hembra abajo.	60
Figura 27	<i>Lepomis megalotis</i> .	62
Figura 28	<i>Micropterus salmoides</i> .	64
Figura 29	Dardo de cuatro Ciénegas (<i>Etheostoma lugoii</i>), macho arriba y hembra abajo.	66
Figura 30	Dardo del Río Salado (<i>Etheostoma segrex</i>), macho arriba y hembra abajo.	68
Figura 31	Cíclido joya (<i>Hemichromis guttatus</i>). Se trata de una especie exótica altamente invasora.	70
Figura 32	Mojarra del norte (<i>Herichthys cyanoguttatus</i>). Macho en coloración normal arriba, y hembra en coloración de cría abajo.	72
Figura 33	Mojarra tilapia (<i>Oreochromis sp.</i>). Se trata de una especie exótica altamente invasora.	74
Figura 34	Mojarra de Minckley (<i>Herichthys minckleyi</i>) en el siguiente orden de arriba hacia abajo: forma alta/profunda en coloración normal, forma alargada en coloración normal, macho en coloración de cría y hembra en coloración de cría.	76
Figura 35	Vista oclusal de placas faríngeas de los tipos morfológicos papiliforme (izquierda), mixta (derecha) y molariforme (abajo).	78
Figura 36	Macho de <i>Cyprinodon bifasciatus</i> alimentándose en la poza de la Becerra.	79

Figura 37	Hembra de mojarra de Minckley resguardando sus crías.	80
Figura 38	Modelo general de Karr (1991) modificado por De la Maza-Benignos.	81
Figura 39	Laguna Churince antes de su desecación total.	87
Figura 40	Imagen subacuática de la poza Churince que muestra su estado de colapso ecológico e invasión de cíclidos joya.	89
Figura 41	Vista superficial de la poza Churince.	89
Figura 42	Laguna intermedia, Sistema Churince.	90
Figura 43	Vista aérea de la poza de la Becerra y nacimiento del inicio del río Garabatal.	91
Figura 44	Lecho seco del río Garabatal.	91
Figura 45	Vista superficial de la poza de la Becerra.	92
Figura 46	Río Mezquites.	95
Figura 47	Sistema Playitas.	99
Figura 48	Poza Escobedo.	101
Figura 49	Cardumen de cachorritos de Cuatro Ciénegas en la poza Escobedo.	101
Figura 50	Poza Tío Cándido.	104
Figura 51	Vista de nenúfares nativos en la poza Tío Cándido.	104
Figura 52	Poza Doble en los Hundidos.	106
Figura 53	Vista aérea del sistema de pozas en la reserva ecológica de Pozas Azules.	109
Figura 54	Poza Verde en la reserva ecológica Pozas Azules.	109
Figura 55	Vista superficial de la Poza Azul en la reserva ecológica de Pozas Azules.	111
Figura 56	Cardumen de <i>Herichthys cyanoguttatus</i> en el manantial de Santa Tecla.	112
Figura 57	Cardumen de la especie invasora <i>Oreochromis sp.</i> en el sistema Teclitas.	113
Figura 58	Mapa del APFF Cuatrociénegas mostrando los puntos analizados en el presente estudio.	116
Figura 59	Paisaje subacuático en la poza Tío Cándido.	121
Figura 60	Equipo humano de extracción contra el cíclido joya	122
Figura 61	Agua.	138
Figura 62	Cultivo de alfalfa en Cuatro Ciénegas.	142
Figura 63	Modelo conceptual para el rescate de volúmenes de agua en el valle de Cuatro Ciénegas.	158
Figura 64	Vista aérea de la Poza Azul en la reserva ecológica Pozas Azules.	161
Figura 65	Paisaje subacuático en la poza Tío Cándido.	162

CONTROL DE ESPECIES ACUÁTICAS INVASORAS EN EL ANP CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA -IMACTO DEL CÍCLIDO JOYA EN PECES DE CUATRO CIÉNEGAS.

Figura 1	Esquema de los eventos de reproducción, reversión sexual y producción de machos YY para el control del cíclido joya en Cuatro Ciénegas.	126
Figura 2	a) Ejemplares adultos del cíclido joya antes de la formación de parejas b) Parejas formadas: hembra ventilando los huevos del desove y machos resguardando el nido.	127
Figura 3	Esquema de los marcadores empleados para la identificación de genotipos sexuales de cíclido joya dentro del contexto de la biología reproductiva de los peces.	128
Figura 4	Árbol filogenético de distancia genética (Neighbor-joining) construido a partir de 23 secuencias del gen Citocromo oxidasa 1 (ADN mt).	132

ÍNDICE DE ESPECIES



NOMBRE CIENTÍFICO	
<i>Astyanax mexicanus</i>	44
<i>Cyprinella xanthicara</i>	38
<i>Cyprinodon atlorus</i>	58
<i>Cyprinodon bifasciatus</i>	60
<i>Cyprinus carpio</i>	40
<i>Dionda cf. Episcopa</i>	42
<i>Etheostoma lugoi</i>	66
<i>Etheostoma segrex</i>	68
<i>Gambusia longispinis</i>	50
<i>Gambusia marshi</i>	52
<i>Hemichromis guttatus</i>	70
<i>Herichthys cyanoguttatus</i>	72
<i>Herichthys minckleyi</i>	76
<i>Ictalurus lupus</i>	46
<i>Lepomis megalotis</i>	62
<i>Lucania interioris</i>	56
<i>Micropterus salmoides</i>	64
<i>Oreochromis sp.</i>	74
<i>Pylodictis olivaris</i>	48
<i>Xiphophorus gordonii</i>	54

NOMBRE VERNÁCULO	
Bagre lobo	46
Cachorrillo de Cuatro Ciénegas	60
Cachorrillo del Bolsón	58
Carpa asiática	40
Carpa del Bravo	42
Ciclido joya	70
Dardo de Cuatro Ciénegas	66
Dardo del Salado	68
Guayacón de Cuatro Ciénegas	50
Lobina negra	64
Mojarra de Cuatro Ciénegas	76
Mojarra del río Bravo	72
Mojarra Sol	62
Mojarra tilapia	74
Pez mosquitero	52
Pintontle	48
Platy de Cuatro Ciénegas	54
Sardinilla de Cuatro Ciénegas	56
Sardinilla de Cuatro Ciénegas	38
Tetra mexicano	44

FAMILIA	
Centrarchidae	62
Characidae	44
Cichlidae	70
Cyprinidae	38
Cyprinodontidae	58
Fundulidae	55
Ictaluridae	45
Percidae	66
Poeciliidae	50

ORDEN	
Cypriniformes	38
Cyprinodontiformes	50

DE LA ILUSTRACIÓN DEL LIBRO



Colaborar en este proyecto para la parte de la ilustración de las especies fue para mí una experiencia muy emocionante y de lo más enriquecedora.

Dicen dentro del contexto de los biólogos, que debemos dibujar cuando estamos estudiando a las especies y no podría estar más de acuerdo. Cada trazo para representarlas, con la mayor fidelidad posible, nos hace conscientes de todos los detalles por más mínimos que sean. Nos familiariza con las características de aquellos elementos que nos rodean. Hace que comprendamos la composición de nuestro alrededor.

Antes de que los peces de Cuatro Ciénegas pasaran por una representación de mis pinceles, me costaba distinguirlos, incluso con la teoría de cómo hacerlo en mente. Pero uno a uno, se fueron grabando como focos encendidos que ya no vuelven a apagarse. Es un proceso que nunca dejaré de disfrutar.

La parte más emocionante, sin embargo, fue ir en busca de los animales in situ con cámara, red y tubo de respirar en mano. Encontrarlos, seguirlos y esperar para una buena toma que luego me serviría para las ilustraciones, ha sido el trabajo más emocionante que se me hubiera podido ocurrir desde que era niña.

Estar allí, apreciar la belleza y antigüedad del sitio, la dinámica evolutiva dentro de las aguas y sobre todo, conocer a los protagonistas mostrados en este libro en vivo y a través de la pintura, me involucró de tal forma que comprendí aquello que han dicho mis grandes maestros: lo que se conoce se quiere y lo que se quiere se cuida.

Gabriela Rendón Herrera

INTRODUCCIÓN

El Valle de Cuatro Ciénegas está ubicado en el estado de Coahuila, México, el tercer estado en el país con menos lluvia, y donde el clima es severo y las sequías extremas son recurrentes. Sin embargo posee características medioambientales muy particulares que permiten que se desarrolle una gran diversidad de ecosistemas acuáticos que proporcionan condiciones ambientales únicas para el desarrollo de comunidades biológicas muy diversas, y que además favorecen condiciones de aislamiento para la presencia de endemismos.

Este sistema hidrológico posee numerosas pozas, manantiales, ríos, lagunas, llanuras inundables, entre otros humedales, lo cual permite la sobrevivencia de una fascinante mezcla de especies que no se encuentran en ninguna otra parte del mundo, entre las que sobresalen peces, reptiles, cactáceas y macroinvertebrados. Además, se ha registrado históricamente como un sitio importante para la conservación de las aves acuáticas migratorias. Por otra parte, se sugiere que la delgada corteza terrestre de sierras circundantes provoca que el calor haga que el agua de la base de las montañas que se filtró entre las rocas de la sierra durante miles de años, se caliente y suba de nuevo a presión disolviendo el yeso o la roca calcárea de la superficie. Este fenómeno provoca que el agua de estos humedales adquiera condiciones fisicoquímicas similares a las del océano del Arqueano-Precámbrico, permitiendo la sobrevivencia de colonias de estromatolitos y tapetes microbianos, que son formas ancestrales de vida y descendientes directos de las bacterias que dominan el registro fósil de esas épocas de la historia de la Tierra, y que cambiaron el clima, la atmósfera, la fisiología y el destino del planeta.

Por lo anterior, el agua se torna la característica ecológica más relevante de Cuatro Ciénegas, pues sus pozas y humedales, así como los pastizales y dunas asociadas, ofrecen importantes servicios ambientales, culturales, económicos y recreativos a la población local y a visitantes. Esto toma gran importancia considerando que al menos 40 por ciento de la economía mundial y el 80 por ciento de las necesidades de los pobres del planeta dependen de los recursos biológicos. Cuanto mayor riqueza de la diversidad de la vida, mayor será la oportunidad para el desarrollo de descubrimientos médicos, el desarrollo económico y las respuestas de adaptación a nuevos retos tales como el cambio climático (IUCN).

Por su importancia, el 7 de noviembre de 1994 el Valle de Cuatro Ciénegas se decretó como Área de Protección de Flora y Fauna (APFF). En este mismo sentido, además de que es considerado como sitio RAMSAR, LA UNESCO lo ha catalogado como Patrimonio de la Humanidad, y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) le reconoce como Área de importancia para la conservación de las aves (AICA NE 13), así como Región Terrestre Prioritaria (RTP 68,69 y 70) y como una Región Hidrológica Prioritaria (RHP 48).

Las principales amenazas para su conservación son las prácticas agrícolas inadecuadas y el trasvase del agua a cuencas aledañas, lo cual ha disminuido los niveles freáticos, afectando directamente la sobrevivencia de la biodiversidad acuática y terrestre. Se estima que se han perdido en más de un 70 por ciento las lagunas poco profundas con cieno y vegetación litoral,

que representan un hábitat crítico para las aves acuáticas y otras formas de vida endémicas como la tortuga de bisagra (*Terrapene coahuila*). Además, ya ha desaparecido el río Garabatal y su humedal asociado.

Ante esta situación tan dramática, asoma la luz de distintos esfuerzos de conservación del Valle de Cuatro Ciénegas que se presentan como perentorios para encaminar la permanencia de este importante sitio y sus recursos biológicos únicos. Es por esto que el papel de Pronatura Noreste A.C. es esencial como una asociación del sector civil que facilita el proceso de conservación de la zona mediante el desarrollo de distintos proyectos que arrojan claros beneficios, tanto al medio ambiente como a las comunidades de la zona, todo lo cual respalda la importante labor de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, quien administra oficialmente esta ANP. Como parte de estos esfuerzos de conservación, es preponderante rescatar la información sobre la biodiversidad del Valle de Cuatro Ciénegas, ya que la aciaga situación que impera pone en riesgo el capital natural de la región, por lo que su conocimiento técnico profundo nos permite mejorar la toma de decisiones. Es por esto que el presente estudio representa una valiosa aportación por parte de Pronatura Noreste A.C. sobre el conocimiento de la biodiversidad de este sitio prioritario, particularmente sobre los peces, un grupo tan vulnerable como representativo de las condiciones excepcionales de Cuatro Ciénegas.

Descripción del área

El Valle de Cuatro Ciénegas se localiza en el corazón del Desierto Chihuahuense en México, en el centro del estado de Coahuila, al norte y centro del municipio de Cuatro Ciénegas entre las coordenadas geográficas 26° 45' 00" y 27° 00' 00" Latitud Norte; 101° 48' 49" y 102° 17' 53" Longitud Oeste, con una altura aproximada de 740 msnm. El clima para esta región es muy seco, semicálido, con escasas lluvias invernales. Aquí se presenta fuerte variación en su temperatura con la media mensual más alta, rebasando los 30 °C, y la mínima es menor a los 12 °C. Las precipitaciones pluviales varían entre 100 y 440 mm, se presentan en su gran mayoría en verano, manifestándose en escasos aguaceros y es relativamente común la condición de sequía. Fisiográficamente el Valle de Cuatro Ciénegas forma parte de la Provincia de la Sierra Madre Oriental y dentro de la Subprovincia Sierras y Llanuras Coahuilenses. Este Valle incluye, sierras que extienden hacia amplias bajadas, cañones, planicies aluviales saturadas de sales, colinas bajas y dunas de yeso. El valle de Cuatro Ciénegas es parte de un sistema de formaciones similares que se repiten en toda la Sub-provincia de las Sierras y Llanuras Coahuilenses con estratos geológicos predominantes del Mezozoico en las montañas. El APFF Cuatrociénegas, está en el límite entre dos Provincias Geológicas, el Golfo de Sabinas y la Plataforma de Coahuila, donde la Sierra de La Fragua sirve como parteaguas. El Valle está rodeado por altas montañas, resultado de plegamientos, algunos de ellos, especialmente la Sierra de San Marcos y Pinos, presenta una gran

cantidad de fracturas de material arcilloso que posiblemente sean las que permitan la recarga de los manantiales. En las Sierras predominan suelos rocosos de tipo litosol, los cuales generalmente están asociados a redndzina y regosol, mientras que en el piso del valle se presentan suelos de tipo aluvial, como solonchak, xerosol, regosol y yermosol, algunos de ellos son de tipos salino y yesoso, siendo el producto de la evaporación provocada por las altas temperaturas, (INE, 1999)

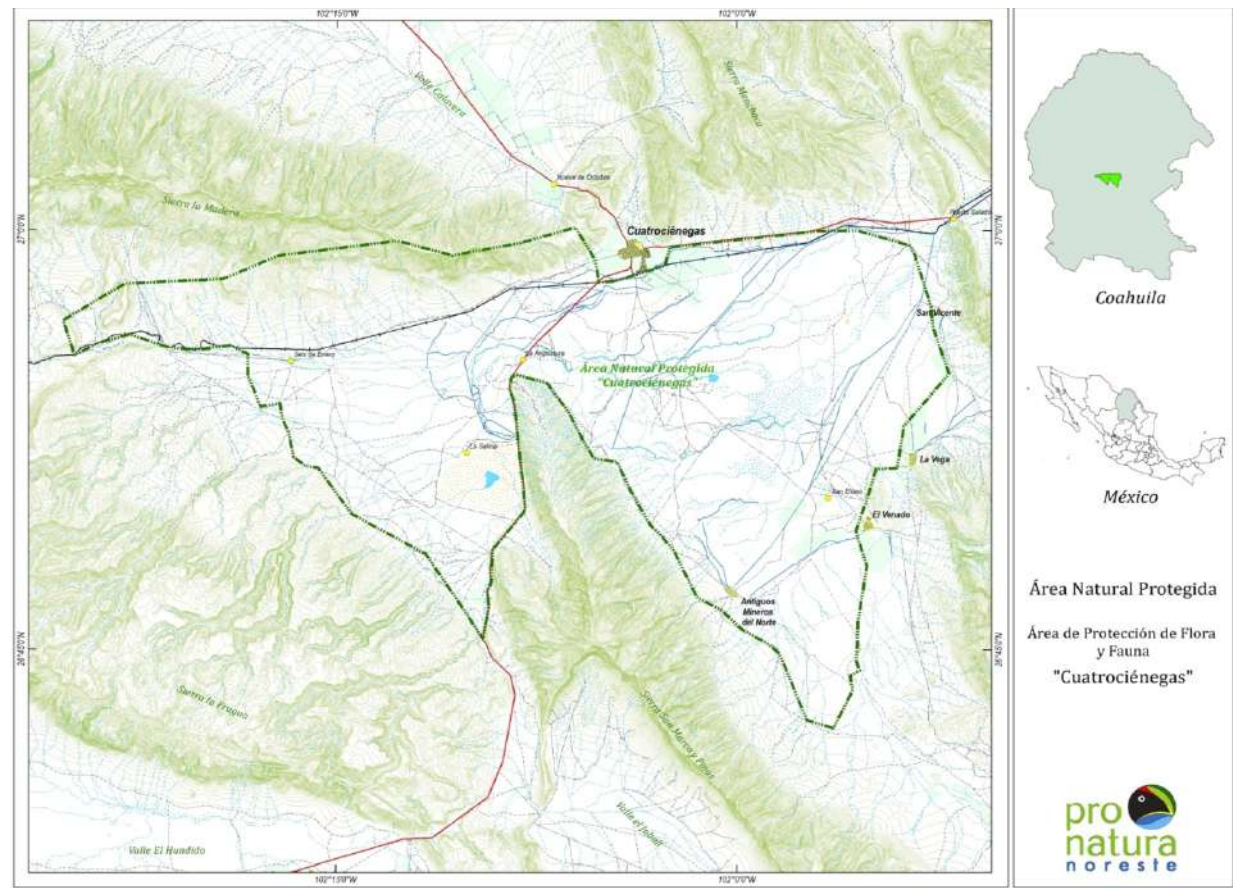
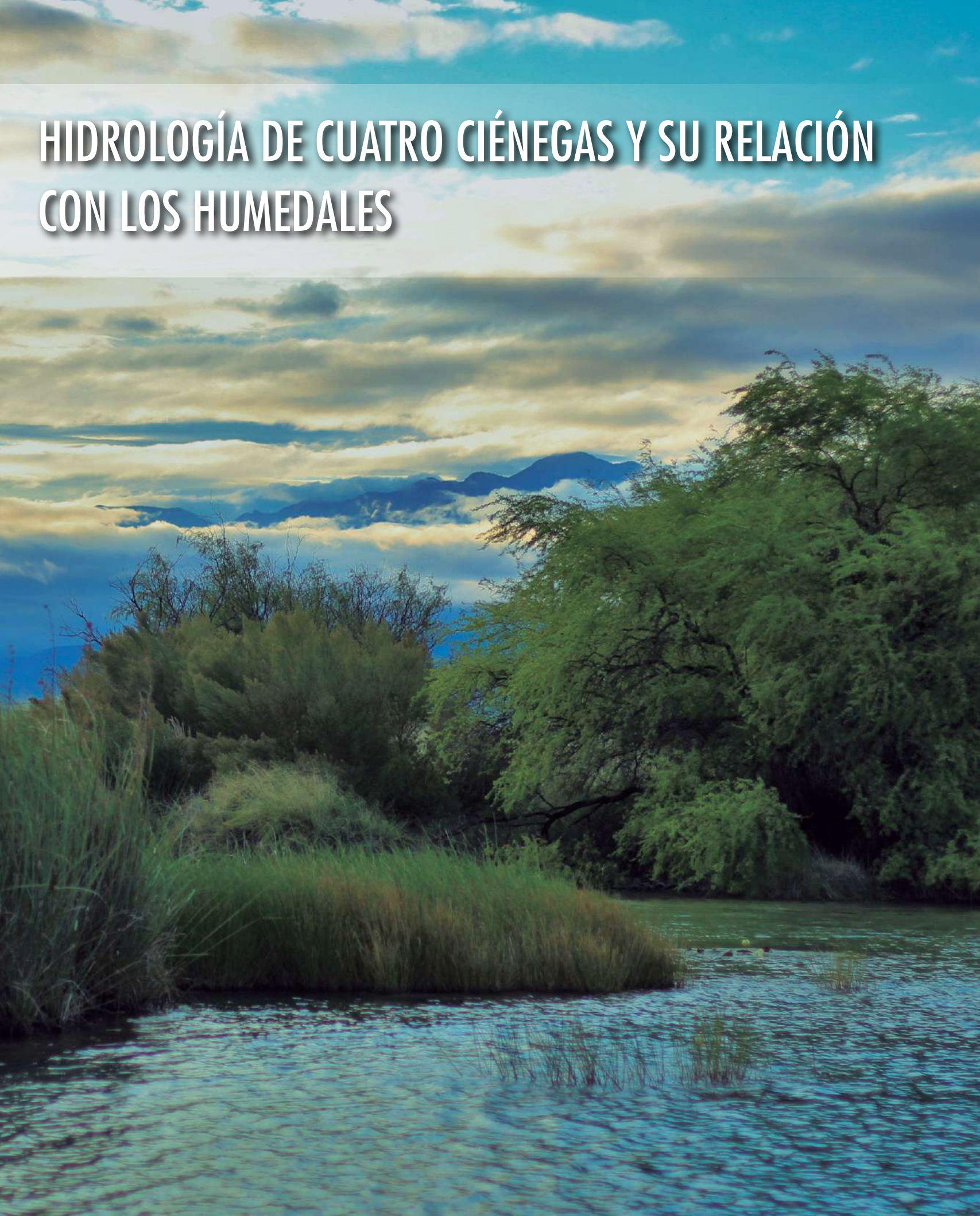


Figura 7 Mapa mostrando la ubicación geográfica del Valle de Cuatro Ciénegas.

Literatura citada

1. Comisión nacional de áreas naturales protegidas (CONANP). (1999). Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, México D. F., 167pp.
2. Conabio, 2000. Estrategia nacional sobre biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
3. García Ramírez, M. E. (2005). Ecología y distribución de peces en áreas selectas del valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México.
4. Protección de la Fauna Mexicana, A. C. (PROFAUNA), noviembre 1999, Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, México D. F.
5. Ryder, O. A. (1986) Species conservation and systematics: the dilemma of subspecies. Trends. Ecol. Evol. 1:9—10.



HIDROLOGÍA DE CUATRO CIÉNEGAS Y SU RELACIÓN CON LOS HUMEDALES

Oscar Adrián Leal Nares

El valle de Cuatro Ciénegas está localizado en una región árida, donde la evaporación anual alcanza los 2,042 mm y la precipitación media es inferior a los 200 mm, por lo que se clasifica como un clima tipo Seco desértico. Sin embargo, aunque las lluvias son escasas, existe abundante agua subterránea que emerge a la superficie a través de manantiales que dan vida a una gran diversidad de ecosistemas acuáticos compuestos por manantiales, ríos, lagunas, llanuras inundables, llanuras húmedas y vegetación de tipo emergente. Estos ecosistemas proporcionan condiciones ambientales únicas para el desarrollo de las comunidades biológicas y los procesos evolutivos que han favorecido la presencia de especies endémicas.

Desde la perspectiva hidrológica, el área de Cuatro Ciénegas está inmersa en una cuenca endorreica, cuyo drenaje está conformado por arroyos que surgen en las partes altas de las sierras producto de las precipitaciones, para posteriormente desaparecer en los márgenes del valle, por lo que en teoría se puede considerar un sistema cerrado.

La infiltración de los escurrimientos superficiales ocurre principalmente en los afloramientos de las calizas acuíferas, los flancos de las montañas, los bordes de los valles y las áreas aledañas a los humedales, aportando a la recarga de los mantos acuíferos.

En el área existen dos unidades acuíferas, uno de características granulares y otro calizo. El acuífero granular está constituido por materiales aluviales y lacustres de baja permeabilidad, abarcando toda la superficie del valle con un espesor de 20 a 40 metros, limitado por rocas sedimentarias poco permeables de origen marino. Mientras que el acuífero calizo se caracteriza por la heterogeneidad en las rocas carbonatadas que son atacadas por disolución, con una transmisividad alta y caudales que van desde unos cuantos litros hasta varios metros cúbicos por segundo; estos son el origen de los manantiales que se localizan en los flancos de las montañas y en los valles donde el relleno es muy delgado (SARH, 1980).

En la región existe una relación intrínseca entre la hidrología superficial y subterránea, por lo que puede decirse que son complementarias. No obstante, el comportamiento de la hidrología en el valle de Cuatro Ciénegas, está mayormente influenciado por los acuíferos, ya que el agua superficial que alimenta a los humedales proviene de las descargas subterráneas que se generan en los manantiales.

Debido a las características topográficas en Cuatro Ciénegas, el agua presenta un movimiento natural hacia la planicie oriental del valle, formando lagunas temporales y humedales compuestos por vegetación acuática. Sin embargo, existen modificaciones a la hidrología original debido a la apertura de los canales agrícolas Santa Tecla, La Becerra y Saca Salada, que son utilizados para exportar un volumen aproximado de 81.7 millones de metros cúbicos anuales a comunidades localizadas al exterior del valle, que se suman a los 17.8 millones de metros cúbicos que son

aprovechados en la región (DOF, 2008); por otro lado, se extrae un volumen aproximado de 6.8 millones de metros cúbicos del acuífero Cuatro Ciénegas, destinado principalmente a las actividades agrícolas (CONAGUA, 2014).

La presión hídrica, ha propiciado que en los últimos 25 años los humedales hayan registrado una disminución del 10% en su superficie, mostrando alteraciones en la humedad del suelo, variaciones en los caudales de los ríos, cambios en los patrones de drenaje, disminución en los niveles de los manantiales y la desecación de lagunas temporales. Estos efectos han producido fragmentación del hábitat, disminución en el tamaño de los parches y un efecto de borde mayor en los humedales, lo cual tiene implicaciones importantes para el manejo y conservación de las especies endémicas que poseen un nicho ambiental reducido (Leal-Nares, 2016).

Los humedales de Cuatro Ciénegas son afectados por cambios en el régimen de precipitación y temperatura, además de la dinámica hidrológica producto de la combinación de factores naturales y humanos. En este sentido, se ha identificado que las variaciones en la hidrología subterránea influyen en la formación de humedales principalmente durante periodos de sequía, debido a que los niveles someros de los acuíferos mantienen las condiciones de humedad en el suelo. Por el contrario, cuando las precipitaciones son abundantes, la hidrología superficial incide en la formación de nuevos humedales formando áreas de inundación.

Los cambios en la hidrología han propiciado la degradación de los humedales en las zonas aledañas a los ríos, manantiales y canales artificiales, por lo que la conservación y mejoramiento de las condiciones de los ríos y manantiales son clave para el buen funcionamiento de la dinámica hidrológica en la región, ya que constituyen el vínculo entre la hidrología subterránea y superficial.

.....

Literatura Citada:

CONAGUA. (2014). Registros de aprovechamientos en el Valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila Monterrey, México.

DOF. (2008). Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos del Acuífero 0528 Cuatrociénegas y se modifican los límites y planos de localización que respecto del mismo se dieron a conocer en el Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de 188 acuífero. Junio Diario Oficial de La Federación, 2, 13.

Leal-Nares, O. (2016). Influencia de la Hidrología Superficial y Subterránea en la Cobertura y ComposiciónMde los Humedales: Caso de Estudio Cuatro Ciénegas. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Tesis de doctorado.

SARH. (1980). Estudio geohidrológico preliminar en la zona Cuatrociénegas-Ocampo, Coahuila. (ININSA, Ed.). Coahuila.





BACTERIAS, ESTROMATOLITOS Y TAPETES MICROBIANOS DE CUATRO CIÉNEGAS: UN OASIS DONDE SE GUARDÓ EL PASADO DE LA TIERRA

Valeria Souza y Luis E. Eguiarte

Departamento de Biología Evolutiva

Instituto de Ecología

Universidad Nacional Autónoma de México

Biológicamente, el oasis de Cuatro Ciénegas de Carranza (CCC), en el estado de Coahuila, es un sitio único en el mundo. Desde el espacio se ve como una mariposa blanca, cuyos flancos lo bordean sierras enormes. Estas sierras son muy especiales y nos ayudan a entender la ecología e historia de CCC.

La sierra que bordea la base izquierda de la mariposa se llama La Fragua. Esta sierra marca el sitio donde se separó el súper-continente Pangea, hace unos 220 millones de años al iniciar el Triásico, dejando entrar el agua y la vida asociada al océano Panthalassa. Así se inició el proceso que dio lugar no sólo al océano Atlántico, sino el movimiento de las gigantescas placas de granito de la superficie terrestre, placas llamadas cratones que forman el corazón de los continentes. Este movimiento se inició desde el sur del planeta, para llegar a donde están ahora los continentes. Poco después de que se separó totalmente Pangea inició el Jurásico, hace 201 millones de años. Durante los casi 60 millones de años posteriores hubo tanta actividad volcánica en el mar, que los moluscos y otros invertebrados hicieron sus conchas y caparazones de sulfato de calcio (yeso) en lugar de carbonato de calcio (como casi siempre en la historia de la vida). La mariposa que forma CCC vista desde el espacio es blanca, especialmente su ala izquierda (la parte que da al Oeste), porque de ese lado sus suelos son dunas ricas en yeso derivadas de los moluscos de Jurásico, y que sugieren que esta parte del valle nunca ha sido sepultada por sedimentos o suelos más oscuros.

Veamos ahora con cuidado el “cuerpo” de la mariposa que forma CCC. Esta parte corresponde con una sierra imponente, en forma de flecha que se llama San Marcos y Pinos. Esta sierra es la responsable de que el oasis haya “guardado la máquina del tiempo”, que son sus pozas. Lo que ocurre es que nuestra mariposa literalmente tiene la “panza caliente”. Aparentemente, debajo de la sierra de San Marcos y Pinos, la litósfera (corteza terrestre) es más delgada, por lo que el magma está más cerca de la superficie terrestre que en otros lados; tal vez por eso mismo aquí se separó Pangea. Ese calor hace que el agua que se filtra entre las rocas de la sierra durante miles de años baje lentamente a la parte basal de la montaña donde se calienta y sube de nuevo a presión, disolviendo el yeso o la roca calcárea de la superficie, creando algo parecido a los cenotes de la península de Yucatán. Lo más interesante es que en su camino subterráneo el agua de la sierra de San Marcos y Pinos va adquiriendo condiciones fisicoquímicas similares a las que tuvo el océano durante el Arqueano-Precámbrico, hace 3 mil millones de años, convirtiendo esta agua fósil (que posiblemente venga de épocas más húmedas durante las glaciaciones) en un agua rica en minerales, rica en azufre (S) que viene de sus rocas, muy pobre en fósforo (P) (que queda

atrapado en los carbonatos de la sierra) y en oxígeno (debido a su largo tiempo bajo tierra). Esta es una de las posibles razones por la cual las pozas de Cuatro Ciénegas tienen comunidades microbianas complejas conocidas como estromatolitos y tapetes microbianos.

Los estromatolitos son literalmente rocas bandeadas que dominan el registro fósil de la tierra correspondiente a los primeros 3 mil millones de años, y que vienen de los mares someros del remoto pasado de la Tierra. Lo que es extraordinario del oasis de CCC es que en sus aguas transparentes color Caribe, estas rocas rayadas no solo están vivas, sino que sus genes nos indican que se separaron de sus hermanos marinos hace más de mil millones de años, por lo que su cuidadoso análisis microbiológico y molecular nos permite conocer quiénes fueron los microscópicos ingenieros planetarios que construyeron la Tierra actual. Lo que ocurrió hace millones de años es que la actividad fisiológica de las bacterias asociadas a estas rocas, con su metabolismo conjunto cambiaron, burbuja por burbuja, la atmósfera al romper el agua con la energía de la fotosíntesis, liberar el oxígeno que nosotros (y muchos otros animales y plantas) respiramos y con ello cambiaron el clima, atmósfera, fisiología y destino del planeta.

De lo anterior se desprende una primera pregunta obligada ¿Por qué sobrevivieron en CCC y en ningún otro lado (que sepamos) los descendientes directos de los micro ingenieros planetarios, aquellas comunidades de bacterias que transformaron al mundo? Ese es en efecto un gran misterio de la historia natural de la Tierra que tal vez nunca podamos resolver. Sin embargo, la ciencia hace preguntas y trata de contestarlas construyendo hipótesis, mismas que se ponen a prueba y se exploran una y otra vez. La primera hipótesis en este caso es que aquí las condiciones ambientales del agua, en particular la falta de fósforo y la riqueza de azufre, permitió que estas comunidades sobrevivieran, juntas reciclando los pocos nutrientes entre ellas. Si esto es cierto, entonces tenemos que los microorganismos de este sitio serán muy sensibles a un aumento en el fósforo, ya que el resto de la vida microscópica del planeta está acostumbrada a tener más fósforo para poder crecer rápido, desplazando así a los pequeños ingenieros originales.

Experimentalmente exploramos esta hipótesis junto con el equipo de trabajo de Arizona State, NASA y el John Craig Venter Institute. El experimento consistió en convertir en “mesocosmos” a una pocita somera experimental que llamamos ‘Lagunita’ de unos 15 por 5 metros en el sistema Churince. Este es uno de nuestros sitios de estudio favorito en CCC, ocupando la parte sureña en el “ala izquierda” de la mariposa. Los “mesocosmos” consistieron en 20 tubos de un plástico especial no reactivo que medían 40 cm de diámetro y 1 m de altura, que fueron enterrados 15 cm en el sedimento. En ellos aplicamos cuatro tratamientos replicando cada tratamiento cinco veces. Los tratamientos consistían en agregar nutrientes de manera controlada en tres de ellos (adición de fósforo, adición de fósforo y nitrógeno y adición de nitrógeno sin fósforo extra) y dejar un tratamiento como control. Para analizar el efecto del experimento tomamos muestras de la comunidad del agua y del sedimento, antes de empezar el experimento, a las 3 semanas de iniciado y al acabar

el experimento, después de 45 días. Estas muestras fueron procesadas cuidadosamente para extraerles el material genético (el ADN) y preguntarnos quién vive ahí, utilizando un marcador molecular particular llamado 16S rDNA e inferir cómo funciona la comunidad.

Al agregar solo fósforo, los microorganismos, tanto del agua como del sedimento, cambiaron en relación al control, pero no tanto como cuando se agregó N o cuando se limitó aún más el fósforo, al agregar mucho nitrógeno. Al agregar nitrógeno, las algas y otros microorganismos que requieren nutrientes y que estaban muy limitados por las condiciones del agua de CCC - tanto en el agua como en el sedimento- cambiaron radicalmente. Con la adición de nitrógeno se perdieron casi todos los microorganismos endémicos que hacen únicas a las pozas de CCC. Aumentaron notablemente aquellos microorganismos comunes en el resto del planeta pero que no pueden crecer en CCC, dada la ventaja competitiva de los locales para vivir en un mundo con muy pocos nutrientes. Nuestros resultados claramente apoyan la hipótesis de que los nutrientes son cuando menos parte de la respuesta correcta, pero indicando que no sólo el fósforo es limitante, sino también su relación con el nitrógeno.

Algo inesperado e interesante del experimento es que todas las muestras de agua fueron diferentes al tiempo inicial, inclusive el control donde no se agregó nada, sugiriéndonos que atrapar el agua que fluye con el viento en un tubo de 40 cm de diámetro la afecta, aunque no le agreguemos nada adicional. Esto nos lleva a pensar que probablemente las interacciones entre los diferentes microbios que viven en el agua (la comunidad microbiana) son importantes y amplias, mientras que las interacciones de la comunidad del sedimento son más locales, por lo que 40 cm de diámetro son suficientes, ya que el control se comportó en este caso muy parecido al tiempo inicial

Por lo anterior, hay que elaborar una segunda hipótesis ¿En CCC las comunidades bacterianas han persistido todo este tiempo juntas, porque requieren de toda la comunidad para sobrevivir en un lugar donde los nutrientes son muy limitantes? Estas comunidades microbianas de CCC ¿Son diferentes al resto del mundo porque desplazan (con antibióticos, por ejemplo) a los microorganismos forasteros que llegan todo el tiempo con el viento, la lluvia, la tierra y los animales? Esto es más difícil de analizar, pero ya tenemos varias pistas.

La primera pista nos la dan nuestros estudios de metagenómica. La metagenómica es una técnica sofisticada que se basa en obtener el ADN total de la comunidad (todo el ADN de todos los organismos), secuenciar todo este ADN (obtener el genoma de la comunidad biológica completa) y luego ensamblar sus genes y por lo tanto conocer todas sus funciones metabólicas. Estudiando los metagenomas de varias comunidades de tapetes microbianos y estromatolitos de Cuatro Ciénegas, encontramos algo fascinante: aunque cada comunidad es única taxonómicamente -o sea las bacterias particulares son diferentes entre cada poza, tapete y estromatolito- la comunidad como un todo en cada muestra es muy diversa metabólicamente, siendo cada una de las comunidades capaz de realizar todas o la mayoría de las funciones metabólicas que se han documentado en el planeta para bacterias; en el resto del planeta, cada comunidad hace

algunas funciones, y para tener todas las funciones se creía que se necesitaba la biosfera o ecosistemas completos. Esta complementariedad metabólica de las comunidades microbianas de Cuatro Ciénegas es paralela, es decir, las diferentes comunidades tienen las mismas funciones, pero lo hacen con genes diferentes ¿Qué nos dicen todos estos datos microbiológicos y moleculares de CCC? Por una parte, nos indican que la diferenciación entre comunidades es muy alta: cada comunidad microbiana es única en CCC (y por lo tanto única en el planeta). Por otra parte indica que no importando quien son los actores (cuáles especies de bacterias en particular se tiene en una comunidad de CCC), cada comunidad es perfectamente complementaria metabólicamente, confirmando la parte de la hipótesis de que estas comunidades y las especies bacterianas han sobrevivido por mucho tiempo, trabajando y co-evolucionando juntas y entre todas realizando todas las tareas necesarias para reciclar los elementos básicos de la vida, los átomos que fueron forjados en las estrellas.

Otra parte de la hipótesis es que las bacterias de CCC no han sido sustituidas por bacterias más recientes porque las bacterias modernas no pueden sobrevivir en el ambiente tan pobre en nutrientes de CCC. Esto último ha sido apoyado no sólo por nuestros estudios metagenómicos, donde en efecto no se encuentran ninguna de las bacterias modernas (que están por todos lados, en particular las asociadas a humanos). No solo eso, sino que hemos encontrado literalmente miles de toxinas y antibióticos nuevos para la ciencia (o sea, que nadie los había encontrado en otros lugares del planeta) tanto en los metagenomas como en los genomas que hemos obtenido de bacterias cultivadas de Cuatro Ciénegas, dentro de los pocos géneros que podemos crecer en el laboratorio (lo cual es muy difícil, dadas sus limitaciones y especializaciones en nutrientes y sales): *Bacillus*, *Pseudomona* y *Vibrio*. Al poner estas cepas cultivadas a competir con bacterias que en el campo eran sus vecinos cercanos, vemos que se toleran, pero si ponemos bacterias que no se conocen, la batalla es tan feroz que las de Cuatro Ciénegas destruyen a las bacterias forasteras y se comen su ADN ¡De hecho, todas las bacterias que probamos experimentalmente usan el ADN como fuente principal de Fósforo! Resumiendo, Cuatro Ciénegas es un oasis extraordinario que aparentemente ha mantenido vivas a comunidades bacteriana ancestrales. Estas bacterias de CCC representan a las descendientes directas de las “ingenieras planetarias” que transformaron a la Tierra ancestral en el actual planeta azul. Esto ha sido posible porque las condiciones ambientales en CCC se han mantenido por mucho tiempo similares a las de los mares del pasado de la Tierra. Estas bacterias de CCC y sus comunidades trabajan y evolucionan juntas, y no permiten que bacterias forasteras las desplacen, por lo que creemos que en la superficie de CCC nunca se pudieron establecer sobre el sedimento marino ancestral. Por ello, este valle en forma de mariposa no fue sepultado por sedimentos y se mantuvieron las condiciones ideales para el desarrollo de sus comunidades bacterianas ancestrales y únicas, guardando entre sus rocas al agua fósil, preciosa e invaluable molécula que permite la vida.



LOS PECES DE CUATRO CIÉNEGAS



Mauricio De la Maza Benignos

Pronatura Noreste, A.C.

En el Valle de Cuatro Ciénegas han sido reportadas 19 especies de peces, clasificadas taxonómicamente en 4 órdenes y 8 familias. De estas 19 especies, al menos 12 consideramos como endémicas por tener la totalidad de su distribución dentro de la subcuenca. Zoogeográficamente, 5 de las familias son de origen neártico (i.e. Cyprinidae, Cyprinodontidae, Fundulidae, Percidae y Centrarchidae) y 3 de origen Neotropical (i.e. Characidae, Poeciliidae y Cichlidae), mientras que, ecológicamente 4 familias son primarias (Characidae, Cyprinidae, Percidae y Centrarchidae) y 4 secundarias. (Cyprinodontidae, Fundulidae, Poeciliidae y Cichlidae). Las especies más ampliamente distribuidas son *Gambusia marshi* y *Astyanax mexicanus* (García Ramírez, 2005). En cuanto a su estatus ecológico, al menos 3 especies son exóticas, lo que representa el 17% del total, un número significativamente alto que al menos en el caso de El Churince, ha significado ya el colapso ecológico en uno de los subsistemas acuáticos más representativos de Cuatro Ciénegas.

Si bien algunas de las inclusiones, aunque definitivamente no justificables, resultan fáciles de entender como es el caso de la tilapia (*Oreochromis sp.*), pez utilizado comúnmente en acuicultura; algunas otras resultan incomprensibles, como la del cíclido joya (*Hemichromis guttatus*), pez ornamental. De esta forma, la irresponsabilidad de algunas personas, así como los programas de acuicultura del gobierno han sido causas de la introducción de especies como la carpa asiática (*Cyprinus carpio*), y las tilapias; las cuales junto con el cíclido joya y otras especies acuáticas vegetales (p. ej. el *Arundo donax* y el *Tamarix sp.*) y macroinvertebrados tales como el cangrejo rojo (*Procambarus clarkii*) o el caracol asiático (*Melanoides tuberculata*), están teniendo efectos devastadores en las poblaciones de peces.

De las 19 especies de peces habitantes de la cuenca endorreica de Cuatro Ciénegas, 12 son endémicas, 4 son nativas y finalmente 3 son exóticas. Adicionalmente consideramos a la especie *Etheostoma segrex*, microendémica de la vecindad inmediata al valle en la cuenca alta del río Salado de los Nadadores como un elemento de la biodiversidad que hoy depende de los flujos de agua que manan de Cuatro Ciénegas, (Tabla 1).

Especiew	Nombre vernáculo	Estatus evolutivo	Familia
<i>Cyprinella xanthicara</i>	Sardinita de Cuatro Ciénegas	En	Cyprinidae
<i>Dionda cf. Episcopa</i>	Carpa del Bravo	(En)	Cyprinidae
<i>Astyanax mexicanus</i>	Tetra mexicano	N	Characidae
<i>Ictalurus lupus</i>	Bagre lobo	(En)	Ictaluridae
<i>Pylodictis olivaris</i>	Pintontle	N	Ictaluridae
<i>Gambusia longispinis</i>	Guayacón de Cuatro Ciénegas	En	Poeciliidae
<i>Gambusia masrshi</i>	Pez mosquitero	N	Poeciliidae
<i>Xiphophorus gordonii</i>	Plata de Cuatro Ciénegas	En	Poeciliidae
<i>Lucania interioris</i>	Sardinilla de Cuatro Ciénegas	En	Fundulidae
<i>Cyprinodon atlorus</i>	Cachorrito del Bolsón	En	Cyprinodontidae
<i>Cyprinodon bifasciatus</i>	Cachorrito de Cuatro Ciénegas	En	Cyprinodontidae
<i>Lepomis megalotis</i>	Mojarra Sol	(En)	Centrarchidae
<i>Micropterus salmoides</i>	Lobina negra	N (En)	Centrarchidae
<i>Etheostoma lugoi</i>	Dardo de Cuatro Ciénegas	En	Percidae
<i>Etheostoma segrex</i>	Dardo del Salado	MA	Percidae
<i>Herichthys cyanoguttatus</i>	Mojarra del río Bravo	N	Cichlidae
<i>Herichthys minckleyi</i>	Mojarra de Cuatro Ciénegas	En	Cichlidae
Exóticas			
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa asiática	Ex	Cyprinidae
<i>Hemichromis guttatus</i>	Ciclido joya	Ex	Cichlidae
<i>Oreochromis sp.</i>	Mojarra tilapia	Ex	Cichlidae

Tabla 1. especies Endémicas (En), Nativas (N), Exóticas (Ex) y Microendémicas asociadas (Ma) que se localizan en el valle de Cuatro Ciénegas.

Cabe aclarar que, aun cuando las especies consideradas nativas corresponden a grupos taxonómicos que cuentan con un intervalo de distribución que se extiende más allá del parteaguas que separa al Bolsón de Cuatro Ciénegas de las cuencas aledañas, genéticamente, las especies nativas e inclusive las subpoblaciones de las especies endémicas del Valle, desde una perspectiva de la genética de la conservación, corresponden a unidades poblacionales, especies o subespecies *lato sensu*, y/o Unidades Evolutivamente Significativas sensu Ryder (1986) [ESU por sus siglas en inglés] que requieren de estrategias de conservación que compendien un manejo especial, pues dichas unidades (independientemente del tipo, caracterización o correspondencia taxonómica formal a la que pertenezcan) atañen a los procesos evolutivos y a la distribución de la diversidad genética, tratándose de poblaciones genéticamente distintas del resto que han estado históricamente aisladas en el caso de las nativas, y/o separadas entre sí en el caso de las endémicas.



FICHAS DESCRIPTIVAS DE ESPECIES DE PECES



Orden Cypriniformes

Familia Cyprinidae

La familia Cyprinidae es la familia más grande de peces, con más de 2100 especies distribuidas en todos los continentes, con excepción de Sudamérica, Oceanía y Antártica. Tienen solo una aleta dorsal, aletas pélvicas abdominales, y línea lateral, así como también escamas cicloideas en el cuerpo. Carecen de espinas verdaderas en las aletas, aunque las carpas muestran estructuras similares a estas, que en realidad corresponden a radios endurecidos. Carecen de dientes maxilares, aunque sí presentan 1 a 3 hileras de dientes faríngeos que utilizan para moler los alimentos contra la placa cornuda del hueso basioccipital.

Cyprinella xanthicara (Minckley & Lytle, 1969)



Fig. 15 Macho de *Cyprinella xanthicara* arriba y hembra abajo, ambos en coloración de crianza.

NOMBRE COMÚN:

Sardinita de Cuatro Ciénegas, Cuatro Ciénegas Shinner.

TALLA:

Rara vez más de 60 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Río Puente Colorado, 8.5 kilómetros al sur y 0.7 kilómetros al oeste de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Endémica de Cuatro Ciénegas.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Poza de la Becerra y río Garabatal; sistema el Churince y Laguna Intermedia [en este sitio la consideramos extirpada de acuerdo a observaciones de Evan W. Carson (com. personal) y Mauricio De la Maza-Benignos en junio de 2015]; Río Mezquites; Poza de la Angostura (26°55'37.5" N, 102°07'56.9" W, documentada en mayo, 2013); sistema Tío Cándido; Juan Santos; y canal entre La Vega y el Venado en 26°54' 02 " N, 101°55' 09" W (Aguilar-Aguilar et al., 2014). Se le observó en el nacimiento de Santa Tecla (ídem Poza Grande) en junio de 2015. Muy raros en la sección norte de la cuenca (Minckley & Lytle, 1969).

HÁBITAT:

Prefieren las corrientes moderadas, con profundidades mayores de 25 cm, asociadas a manantiales termales y sus escurrimientos. Usualmente ocupan la mitad inferior de la columna de agua, pero se les puede observar nadando diligentemente en toda la columna, desde el fondo hasta la superficie para alimentarse. Se alimentan de material flotante, insectos, organismos bentónicos y detrito.

BIOLOGÍA:

Poco se conoce acerca de su biología. Probablemente desoven de marzo a abril (Miller, 2005). Los machos desarrollan una coloración vibrante y tubérculos nupciales durante la primavera, cuando pelean por la posesión temporal de una grieta entre las rocas en la corriente moderada o rápida a donde atraen a una hembra para el desove; después del cual se alejan abandonando los huevecillos a su suerte. Adhieren los huevos a grietas o hendiduras, en grava limpia o en objetos sumergidos como raíces de árboles.

RECONOCIMIENTO:

Machos y hembras con línea lateral muy pigmentada; región ventral muy clara. Aletas color anaranjado. Cuerpo alargado, maxila incluida, macho con tubérculos nupciales en la cabeza. Escamas en la línea lateral 35 frecuentemente 34 y predorsales 15–16; radios de las aletas dorsal 8–9, y anal 8–9. Branquiespinas en el primer arco branquial 3–4.

ESTATUS ECOLÓGICO:

Endémica, En Peligro (P) según la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la IUCN, posiblemente extirpada del sistema El Churince.

Cyprinus carpio Linnaeus, 1758



Fig. 16 La carpa común (*Cyprinus carpio*) es una especie exótica para el valle de Cuatro Ciénegas.

NOMBRE COMÚN:

Carpa asiática, Common carp.

TALLA:

Puede superar los 1200 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Europa.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Introducida en Europa y Norteamérica.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Existen reportes de su presencia en Las Playitas.

HÁBITAT:

Lagos, ríos y arroyos.

BIOLOGÍA:

Se mueve en cardúmenes pequeños hurgando el fondo suave con la ayuda de sus dos barbas, generalmente a menos de 10 m de profundidad, en busca de insectos acuáticos, crustáceos, moluscos, plantas, algas y detritos de los que se alimenta, por lo que se le considera un omnívoro. Puede tomar una bocanada de material béntico que posteriormente escupe en la columna de agua para seleccionar alimentos. Desova de día y de noche a poca profundidad (de 30 a 60 cm aproximadamente) en la primavera y principios del verano en un rango aproximado de temperatura que oscila entre los 17° y los 27°C, preferentemente en zonas protegidas con vegetación, troncos o raíces sumergidas. Si no hay disponibilidad puede desovar en áreas abiertas de detrito. Puede depositar más de dos millones de huevecillos adhesivos, los cuales son inmediatamente fertilizados por el macho y abandonados a su suerte. El periodo de incubación es de 90 horas aproximadamente. Las hembras pueden desovar más de una vez por año. Los machos maduran a los dos años de edad y las hembras a los tres años en climas templados.

RECONOCIMIENTO:

Línea lateral dorada brillante, región ventral amarillenta pálida y región dorsal color verde oliva grisácea, tonos metálicos, aletas dorsal y caudal doradas oliváceas; las otras aletas amarillentas. Quijada superior con dos pares de barbas, aleta dorsal con más de 15 radios, aletas dorsal y anal con un radio endurecido, fuerte y serrado, y dos radios serrados anteriores de menor tamaño.

ESTATUS ECOLÓGICO:

Exótica para el área.

***Dionda cf. episcopa* Girard 1856**



Fig. 17 *Dionda cf. episcopa*, macho arriba y hembra abajo. Ambos muestran coloración nupcial.

NOMBRE COMÚN:

Carpa del Bravo, carpa obispa, Roundnose minnow.

TALLA:

Alcanza hasta los 64 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Cabecera del río Pecos, Nuevo México; o Texas, Estados Unidos de América.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Vertiente atlántica, río Pecos y tributarios del Río Bravo, zona del Big Bend, Texas y Coahuila; Río Nazas, Conchos, Bravo, Sabinas y San Juan en Nuevo León.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Sistema El Churince (aún se observó un cardumen pequeño en los riachuelos aledaños a la poza en la laguna intermedia); río Mezquites; Laguna de Juan Santos. Se observaron cardúmenes grandes en la poza de los Hundidos (26° 52' 13.35"N, 102° 01' 12.57"W) durante los muestreos en agosto, 2015.

HÁBITAT:

Se le encuentra en pozas con fondo rocoso o limoso, con vegetación abundante en las cabeceras de los sistemas, así como en los riachuelos someros y laguna intermedia del sistema Churince.

BIOLOGÍA:

Se alimenta generalmente de algas y otro tipo de vegetación. Desova en la primavera y verano. Los huevecillos, pesados y no adhesivos, son depositados por la hembra y fertilizados por el macho sobre el fondo de grava en agua de muy poca profundidad donde caen y se protegen por las oquedades.

RECONOCIMIENTO:

Línea lateral desde la sección preorbital hasta la basicaudal. Cuerpo muy pigmentado. Muestra una estola negra en la parte media del cuerpo desde el rostro que pasa por el ojo y el opérculo en su parte superior hasta el abanico hypural, terminando en una mancha basicaudal triangular con melanóforos; resto del opérculo azul verdoso iridiscente, dorso gris verdoso oscuro, costado verde azulado, vientre plateado azulado, aletas anaranjadas, aleta dorsal con margen externo claro seguido por una banda negra muy delgada. Primer radio de la aleta dorsal (rudimentario) romo, no adherido al siguiente; separado por una membrana interradyal. Cuerpo largo y delgado, dorso y vientre convexo, cabeza pequeña, los machos adultos muestran tubérculos; boca pequeña y terminal, origen de la aleta dorsal casi a la altura de las aletas pélvicas, pectorales bajos, pélvicas abdominales, anal detrás de la dorsal, pedúnculo caudal largo y delgado. Radios en las aletas dorsal 8, anal 7—8 y caudal 16-17. Escamas 35-45 en la línea lateral, predorsales 15—16, circunpedunculares 16—17, alrededor del cuerpo 26—28. Branquiespinas en el primer arco branquial 12; dientes faríngeos 4 (García-Ramírez, 2005).

ESTATUS ECOLÓGICO:

En Peligro (P) según la NOM-059-SEMARNAT-2010. No se encuentra en la Lista Roja de la IUCN 2007.

Nota: Para fines del presente trabajo consideramos a esta especie como una endémica, aún no descrita para la ciencia. Se requiere de estudios genéticos que permitan delimitar posibles ESU.

Familia Characidae

La familia Characidae comprende más de 800 especies de peces mayormente pequeños (p. ej. los tetras) con distribución principalmente en Centro y Sur América, así como también en África. Estos tienen una aleta adiposa y dientes en las mandíbulas.

Astyanax mexicanus (De Filipi 1853)



Fig. 18 *Astyanax mexicanus*.

NOMBRE COMÚN:

Tetra mexicano, Mexican tetra.

TALLA:

Rara vez más de 120 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

México.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Ampliamente distribuido en la vertiente del Atlántico, desde la cuenca del río Bravo en el noreste de Sonora, Nuevo México y Texas, hacia el sur hasta el río Nautla, Veracruz. En la vertiente del Pacífico se le encuentra en las cabeceras de los ríos Mezquital, Yaqui y Mayo.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Río Mezquites; poza Churince (probablemente extirpada); poza de la Angostura (26°55'37.5" N, 102°07'56.9" W) observado en mayo, 2013; laguna Juan Santos; poza Tía Tecla; poza Orozco; poza El Anteojo; poza Las Argollas; poza El Robalo; poza Los Tulares; y poza Huizachal.

HÁBITAT:

Pozas, ríos y arroyos pequeños o grandes con fondo de roca, grava, arena o cieno; corrientes moderadas a lentas o incluso aguas estancadas, a profundidades que van desde 0.3 hasta 3 m. Es una especie muy tolerante a fluctuaciones en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua y a la contaminación con materia orgánica.

BIOLOGÍA:

Su dieta incluye una amplia variedad de alimentos como invertebrados, huevos de peces larvas y juveniles. Se les encuentran generalmente en grupos de más de 50 individuos, ocasionalmente aislados. En México probablemente desovan de la mitad del invierno a la primavera. Frecuentemente es la especie dominante en los sistemas donde habita. Los huevecillos son liberados por las hembras después de un breve cortejo sobre algún tipo de cubierta, como vegetación, algas, raíces o detrito. Inmediatamente después y antes de caer son fertilizados por los machos. Los huevecillos y alevines son abandonados a su suerte.

RECONOCIMIENTO:

Machos y hembras tienen el cuerpo grisáceo; línea lateral muy marcada desde la parte media del cuerpo, hasta la parte media de la aleta caudal. Aletas color anaranjado, anal más intenso. Cuerpo comprimido lateralmente, cabeza robusta, boca pequeña y oblicua no protráctil, dientes pentacúspides, premaxilares en dos series, segunda aleta dorsal adiposa. Escamas en serie lateral 35—40, predorsales 12—16, alrededor del cuerpo 28—36. Branquiespinas 17—23. Aleta dorsal 8—11 radios y anal 16—22 radios.

ESTATUS ECOLÓGICO:

No está sujeta a ninguna categoría dentro de la NOM-059 (Norma Oficial Mexicana), por las poblaciones encontradas y el número de individuos se observa estable por lo que no lo consideramos en problemas. No se encuentra en la Lista Roja de la IUCN2007.

Familia Ictaluridae

La familia Ictaluridae está conformada por los peces gato o bagres. Estos tienen 4 pares de barbas alrededor de la boca; carecen de escamas; y tienen una aleta adiposa, así como espinas gruesas en los orígenes de las aletas dorsales y pectorales; aletas pectorales abdominales. Son principalmente nocturnos.

Ictalurus lupus (Girard, 1858)

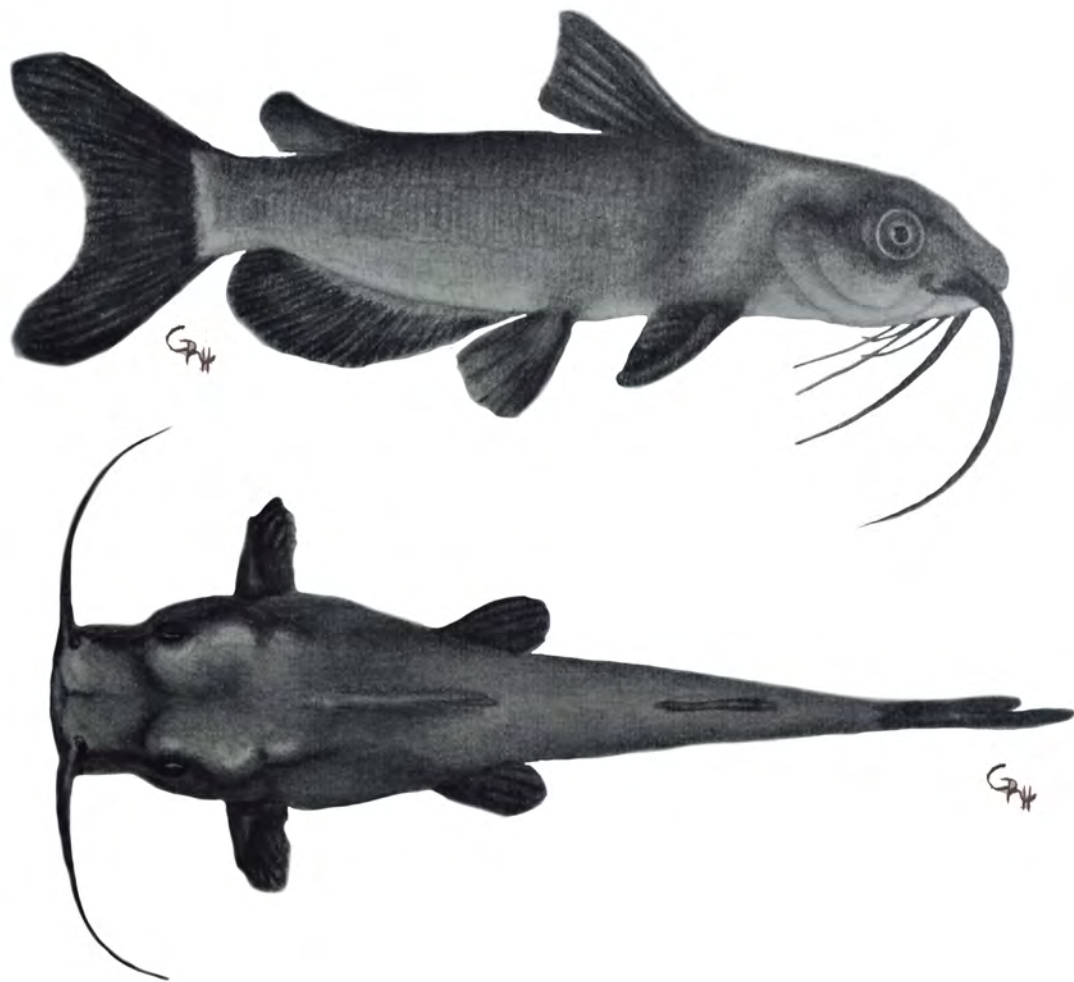


Fig. 19 Bagre lobo (*Ictalurus lupus*), vista lateral arriba, vista dorsal abajo.

NOMBRE COMÚN:

Bagre lobo, Headwater catfish.

TALLA:

Hasta 480 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Cabecera del río Pecos, Texas, EEUU.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Río Pecos en los EEUU, y afluentes del río Bravo.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Río Mezquites; Poza El Anteojo; Complejo de Pozas Azules; Escobedo (visto en junio y agosto, 2015); Tío Cándido (visto en junio 2015).

HÁBITAT:

Pozas, manantiales y arroyos de agua clara, con fondo rocoso y arenoso.

BIOLOGÍA:

Su biología es muy poco conocida.

RECONOCIMIENTO:

Cabeza y hocico anchos; boca ancha y terminal con barbas; coloración dorsal negra o azul oscura, región ventral clara y región lateral muy punteada. Aleta adiposa presente; aleta caudal bifurcada y anal redondeada. Radios anales 22-26.

ESTATUS ECOLÓGICO:

Sujeta a Protección Especial por la NOM (Norma Oficial Mexicana). Se trata de una especie muy poco estudiada. No se descarta que pudiera conformar un complejo politépico de especies.

Nota: Consideramos a *I. lupus* de Cuatro Ciénegas como una especie endémica del valle que aún no ha sido formalmente descrita para la ciencia.

Pylodictis olivaris (Rafinesque, 1818)



Fig. 20 Pintontle (*Pylodictis olivaris*), vista lateral arriba, vista dorsal abajo.

NOMBRE COMÚN:

Pintontle, Flathead Catfish.

TALLA:

Hasta 1,550 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Ohio River, U.S.A.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

En la vertiente del Atlántico se le encuentra en la cuenca del río Mississippi desde las partes altas hasta su desembocadura, extendiéndose hacia el oeste y al sur a las cuencas de los ríos de la vertiente del Golfo de México, incluyendo la cuenca del río Bravo y hasta la Cordillera Neovolcánica.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Norris & Minckley (1997) reportan la especie para el Este del Bolsón de Cuatro Ciénegas en el río Mezquites y el río Puente Chiquito. Se trata de la especie de pez más rara de Cuatro Ciénegas. Solo cuatro individuos fueron documentados por Minckley en el transcurso de 38 años (Norris & Minckley, 1997).

HÁBITAT:

Grandes ríos, turbios o relativamente claros, los adultos prefieren las zonas profundas mientras que a los jóvenes se les puede encontrar bajo las rocas en las corrientes. Se le puede encontrar en fondo de arena, cieno, grava o piedra; a profundidades mayores de 1 m.

BIOLOGÍA:

Son carnívoros, los jóvenes se alimentan de larvas de insectos, los adultos se alimentan de peces y crustáceos. Desovan en la primavera tardía y verano temprano. El tamaño máximo registrado es de 1.4 m.

RECONOCIMIENTO:

Ventre claro, dorso del cuerpo y cabeza amarillo claro, aleta caudal y anal con una mancha negra. Cuerpo largo, dorso y vientre convexo, cabeza pequeña y ancha, dorso centralmente plano, ojo pequeño, rostro corto, boca grande y terminal, mandíbula inferior más larga que la superior, 8 barbillas alrededor de la boca, 4 son maxilares que llegan aproximadamente a la base pectoral, cuerpo sin escamas, espina pectoral fuertemente aserrada en ambos bordes pélvicos abdominales, caudal emarginado, pedúnculo caudal alto y corto. Aleta dorsal 1 espina y 7 radios; anal 12–15.

ESTATUS ECOLÓGICO:

No está sujeta a ninguna categoría dentro de la NOM–059. No se encuentra en la Lista Roja de la IUCN 2007.

Orden Cyprinodontiformes

Familia Poeciliidae

La familia Poeciliidae está conformada por peces pequeños. Muestran cabezas aplanadas con hocico prognata; no presentan línea lateral; tienen una sola aleta dorsal, y aletas pélvicas abdominales. Se diferencian de los Cyprinodontidos y Fundulidos en que el 3er radio anal carece de ramificación, y en la presencia de un órgano intromitente llamado gonopodio en los machos, el cual en realidad corresponde a la aleta anal modificada. Salvo una excepción (*Tomerurus gracilis* en América del Sur) Se trata de peces vivíparos.

Gambusia longispinis Minckley, 1962

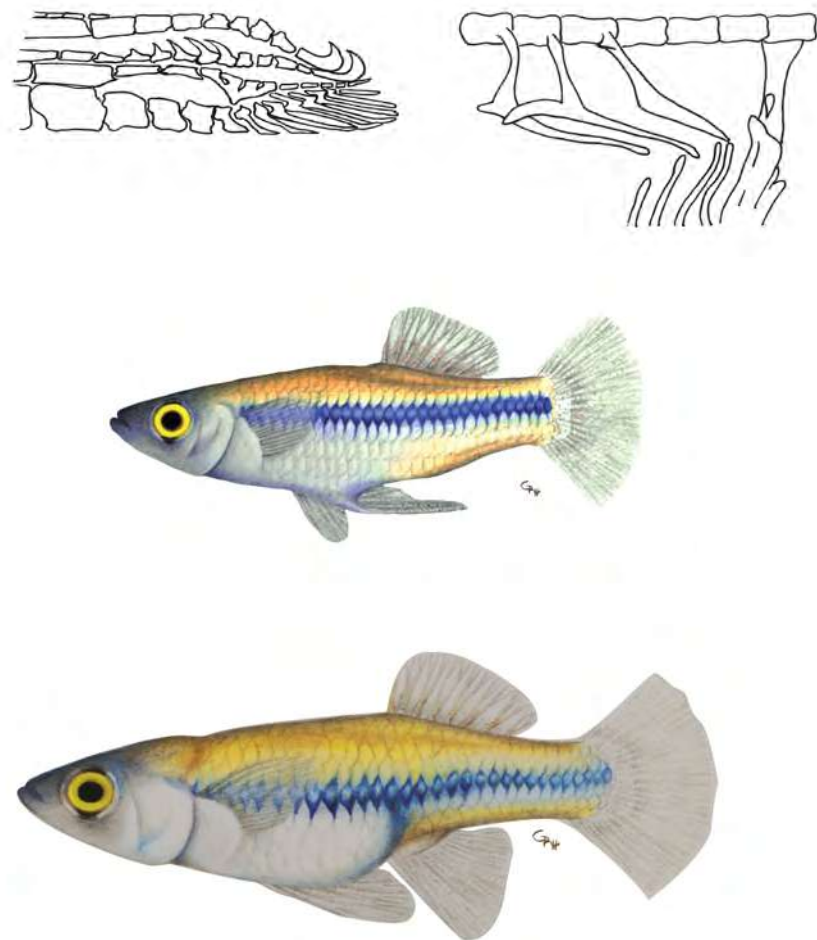


Fig. 21 *Gambusia longispinis*, estructura gonopodial arriba, macho al centro, hembra abajo.

NOMBRE COMÚN:

Gambusia de Cuatro Ciénegas.

TALLA:

~45mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Ciénega pequeña, cercana al canal de La Angostura, alrededor de 4 millas al oeste de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Endémica de Cuatro Ciénegas

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Se trata de una especie sumamente rara. Se colectó en la ciénega de La Angostura y en la Pileta en mayo de 2013 (De la Maza-Benignos com. personal); también existen registros de la especie para el sistema del Churince, del cual probablemente fue extirpada a partir del 2011 (Carson com. personal).

HÁBITAT:

Pastos inundados y zonas de ciénega sin corriente (De la Maza-Benignos com. personal), así como acequias con sustrato fino de cieno, arena y arcillas, con vegetación abundante conformada por **Chara**, Juncos y **Typha** sp; y aguas transparentes con temperaturas que oscilan entre 25 y 38°C a profundidades de hasta 0.5 m (Miller et al., 2005).

BIOLOGÍA:

El periodo de gestación es de 24 días (Wischnath, 1993). Las hembras en cautiverio suelen avivar de 10 a 20 juveniles que miden ~7 mm de longitud (Wischnath, 1993).

RECONOCIMIENTO:

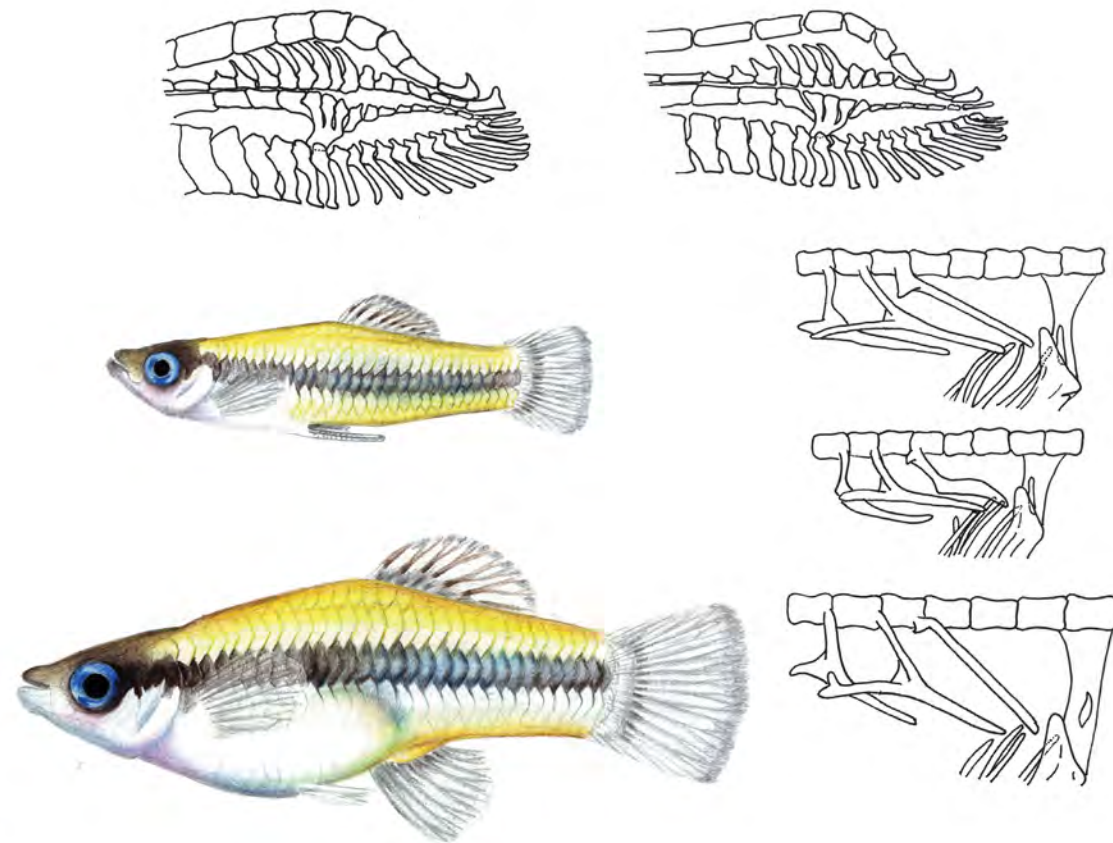
Aletas color amarillo con márgenes oscuros en la dorsal, caudal y anal (Minckley, 1962; Wischnath, 1993). Aleta dorsal con VII—VIII, raramente IX espinas; y aleta anal con VIII—X espinas. Aleta caudal redondeada, pélvicas pequeñas, adosadas a la región gular, totalmente o en parte a lo largo de los márgenes anteriores (Soto-Galera & Rincón-Sandoval, 2007). Cuerpo delgado, cabeza redondeada; color café amarillento con una banda amplia oscura en los flancos. Machos anaranjados por debajo de la línea media. Boca amplia, en posición anterodorsal; ojos en la posición superior, ocupando $\frac{3}{4}$ de la mitad anterior de la cabeza. Escamas en la serie lateral 29—32 con 15—17 escamas postdorsales. Aletas pectorales 13 radios, pélvicas 6. Gonopodio recto, con 8 a 10 espinas en el segmento del radio 3 (Minckley, 1962).

ESTATUS ECOLÓGICO:

Amenazada (A) según la NOM-059-ECOL-2010, VU Vulnerable según la lista roja del IUCN, 2009.

Nota: Se trata de una especie prioritaria para la conservación. Consideramos que la especie se encuentra en peligro considerable de extinción a raíz de factores tanto demográficos como genéticos. Se requiere iniciar con programas de manejo y conservación **in situ** y **ex situ** al tiempo que se analizan los parámetros genéticos básicos para la especie y se determina y delimita la existencia de posibles ESU.

Gambusia marshi Minckley & Craddock, 1962



NOMBRE COMÚN:

Pez mosquitero, Robust gambusia.

Talla: Rara vez más de 24 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Río Salado de los Nadadores, cerca de su unión con el río Salado de Monclova, 1 milla al sur de Hermanas, Coahuila, México.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Cuenca del río Salado-Nadadores y Cuatro Ciénegas.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Se encuentra ampliamente distribuida en el valle.

HÁBITAT:

Orillas de las pozas, lagunas, ríos y arroyos con vegetación. Prefieren aguas someras de menos de 1 m de profundidad.

BIOLOGÍA:

Especie omnívora muy tolerante a condiciones de estrés ambiental.

RECONOCIMIENTO:

Línea lateral muy pigmentada. El vientre y las aletas están pigmentados colores naranja. El cuerpo es alto; D 9, rara vez 8–10; A 8–10. Machos y hembras son de color anaranjado amarillento; escamas 30–31 en serie longitudinal; 16–17 predorsales y 16–23 alrededor del cuerpo. Branquiespinas 15–16. En los machos el segmento de la sierra de la rama posterior del cuarto radio del gonopodio es distal con respecto a la parte media de la ceja de la rama anterior del cuarto radio (García-Ramírez, 2005).

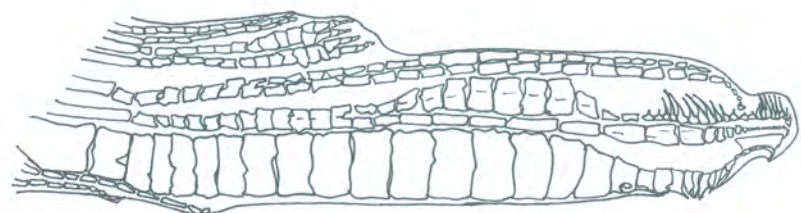
ESTATUS ECOLÓGICO:

No está sujeta a ninguna categoría dentro de la NOM-059-SEMARNAAT-2010. No se encuentra en la Lista Roja de la IUCN.

Nota: Su situación de conservación no es motivo de preocupación.

Fig. 22 *Gambusia marshi*, estructuras gonopodiales arriba y en el margen derecho, macho centro y hembra abajo.

Xiphophorus gordonii Miller & Minckley, 1963



NOMBRE COMÚN:

Platy de Cuatro Ciénegas, Cuatro Ciénegas Platyfish.

TALLA:

Rara vez más de 35 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Laguna Santa Tecla, aproximadamente 10 millas al sur-sureste de El Cándido, Cuatro Ciénegas, Coahuila, México.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Endémica de Cuatro Ciénegas.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Sureste del Valle, microendémico del complejo de pozas de Santa Tecla, incluyendo la laguna de Santa Tecla, los Fresnos, las Teclitas, así como porciones vegetadas del canal de la Polilla y algunas pozas asociadas al Ejido Antiguos Mineros (26°47'28"N, 102°00'01"W) y la Reserva Pozas Azules de Pronatura Noreste [(26°45'46"N, 101°59'39"W) y (26°48'12"N, 101°59'51.5"W)].

HÁBITAT:

Se trata de la especie de pez con intervalo de distribución más restringido dentro de Cuatro Ciénegas. Habita manantiales y sus escurrimientos inmediatos con vegetación densa.

BIOLOGÍA:

Se conoce muy poco acerca de su biología.

RECONOCIMIENTO:

Sin línea lateral. Cuerpo muy pigmentado en la parte media al dorso con vientre amarillento. Cabeza aplanada, comisura de la boca dirigida hacia arriba; ojos grandes. Escamas alrededor del cuerpo 20—21; en serie lateral 25—26, predorsales 9—11. Radios de las aletas dorsal 10—11 y anal 7—8. Branquiespinas en el primer arco branquial 14—16. Las hembras son muy similares a la especie *Gambusia longispinis*, tanto en apariencia como en comportamiento.

ESTATUS ECOLÓGICO:

En peligro de extinción (P) según la NOM-059-ECOL-2010, y en peligro (EN), según la lista roja del IUCN, 2009.

Nota: Se trata de una especie prioritaria para la conservación. Estudios del gen mitocondrial *Cytb* por Carson et al., (2013) dan cuenta de tres haplotipos y la mayor diversidad genética proveniente de la laguna de Santa Tecla. Se presenta gran heterogeneidad en la distribución de haplotipos entre sitios. La especie se encuentra en peligro considerable de extinción a raíz de factores tanto demográficos como genéticos. Se requiere iniciar con programas de manejo y conservación *in situ* y *ex situ* para la especie que busquen maximizar la variabilidad genética de la misma.

Fig. 23 *Xiphophorus gordonii*, estructura gonopodial arriba, macho al centro y hembra abajo.

Familia Fundulidae

La familia Fundulidae está conformada por peces pequeños, coloridos, con cabeza y lomos aplanados, quijada prognata, ojos grandes, aletas sin espinas, y una aleta dorsal colocada distalmente en el cuerpo.

Lucania interioris Hubbs & Miller 1965



Fig. 24 Macho de *Lucania interioris* arriba, y hembra abajo.

NOMBRE COMÚN:

Sardinilla de Cuatro Ciénegas; Cuatro Ciénegas killifish.

TALLA:

Rara vez más de 31 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Canal de La Angostura, Sur de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Endémica de Cuatro Ciénegas

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

La distribución para la especie dentro del valle es amplia, pero fragmentada. De acuerdo a Carson et al., (2015) la especie se encuentra dentro de los siguientes subsistemas: Río Garabatal y Juan Santos en la sub-cuenca del río Garabatal; Las Salinas, El Laberinto y Laguna de los Burros en la subcuenca del río Mezquites; y Tío Cándido, Los Hundidos, y Laguna San Pablo(Los Gatos) en el sureste del valle.

HÁBITAT:

Habita aguas claras y salinas en zonas inundadas y ciénegas poco profundas (15 a 45 cm) que contienen mucha vegetación (**Chara** y juncos) y sustrato lodoso profundo, con tendencia a fluctuaciones extremas y rápidas en temperatura y salinidad (Hubbs & Miller, 1965).

BIOLOGÍA:

A diferencia de otros miembros del género que desovan cerca de la superficie, **L. interioris** desova cerca del fondo sobre material fibroso. Debido a su preferencia de hábitat, la especie se encuentra sujeta a cambios rápidos y amplios en materia de abundancia, mismos que han sido acompañados de fenómenos como lo son el aislamiento y la deriva genética, características de las poblaciones pequeñas. Dentro del valle se manifiesta una clara estructura geográfica poblacional que permite diferenciar genética (P. ej. en la distribución de los cinco haplotipos encontrados del gen Cyt b, incluyendo presencia/ausencia de ciertos haplotipos en cada uno de los subsistemas) y morfológicamente entre las poblaciones del oeste del valle, y aquellas pertenecientes a los subsistemas del río Mezquites y las del sureste de Cuatro Ciénegas. Los bajos niveles de divergencia entre los haplotipos (0.3%–0.9%), así como los altos niveles de diferenciación genética regional entre las poblaciones (FCT = 0.847, P < 0.001), indican el aislamiento completo entre los diferentes subsistemas que conforman el Valle; siendo las tres poblaciones que habitan en Las Salinas y El Laberinto en el Sistema Mezquites y Laguna San Pablo al sureste del Valle, las que muestran la mayor variabilidad genética (Carson et al., 2015).

RECONOCIMIENTO:

La aleta dorsal tiene una mancha negra entre las dos primeras membranas interradales, y la caudal es de color azul a azul verdosa. Las aletas pectorales y pélvicas son de color anaranjado claro a intenso, rojizas en la base y negras en los márgenes. Los machos tienen el cuerpo bronceado a dorado, con la aleta anal azul intenso, excepto en el margen que es de color grisáceo a negro. La parte media del cuerpo muestra algunos melanóforos color azul centrados en las escamas formando 7 hileras en los costados. Las hembras tienen el cuerpo más bien café con partes ligeramente amarillentas. Dientes cónicos en serie o irregularmente colocados. La longitud de la aleta pélvica es igual a la longitud predorsal. Escamas en serie lateral 23, predorsales 12, alrededor del cuerpo 19 y alrededor del pedúnculo caudal 14.Radios dorsales 12, anales 10 y caudales 13.

ESTATUS ECOLÓGICO:

En peligro (P) según la NOM-059-ECOL-2010, y CR Críticamente Amenazada según la lista roja del IUCN, 2009.

Nota: Se trata de una especie prioritaria para la conservación que es difícil de detectar sin el uso de redes, pues ante la presencia de cualquier amenaza, tienden a clavarse en el cieno, donde permanecen enterradas, asomando solo la punta del hocico. Consideramos que la especie se encuentra en peligro considerable de extinción a raíz de factores tanto demográficos como genéticos. Se requiere iniciar con programas de manejo y conservación **in situ** y **ex situ**.

Familia Cyprinodontidae

La familia está conformada por peces pequeños con quijadas prognatas, con una aleta dorsal, que carecen de línea lateral. Las aletas pélvicas son abdominales (cuando se encuentran presentes). Las escamas son cicloides. Los miembros de la familia tienen cuerpos altos, comprimidos, así como pedúnculo caudal comprimido, cabeza aplanada y lomo arqueado, especialmente en los machos adultos.

Cyprinodon atrorus Miller, 1968



Fig. 25 Macho de Cyprinodon atrorus arriba y hembra abajo.

NOMBRE COMÚN:

Cachorrito del Bolsón, Bolson pupfish.

TALLA:

Pequeña, rara vez mayor de 40 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Sur de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Endémica de Cuatro Ciénegas.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Restringido a sitios cálidos y someros, incluyendo Playitas, Laguna Intermedia en el sistema Churince, Las Pilas en el rancho Pozas Azules de Pronatura Noreste, etc.

HÁBITAT:

Humedales someros y lagunas efímeras, salinas, generalmente de menos de 25 cm de profundidad, sin corriente, así como también arroyos con amplias variaciones en temperatura tanto diaria como estacional, con sustratos yesoso, o fangoso. Son poco comunes en las pozas termales.

BIOLOGÍA:

Difiere significativamente de su congénere **C. bifasciatus** en cuanto a preferencia de hábitat, morfología externa e historia evolutiva. Investigaciones realizadas por Carson & Dowling (2006) demostraron que ha habido introgresión considerable de genes mitocondriales, así como también introgresión limitada de genes nucleares entre ambas especies; habiéndose alcanzado el reemplazo completo del genoma mitocondrial de **C. bifasciatus** por el de **C. atrorus**. Lo anterior se explica con base en un patrón cíclico prehistórico de aislamiento y diversificación de la especie dentro del sistema de Cuatro Ciénegas; que forma parte inherente del proceso evolutivos en ambas especies, el cual se caracteriza por contactos secundarios, que llevaron al consecuente reemplazo de haplotipos mitocondriales de **C. bifasciatus** por los de **C. atrorus** (Carson & Dowling 2006; Carson, 2009a; Carson et al., 2012; Tobler & Carson 2010).

RECONOCIMIENTO:

Color gris plata, más oscuro en el hocico. Los machos presentan tonos azulados brillantes, con una banda negra en el extremo de la cola. Cuerpo robusto, un poco más alargado en las hembras, dorso redondeado, pedúnculo caudal conspicuo, y cabeza aplanada en la parte superior; ojos grandes y oscuros.

ESTATUS ECOLÓGICO:

Amenazada (A) según la NOM-059-ECOL-2010; Lower Risk/Least Concern, según la lista roja del IUCN, 2009.

Nota: En el manejo de la especie, se deben considerar los resultados obtenidos por Carson & Dowling (2006) que indican una clara distinción entre las poblaciones occidentales **vs** las centrales y surorientales de la especie. Dichos autores encontraron que la población suroriental de **C. atrorus** del sistema Los Gatos se encuentra cercanamente relacionada con las poblaciones del centro del valle, aunque cabe destacar que dicha población tiene la mayor variación genética de todas en el valle. Lo anterior indica que a pesar de que en la actualidad dichas poblaciones se encuentran físicamente separadas por barreras naturales a su dispersión, estuvieron conectadas durante periodos pluviales anteriores al Holoceno. Por su parte, las poblaciones de **C. atrorus** pertenecientes al Sistema Santa Tecla (ídem Antiguos Mineros) también son genéticamente diferenciables de la de Los Gatos; y, mientras que las poblaciones occidentales son similares entre sí, estas son divergentes con respecto de las poblaciones del centro y sureste del valle. De lo anterior se deduce que no se deben translocar ejemplares entre zonas genéticas distintas.

Cyprinodon bifasciatus Miller, 1965

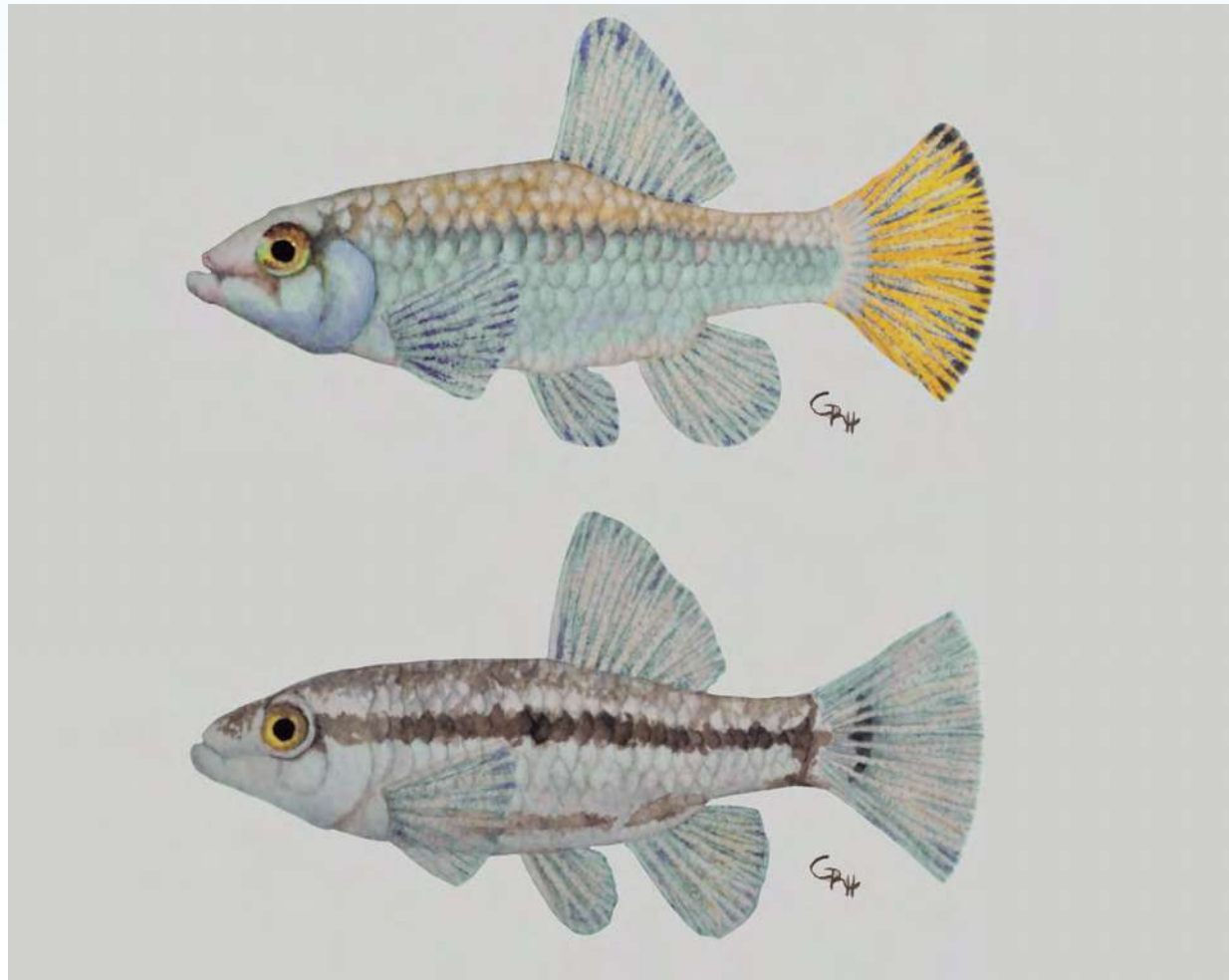


Fig. 26 Macho de *Cyprinodon bifasciatus* arriba y hembra abajo.

NOMBRE COMÚN:

Cachorrito de Cuatro Ciénegas, Two line pupfish.

TALLA:

Rara vez mayor de 60 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Río Puente Colorado, aprox. 11 kilómetros al sur de Cuatro Ciénegas, sistema del río Mezquites, Coahuila, México.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Endémica de Cuatro Ciénegas.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Poza Churince (posiblemente extirpado); Juan Santos, Poza de la Becerra, Poza de la Angostura (26°55'37.5" N, 102°07'56.9" W en mayo, 2013).

HÁBITAT:

Manantiales con temperatura constante, con aguas termales y sus arroyos.

BIOLOGÍA:

Restringido a los sistemas más estables de manantiales con agua clara, termal y sus salidas inmediatas; así como a pequeños arroyos y canales de riego dentro del Valle con temperaturas constantes de 30°C a 34°C; corrientes lentas a moderadas; contenidos elevados de magnesio, sulfatos y carbonatos; a profundidades que van de menos de un metro hasta 10 metros; sobre sustratos limosos, cubiertos con tapetes de algas, travertinos y conchas de caracol (Miller 1968; Miller *et al.*, 2005, Carson 2009b). A diferencia de otros peces cachorritos, la especie es muy sensible a los cambios en la temperatura y química del agua. Los machos defienden sus territorios en las partes bajas de los manantiales, rocas pequeñas y sedimentos, los cuales le sirven como área de cortejo; mientras las hembras generalmente forrajean en grandes cardúmenes en las zonas más profundas (Ludlow *et al.*, 2001). Algunas observaciones de campo por Ludlow *et al.*, (2001) revelaron que, el tipo de sustrato se encuentra directamente asociado con la tasa de éxito reproductivo, siendo este el principal factor determinante: **los machos que defendían territorios sobre rocas se lograron aparear significativamente más frecuentemente que aquellos defendiendo territorios sobre cieno o arena**. Carson (2011) reporta poblaciones con 3.3% a 3.7% de persistencia de individuos xánticos (amarillos) en los sistemas aislados de manantiales de Escobedo. De acuerdo a nuestras observaciones, la especie parece haber sido extirpada del sistema Churince. En el año (2000), Johnson documento que *C. bifasciatus* emite sonidos a una frecuencia de 409 Hz y una duración promedio de 55 msec. Los llamados fueron hechos por los machos durante las persecuciones conespecíficas, así como durante persecuciones con cíclidos. La estructura de los llamados post-ovipositorios **vs** llamados de persecución y de cortejo fue distinta; así como también fueron distintos los llamados entre las poblaciones de Mojarral Oeste **vs** Becerra y Churince.

RECONOCIMIENTO:

Línea lateral muy pigmentada con melanóforos; machos y hembras con pigmentación color naranja en las aletas. Cuerpo alargado; escamas en la línea lateral 24–28; predorsales 12 y alrededor del cuerpo 23–25. Radios dorsales 10–11 y anal 9. Branquiespinas en el primer arco branquial 26–28.

ESTATUS ECOLÓGICO:

Amenazada (A) según la NOM-059-ECOL-2010; Lower Risk/Least Concern, según la lista roja del IUCN, 2009.

Nota: Carson & Dowling (2006) reportaron que *C. bifasciatus* del sureste de la cuenca (i.e. Escobedo, Los Hundidos y Tío Cándido) se encuentran más cercanamente relacionados entre sí, que con las otras poblaciones en el valle; conformando una unidad de manejo. Por su parte, las poblaciones de Churince y Becerra resultaron idénticas; mientras que la población de Juan Santos corresponde a una población distinta de las otras. Por su parte, las poblaciones del río Mezquites, aunque afines a las poblaciones occidentales, mostraron diferencias inter sistema, siendo las poblaciones del alto río Mezquites genéticamente diferenciables de aquellas del bajo río Mezquites, lo cual se asocia al probable contacto e hibridación natural que ha habido con *C. atrorus* en las zonas aledañas a las ciénegas del bajo río Mezquites. Los resultados del estudio por Carson & Dowling (2006) demuestran cómo es que, la hidrogeografía y la hibridación con su congénere *C. atrorus* (ver ficha de *C. atrorus* atrás) han jugado un papel crítico en la evolución de ambas especies en el valle de Cuatro Ciénegas.

Familia Centrarchidae

La familia Centrarchidae es endémica del continente norteamericano y está conformada por especies cuyo cuerpo es lateralmente comprimido. Los miembros tienen dos aletas dorsales, teniendo la primera aleta espinas, y la segunda rayos. Ambas aletas se encuentran unidas de tal forma que dan la apariencia de ser una sola. A 3—8. Las aletas pélvicas son torácicas. Estas carecen de espina puntiaguda cerca de la sección posterior de la agalla. Las escamas son ctenoides. Los Centrácidos construyen nidos y cuidan de sus crías. Los machos construyen una fosa circular de grava o vegetación, agitando sus aletas vigorosamente. Estos permanecen en el sitio para cuidar de los huevecillos y las crías.

Lepomis megalotis (Lacepède, 1802)



Fig. 27 *Lepomis megalotis*.

NOMBRE COMÚN:

Mojarra gigante de Cuatro Ciénegas, Cuatro Ciénegas sunfish.

TALLA:

Adultos alrededor de 240 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Kentucky, Ríos Licking y Sandy, Estados Unidos de América.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Se le encuentra en la vertiente del Atlántico en la parte este central de Norteamérica. Al norte se distribuye desde el sureste de Canadá en las provincias de Ontario y Quebec, al oeste de los montes Apalaches y hacia el oeste hasta el norte de Minnesota. Hacia el sur se distribuye hasta el Golfo de México, al oeste de la península de Florida en Alabama, se extiende al suroeste a través de Texas y hasta la cuenca del río Bravo y sus afluentes.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Río Mezquites, Churince, Tía tecla, poza de la Angostura (26°55'37.5" N, 102°07'56.9" W en mayo, 2013, Los Tulares, Los Hundidos (agosto, 2015).

HÁBITAT:

Pozas y ríos de agua clara preferentemente. Habita en zonas de corriente lenta o agua estancada. Se le encuentra generalmente en sustratos de arcilla, arena, grava o rocas, en zonas sin vegetación. Se les encuentra hasta a dos metros de profundidad.

BIOLOGÍA:

Su dieta consiste en insectos y otros invertebrados pequeños, en ocasiones pequeños peces, los juveniles viven en remansos con poca corriente y bajo las plantas con adultos. Es probable que desoven de marzo a agosto. Se reproducen en nidos, los que consisten en depresiones que prepara el macho sacudiendo vigorosamente la cola sobre un sustrato de arena, arcilla, grava o detrito, generalmente del doble del diámetro que su longitud. Los nidos son construidos en áreas abiertas libres de plantas, en colonias. El número de huevecillos que una hembra puede producir se incrementa con la edad. Si bien, individuos tan pequeños como 4 cm de longitud total son capaces de reproducirse, sólo los machos pequeños oportunistas son exitosos pues los machos requieren de una longitud total mínima de 7.5 cm para poder construir y defender su nido. Alcanzan hasta 20 cm de longitud total.

RECONOCIMIENTO:

Cuerpo color verde claro a los lados, vientre amarillo; opérculo verde plateado; todo el cuerpo y aletas con mucha pigmentación. El cuerpo es alto comprimido rostro cóncavo base dorsal mayor que la anal; boca larga llega al nivel del ojo; los ejemplares jóvenes presentan ojo más grande; prolongación superior del opérculo flexible y membranoso. Aleta dorsal 10—11 radios y anales 8—10; aleta pectoral corta y redondeada. Branquiespinas 11—12 cortas y gruesas

ESTATUS ECOLÓGICO:

No está sujeta a ninguna categoría dentro de la NOM-059. No se encuentra en la Lista Roja de la IUCN.

Nota: Consideramos que las poblaciones de Cuatro Ciénegas corresponden a linajes endémicos del Valle.

Micropterus salmoides (Lacepède, 1802)

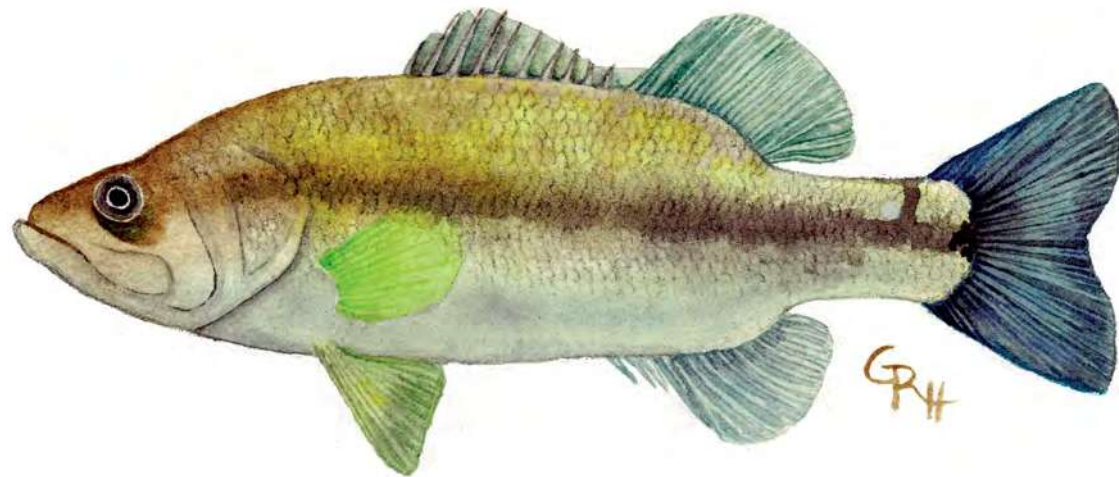


Fig. 28 *Micropterus salmoides*.

NOMBRE COMÚN:

Lobina negra de Cuatro Ciénegas, Cuatro Ciénegas bass.

TALLA:

Generalmente no excede de 400 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Carolinas, U.S.A.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Se le encuentra en el este de Norteamérica en la vertiente del Atlántico desde el sur de Ontario, la cuenca de los Grandes Lagos, la cuenca del río Saint Lawrence y al este a la costa de Virginia. Su distribución se extiende de manera continua al sur hasta la península de Florida, la costa del Golfo de México y el noreste de México, en donde se le encuentra en el Bajo Bravo y sus tributarios, como los ríos Salado, Álamo y San Juan teniendo su población nativa más meridional en el río Soto La Marina.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Río Mezquites, Complejo de Pozas Azules, El Churince, Tulares y Robalo, entre otros cuerpos de agua.

HÁBITAT:

Lagos, presas, arroyos y ríos de agua preferentemente claras y cálidas, pero también con cierta turbiedad; sustrato cenagoso, lodo y cieno, grava, rocas, o arena, con corriente moderada, lenta o estancada. Se le encuentra tanto en áreas de vegetación abundante como en áreas sin vegetación siempre y cuando existan refugios. No tolera una salinidad superior a 12 ppm.

BIOLOGÍA:

Se alimenta principalmente de peces e invertebrados que localiza con la visión, aunque se puede alimentar de animales como ranas o aves que se encuentren en el agua. Los ataques se presentan principalmente a media agua o en la zona béntica, aunque salen a comer a la superficie. Los individuos más pequeños de 5 cm se alimentan de pequeños crustáceos, de insectos y sus larvas principalmente. En México probablemente desovan en marzo-junio. Se reproducen en nidos que consisten en depresiones que el macho prepara sacudiendo las aletas pectorales y el cuerpo sobre un sustrato solido en un área preferentemente cubierta (vegetación, troncos sumergidos, raíces), generalmente entre 0.3 y 1.3 m de profundidad. Los nidos son de aproximadamente el mismo diámetro que la longitud del macho. Los machos abandonan el nido para cortejar a las hembras, a las que atraen de regreso, usando patrones de cortejo que incluyen rápidos cambios en la coloración. Los huevecillos, color amarillo a naranja, son adhesivos, de alrededor de 1.4–1.8 mm de diámetro y suman de 5 a 40 mil. Éstos son depositados en el nido, emparejándose macho y hembra lado a lado. Ambos se inclinan lateralmente, juntando las zonas ventrales. Los huevecillos y el esperma se liberan simultáneamente. Una vez terminado el desove, la hembra es expulsada del nido y el macho cuida los huevecillos que oxigena agitando el agua con sus aletas pectorales día y noche, ahuyentando a potenciales depredadores. Los huevecillos eclosionan entre tres y cuatro días después, dependiendo de la temperatura del agua. El macho cuida el nido con los alevines por varias semanas, durante las cuales no se alimenta. Utiliza su boca para ahuyentar potenciales depredadores de los huevos o alevines. La madurez sexual es alcanzada a los 22 cm por el macho mientras en las hembras sucede a los 25 cm. Los machos de Lobina negra tienen una vida más corta que las hembras, estos viven por alrededor de 7 años mientras las hembras viven hasta 10 años. Alcanzan tallas hasta de 70 cm de longitud.

RECONOCIMIENTO:

Cuerpo y cabeza verde olivo oscuro hacia el dorso, costados verde olivo claro con una serie de manchas alargadas a todo lo largo del cuerpo del mismo color que el dorso, al igual que 3 líneas que parten de la parte posterior del ojo y atraviesan el área preopercular; vientre beige amarillento, aletas pectorales, pélvicas y anal amarillo claro con margen externo blancuzco, dorsal y caudal más oscuras por melanóforos en las membranas interradiales. La altura máxima del cuerpo, cabe de 3 a 3.5 veces en la longitud patrón, escotadura bien marcada y profunda entre las dos aletas dorsales. Boca grande extendida más allá del margen del ojo; los adultos presentan ojo pequeño. 1D X, 12 — 13; A III, 9 — 11. Escamas en serie lateral 60 — 69; caudal redondeada con 17 radios. Branquiespinas en el primer arco branquial 8.

ESTATUS ECOLÓGICO:

No está sujeta a ninguna categoría dentro de la NOM-059. No se encuentra en la Lista Roja de la IUCN.

Nota: En un estudio genético, García de León et al., (2015) reportaron que las poblaciones de lobina de Cuatro Ciénegas se diferenciaron de aquellas de las cuencas de los ríos San Fernando y Soto La Marina. Además reportan que los análisis del ADN nuclear de las poblaciones muestreadas [principalmente del sistema río Mezquites, pues en su estudio García de León et al., (2015) excluyeron a las de los sistemas Churince, Tío Cándido-Hundidos-Los Gatos y Santa Tecla] revelaron la existencia de al menos tres poblaciones genéticamente puras en Cuatro Ciénegas correspondientes a Charcos Prietos, las Playitas y el canal del Tío Julio; mientras que las poblaciones del río Garabatal y Mojarral Este resultaron híbridas. Consideramos que debido a factores de aislamiento geográfico, las poblaciones de lobina negra correspondientes al complejo de Pozas Azules (dentro del sistema Santa Tecla), así como aquellas poblaciones correspondientes al sistema Tío Cándido (Tío Cándido, Los Hundidos, Los Gatos) deberían de ser genéticamente puras.

Familia Percidae

Los peces de la familia Percidae son generalmente muy pequeños. Evolutivamente, estos han perdido la vejiga natatoria. Los pércidos se desplazan como dardos por el fondo en busca de pequeños invertebrados de los cuales se alimentan. Tienen dos aletas dorsales, separadas o ligeramente unidas; la primera de estas con espinas y la segunda con radios. Las aletas pélvicas son torácicas y tienen una espina y cinco radios. Las escamas son ctenoides.

Etheostoma lugoi Norris & Minckley, 1997

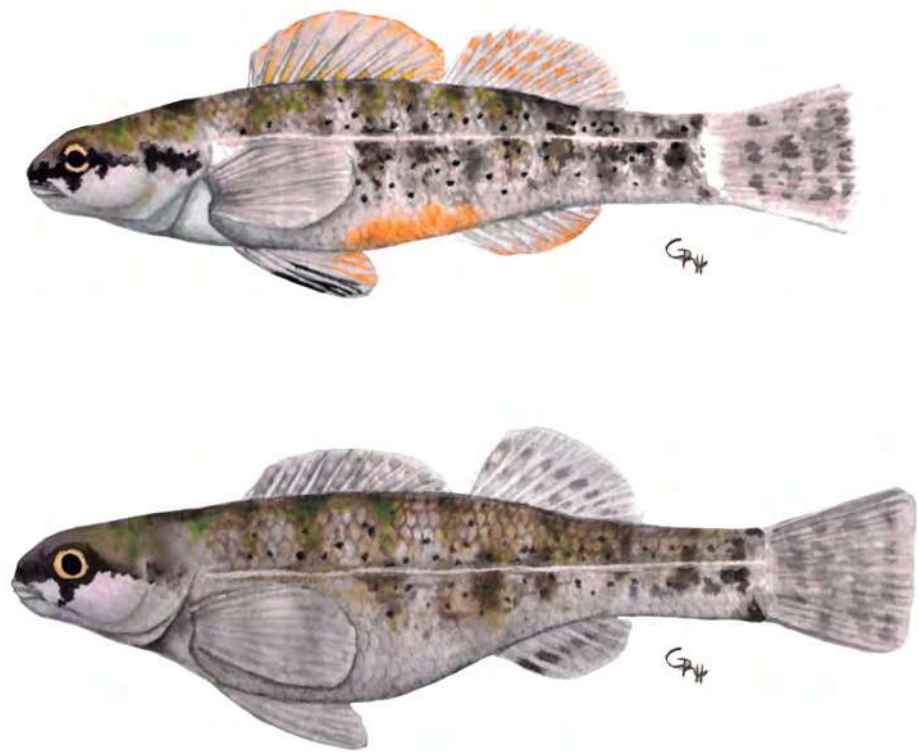


Fig. 29 Dardo de cuatro Ciénegas (*Etheostoma lugoi*), macho arriba y hembra abajo.

NOMBRE COMÚN:

Dardo de Cuatro Ciénegas, dardo de toba, perca de toba, Cuatro Ciénegas Darter, **Sinter** Darter.

TALLA:

Máxima en machos 35.1 y en hembras 37.6 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Río Puente Chiquito, 6.7 kilómetros al sur de Cuatro Ciénegas, 26°55'N, 102°05'W, Coahuila, México.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Endémica de Cuatro Ciénegas.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Especie rara de distribución sumamente limitada. Se le encuentra principalmente en el río Mezquites y sus tributarios. Río Mezquites en Puente Orozco; Los Coralillos; río Puente Chiquito; río Garabatal en el año de 1969 (Norris & Minckley, 1997);

HÁBITAT:

Generalmente se les observa en espacios abiertos (1.5 a 5 m), desprovistos de vegetación, del cauce principal de los ríos donde habita, a profundidades que van de 30 cm a 1.2 m. Dichos espacios se encuentran geomorfológicamente conformados por barras de grava y sedimentos calcáreos, fragmentos de sintier y estromatolito que proveen espacios, cavernas y grietas donde se pueden refugiar. En estas zonas hay corrientes fuertes, más no turbulentas, que van de 10 a 25 cm/s; las cuales mantienen el sustrato limpio, libre de algas, sedimentos y detrito. Comparte el microhábitat de forma constante con las especies **Astyanax mexicanus** durante el día; e **Ictalurus lupus** durante la noche; y ocasionalmente solo con alevines de **C. bifasciatus** (Norris y Minckley, 1997).

BIOLOGÍA:

Su biología, más allá de sus preferencias de hábitat, ha sido muy poco estudiada.

RECONOCIMIENTO:

Muestran línea lateral. Se trata de un dardo muy pequeño y espigado que no supera los 38 mm de LP. El hocico es puntiagudo visto dorsalmente y romo visto lateralmente. Las aletas pectorales son grandes y redondeadas; la aleta caudal cuadrada. Cuerpo jaspeado, con manchas más oscuras en las aletas dorsales anal y caudal. En época de reproducción los machos tienen la región de la garganta color azul, lo que lo diferencia de otros dardos de México. Aletas pectorales y pélvicas claras. La nuca, cachetes (salvo algunas pocas excepciones), pecho, bases de las aletas pectorales y zona prepélvica carecen de escamas. El opérculo y vientre por su parte se encuentran escamados. Las hembras son más grandes, altas, anchas y largas en la distancia preanal que los machos. Estos por su parte tienen las bases de la aleta dorsal y anal más largas, así como aletas más largas en general, exceptuando la caudal. La base de la aleta pectoral carece de escamas, lo que, junto con un número menor de escamas porosas en la línea lateral y un número mayor de radios dorsales, lo distingue de **E. segrex**. El cuerpo de **E. lugoi** es alargado, hocico redondeado. Aletas pectorales grandes y redondeadas; caudal más bien cuadrada. D VIII—XI, 9 — 11; A 0, 6— 8; vertebras 36—38. Se distingue del resto de los dardos en que tiene 7 pares de radios branchiostegales vs 6 en otras especies (Norris & Minckley, 1997). La coloración cefálica y corporal en vivo tiene el fondo blancuzco. El pecho, garganta sin gris azulado, las marcas faciales verde olivo oscuro; y las barras y marcas lomaes laterales son color verde olivo claro. En los flancos y vientre se observan algunas pecas desorganizadas, en líneas horizontales, del tamaño aproximado de las escamas de color naranja óxido. Las hembras no muestran colores azules ni anaranjado, y las barras, marcas lomaes y de las aletas son de una tonalidad verde-olivo, más oscura que en los machos. En los machos, las membranas interradales de la primera aleta dorsal tienen marcas difusas de color naranja óxido que se intensifican dorsalmente para formar un margen distal angosto de color naranja. Por su parte, las membranas interradales se oscurecen frontalmente de color verde oliva. En la segunda aleta dorsal se observan marcas naranja en las membranas interradales que conforman bandas longitudinales disparejas. Las membranas interradales de la aleta anal son de un color profundo anaranjado óxido, similar, pero más oscuro que en ocasiones alcanza el margen distal. Los radios de las aletas pélvicas usualmente son de un tono muy oscuro en la parte externa y naranja óxido en la parte interna.

ESTATUS ECOLÓGICO:

En Peligro (P) según la NOM-059-ECOL-2010. No se encuentra en la Lista Roja de la IUCN.

Nota: Se trata de una especie prioritaria para su conservación que además es sumamente difícil de detectar y coleccionar. Se llegan a observar algunos individuos con la ayuda de visor y tubo de respirar. Se trata de una especie muy sensible a cambios estructurales de hábitat, cuya existencia se encuentra en grave riesgo debido a la presencia del cíclido joya. Se recomienda la habilitación de secciones de hábitat; así como el inicio a la brevedad posible de un programa de conservación **ex situ** para la especie.

Etheostoma segrex Norris & Minckley, 1997

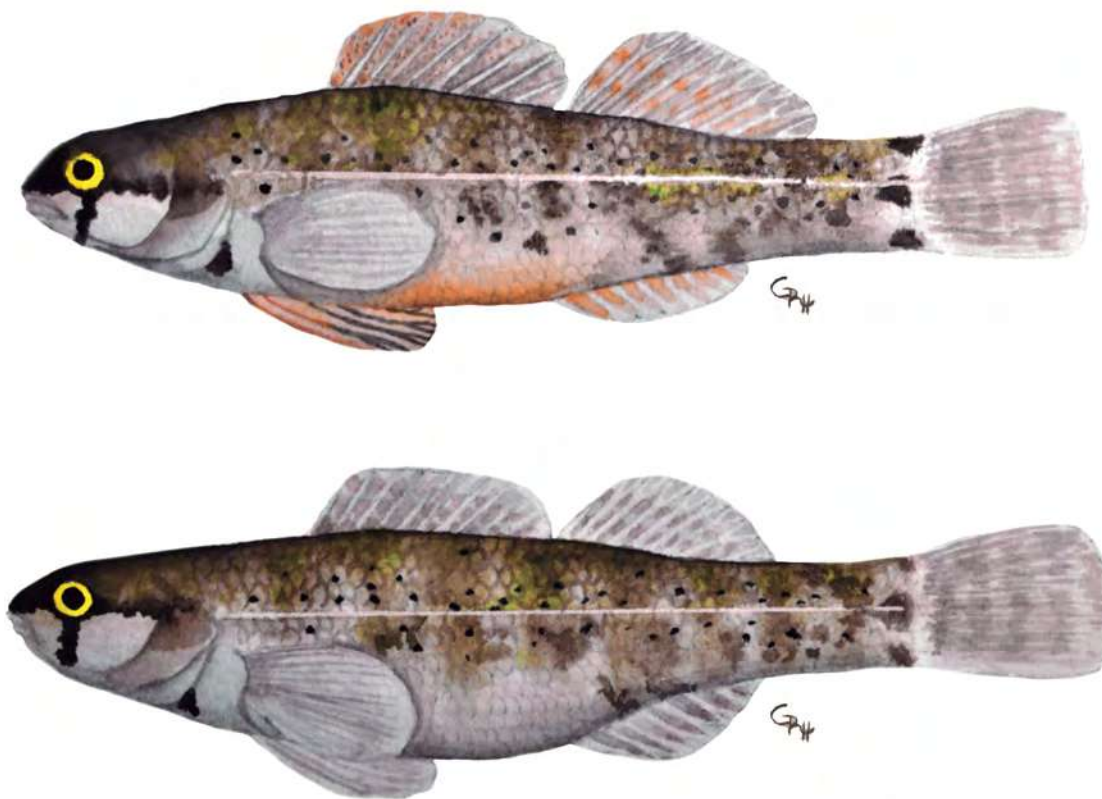


Fig. 30 Dardo del Río Salado (*Etheostoma segrex*), macho arriba y hembra abajo.

NOMBRE COMÚN:

Dardo del río Salado, Rio Salado Darter

TALLA:

Machos 41.1 mm y hembras 43.8 mm LP.

LOCALIDAD TIPO:

Río Salado de los Nadadores en El Cariño de la Montaña 27° 0' N, 101° 48' W.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Río Salado de los Nadadores en El Cariño de la Montaña 27° 0' N, 101° 48' W; Celemania; 27° 02' N, 101° 48' W; 27° 02' N, 101° 40' W; y Noreste de Sacramento 26° 58' N, 101° 50' W.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Se localiza fuera del valle, en la cuenca alta del río Salado de los Nadadores, únicamente en los arroyos aledaños a la cuenca de Cuatro Ciénegas que se alimentan con la salida de agua del Valle.

HÁBITAT:

Se concentran en zonas vegetadas de los rápidos de 1 a 3 m de ancho; de 10 a 25 cm de profundidad; con velocidades de 0.1 a 0.3 m/s y turbulencia moderada; sobre sustrato de grava y guijarros, frecuentemente con presencia de plantas vasculares tales como *Potamogeton* sp., *Zannichellia* sp. y/o el alga verde *Cladophora gomerata*. Los dardos se concentran en las zonas vegetadas. No se les encuentra en las zonas más profundas, no sobre sustratos fangosos, ni en rápidos turbulentos de aguas blancas.

BIOLOGÍA:

Su biología es desconocida.

RECONOCIMIENTO:

Los machos en coloración nupcial muestran las aletas pélvicas (con naranja en el radio principal, naranja con negro en el segundo, naranja en la membranas interradales y naranja con negro solo en las membranas interradales de las secciones medias) y anal (en las membranas interradales, menos intenso distalmente) de un tono anaranjado brillante; se observan manchas dispersas de color naranja asociadas a las membranas interradales dispersas en la parte frontal de la primera aleta dorsal, así como líneas longitudinales borrosas principalmente asociadas a la parte frontal de la segunda. En ambas aletas las manchas se tornan difusas en la parte posterior de las mismas. El color general de la cabeza y cuerpo es más bien blancuzco, con tonos azul grisáceo en los cachetes que se extienden ventralmente hasta los branquiestegales. El pecho es blanco y los costados y vientre naranja óxido. Similar a *E. lugoi*. D VIII—XI, 8 — 10; A 0, 6 — 7; Vertebras 35—37. Se le distingue del resto de los dardos de México en que tiene un parche de escamas en la base de la aleta pectoral. Así mismo se distingue de *E. lugoi* y de *E. grahami* en las escamas más pequeñas (p. ej. las escamas porosas de la línea lateral, media 37.6 vs 29.6 en *E. lugoi* y 29.6, 30.4 y 32.2 en poblaciones selectas de *E. grahami*); así como un número menor de radios dorsales (moda 9 vs 10 en *E. lugoi* y 10-11 en *E. grahami*). También se diferencia de *E. lugoi* en que presenta escamas en la región prepélvica. En alcohol la pigmentación de *E. segrex* es más oscura y marcada que en *E. lugoi*. Se observa un punto marcado en la base de la aleta pectoral, así como también un oscurecimiento de los márgenes de las escamas en el flanco, que dan al pez una apariencia jaspeada.

ESTATUS ECOLÓGICO:

No está sujeta a ninguna categoría dentro de la NOM-059. No se encuentra en la Lista Roja de la IUCN. Sin embargo, considero que esta se encuentra en peligro de extinción, pues se trata de una de las especies de peces con hábitat más restringido de México.

Nota: Aun cuando no se trata de una especie endémica en sentido estricto de la cuenca endorreica de Cuatro Ciénegas; consideramos que el intervalo de distribución de la especie que se encuentra acotado a la salida inmediata del valle; la fuerte modificación del cañón por el que fluye el río Salado, cuyo cauce ha sido invadido por las especies vegetales *Phragmites communis* y *Arundo donax*; así como la posible dependencia de las poblaciones restantes de esta especie del agua que sale de Cuatro Ciénegas; hacen obligada la consideración de la misma, como parte integral de la biodiversidad endémica regional que depende del sistema de Cuatro Ciénegas.

Familia Cichlidae

La familia Cichlidae tiene más de 700 especies distribuidas en América, Antillas, Asia (Siria y la costa de India), África y Madagascar. Estas tienen una sola fosa nasal en cada lado; y la línea lateral se encuentra dividida en dos secciones, estando la sección frontal posicionada más alto que la distal.

Hemichromis guttatus Günther, 1862



Fig. 31 Cíclido joya (*Hemichromis guttatus*). Se trata de una especie exótica altamente invasora.

NOMBRE COMÚN:

Cíclido joya, Jewel Cichlid.

TALLA:

Aproximadamente 140 mm de LP.

LOCALIDAD TIPO:

Aparentemente not Cape Colony, South Africa.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

África occidental. Especie euritópica que se distribuye en los ríos de Sierra Leona a Camerún, exceptuando el Bajo Río Volta (Daget &Teugels, 1991).

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Introducido en Cuatro Ciénegas. Río Mezquite, El Churince, Laguna de Juan Santos.

HÁBITAT:

En su intervalo natural de distribución se les encuentra frecuentemente asociados con rodales de plantas acuáticas sumergidas o emergentes; siendo particularmente abundantes en los tramos con aguas tranquilas y poco profundas de los grandes ríos; así como también en los pequeños afluentes laterales de estas corrientes; en meandros abandonados, zonas pantanosas; e inclusive en lagunas costeras. Ausentes en las zonas de rápidos y las cabeceras de ríos en zonas montañosas y boscosas (Daget &Teugels, 1991).

BIOLOGÍA:

Se trata de una especie agresiva que pone hasta 300 huevecillos sobre superficies sólidas tales como piedras o troncos sumergidos que eclosionan después de dos días. Los alevines nadan libremente cinco días después. Ambos padres protegen a las larvas y juveniles durante 4 semanas (Daget &Teugels, 1991).

RECONOCIMIENTO:

Cuerpo color rojo, con tres manchas muy distintivas una en el opérculo, parte media y la otra basicaudal de parte dorsal con manchas de melanóforos; manchas azul turquesa con distribución irregular, ápice de las aletas pigmentadas. Boca pequeña, hocico corto y obtuso, Dientes cónicos; cuerpo alargado y comprimido. El ojo cabe 3 veces en la longitud cefálica, la altura máxima cabe 2.5 veces en longitud patrón, la longitud cefálica abarca casi tres veces en la longitud patrón. Aletas dorsales y anales largas y prolongadas en punta. Aleta dorsal XIII—XV, 9—12; aleta anal III, 7—9.

ESTATUS ECOLÓGICO:

Exótica, invasora.

Nota: García-Ramírez, en (2005) reportó, como es que Contreras & Ludlow (2003) observaron por primera vez en México, en la Poza Churince, al pez joya *Hemichromis guttatus*. Ellos censaron 102 ejemplares y diagnosticaron su presencia como dañina para la fauna acuática. En (2003) Lozano-Vilano et al., reportaron esta especie exótica como abundante en la poza Churince, y los daños que había provocado a las especies acuáticas. En (2005) García Ramírez constató la existencia de *Hemichromis guttatus* en la Poza Churince y Laguna de Juan Santos. Observó que dicha especie no tenía depredadores que la controlaran, y como su población se incrementaba rápidamente y como resultado, se observaron ya en dicho año, en la poza Churince pocos ejemplares de *Cyprinella xanthicara*. Adicionalmente reportó que se encontró una interacción de esta especie exótica con las nativas, y que esta podía estar ocasionando una competencia importante, al tener una situación ventajosa a partir de su conducta de alimentación y tipo de alimentos consumidos, pues al recoger los peces del chinchorro o de las trampas se encontraron peces nativos mordisqueados. Además, se analizaron los contenidos gástricos de los cíclidos joya, y se observó, en forma general una alimentación generalizada, pero en particular la presencia de peces o escamas de peces nativos. Ya en la década de 2010, Evan W. Carson (comunicación personal) notó la ausencia de *C. xanthicara* y de *Cyprinodon bifasciatus* en el Churince. De la Maza-Benignos en junio de 2015 constató que en la cabecera de dicho sistema solo restaban la especie exótica, junto con algunos ejemplares (posiblemente no más de 50) de *H. minckleyi* y de *Gambusia marshi*; mientras que en el resto del sistema solo parecen sobrevivir algunos pocos ejemplares de *Dionda cf. episcopa* y de *C. atrorus*.

Herichthys cyanoguttatus Baird & Girard 1854

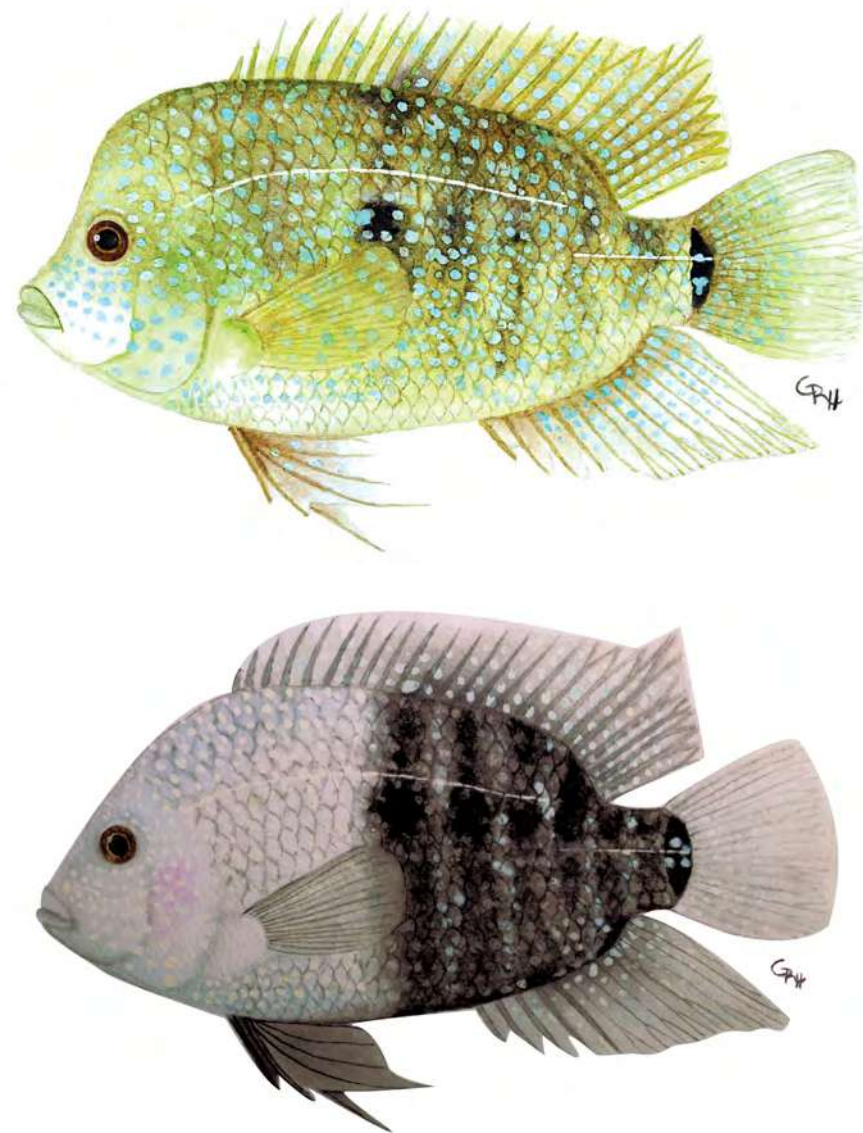


Fig. 32 Mojarra del norte (*Herichthys cyanoguttatus*). Macho en coloración normal arriba, y hembra en coloración de cría abajo.

NOMBRE COMÚN:

Mojarra del Norte, Rio Grande Cichlid.

TALLA:

Generalmente no más de 250 mm de LP.

LOCALIDAD TIPO:

Río Grande, at Brownsville, Cameron County, Texas, U.S.A.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Especie euritópica del noreste de México y sur de Texas, con distribución amplia en las cuencas de los ríos Bravo, excluyendo el río Conchos en Chihuahua; así como también en el río San Fernando, en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas; hasta el río Nueces en los Estados Unidos.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Únicamente la sección Este del Valle; en Tía Tecla y Teclitas, poza de la Angostura (26°55'37.5" N, 102°07'56.9" W en mayo, 2013); Tulares; canal saca salada; Los Hundidos (agosto, 2015); siendo el límite occidental de distribución en el valle el sistema Mojarral.

HÁBITAT:

Se trata de una especie tolerante que no requiere de condiciones muy particulares de hábitat.

BIOLOGÍA:

A diferencia de *H. minckleyi* que es una especie poliginia, *H. cyanoguttatus* forma parejas que defienden sus nidos y protegen a los alevines.

RECONOCIMIENTO:

Cuerpo grisáceo o verde espárrago con pequeños puntos azul iridiscente o verde olivo <0.5 mm repartidos por todo el cuerpo y las aletas, en patrones al azar. La vista dorsal de la cabeza es gris sólido a verde espárrago sobre la premaxila. La librea reproductiva se forma por seis barras verticales en los flancos que se oscurecen y fusionan casi en su totalidad, oscureciendo la mitad posterior del cuerpo. Esta contrasta con la mitad pálida frontal. El área oscura inicia en la vertical con el rayo 6 o 7 de la aleta dorsal, a partir de donde se extiende caudalmente. La zona oscura antero-ventral se limita a la región faríngea, pecho y vientre; y no se extiende dorsalmente por encima del labio inferior. Altura del cuerpo intermedia 40%–51% de LP; cabeza corta, contorno predorsal elevado, inclinado y aplanado frontalmente, forma una depresión angular frente al ojo. Dientes caniniformes indiferenciados en longitud entre las mandíbulas superior e inferior (De la Maza-Benignos, 2014; De la Maza-Benignos et al., 2015). Escamas en la línea lateral 28–32, las aletas pélvicas oscurecen en su borde ventral. D XV–XVII, 5–12; A IV–VI, 8–10, radios pectorales 13–15.

ESTATUS ECOLÓGICO:

No está sujeta a ninguna categoría dentro de la NOM–059. No se encuentra en la Lista Roja de la IUCN.

Nota: Su situación de conservación no es motivo de preocupación.

Oreochromis sp.

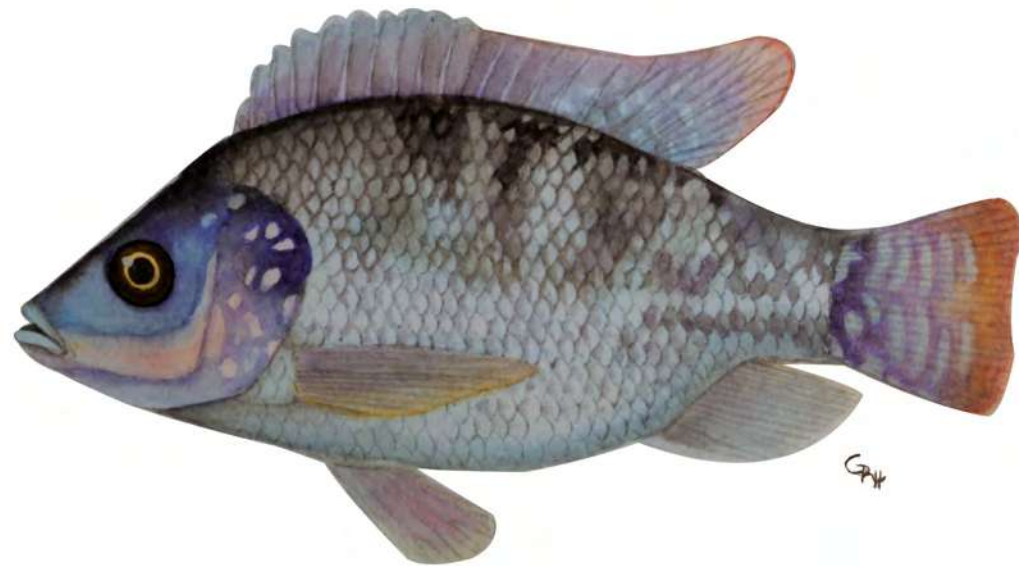


Fig. 33 Mojarra tilapia (*Oreochromis sp.*). Se trata de una especie exótica altamente invasora.

NOMBRE COMÚN:

Mojarra tilapia.

TALLA:

Alrededor de 25 mm de LP.

LOCALIDAD TIPO:

África.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Originaria de África, introducida en diversas partes del mundo.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Poza Tía Tecla.

HÁBITAT:

Presentan gran habilidad para adaptarse a las diferentes condiciones del ambiente, son capaces de sobrevivir tanto en agua dulce como salada. Si bien su rango normal de temperatura se extiende entre 12–38°C, con crecimiento óptimo a 30°C, pueden tolerar agua hasta de 12°C y sobrevivir en temperaturas tan bajas como 5°C y tan altas como 43°C por periodos cortos de tiempo. El oxígeno disuelto 5 mg/l, la salinidad 30–40 ppm, pH 6.5–8.5; turbidez no mayor a 25 ppm.; fondo de lodo, cieno, arena; la profundidad puede variar desde 40 cm. a más de un metro, con corrientes nulas a lentas, se le encuentra en ríos, arroyos, pantanos, pozas y represas. Se trata de una especie tolerante a la contaminación del agua.

BIOLOGÍA:

Se agrupa en cardúmenes y consume principalmente alga y fitoplancton, pero también plantas acuáticas, además de larvas de insectos, crustáceos, lombrices, así como pequeños peces. Se trata de una especie oportunista, omnívora; su largo intestino y hábitos alimenticios siguen a una especie altamente herbívora. Son peces muy precoces sexualmente que alcanzan su reproducción a los 12 cm de longitud, cuando pueden tener sólo seis meses de edad, aunque es más común que esto suceda entre los 12-15 meses. Se trata de un criador de boca materno. La madre protege los huevecillos fertilizados y posteriormente da albergue a sus alevines durante sus primeras semanas de vida al interior de la cavidad bucal. Los machos dejan el cardumen para establecer un territorio en una zona abierta de sustrato suave, generalmente arena cuando ésta se encuentra disponible, o arcilla cuando no. El macho permanece entonces activo, excavando una depresión de aproximadamente 0.5 m de diámetro, alimentándose y ahuyentando a los peces que se aproximen. Los machos comienzan el cortejo exhibiéndose frente a las hembras. Aquéllas que se sientan atraídas siguen al macho al nido donde comienzan a rodear el uno al otro al tiempo que la hembra muerde el fondo como en preparación para recoger los huevecillos fertilizados. La hembra libera huevecillos de color amarillo fuerte de un diámetro de 1.7 a 2.6 mm, que el macho fertiliza. Ésta los recoge con su boca en una vuelta subsecuente, junto con el esperma del macho, lo que produce la fertilización de los mismos. Este acto se repite hasta que se depositan de 100 a 400 huevecillos, dependiendo del tamaño de la hembra. Una vez concluido el desove la hembra es ahuyentada del territorio por el macho, quien procede a cortejar a otras hembras. La hembra buscará refugio en una zona protegida e incubará los huevecillos durante los próximos 11-12 días tras los cuales liberará a los alevines una vez que pueden nadar. Durante una semana, los jóvenes permanecen junto a la madre, quien les indica con señales a tomar refugio en su boca cuando juzga que existe una amenaza. Esta especie puede llegar a vivir hasta 11 años. Su talla máxima alcanza los 36.0 cm.

RECONOCIMIENTO:

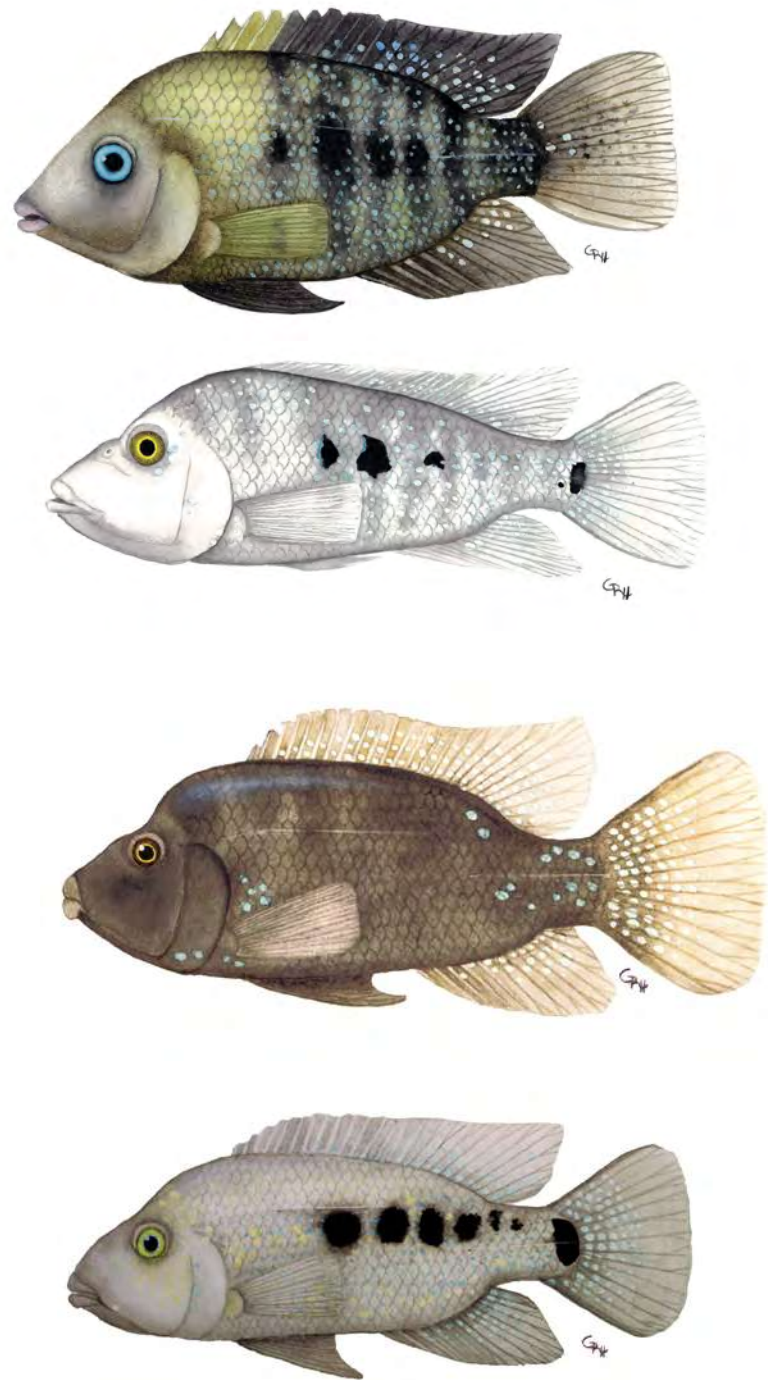
Machos con cuerpo y cabeza gris oscuro y vientre gris claro; en época de celo se torna negra, con la parte ventral amarilla y los bordes de las aletas, especialmente la dorsal y caudal, de color rojo sangre. En hembras no se presentan los tonos rojos y el color gris oscuro no llega a ser negro. De 29–32 escamas en línea lateral. Aleta dorsal con 15–17 espinas y de 10–12 radios, anal 3 espinas y 9–10. Presentan de 13–19 branquiespinas en la parte inferior del primer arco branquial.

ESTATUS ECOLÓGICO:

Exótica, invasora.

Nota: García-Ramírez, en (2005) reportó la presencia de *Oreochromis sp.* en la Poza Tía Tecla, coexistiendo con la especie endémica *Xiphophorus gordonii* la cual ya era escasa en dicha poza, y alertaba que, de continuar la invasión de la exótica, existía la posibilidad de que las especies nativas y endémicas sufrieran un daño irreversible.

Herichthys minckleyi (Kornfield & Taylor 1983)



NOMBRE COMÚN:

Mojarra de Minckley, mojarra de Cuatro Ciénegas, Minckley's Cichlid.

TALLA:

Generalmente no más de 30 mm de LP.

LOCALIDAD TIPO:

Poza de la Becerra, 15.7 kilómetros por carretera al sur suroeste de Cuatro Ciénegas de Carranza, Coahuila, México.

DISTRIBUCIÓN GENERAL:

Endémica de Cuatro Ciénegas.

DISTRIBUCIÓN PARA CUATRO CIÉNEGAS:

Río Mezquites, Pozas El Anteojo, Churince, Poza Grande, Orozco, Huizachal, Tía Tecla, Las Argollas.

DISTRIBUCIÓN POR FORMAS:

Morfo alargado (frecuencia): Anteojo, Pozas Azules, Tierra Blanca (nacimiento del Mezquites), y Tío Cándido (<22%); Becerra (83%); Escobedo (36%); y Mojarral Oeste (28%). Morfo alto/profundo: en todas las anteriores, más aparte exclusivamente en Churince (100%), Juan Santos (100%), Mojarral Este (100%) y Mezquites-Palapas (100%).

DISTRIBUCIÓN POR TIPOS FARÍNGEOS:

morfo papiliforme: (frecuencia): Anteojo (100%); Escobedo, Pozas Azules, Tierra Blanca (nacimiento del Mezquites) (>46.7%); mientras que el morfo molariforme: fue abundante en Tío Cándido, Becerra y Mojarral Oeste (Magalhaes, et al., 2015).

HÁBITAT:

Pozas y ríos de agua clara. Habita en zonas de corriente lenta. Se le encuentra generalmente en sustratos de arcilla, arena, grava o rocas, en zonas sin vegetación a profundidades normalmente menores de dos metros; pero superiores a cinco metros en Escobedo y el Complejo de Pozas Azules (De la Maza-Benignos, obs. personal).

BIOLOGÍA:

Se trata de una especie polimórfica tanto en su forma general, como en sus estructuras tróficas, habiendo hasta cuatro ecomorfotipos presentes en la mayor parte de las pozas alimentadas por manantiales dentro del valle (Magalhaes, et al., 2015). Así, las variaciones fenotípicas en *H. minckleyi* han categorizarse en dos formas principales (Kornfield et al., 1982; Kornfield & Taylor 1983); una profunda de tipo béntico, y una alargada de tipo limnético, existiendo, además, dentro de cada una de estas formas corporales, dos formas distintas y discretas de placas faríngeas: molariformes, asociadas a la trituración de caracoles, y papiliformes, asociadas con hábitos tróficos más bien detritívoros. Además, se trata, a diferencia de su pariente más cercano, *Herichthys cyanoguttatus*, de una especie poliginia que, durante la reproducción, los machos más grandes resguardan territorios amplios, mientras los más pequeños intentan furtivamente tácticas alternativas de apareamiento con las hembras. En comparación con *H. cyanoguttatus*, los machos permanecen menos tiempo resguardando los nidos, y despliegan un comportamiento menos agresivo hacia extraños. Las hembras en contraste, son más agresivas en la defensa de los nidos (Olfield et al., 2015).

Fig. 34 Mojarra de Minckley (*Herichthys minckleyi*) en el siguiente orden de arriba hacia abajo: forma alta/profunda en coloración normal, forma alargada en coloración normal, macho en coloración de cría y hembra en coloración de cría.



Fig. 35 Vista oclusal de placas faríngeas de los tipos morfológicos papiliforme (izquierda), mixta (derecha) y molariforme (abajo).

RECONOCIMIENTO:

Los machos son negro-verdoso a casi negro, presentando algunos puntos de color azul intenso distribuidos en la cabeza, flancos y aletas. En contraste el color base de las hembras en reproducción es un blanco intenso, con marcas negras en flancos y puntos azules ausentes. Entre los patrones de coloración en ejemplares no reproductivos, son comunes los ejemplares albinos y oligomelánicos. La forma del cuerpo en las formas molariformes es compacta 40%–45% LP con la boca pequeña, quijadas iguales. La forma papiliforme es alargada 36%–38% con boca grande y quijada ligeramente prognata. Arcadas inferior y superior redondeadas. Dientes anteriores implantados con regularidad, bien espaciados, cónicos, unicúspides, redondeados, fuertemente recurvados y filosos, con implantación erecta; un par de colmillos recurvados, bien desarrollados están presentes en la maxila superior, y un segundo par menos desarrollado en la mandíbula inferior (De la Maza-Benignos, 2014). En ejemplares reproductivos se observa un dicromatismo sexual muy acentuado. Aleta dorsal deprimida no rebasa el 1/3 anterior de la aleta caudal. D XV–XVII (XVI 97%) 9–12; A IV–VI (V FREQ 92%); rayos pectorales 13–15 (14 FREQ 76%); branquiaspenias superior 3–4, branquiaspenias inferior 7–9.

ESTATUS ECOLÓGICO:

Debido a su patrón de distribución tan restringido se encuentra en la categoría de en Peligro (P) según la NOM-ECOL-059, 2001, VU Vulnerable según la lista roja del IUCN, 2009.

Nota: La especie muestra dos linajes divergentes, uno de estos asociado a la especie hermana *H. cyanoguttatus*, los cuales no se encuentran coligados a las distintas formas ni geografías dentro del valle, sino a procesos anteriores al aislamiento del valle y/o a un fenómeno de contacto secundario reciente derivado de la apertura de canales agrícolas para el trasvase de la cuenca. Por su parte, los datos que Magalhaes et al., (2015) obtuvieron a partir de microsatélites neutrales, indican que prácticamente cada sistema en el valle constituye su propio cluster genético con ecomorfotipos simpátricos que forman poblaciones panmíticas. Magalhaes, et al., (2015) además, determinaron que la distribución de los cuatro morfos, por combinación de altura y tipo de placa faríngea, dentro de los diferentes sistemas en el valle no es constante, habiendo una mayor proporción de ejemplares molariformes en los sistemas de mayor tamaño. A partir de datos obtenidos recientemente con marcadores moleculares (Ornelas-García et al., en prensa) se ha podido determinar que esta especie presenta tamaños efectivos para la mayoría de sus poblaciones menores a 150 ejemplares; situación que la coloca en riesgo de desaparecer. En cuanto a la variación genética interespecífica, la mayor diversidad genética mitocondrial se encontró en la población de Mezquite-Palapas; mientras que la menor se detectó en Escobedo. El análisis factorial de correspondencia para los microsatélites logró separar a las poblaciones del sureste del valle del resto. Además, se observaron diferencias significativas dentro de las poblaciones de los sistemas Mezquites y Escobedo, así como entre estas, y con el resto de las poblaciones del valle. Las poblaciones del Oeste del Valle también son diferentes del resto; y las poblaciones de Juan Santos, Escobedo y parte de Tío Cándido y Antojos son diferentes entre sí. Se detectaron en algunas poblaciones como por ejemplo las de Juan Santos, Mojarral Este y Mojarral Oeste un exceso de heterocigotos lo cual podrían ser una señal de cuellos de botella. Como medida de conservación, resulta importante plantear programas de reproducción ex situ en los cuales se considere la identidad genética de los grupos estudiados, a fin de optimizar la conservación y manejo de la especie (Magalhaes et al., 2015; Ornelas-García et al., en prensa).



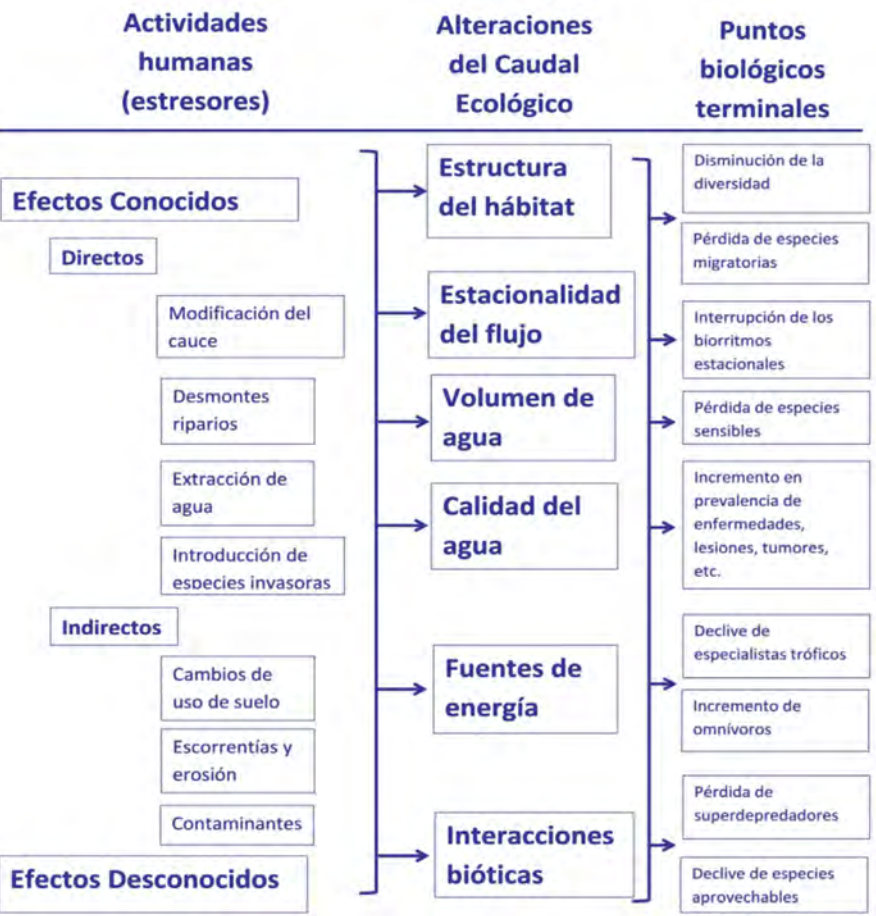
EL ÍNDICE BIÓTICO VISUAL DE INTEGRIDAD (IBVI)

Introducción

Los IBI son herramientas multimétricas usadas extensamente desde la década de 1980 (Karr, 1981). Estas han probado ser excelentes indicadores para evaluar la condición de ríos y ecosistemas en términos de su estado y tendencias con base en el monitoreo sistemático de comunidades bióticas como peces, aves, plantas y macroinvertebrados acuáticos; pues permiten tomar el pulso a los ecosistemas, identificar riesgos para la salud y bienestar humano, así como tendencias, facilitando la toma de decisiones para revertir tendencias negativas. También facilitan la comunicación con los habitantes de la región y el público en general (De la Maza-Benignos et al., 2014).

Los esquemas de evaluación biológica de sistemas acuáticos que utilizan índices agregados parten de la comparación de los recursos biológicos de un cuerpo de agua determinado con respecto a una condición no alterada o ideal. Para ello se debe de primero caracterizar dicha condición con el propósito de seleccionar y calibrar una serie de métricas para su agregación en un índice acorde a la homogeneidad de clases de sitios; y así cuantificar y determinar la desviación de los sitios monitoreados con respecto a su clase y condición ideal.

A través del 2015, se dio inicio al desarrollo de un Índice Biótico Visual de Integridad (IBVI) para cuerpos de agua selectos del Valle de Cuatro Ciénegas, atendiendo el modelo general de Karr (1991), modificado por De la Maza-Benignos (Figura 1).



Fuente: Tomado de Karr, 1991; Karr y Yoder, 2004; Karr, 2006; Karr, 2009.

Figura 37. Modelo general de Karr (1991) modificado por De la Maza-Benignos (2013). Las actividades humanas alteran al menos seis características de los recursos hídricos, lo que resulta en cambios en la composición faunística.

Algunos elementos esenciales que se consideraron para su desarrollo: (1) enfoque en puntos biológicos terminales representativos del intervalo completo de hábitat y condiciones ecológicas del Valle; (2) utilización de datos históricos disponibles como punto de referencia; (3) clasificación de los sitios en clases con características ambientales similares; (4) evaluación de los cambios provocados por la acción humana; (5) desarrollo de **protocolos de muestreos no invasivos estandarizados**, basados en la identificación visual y la documentación gráfica de las especies y condiciones observadas, que fueron apoyados por procedimientos analíticos; (6) evaluación cuantitativa y cualitativa de los sitios; y (7) definición de clases de condición que representen grados de degradación (Karr & Chu, 2000). Lo anterior asociado a las características biológicas particulares de cada una de las especies utilizadas (**Tabla 1**).

Criterios base por características biológicas.

En el desarrollo del IBI para la región 24, desiertos sureños y ríos de Texas, EEUU, Linam et al., (2002) utilizaron las siguientes métricas, adaptadas a partir de Karr et al., (1986): Número de especies totales (=riqueza de taxa), número de especies de dardos (eteostómidos) totales, número de especies de mojaras del género *Lepomis*, número de catostómidos, número de especies sensibles, porcentaje en número de individuos de mojaras sol verdes, porcentaje en número de individuos omnívoros, porcentaje en número de individuos insectívoros, porcentaje de individuos piscívoros, número de individuos en la muestra, porcentaje de individuos híbridos, y porcentaje de individuos enfermos o que presentan deformaciones.

Por su parte, Lozano-Vilano et al., en De la Maza-Benignos (2009) utilizaron en el desarrollo del IBlh (Índice Biológico de Integridad Histórico) para el río Conchos las siguientes métricas: Riqueza de taxa (especies), número total de especies nativas, abundancia relativa de especies nativas, número de especies bénticas, número de especies de ciprinídeos, número de especies de catostómidos, cociente de porcentaje de especies sensibles, porcentaje de especies tolerantes, porcentaje de herbívoros, porcentaje de insectívoros, porcentaje de micrófagos, porcentaje de carnívoros, porcentaje de especies exóticas, porcentaje de especies neárticas, y porcentaje de especies primarias.

Especiew	Nombre vernáculo	Estatus evolutivo	Familia
<i>Cyprinella xanthicara</i>	Sardinita de Cuatro Ciénegas	En	Cyprinidae
<i>Dionda cf. Episcopa</i>	Carpa del Bravo	(En)	Cyprinidae
<i>Astyanax mexicanus</i>	Tetra mexicano	N	Characidae
<i>Ictalurus lupus</i>	Bagre lobo	(En)	Ictaluridae
<i>Pylodictis olivaris</i>	Pintontle	N	Ictaluridae
<i>Gambusia longispinis</i>	Guayacón de Cuatro Ciénegas	En	Poeciliidae
<i>Gambusia masrshi</i>	Pez mosquitero	N	Poeciliidae
<i>Xiphophorus gordonii</i>	Plata de Cuatro Ciénegas	En	Poeciliidae
<i>Lucania interioris</i>	Sardinilla de Cuatro Ciénegas	En	Fundulidae
<i>Cyprinodon atrorus</i>	Cachorrito del Bolsón	En	Cyprinodontidae
<i>Cyprinodon bifasciatus</i>	Cachorrito de Cuatro Ciénegas	En	Cyprinodontidae
<i>Lepomis megalotis</i>	Mojarra Sol	(En)	Centrarchidae
<i>Micropterus salmoides</i>	Lobina negra	N (En)	Centrarchidae
<i>Etheostoma lugoi</i>	Dardo de Cuatro Ciénegas	En	Percidae
<i>Etheostoma segrex</i>	Dardo del Salado	MA	Percidae
<i>Herichthys cyanoguttatus</i>	Mojarra del río Bravo	N	Cichlidae
<i>Herichthys minckleyi</i>	Mojarra de Cuatro Ciénegas	En	Cichlidae
Exóticas			
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa asiática	Ex	Cyprinidae
<i>Hemichromis guttatus</i>	Ciclido joya	Ex	Cichlidae
<i>Oreochromis sp.</i>	Mojarra tilapia	Ex	Cichlidae

Tabla 1. Cuadro de especies y criterios base por características biológicas.

La selección de métricas se basó en Contreras-Balderas, et al., (2000, 2003, 2005), Karr et al., (1986), Linam et al., (2002), Lozano-Vilano et al., en De la Maza-Benignos (2009), y De la Maza-Benignos et al., (2014). Se escogieron únicamente aquellas métricas que se adecuaron a las características particulares de cada uno de los cuerpos de agua estudiados; además, se integraron nuevas métricas tales como *presencia/ ausencia de comportamiento reproductivo* en especies indicadoras; y *reclutamiento efectivo* entre otras.

Dado que una de las metas fue utilizar métodos de muestreo no invasivos, para el presente análisis se optó por métricas basadas principalmente en la observación directa y documentación digital de las especies presentes y sus hábitats; mismas que, salvo algunas excepciones, no requirieron de colectas físicas de material biológico. Adicionalmente, los puntajes de IBVI para cada uno de los sitios muestreados se basó en la determinación de sitios idealizados de referencia, cuyas líneas base se determinaron con base en registros y colectas históricas desarrolladas en los cuerpos de agua estudiados. Otra innovación que se integró al presente ejercicio fue el uso de valores negativos para las métricas asociadas con la presencia y grado de invasión de las especies exóticas introducidas.

Materiales y métodos

Método de muestreo

Para realizar los muestreos, se realizaron recorridos subacuáticos dirigidos, sin límite estricto de tiempo (~2 horas por sitio) en cada uno de los cuerpos de agua estudiados, donde la visibilidad así lo permitió. Con la ayuda de visor, aletas y tubo de respirar se recorrieron a nado los cuerpos de agua, procurando documentar la totalidad de la diversidad de hábitat presentes en cada cuerpo de agua; así como el mayor número de especies y situaciones conductuales posibles, que contribuyeran a atender las métricas evaluadas. Lo anterior se hizo utilizando una cámara subacuática de video de la marca *GoPro hero 4 silver* programada en modo de video (filmando un máximo 15 minutos por corte) y fotografía (programada en modo automático cada tres segundos); montada en un monopie transparente de soporte (*floating selfie Pole Monopod*) de 45 cm de longitud. Para estudiar zonas muy someras, demasiado fangosas, vegetadas o de difícil acceso, tales como planicies inundadas y acequias someras, se realizó muestreos con redes de cuchara tipo D; y se fotografieron los ejemplares colectados previamente a su liberación. Lo anterior permitió identificar la presencia/ ausencia de especies de aguas someras y/o de hábitos crípticos tales como *Lucania interioris*, *Xiphophorus gordonii*, o *Gambusia longispinis* por mencionar algunas.

Métricas utilizadas

Se evaluó: (1) Riqueza de taxa (Nativos); (2) manifestaciones de comportamiento reproductivo de *Herichthys minckleyi* (3) estado de reclutamiento en *Herichthys minckleyi*; estado reclutamiento en *C. bifasciatus*; (4) presencia/ausencia de especies exóticas; (5) % de especies endémicas; (6) % de especies sensibles al disturbio; (7) % de especies tolerantes al disturbio; (8) % de especies medianamente tolerantes al disturbio; (9) presencia de individuos que manifiestan deformidades o enfermedad; (10) presencia de especies clave por ser raras o microendémicas, asociadas a los cuerpos de agua en particular (**Tabla 2**).

Métrica	Descripción	Respuesta al disturbio	Cálculo
Riqueza (Nativos)	Porcentaje de especies nativas presentes en relación a valores ideales, naturales, e históricos.	Disminución de la diversidad biológica.	Número de especies nativas observadas/Número de especies nativas documentadas históricamente para el sitio
Comportamiento reproductivo de <i>Herichthys minckleyi</i> Reclutamiento en <i>Herichthys minckleyi</i>	Presencia de hembras en coloración de cría protegiendo sus nidos o alevines.	En los sistemas altamente impactados no se manifiesta comportamiento reproductivo.	presencia /ausencia
	Demografía representada por todas las edades.	Se observan vacíos generacionales asociados a períodos de estrés ocasionado por disturbios prolongados.	Todas las edades representadas/Se observan vacíos generacionales.
Reclutamiento en <i>C. bifasciatus</i>	Comportamiento reproductivo (coloración y cortejo); presencia de alevines, juveniles y adultos	Se observan vacíos generacionales asociados a períodos de estrés ocasionado por disturbios prolongados.	Todas las edades representadas/Se observan vacíos generacionales
Presencia de especies exóticas	Presencia de <i>Hemichromis guttatus</i> ; <i>Oreochromis aureus</i> ; y/o <i>Cyprinus carpio</i>	Las especies exóticas se logran establecer en ambientes con disturbio.	Presencia/ausencia
% de especies endémicas	Porcentaje de especies clasificadas como endémicas en relación a valores ideales, naturales e históricos.	Disminuyen conforme se incrementa el disturbio.	Número de especies endémicas observadas/Número de especies endémicas documentadas históricamente para el sitio
% de especies sensibles	Porcentaje de especies clasificadas como sensibles en relación a valores ideales, naturales e históricos.	Disminuyen conforme incrementa el disturbio.	Número de especies sensibles observadas/Número de especies sensibles documentadas históricamente para el sitio
% de especies tolerantes	Porcentaje de especies clasificadas como tolerantes en relación a valores ideales, naturales e históricos.	Disminuye conforme incrementa el disturbio.	Número de especies tolerantes observadas/Número de especies tolerantes documentadas históricamente para el sitio
% de especies medio tolerantes	Porcentaje de especies clasificadas como medio tolerante en relación a valores ideales, naturales e históricos.	Disminuye conforme incrementa el disturbio.	Número de especies tolerantes observadas/Número de especies tolerantes documentadas históricamente para el sitio
Presencia de ejemplares enfermos	Presencia de individuos que manifiestan deformidades o enfermedad	Aumenta conforme se incrementa el disturbio	Presencia/ausencia
Abundancia relativa de especies exóticas	Cantidad de individuos que se observan en relación a las especies nativas.	Aumenta conforme se incrementa el disturbio	Grado de invasión: severa vs apenas perceptible a media vs inexistente.
Esquema de puntos extra para sitios selectos			
Presencia de <i>E. lugoi</i>	Aplica solo a sitios que cuentan con registros históricos de la especie (i.e. sistema Mezquites)	Se trata de una especie sensible que tiende a desaparecer conforme se incrementa el disturbio.	Observada/no observada
Presencia de <i>Ictalurus lupus</i>	Aplica solo a sitios que cuentan con registros históricos de la especie	Se trata de una especie poco conspicua cuya presencia no es fácilmente detectable. Tiende a desaparecer conforme se incrementa el disturbio.	Observada/no observada
Presencia de <i>Lucania interioris</i>	Aplica solo a sitios que cuentan con registros históricos de la especie. Se requiere de capturar/fotografiar/liberar con red de cuchara.	Se trata de una especie con requerimientos muy particulares de hábitat; difícil de detectar sin la ayuda de red de mano o chinchorro. Tiende a desaparecer conforme se incrementa el disturbio.	Detectada (colectada)/no detectada (colectada)
Presencia de <i>Xiphophorus gordonii</i>	Aplica solo a sitios que cuentan con registros históricos de la especie. Se requiere de capturar/fotografiar/liberar con red de cuchara.	Se trata de una especie microendémica con requerimientos muy particulares de hábitat; difícil de detectar sin la ayuda de red de mano o chinchorro. Tiende a desaparecer conforme se incrementa el disturbio.	Detectada (colectada)/no detectada (colectada)
Presencia de <i>Gambusia longispinis</i>	Aplica solo a sitios que cuentan con registros históricos de la especie. Se requiere de capturar/fotografiar/liberar con red de cuchara.	Se trata de una especie con requerimientos muy particulares de hábitat; difícil de detectar sin la ayuda de red de mano o chinchorro. Tiende a desaparecer conforme se incrementa el disturbio.	Detectada (colectada)/no detectada (colectada)

Tabla 2. Tabla general de métricas utilizadas y razonamiento en la selección de las mismas.

Criterios de puntuación

El número de métricas utilizadas para calcular la puntuación del IBVI se ajustó a cada sitio estudiado en lo particular, en función de la diversidad histórica de peces conocida para dicho sitio. La puntuación calculada para cada sitio posteriormente se ajustó, usando como base un valor estándar de 40 puntos que corresponde al máximo obtenible, previo a la asignación de *puntos extra*, que puede obtener un sitio idealizado de referencia, en condiciones óptimas, que utiliza todas las métricas aplicables.

Al valor ajustado para cada sitio se sumaron, o no, *5 puntos extras* correspondientes a la presencia de alguna especie *rara* y/o microendémica. Finalmente, las puntuaciones se ajustaron a una escala de 100 puntos, donde el valor mínimo posible es de 40 puntos, que representaría un sistema colapsado, con presencia abundante de una o más especies exóticas invasoras. Los procedimientos matemáticos a realizarse para determinar las puntuaciones del IBVI se aprecian en la **Tabla 3** y la **Tabla 4**

Métrica	Calificación	Puntaje		
Riqueza (Nativos)	(Número de especies nativas observadas/Número de especies nativas documentadas históricamente) X 100	<33% = 0	33%—66%= 3	>66% = 5
Comportamiento reproductivo de <i>Herichthys minckleyi</i> Reclutamiento en <i>Herichthys minckleyi</i>	Se observaron hembras con librea de apareamiento protegiendo nidos o alevines. Demografía representada por todas las edades	Sí = 5 Muy bien Representadas todas las edades= 5		No = 0
Reclutamiento en <i>C. bifasciatus</i>	Demografía representada por todas las edades/se observa comportamiento reproductivo/presencia de alevines, juveniles y adultos	Muy bien representadas todas las edades= 5	Se observan algunos vacíos generacionales = 3	Se observan mayormente ejemplares maduros = 0
Especies exóticas	Presencia/ausencia de <i>Hemichromis guttatus</i> ; <i>Oreochromis aureus</i> ; y/o <i>Cyprinus carpio</i>	Sí = -5	Se observan algunos vacíos generacionales = 3	Se observan mayormente ejemplares maduros = 0
% de especies endémicas	(Número de especies endémicas observadas/número de especies endémicas documentadas históricamente) X 100	<33% = 0	33%—66%= 3	>66% = 5
% de especies sensibles	(Número de especies sensibles observadas /Número de especies sensibles documentadas históricamente) X 100	<33% = 0	33%—66%= 3	>66% = 5
% de especies tolerantes	(Número de especies tolerantes observadas/Número de especies tolerantes documentadas históricamente) X 100	<33% = 0	33%—66%= 3	>66% = 5
% de especies medianamente sensibles	(Número de especies medianamente sensibles observadas/Número de especies medianamente sensibles documentadas históricas) X 100	<33% = 0	33%—66%= 3	>66% = 5
Presencia de ejemplares enfermos	Presencia/ausencia de individuos que manifiestan deformidades o enfermedad	Sí = -5		No = 0
Abundancia de especies exóticas	Cantidad de individuos que se observan en relación a las especies nativas.	Invasión severa = -5	Invasión apenas perceptible a media = -3	No se detectan especies invasoras = 0
Esquema de puntos extra para sitios selectos				
Presencia de <i>E. Lugoi</i> (sistema en Mezquites)	Presencia/ausencia de la especie en sitios selectos	Sí = 5		No = 0
Presencia de <i>Ictalurus lupus</i>	Presencia/ausencia de la especie en sitios selectos	Sí = 5		No = 0
Presencia de <i>Lucania interioris</i> (usando red de cuchara)	Presencia/ausencia de la especie en sitios selectos	Sí = 5		No = 0
Presencia de <i>Xiphophorus gordonii</i> (visual o usando red de cuchara)	Presencia/ausencia de la especie en sitios selectos	Sí = 5		No = 0
Presencia de <i>Gambusia longispinis</i> (visual o usando red de cuchara)	Presencia/ausencia de la especie en sitios selectos	Sí = 5		No = 0

Tabla 3. Procedimiento matemático para la puntuación en cada una de las métricas seleccionadas para la evaluación de la integridad biológica de los sitios.

Calificación	Puntaje
Colapsado	40—60
Altamente impactado	60—70
Medianamente impactado	70—80
En buenas condiciones	80—90
En muy buenas condiciones	90—99
En excelentes condiciones	100

Tabla 4. Escala cualitativa para la integridad biológica de los sitios en base al puntaje de IBVI obtenido.

Resultados

El resultado global para la salud de los ecosistemas estudiados del valle de Cuatro Ciénegas combinados, medido en términos de composición de peces, muestra la existencia de un ecosistema que aún se encuentra en buenas condiciones (puntaje de IBVI = 89). No obstante lo anterior, los resultados regionalizados muestran condiciones asimétricas entre los diferentes subsistemas analizados que se encuentran medianamente impactadas en la región sureste (puntaje de IBVI = 78); en buenas condiciones en la región centro (puntaje de IBVI = 94); y en muy buenas condiciones (puntaje de IBVI = 86) en la zona suroeste del valle; siendo los sitios con mayor puntuación Los Antejos (puntaje de IBVI = 100); la Poza Doble de los Hundidos (puntaje de IBVI = 95); la poza Escobedo (puntaje de IBVI = 100); Tío Cándido (puntaje de IBVI = 98); el Complejo de Pozas Azules (puntaje de IBVI = 100); y el sistema Santa Tecla (puntaje de IBVI = 100). Por su parte, el sistema Churince, que presenta una severa invasión de cíclido joya, se encuentra técnicamente colapsado (puntaje de IBVI = 54); mientras que Teclitas, severamente invadido por tilapia, se encuentra altamente impactado (puntaje de IBVI = 63); y los Gatos que se encuentra en buenas condiciones (puntaje de IBVI = 84). Cabe mencionar que los muestreos en dicho sitio no fueron lo suficientemente robustos, por lo que consideramos que el puntaje real sea probablemente algo mayor. Adicionalmente, los Mezquites también presenta invasión del cíclido joya, aunque presente gran resiliencia y su calificación por encima de la media global (puntaje de IBVI = 92); mientras que la Becerra (excluyendo el río Garabatal) aún se encuentra en buenas condiciones (puntaje IBVI = 89), aunque hidrológicamente se encuentra severamente disminuida. Los puntajes y calificación obtenidos para cada uno de los sistemas estudiados se aprecian en la **Tabla 5**

SITIO	PUNTAJE	CALIFICACIÓN
Sistema Churince	54	Colapsado
Sistema Becerra/Garabatal	89	En buenas condiciones
Mezquites en las Palapas	92	En muy buenas condiciones
Antejos	100	En excelentes condiciones
Escobedo	100	En excelentes condiciones
Tío Cándido	98	En muy buenas condiciones
Poza doble en los Hundidos	95	En muy buenas condiciones
Los Gatos	84	En buenas condiciones
Complejo de Pozas Azules	100	En excelentes condiciones
Santa Tecla	100	En excelentes condiciones
Teclitas	63	Altamente impactado
PROMEDIO GLOBAL	89	En buenas condiciones
PUNTAJE/CALIFICACIÓN POR ZONAS		
Zona sureste	78	Medianamente impactado
Zona norte (anteojos)	100	En excelentes condiciones
Sistema Tío Cándido-Hundidos	94	En muy buenas condiciones
Sistema Santa Tecla	86	En buenas condiciones

Tabla 5. Cuadro comparativo de calificaciones entre los sitios estudiados, donde el menor puntaje posible es 40 (i.e. sistema colapsado) y el mayor puede ser igual o mayor de 100 (i.e. excelente), considerando los puntos extra que pueden recibir los sitios por presencia confirmada de algunas especies consideradas como raras.

Zona Sureste

Sistema Churince



Fig. 38 Laguna Churince antes de su desecación total.

El sistema Churince está conformado principalmente por cuatro cuerpos de agua superficiales comunicados subterráneamente y por una serie de riachuelos; la Poza Churince y Poza Bonita conforman la fuente del sistema; así como también la Laguna Intermedia y la Laguna de Churince (hoy seca). Esta última corresponde al sistema terminal. Se trata de un sistema aislado superficialmente del resto (Evans, 2005) debido a la existencia de un pretil natural de travertinos y un sistema de dunas de yeso que aísla superficialmente el sistema.

La vegetación del humedal está compuesta principalmente por especies como carricillo (*Phragmites australis*), tule (*Typha dominguensis*), lampazo (*Nymphaea ampla*) y algunas especies de la familia Cyperacea (junquillos), aunque en las partes de rivera y anegamiento intermitente es posible encontrar algunas gramíneas como zacate salado (*Distichlis spicata*), zacate alcalino (*Sporobolus airoides*), zacatón (*Digitaria sp.*) y zacate picoso (*Spartinas partinae*), entre otras.

En el año 2009 la Laguna de Churince perdió en su totalidad su espejo de agua, seguida por las secciones intermedias del sistema. Ecológicamente, la zona híbrida conformada por *Cyprinodon bifasciatus* x *C. atrorus*, la cual representaba la mejor estudiada para dichas especies, colapsó en su totalidad (Tobler & Carson, 2010; Carson et al., 2012). Por su parte, la poza de Churince empezó a disminuir su nivel de agua a partir del 2008, registrando una disminución en su nivel de 0.16 m ese año; por lo que ésta podría llegar a evaporarse de forma total si la temperatura del ambiente llegara a alcanzar los 40° C durante periodos relativamente prolongados (Pérez-Flores, 2009).

Actualmente la poza Churince mide aproximadamente 75 m de largo X 27 m de ancho; tiene una profundidad de 0.50 a 3.0 m. Su banco es arcillo-limoso con sustrato de conchas de caracol y cieno. El agua es clara. El área circundante es árida, en esta se puede encontrar vegetación rosetófila. Se encontró la media de los siguientes parámetros físicos, temperatura 28.9°C, color 7 mg/l Pt, turbiedad 2.5 FTU (García-Ramírez, 2005). El estado de conservación del sistema entero se encuentra muy deteriorado; y el riesgo de desecación total se encuentra latente.

Cálculo puntual del IBVI

Se consideraron las siguientes métricas: Riqueza (Nativos); Comportamiento reproductivo de *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *C. bifasciatus*; Especies exóticas; % de especies endémicas; % de especies sensibles; % de especies tolerantes; % de especies medianamente sensibles; Presencia de ejemplares enfermos; Abundancia de especies exóticas; con posibilidad de 5 Puntos extra por presencia de *Gambusia longispinis* (Tabla 6 y Tabla 7).

Especie	Línea base histórica	Observadas
<i>Herichthys minckleyi</i>	X	X
<i>Gambusia marshi</i>	X	X
<i>Cyprinodon bifasciatus</i>	X	0
<i>Astyanax mexicanus</i>	X	0
<i>Dionda episcopa</i>	X	X
<i>Cyprinella xanthicara</i>	X	0
<i>Lepomis megalotis</i>	X	0
<i>Micropterus salmoides</i>	X	X
* <i>Ictalurus lupus</i>	0	0
** <i>Hemichromis guttatus</i>	0	X
Especies restringidas a hábitats circundantes		
<i>Cyprinodon atrorus</i>	X	X
* <i>Gambusia longispinis</i>	X	0

Tabla 6. Cambios observados en la diversidad de especies de peces del sistema Churince. *No se cuenta con registros históricos, pero es probable que se encuentre presente. **Especie exótica invasora.

Métrica	Calificación	Valor	Cálculo
Riqueza (Nativos)	5/10	50%	3
Comportamiento reproductivo de <i>Herichthys minckleyi</i>	No	X	0
Reclutamiento en <i>Herichthys minckleyi</i>	Se observan mayormente ejemplares maduros	X	0
Reclutamiento en <i>C. bifasciatus</i>	No se observaron (probablemente extirpada)	X	0
Especies exóticas	Sí	X	-5
% de especies endémicas	4/9	44%	3
% de especies sensibles	0/3	0%	0
% de especies tolerantes	2/2	100%	5
% de especies medianamente sensibles	3/6	50%	3
Presencia de ejemplares enfermos	Sí	X	-5
Abundancia de especies exóticas	Invasión severa	X	-5
TOTAL SIN AJUSTAR	-1		
TOTAL AJUSTADO	Valor obtenido X 40)/40		-1
Puntos extra por presencia de <i>Gambusia longispinis</i>	No	X	0
PUNTUACIÓN SIN AJUSTAR			-1
PUNTUACIÓN BASE 100	Puntuación sin ajustar + 55		54

Tabla 7. Cálculo de IBVI para el Churince.

Estado de conservación



Fig. 39 Imagen subacuática de poza Churince que muestra su estado de colapso ecológico e invasión de cíclidos joya.

El sistema obtuvo una calificación de colapsado. Consideramos que las especies *Cyprinella xanthicara*, *Cyprinodon bifasciatus*, *Astyanax mexicanus* y *Lepomis megalotis* fueron incapaces de resistir la desecación de las partes medias y bajas del sistema durante la última década, así como la invasión del cíclido joya, ya extirpadas del sistema. En los canales y sistemas lagunares adyacentes se detectaron zonas de refugio con pocos ejemplares de *Cyprinodon atrorus*; *Dionda episcopa*; y algunos ejemplares juveniles de *Herichthys minckleyi*.



Fig. 40 Vista superficial de la poza Churince.

En la poza Churince sobreviven *Gambusia marshi* la cual se observó abundantemente; no más de 50 ejemplares de *H. minckleyi* en un estado senil y con heridas y marcas de ataques y enfermedad; así como también se observó un solo ejemplar de *Micropterus salmoides*.

El fondo de la poza ha sido invadido por crecimientos algales anormales, que en algunas zonas superan el metro de espesor, y que brindan refugio y estructura reproductiva a la especie invasora *H. guttatus*. Consideramos que dichos crecimientos anormales se deben principalmente a la desaparición de las especies herbívoras tanto de peces (P. ej. *Cyprinodon bifasciatus* y *Dionda episcopa*) como de macroinvertebrados que los controlaban.

Recomendaciones de manejo



Fig. 41 Laguna intermedia, Sistema Churince.

1. Iniciar a la brevedad el rescate de las especies nativas que aun sobrevivan (p. ej. *Herichthys minckleyi*, *Dionda episcopa* y *Micropterus salmoides*) y trasladarlas a un vivero (a instalarse) para la producción en cautiverio de peces nativos con fines de repoblación posterior.
2. Remover los crecimientos anormales de tapetes algales, que otorgan cobertura y estructura reproductiva al pez cíclido joya.
3. Sustituir el uso de nazas para la captura del pez joya por el uso de artes de pesca más eficaces tales como chinchorros y/o redes experimentales de arrastre.
4. Rescatar, producir y sembrar al depredador *M. salmoides* para que depreda el cíclido joya. En el valle se observó que en aquellos sitios donde abundan cardúmenes grandes de *M. salmoides*, las poblaciones de cíclido joya parecen estar controladas. Es importante buscar capturar un stock inicial lo suficientemente grande de *M. salmoides* dentro del sistema Churince, que represente toda la diversidad genética de dicha especie en el sistema, para iniciar su producción en cautiverio; y de no ser posible, debido a que dicha población ya fue mermada severamente por la competencia con la especie invasora a números inviables; capturar, producir y sembrar un stock proveniente de poblaciones en la zona suroeste del valle, las cuales no se encuentran contaminadas con genética externa proveniente del río Bravo.
5. Iniciar programa de reintroducción de *Cyprinodon bifasciatus* con ejemplares de la Becerra que corresponden al stock genéticamente más similar al extirpado, y hacer lo propio con el resto de las especies, a partir del stock colectado en el sitio, o en caso de que se confirme la extinción, con las poblaciones genéticamente más cercanas a las originales cuando se tenga dicho conocimiento.

6. Comenzar a considerar la instrumentación de técnicas agresivas de restauración, tales como el uso controlado y sectorial de rotenona en el sistema; para lo cual se debe de desarrollar un plan de acción protocolizado; no sin antes haber intentado todas las recomendaciones anteriores.
7. Completar los estudios necesarios para el desarrollo experimental de machos YY de cíclidos joya por la UANL.

Sistema Becerra – Garabatal – Río Mezquites

El sistema que conforma al río Mezquites corresponde quizás al más complejo dentro del Valle de Cuatro Ciénegas. Sus fuentes indirectas incluyen al sistema Becerra su río Garabatal; así como directamente las pozas Juan Santos, Tierra Blanca y Mojarral Oeste (ídem Poza Azul), entre otras.

Sistema Becerra – Garabatal



Fig. 42 Vista aérea de la poza de la Becerra y nacimiento del río Garabatal

El río Garabatal nace en la Poza La Becerra, y fluye de forma natural con dirección oeste a través de un complejo de ríos y arroyuelos (hoy secos), así como lagunas que conformaban uno de los humedales más importantes del valle de Cuatro Ciénegas. Sin embargo, su flujo fue desviado y canalizado por primera vez en 1964 hacia los canales La Becerra y la Angostura.



Fig. 43 Lecho seco del río Garabatal.



Fig. 44 Vista superficial de la poza de la Becerra.

La poza de la Becerra se encuentra muy disminuida en relación a su tamaño original. Su sistema de estromatolitos se encuentra muy dañado, aunque se observan señales de aparente recuperación. La visibilidad dentro de la poza es elevada. Los bancos del sistema están conformados casi en su totalidad por formaciones travertinos, que en algunas secciones se encuentran socavados y cubiertos por juncos y raíces que sirven como refugio para las especies de peces que conforman el sistema. El fondo, mayormente desnudo, está conformado por rocas y placas calizas, así como sedimentos calcáreos que en secciones son profundos (> 1 m) y estromatolitos vivos; aunque se observan también algunos manchones aislados de *Typha* sp. y nenúfares a mediación de la poza; así como también algunas ramas secas y raíces, principalmente en las orillas. En algunos puntos los afloramientos de agua son conspicuos. La ictiofauna dominante está conformada por *C. bifasciatus* y *H. minckleyi*; aunque se observaron cardúmenes pequeños de *Astyanax mexicanus* y *Gambusia marshi* nadando superficialmente en las orillas. Se detectaron varias hembras de *Herichthys minckleyi* anidando o cuidando sus alevines debajo de formaciones rocosas y estromatolitos. No se localizaron ejemplares de *Cyprinella xanthicara*.

Cálculo puntual del IBVI (Poza Becerra)

El cálculo se limitó exclusivamente a la poza Becerra. Se consideraron las siguientes métricas: Riqueza (Nativos); Comportamiento reproductivo de *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *C. bifasciatus*; Especies exóticas; % de especies endémicas; % de especies sensibles; % de especies tolerantes; % de especies medianamente sensibles; Presencia de ejemplares enfermos; Abundancia de especies exóticas; posibilidad de puntos extra por presencia de *I. lupus*(**Tabla 8 y Tabla 9**).

Especie	Línea base histórica	Observadas
<i>Herichthys minckleyi</i>	X	X
<i>Gambusia marshi</i>	X	X
<i>Cyprinodon bifasciatus</i>	X	X
<i>Astyanaxmexicanus</i>	X	X
<i>Cyprinella xanthicara</i>	X	0
<i>Ictalurus lupus</i>	X	0
Especies restringidas a hábitats circundantes		
<i>Gambusia longispinis*</i>	X	0 (no se buscó)
<i>Lucania interioris*</i>	X	0 (no se buscó)
<i>Dionda episcopa**</i>	X	0 (no se buscó)
<i>Etheostoma lugoi**</i>	X	0 (no se buscó)
<i>Micropterus samloides**</i>	X	0 (no se buscó)

Tabla 8. Cambios observados en la diversidad de especies de peces del sistema Becerra. Se incluyen especies asociadas con las ciénegas* alrededor del río Garabatal y Juan Santos (Carson, observación personal). ** Históricamente presentes pero probablemente extirpadas.

Métrica	Calificación	Valor	Cálculo
Riqueza (Nativos)	4/6	66%	3
Comportamiento reproductivo de <i>Herichthys minckleyi</i>	Sí	X	5
Reclutamiento en <i>Herichthys minckleyi</i>	Sí	X	5
Reclutamiento en <i>C. bifasciatus</i>	Sí	X	5
Especies exóticas	No	X	0
% de especies endémicas	2/4	50%	3
% de especies sensibles	½	50%	3
% de especies tolerantes	1/1	100%	5
% de especies medianamente sensibles	2/3	67%	5
Presencia de ejemplares enfermos	No	X	0
Abundancia de especies exóticas	0	X	0
TOTAL SIN AJUSTAR	34		
TOTAL AJUSTADO	Valor obtenido X 40)/40		34
Puntos extra por presencia de <i>I. lupus</i>	No	X	0
PUNTUACIÓN SIN AJUSTAR	34		
PUNTUACIÓN BASE 100	Puntuación sin ajustar + 55		89

Tabla 9. Cálculo de IBVI para el sistema Becerra/río Garabatal.

Estado de conservación

El sistema, estrictamente en lo referente a la poza, se encuentra medianamente impactado, probablemente debido a los cambios severos en su hidrología, incluyendo la desecación del río Garabatal; y al uso desmedido de la poza como balneario público en años anteriores.

Recomendaciones de manejo

1. Asegurar jurídicamente los volúmenes de agua necesarios para garantizar a la poza y su río asociado un volumen ambiental o caudal ecológico que sea legalmente oponible ante terceros.
2. Continuar con el monitoreo del sistema en base al IBVI con el fin de poder detectar a tiempo cualquier amenaza contra el estado de salud del ecosistema.
3. Restaurar secciones del río Garabatal, habilitando zonas específicas (de refugio) para la reintroducción posterior de la especie *Etheostoma lugoi*; la cual deberá provenir de ejemplares producidos en cautiverio a través del programa de manejo *ex situ* de las especies prioritarias.
4. Continuar con la búsqueda activa de la especie *Cyprinella xanthicara* para confirmar su presencia/ ausencia en el sistema.

Río Mezquites

El río Mezquites nace en el predio conocido como Tierra Blanca, a partir de una corriente turbulenta que brota directamente del suelo. Más adelante el río recibe agua de diversos afluentes provenientes del oeste, así como flujos provenientes de otras fuentes como las pozas Juan Santos y Mojarral Oeste. En su nacimiento en Tierra Blanca, el cauce del río Mezquites tiene entre 2 y 8 metros de ancho; y cerca de 2 m de profundidad; siendo su corriente más bien lenta. En esta sección la temperatura del agua oscila entre 31° C en su nacimiento y puede ser inferior a los ~16°C durante el invierno en sus secciones aguas abajo.

A lo largo de su recorrido, las condiciones de flujo en el río parecen ser muy estables. El río Mezquites carece de rápidos. Sus aguas fluyen entre rampas, encajonamientos y pozas largas y profundas cuya corriente

alcanza 75 cm/s en las secciones más estrechas, y se torna prácticamente nula en las bahías. Los bancos del río Mezquites están conformados casi en su totalidad por travertinos, que en los sitios socavados miden hasta dos metros de profundidad; las orillas fácilmente se desploman hacia el interior. En las secciones con corriente fuerte prevalecen los fondos de marga, escombros y arena; mientras que en los remansos prevalecen los lodos profundos con vegetación en proceso de descomposición.

A lo largo del río, se observan grandes bloques de piedra caliza que obstruyen el flujo del agua e incrementan la diversidad de hábitat. En estas zonas son abundantes los nenúfares; mientras que la vegetación conformada por *Chara* sp., *Potamogeton* sp. y *Utricularia* sp. es relativamente escasa. En las partes más someras del río se forman camas de *Eleocharis* sp. y *Typha* sp.; así como también en los canales con corriente lenta. La vegetación circundante no corresponde a la riparia, sino más bien a vegetación desértica y semidesértica.

Algunas de las pozas que forman parte del río Mezquites en su recorrido son Mojarral Este, la poza de Tonta, Puente Colorada, los Corales, el canal Don Julio, Charcos Prietos y Puente Chiquito (Evans, 2005).

En su sección terminal el río drenaba naturalmente hacia Las Salinas y Las Playitas. Sin embargo, a partir de 1898 el río fue canalizado, y sus aguas son finalmente trasvasadas fuera del valle a través del canal Saca Salada hacia la cuenca adyacente del río Salado de los Nadadores.

Mojarral Oeste

No se visitó el sitio. No obstante, se cuenta con una línea base histórica que permitiría desarrollar un modelo de IBVI para monitorear el sistema (Tabla 10).

Especie	Línea base histórica
<i>Herichthys minckleyi</i>	X
<i>Gambusia marshi</i>	X
<i>Cyprinodon bifasciatus</i>	X
<i>Cyprinella xanthicara</i>	X

Tabla 10. Cuadro de especies históricas y observadas en Mojarral Oeste.

Charcos Prietos

No se visitó el sitio. No obstante, se cuenta con una línea base histórica que permitiría desarrollar un modelo de IBVI para monitorear el sistema. Además, de acuerdo a García de León et al., (2015) la población de lobinas (*Micropterus salmoides*) que se encuentra en este sitio es genéticamente pura (Tabla 11).

Especie	Línea base histórica
<i>Herichthys cyanoguttatus</i>	X
<i>Gambusia marshi</i>	X
<i>Gambusia longispinis</i>	X
<i>Cyprinodon aturus</i>	X
<i>Lucania interioris</i>	X
<i>Micropterus salmoides</i>	X
<i>Lepomis megalotis</i>	X
<i>Cyprinella xanthicara</i>	X
<i>Ictalurus lupus</i>	X

Tabla 11. Cuadro de especies históricas y observadas en Charcos Prietos.

Río Mezquites en las Palapas

Este sitio es de suma importancia para la conservación de la mojarra endémica *H. minckleyi*, pues es en esta localidad donde se detectó la mayor diversidad genética mitocondrial para la especie (Magalhaes et al., 2015; Ornelas-García et al., en prensa).



Fig. 45 Río Mezquites.

Cálculo puntual del IBVI

Se consideraron las siguientes métricas: Riqueza (Nativos); Comportamiento reproductivo de *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *C. bifasciatus*; Especies exóticas; % de especies endémicas; % de especies sensibles; % de especies tolerantes; % de especies medianamente sensibles; Presencia de ejemplares enfermos; Abundancia de especies exóticas; posibilidad de puntos extra por presencia de *Etheostoma lugoi* y/o *I. lupus* (Tabla 12 y Tabla 13).

Especie	Linea base histórica	Observadas
<i>Herichthys minckleyi</i>	X	X
<i>Gambusia marshi</i>	X	X
<i>Cyprinodon bifasciatus</i> X <i>C. atrorus</i>	X	X
<i>Astyanax mexicanus</i>	X	X
<i>Dionda episcopa</i>	X	X
<i>Cyprinella xanthicara</i>	X	0
<i>Lepomis megalotis</i>	X	X
<i>Micropterus salmoides</i>	X	X
<i>Ictalurus lupus</i> ***	X	0
<i>Etheostoma lugoi</i>	X	X
<i>Hemichromis guttatus</i>	0	X
Especies restringidas a hábitats circundantes		
<i>Gambusia longispinis</i> *	X	0 (no se buscó)
<i>Lucania interioris</i> *	X	0 (no se buscó)
<i>Cyprinodon atrorus</i> *	X	X
<i>Cyprinodon hybrids</i>	X	0 (no se buscó)
<i>Pyloodictis olivaris</i> **	X	0 (no se buscó)

Tabla 12. Cuadro de especies históricas y observadas en el sistema Mezquites en Las Palapas. *Especies asociadas con los habitats de ciénegas en las periferias del río Mezquites; **especies colectadas en el río Mezquites en 1958 y 1960 por Minckley; colectadas en el río Mezquites en 1958, 1960 y 1963 por Minckley.

Métrica	Calificación	Valor	Cálculo
Riqueza (Nativos)	8/10	80%	5
Comportamiento reproductivo de <i>Herichthys minckleyi</i>	Sí	X	5
Reclutamiento en <i>Herichthys minckleyi</i>	Sí	X	5
Reclutamiento en <i>C. bifasciatus</i>	Sí	X	5
Especies exóticas	Sí	X	-5
% de especies endémicas	6/8	75%	5
% de especies sensibles	2/3	67%	5
% de especies tolerantes	1/1	100%	5
% de especies medianamente sensibles	5/6	83%	5
Presencia de ejemplares enfermos	No	X	0
Abundancia de especies exóticas	Medianamente abundante	X	-3
TOTAL SIN AJUSTAR	32		
TOTAL AJUSTADO	Valor obtenido X 40)/40		32
Puntos extra por presencia de <i>E. lugoi</i> y/o <i>I. lupus</i> .	No se observaron	X	5
PUNTUACIÓN SIN AJUSTAR			37
PUNTUACIÓN BASE 100	Puntuación sin ajustar + 55		92

Tabla 13. Cálculo de IBVI para el sistema Mezquites en Las Palapas.

Estado de conservación

Con base en el análisis realizado, se resuelve que el sistema del río Mezquites se encuentra en muy buenas condiciones, desde una perspectiva de su composición íctica general. Se debe de prestar especial atención a la especie invasora *H. guttatus*, así como al estatus de especie *Etheostoma lugoi* en lo particular, así como a la permanencia de su microhábitat.

Recomendaciones de manejo

- Continuar con el monitoreo del sistema en base al IBVI con el fin de poder detectar alertas en cuanto al estado de salud del ecosistema.
- Continuar con la extracción y registro de cíclido joya y langostino (*P. clarkii*) con el uso de Nazas; especialmente en las zonas donde se detecte presencia de *E. lugoi*.
- Monitorear directamente la presencia de la especie *Etheostoma lugoi* como indicadora de salud del sistema.
- Iniciar a la brevedad con un programa de conservación *ex situ* de la especie endémica *Etheostoma lugoi*.
- Incorporar al esquema de monitoreo a otros grupos taxonómicos, tales como los invertebrados y microorganismos que permitan obtener una valoración más precisa de las condiciones de salud del ecosistema.

Juan Santos

No fue posible visitar el sitio. De acuerdo a García-Ramírez (2005), la vegetación en el sistema está representada por *Typha* sp., tule, zacate; banco arcillo-limoso; piso de cieno y áreas con estromatolitos dentro de la laguna; agua clara. Profundidad mayor a 3 m. las áreas circundantes son áridas y su vegetación es desértica. Se encontró la media de los siguientes parámetros físicos temperatura 27.2 °C, color 11 mg/l Pt, turbidez 3 FTU.

Sistema de la Angostura

El sistema está conformado por una serie de manantiales (pozas) y canales; así como también por una ciénega grande.

Poza la Angostura

El canal de la Angostura drena al río Garabatal. Este tiene en promedio 1.5 m de ancho y 0.5 m de profundo. Se estima que el gasto del sistema es de 0.1 a 0.5 m³/s. La vegetación acuática está compuesta por *Chara* sp., *Potamogeton* sp., *Najas guadalupensis* y *Zannichellia palustris* y nenúfares. En los bancos del canal se observan mezquites, sauces, fresnos y juncias.

Se cuenta con los siguientes parámetros para el sitio en el nacimiento de la poza: TDS 0.744; Dol 9.06; T°C 28.36; Conductividad 1217; OD 116.9; pH 7.02; Salinidad 0.56; corriente lenta; agua transparente; T° del aire 32°C. Los parámetros fueron tomados el 25 de mayo de 2013 (Tabla 14 y Tabla 15).

Especie	Línea base histórica
<i>Herichthys minckleyi</i>	X
<i>Gambusia marshi</i>	X
<i>Cyprinodon bifasciatus</i>	X
<i>Astyanax mexicanus</i>	X
<i>Ictalurus lupus</i>	X
<i>Cyprinella xanthicara</i> *	X
<i>Dionda espicopa</i> *	X
<i>Lepomis megalotis</i>	X
Especies restringidas a hábitats circundantes	
<i>Cyprinodon atlorus</i> *	X
<i>Cyprinodon atlorus</i> X <i>bifasciatus</i> *	X
<i>Lucania interioris</i> *	X
<i>Gambusia longispinis</i>	X

Tabla 14. Cuadro de especies históricas y observadas en la poza de la Angostura. *Especies colectadas en la Angostura y sus alrededores por Hubbs, Miller y Minckley en los años 60.

Ciénega de la Angostura

Especie	Línea base histórica
<i>Gambusia marshi</i>	X
<i>Gambusia longispinis</i>	X
<i>Lucania interioris</i>	X

Tabla 15. Cuadro de especies históricas y observadas en la ciénega de la Angostura

Recomendaciones de manejo

Implementar monitoreo del sistema en base al IBVI con el fin de poder detectar alertas en cuanto al estado de salud del ecosistema; incluyendo el monitoreo puntual y dirigido de las especies *Gambusia longispinis* y *Lucania interioris* en la zona de Ciénega (**Tabla 16**).

Playitas



Fig. 46 Sistema Playitas

Especie	Línea base histórica	Observadas
<i>Cyprinodon atlorus</i>	X	X
<i>Gambusia marshi</i>	X	X
<i>Cyprinus carpio</i>	X (reportes)	0
Especies restringidas a hábitats circundantes		
<i>Gambusia longispinis</i> *	X	0 (no se buscó)
<i>Lucania interioris</i>	X	0 (no se buscó)
<i>Dionda episcopa</i>	X	0 (no se buscó)
<i>Lepomis megalotis</i>	X	0 (no se buscó)

Tabla 16. Cuadro de especies históricas y observadas en Playitas. *Especie asociadas con los hábitats someros, fuertemente vegetados de ciénega en el complejo de Las Playitas.

Zona Norte

Anteojos

Los Anteojos se localizan en la parte más norteña de la cuenca, cerca del pueblo de Cuatro Ciénegas, en la falda sur de la Sierra La Madera. La Poza Anteojo es la fuente principal del sistema. La vegetación en los Anteojos se encuentra representada por *Typha* sp., tule y zacate. El banco es arcillo-limoso con piso de cieno. El agua es clara. Profundidad 0.90 cm. Se encontró la media de los siguientes parámetros físicos: temperatura 29.5°C, color 8 mg/l Pt, turbiedad 5 FTU (García-Ramírez, 2005).

Cálculo puntual del IBVI

Se consideraron las siguientes métricas: Riqueza (Nativos); Comportamiento reproductivo de *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *C. bifasciatus*; Especies exóticas; % de especies endémicas; % de especies sensibles; % de especies tolerantes; % de especies medianamente sensibles; Presencia de ejemplares enfermos; Abundancia de especies exóticas; posibilidad de puntos extra por presencia de *I. lupus* (**Tabla 17 y Tabla 18**).

Especie	Línea base histórica	Observadas
<i>Herichthys minckleyi</i>	X	X
<i>Gambusia marshi</i>	X	X
<i>Asyanaxmexicanus</i>	X	X
<i>Ictalurus lupus</i>	X	0

Tabla 17. Cambios observados en la diversidad de especies de peces del sistema los Antejos.

Métrica	Calificación	Valor	Cálculo
Riqueza (Nativos)	4/4	100%	5
Comportamiento reproductivo de <i>Herichthys minckleyi</i>	Sí	X	5
Reclutamiento en <i>Herichthys minckleyi</i>	Sí	X	5
Especies exóticas	No	X	0
% de especies endémicas	4/4	100%	5
% de especies tolerantes	1/1	100%	5
% de especies medianamente sensibles	3/3	100%	5
Presencia de ejemplares enfermos	No	100%	0
Abundancia de especies exóticas	No se detectó presencia	X	0
TOTAL SIN AJUSTAR			30
TOTAL AJUSTADO	Valor obtenido X 30)/30		30
Puntos extra por presencia de <i>I. lupus</i>	No	X	0
PUNTUACIÓN SIN AJUSTAR			30
PUNTUACIÓN BASE 100	Puntuación sin ajustar + 70		100

Tabla 18. Cálculo de IBVI para el sistema de los Antejos.

Recomendaciones de manejo

- Continuar con el monitoreo del sistema en base al IBVI con el fin de poder detectar cualquier cambio que amenace la salud del ecosistema.

Sistema Tío Cándido – Hundidos – Los Gatos

El Sistema Tío Cándido – Hundidos se origina en la sección Este de la Sierra de San Marcos, en las Pozas de Escobedo y Tío Cándido. A mediación del sistema se localiza la poza doble en los Hundidos; y termina de forma natural —es decir, sin considerar los sistemas de canales artificiales que juntan las aguas con el río Mezquites, para finalmente ser trasvasadas a la cuenca aledaña del río Salado de los Nadadores— en la ciénega que conforma Los Gatos.

Poza Escobedo (26° 53′ 29.14″ 102° 05′ 12.98″)



Fig. 47 Poza Escobedo.

El sistema Escobedo se encuentra a 723 msnm. Su forma es circular, tiene un diámetro de ~40 m. En términos de su composición íctica esta se encuentra muy bien representada, así como en excelentes condiciones de conservación. Se trata de una poza relativamente pequeña, un mini cosmos representativo de los sistemas de pozas de Cuatro Ciénegas que contiene un perfecto balance de los elementos bióticos esenciales que conforman este tipo de ecosistemas; siendo los elementos faunísticos más notorios su población de mojarras de Minckley (*Herichthys minckleyi*) en todas sus formas y colores (36% del morfo alongado; y >46% perteneciente al morfo papiliforme); no obstante que, en cuanto a variación genética intraespecífica, en este sitio se reporta la menor diversidad genética mitocondrial (Magalhaes et al., 2015; Ornelas-García, et al., en prensa)]; así como cardúmenes enormes del pez *Cyprinodon bifasciatus*, incluyendo algunos ejemplares con patrones de coloración atípicos para la especie, que se desplazan por todo el cuerpo de agua.



Fig. 48 Cardumen de cachorritos de Cuatro Ciénegas en la poza Escobedo.

La visibilidad dentro de la poza es muy elevada. La temperatura del agua transparente y azulada oscila entre los ~29°C y los ~33° C. Los bancos del sistema están conformados casi en su totalidad por formaciones de estromatolitos, así como travertinos socavados que forman un sistema de grietas y cavernas que sirven como refugio para las diversas especies que conforman el sistema. La sección Sur consiste en una plataforma o playa de varios metros de ancho, cuya pendiente se acentúa abruptamente hacia el interior del sistema, hacia una serie de potentes manantiales muy conspicuos que manan de una falla visible en la sección más profunda (>15 m) del sistema. El fondo se encuentra prácticamente desnudo, aunque también se observan algunos manchones aislados de juncos y raíces cerca de la orilla; está compuesto principalmente por sedimentos calcáreos, fragmentos de toba caliza y estromatolitos. En la sección noroeste se ubican una serie de manantiales sumergidos que aportan al sistema agua algo más fría, y cuya corriente ha formado una serie de socavones en las orillas, de los que entraban y salían un cardumen de 4 o más ejemplares de *Ictalurus lupus*. En esta zona anidan varias hembras de *Herichthys minckleyi* debajo de formaciones rocosas y estromatolitos; ahí también se observaron cardúmenes de tamaño considerable de *Astyanax mexicanus*. En los bancos de esta zona se observan juncos, raíces y vegetación abundante que proporciona refugio a juveniles de las diversas especies, así como también a *Gambusia marshi* que aprovecha las aguas superficiales para buscar alimento.

No obstante lo anterior, es importante considerar que en estudios previos, la poza Escobedo mostraba tendencias a disminuir su vaso de inundación (i.e. período 2006-2009), así como a disminuir su de nivel de agua en temporadas de sequía [p. ej. durante el periodo octubre del 2008 a febrero del 2009; período en el que únicamente cinco pozas en el valle -El Anteojo, Poza Escobedo,Poza Azul enel rancho Pronatura, La Tecla y Pozo Bonito- presentaron tendencia a disminuir su nivel (Pérez-Flores, 2009)]. Resulta preocupante que de todo el Valle, solo la Poza Escobedo y La Tecla han presentado una disminución en el nivel de agua muy superior a, y que no corresponde a los niveles de evaporación; por lo que resulta sumamente importante monitorear constantemente estos parámetros como parte de un esquema integral de monitoreo.

Cálculo puntual del IBVI

Se consideraron las siguientes métricas: Riqueza (Nativos); Comportamiento reproductivo de *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *C. bifasciatus*; Especies exóticas; % de especies endémicas; % de especies sensibles; % de especies tolerantes; % de especies medianamente sensibles; Presencia de ejemplares enfermos; Abundancia de especies exóticas; posibilidad de puntos extra por presencia de *I. lupus*(**Tabla 19 y Tabla 20**).

Especie	Línea base histórica	Observadas
<i>Herichthys minckleyi</i>	X	X
<i>Gambusia marshi</i>	X	X
<i>Cyprinodon bifasciatus</i>	X	X
<i>Astyanaxmexicanus</i>	X	X
<i>Ictalurus lupus</i>	X	X
Especies restringidas a hábitats circundantes		
<i>Gambusia longispinis</i> *	X	0 (no se buscó)

Tabla 19. Cuadro de especies históricas y observadas en la poza Escobedo. *collected in marshes and peripheral habitats associated with Escobeda and Escodedita (see site details for Escobedita in paper on Xanthic pupfish [Carson 2011]

Métrica	Calificación	Valor	Cálculo
Riqueza (Nativos)	5/5	100%	5
Comportamiento reproductivo de <i>Herichthys minckleyi</i>	Sí	X	5
Reclutamiento en <i>Herichthys minckleyi</i>	Sí	X	5
Reclutamiento en <i>C. bifasciatus</i>	Sí	X	5
Especies exóticas	No	X	0
% de especies endémicas	4/4	100%	5
% de especies sensibles	1/1	100%	5
% de especies tolerantes	1/1	100%	5
% de especies medianamente sensibles	3/3	100%	5
Presencia de ejemplares enfermos	No	100%	0
Abundancia de especies exóticas	No se detectó presencia	X	0
TOTAL SIN AJUSTAR			40
TOTAL AJUSTADO	Valor obtenido X 40)/40		40
Puntos extra por presencia de <i>I. lupus</i>	Sí	X	5
PUNTUACIÓN SIN AJUSTAR			45
PUNTUACIÓN BASE 100	Puntuación sin ajustar + 55		100

Tabla 20. Cálculo de IBVI para la poza Escobedo

Recomendaciones de manejo

1. Continuar con el monitoreo del sistema en base al IBVI con el fin de poder detectar a tiempo posibles amenazas contra el estado de salud del ecosistema.
2. Fortalecer los protocolos de monitoreo de variables hidrológicas que complementen el monitoreo con base al IBVI.
3. Buscar excluir el sistema de cualquier actividad o manejo que no esté directamente vinculado con la conservación del mismo.

Poza Orozco

Se trata de un sistema artificial que tiene una extensión de 27 m de ancho por 26 m de largo y una profundidad 0.50 m. El área circundante es árida. Entre la vegetación representativa se encuentra, hiedra, *Phragmites* y zacate. Un rasgo particular de esta poza es la aportación de materia orgánica al agua por parte de los árboles de Casuarina y los sabinos presentes. Su banco es arcillo-limoso, el fondo fangoso y el agua no es muy clara (García-Ramírez, 2005). En cuanto a la fauna íctica, está conformada por las especies *Astyanax mexicanus* y *Gambusia marshi*(**Tabla 21**).

Especie	Línea base histórica
<i>Astyanax mexicanus</i>	X
<i>Gambusia marshi</i>	X

Tabla 21. Cuadro de especies históricas y observadas en Poza Orozco

Recomendaciones de manejo

En términos ictiológicos, se trata de un sistema de importancia relativamente menor debido a la presencia de especies «*menos prioritarias*» en términos de conservación, por lo que se podría adecuar y aprovechar el sistema para establecer y cultivar lobinas (*Micropterus salmoides*) provenientes del sistema Tío Cándido, el cual se ubica dentro de la misma subcuenca hidrológica.

Tío Cándido



Fig. 49 Poza Tío Cándido.

El sistema Tío Cándido se encuentra a 720 msnm. Mide ~120 m longitudinalmente de Norte a Sur; y ~30 m en sus secciones más anchas, con profundidades que se estiman, no superan los 5 metros. La temperatura del agua oscila entre los 26.5°- 30° C. La visibilidad es buena. En términos de su composición íctica esta se encuentra en excelentes condiciones de conservación; presentando un gradiente muy variado de hábitat y microhábitat subacuáticos que van desde verdaderos jardines someros dominados por juncos y ciperáceas; hasta bosques subacuáticos profundos dominados por nenúfares; incluyendo algunas verdaderas praderas subacuáticas conformadas por tapetes algales; y zonas desnudas con afloramientos subacuáticos, en las que se observaron ocasionalmente ejemplares de la especie *Ictalurus lupus*, así como ejemplares de lobina, de tallas que superaban los 50 cm de LT.



Fig. 50 Vista de nenúfares nativos en la poza Tío Cándido.

La ictiofauna de Tío Cándido se encuentra principalmente representada por las mojarras de Minckley, *Cyprinodon bifasciatus*, *Astyanax mexicanus* y *Gambusia marshi*; y aunque se reporta la presencia de *Cyprinella xanthicara* para el sitio, en esta ocasión, durante los muestreos, no se detectó, por lo que sería importante dirigir algunos esfuerzos a la búsqueda de esta especie durante los próximos ejercicios de monitoreo, como parte integral del programa de manejo para dicha especie en lo particular.

Cálculo puntual del IBVI

Se consideraron las siguientes métricas: Riqueza (Nativos); Comportamiento reproductivo de *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *C. bifasciatus*; Especies exóticas; % de especies endémicas; % de especies sensibles; % de especies tolerantes; % de especies medianamente sensibles; Presencia de ejemplares enfermos; Abundancia de especies exóticas; posibilidad de puntos extra por presencia de *I. lupus* (Tabla 22 y Tabla 23).

Especie	Linea base histórica	Observadas
<i>Herichthys minckleyi</i>	X	X
<i>Gambusia marshi</i>	X	X
<i>Cyprinodon bifasciatus</i>	X	X
<i>Astyanaxmexicanus</i>	X	X
<i>Micropterus salmoides</i>	X	X
<i>Cyprinella xanthicara</i>	X	0
<i>Ictalurus lupus</i>	X	X
<i>Dionda episcopa</i> **	X	0
<i>Lepomis megalotis</i> **	X	0
Especies restringidas a hábitats circundantes		
<i>Gambusia longispinis</i> *	X	0 (no se buscó)
<i>Lucania interioris</i> *	X	0 (no se buscó)

Tabla 22. Cuadro de especies históricas y observadas en el sistema Tío Cándido. *Especies colectadas en la salida aguas abajo de Tío Cándido (Carson, observación personal); **especie colectada por Minckley en 1958

Métrica	Calificación	Valor	Cálculo
Riqueza (Nativos)	6/9	67%	5
Comportamiento reproductivo de <i>Herichthys minckleyi</i>	Sí	X	5
Reclutamiento en <i>Herichthys minckleyi</i>	Sí	X	5
Reclutamiento en <i>C. bifasciatus</i>	Sí	X	5
Especies exóticas	No	X	0
% de especies endémicas	5/6	83%	5
% de especies sensibles	½	50%	3
% de especies tolerantes	1/1	100%	5
% de especies medianamente sensibles	4/6	67%	5
Presencia de ejemplares enfermos	No	X	0
Abundancia de especies exóticas	No se detectó presencia	X	0
TOTAL SIN AJUSTAR			38
TOTAL AJUSTADO	Valor obtenido X 40)/40		38
Puntos extra por presencia de <i>I. lupus</i>	Sí	X	5
PUNTUACIÓN SIN AJUSTAR			43
PUNTUACIÓN BASE 100	Puntuación sin ajustar + 55		98

Tabla 23. Cálculo de IBVI para el sistema Tío Cándido.

Recomendaciones de manejo

- 1. Continuar con el monitoreo del sistema en base al IBVI con el fin de poder detectar a tiempo posibles amenazas contra el estado de salud del ecosistema.
- 2. Fortalecer los protocolos de monitoreo de variables hidrológicas que complementen el monitoreo con base al IBVI. Lo anterior debido a que análisis desarrollados en el (2009) por Pérez-Flores demostraron una tendencia a la disminución de nivel de este sistema.
- 3. Asegurar jurídicamente un volumen o caudal ecológico para el sistema que sea oponible ante terceros.
- 4. Buscar excluir el sistema de cualquier actividad o manejo que no esté directamente vinculado con la conservación del mismo.

Poza doble en los Hundidos (26° 52' 13.35" N, 102° 01' 12.57" W)



Fig. 51 Poza Doble en los Hundidos

El sistema de Pozas los Hundidos se encuentra a 712 msnm. Este mide ~135 m longitudinalmente en dirección Norte Sur; y ~35 m en sus secciones más anchas, con profundidades que se estiman, no superan los 10 metros. La visibilidad subacuática es buena. En términos de su composición íctica esta se encuentra en excelentes condiciones de conservación y está representada por grandes cardúmenes de *Dionda episcopa*; *Astyanax mexicanus*; *Herichthys cyanoguttatus* y *Lepomis megalotis*, entre otras especies nativas del valle; mostrando un gradiente importante de hábitat acuáticos dominados por praderas subacuáticas de plantas y algas verdes tales como *Najas* sp. *Utricularia obtusa*, *Chara* sp., así como tapetes de bacterias y algas de colores más bien pardos y rojizos.

Cálculo puntual del IBVI

Debido a la ausencia en forma natural de las especies *H. minckleyi* y *C. bifasciatus* se realizaron ajustes al protocolo del IBVI; cuyos valores obtenidos nuevamente se ajustaron, utilizando la fórmula: **Va=Vo X Vibvi)/ Pp**; donde Va= valor ajustado; Vo=Puntaje obtenido sin ajustar, Vibvi=puntaje máximo obtenible antes de sumar puntos extra, utilizando el protocolo de IBVI para sitios con presencia natural de *H. minckleyi* y *C. bifasciatus*; y Pp = Puntaje máximo posible antes de sumar puntos extras para el sitio en particular. Para el sitio se consideraron las siguientes métricas: Riqueza (Nativos); Especies exóticas; % de especies endémicas; % de especies sensibles; % de especies tolerantes; % de especies medianamente sensibles; Presencia de ejemplares enfermos; Abundancia de especies exóticas; posibilidad de puntos extra por presencia de *I. lupus* (Tabla 24 y Tabla 25)

Especie	Línea base histórica	Observadas
<i>Herichthys cyanoguttatus</i>	X	X
<i>Gambusia marshi</i>	X	X
<i>Astyanax mexicanus</i>	X	X
<i>Dionda episcopa</i>	X	X
<i>Lepomis megalotis</i>	X	X
<i>Ictalurus lupus</i>	0	0
<i>Cyprinodon bifasciatus</i> **	X	0 (no se buscó)
<i>Micropterus salmoides</i> **	X	0 (no se buscó)
<i>Cyprinella xanthicara</i> **	X	0 (no se buscó)
Especies restringidas a hábitats circundantes		
<i>Lucania interioris</i> *	X	0 (no se buscó)
<i>Gambusia longispinis</i> *	X	0 (no se buscó)

Tabla 24. Cuadro de especies históricas y observadas en el sistema los Hundidos. *Colectadas por Carson en el sitio Juan Diego, aguas arriba de Los Arcos; **colectas por Minckley en 1960.

Métrica	Calificación	Valor	Cálculo
Riqueza (Nativos)	5/5	100%	5
Especies exóticas	No	X	0
% de especies endémicas	2/2	100%	5
% de especies sensibles	0/0	X	0
% de especies tolerantes	1/1	100%	5
% de especies medianamente sensibles	3/3	100%	5
Presencia de ejemplares enfermos	No	X	0
Abundancia de especies exóticas	No se detectaron	X	0
TOTAL SIN AJUSTAR			20
TOTAL AJUSTADO	Valor obtenido X 40)/20		40
Puntos extra por presencia de <i>I. lupus</i>	No	X	0
PUNTUACIÓN SIN AJUSTAR			40
PUNTUACIÓN BASE 100	Puntuación sin ajustar + 55		95

Tabla 25. Cálculo de IBVI para el sistema los Hundidos.

Recomendaciones de manejo

- 1. Continuar con el monitoreo del sistema en base al IBVI con el fin de poder detectar alertas en cuanto al estado de salud del ecosistema.
- 2. Extender el monitoreo a los aspectos hidrológicos del sistema.

Los Gatos (26° 53' 24" 101° 59' 47.7")

Se trata de un sistema de humedal palustre con vegetación emergente representada por tulares, conformado por ciénegas, pantanos y espacios acuáticos abiertos, asociado a pastizales y vegetación halófila circundante. La visibilidad subacuática es limitada (~1 metro máximo) debido a que sus aguas presentan una tonalidad amarillenta-rojiza que limita el paso de la luz. El sistema se ubica a 697 msnm. El sustrato está conformado principalmente por sedimentos calcáreos y detríticos mayormente desnudos, con poca vegetación conformada por algunas plantas acuáticas vasculares, líquenes y algas; así como raíces y

estromatolitos en las orillas, las cuales se encuentran socavadas, formando cavernas que brindan refugio a las especies de peces y macroinvertebrados que habitan el sistema. No obstante la baja visibilidad en el sistema, fue posible documentar en video la presencia de algunas de las especies que conforman la ictiofauna del sitio, incluyendo grandes cardúmenes de la especie *Micropterus salmoides*, algunos ejemplares de *Lepomis megalotis* y *Herichthys cyanoguttatus*. Además, de las especies de peces que se localizan en este sistema, dos son de suma importancia, *Lucania interioris* y *Cyprinodon atlorus*. La primera debido a su rareza; mientras que la segunda representa en este sitio a la población que presenta la mayor variación genética en su especie (Ver sección notas en *Cyprinodon atlorus*).

Cálculo puntual del IBVI

Debido a la ausencia en forma natural de las especies *H. minckleyi* y *C. bifasciatus* se realizaron ajustes al protocolo del IBVI; cuyos valores obtenidos nuevamente se ajustaron, utilizando la fórmula: **Va=Vo X Vibvi)/ Pp**; donde Va= valor ajustado; Vo=Puntaje obtenido sin ajustar, Vibvi=puntaje máximo obtenible antes de sumar puntos extra, utilizando el protocolo de IBVI para sitios con presencia natural de *H. minckleyi* y *C. bifasciatus*; y Pp = Puntaje máximo posible antes de sumar puntos extras para el sitio en particular. Para el sitio se consideraron las siguientes métricas: Riqueza (Nativos); Especies exóticas; % de especies endémicas; % de especies sensibles; % de especies tolerantes; % de especies medianamente sensibles; Presencia de ejemplares enfermos; Abundancia de especies exóticas; posibilidad de puntos extra por presencia de *Lucania interioris* (Tabla 26 y Tabla 27)

Especie	Línea base histórica	Observadas
<i>Herichthys cyanoguttatus</i>	X	X
<i>Gambusia marshi</i>	X	X
<i>Gambusia longispinis*</i>	X	0 (no se buscó)
<i>Cyprinodon atlorus</i>	X	X (no se documentó en video)
<i>Lucania interioris</i>	X	0 (no se buscó)
<i>Dionda episcopa</i>	X	0
<i>Micropterus salmoides</i>	X	X
<i>Lepomis megalotis</i>	X	X

Tabla 26. Cuadro de especies históricas y observadas en el sistema Los Gatos. *Presente en el sistema (Carson, observación personal)

Métrica	Calificación	Valor	Cálculo
Riqueza (Nativos)	6/7	86%	5
Especies exóticas	No	X	0
% de especies endémicas	4/5	80%	5
% de especies sensibles	0/1	0	0
% de especies tolerantes	3/3	100%	5
% de especies medianamente sensibles	2/3	66%	3
Presencia de ejemplares enfermos	No	X	0
Abundancia de especies exóticas	No	X	0
TOTAL SIN AJUSTAR			18
TOTAL AJUSTADO	Valor obtenido X 40)/25		29
Puntos extra por presencia de <i>Lucania interioris</i>	No	X	0
PUNTUACIÓN SIN AJUSTAR			29
PUNTUACIÓN BASE 100	Puntuación sin ajustar + 55		84

Tabla 27. Cálculo de IBVI para el sistema Los Gatos.

Recomendaciones de manejo

- 1. Continuar con el monitoreo del sistema en base al IBVI con el fin de poder detectar alertas en cuanto al estado de salud del ecosistema; incluyendo el monitoreo puntual de las especies endémica *Lucania interioris*.

Sistema Santa Tecla

El Sistema Santa Tecla se localiza en la parte sureste de la Cuenca. Sus fuentes ocurren en la falda sureste de la Sierra San Marcos. Las principales pozas que conforman este sistema son Antiguos Mineros, Sistema de Pozas Azules, Poza Quintero, poza Los Fresnos y la poza Santa Tecla.

Complejo de Pozas Azules (Poza Azul y Poza Azul II y Poza Verde) 26° 49’ 43.9’’N, 102° 01’ 27.6’’ W



Fig. 52 Vista aérea del sistema de pozas en la reserva ecológica de Pozas Azules.

El Complejo de Pozas Azules se encuentra a 712 msnm. Está conformado por una serie de pozas, algunas de ellas se encuentran superficialmente o subterráneamente interconectas, mientras que otras parecen encontrarse hidrológicamente aisladas. Las características fisicoquímicas y morfológicas de los diversos sistemas que conforman el complejo son sumamente variados; habiendo pozas de aguas tibias; pozas con agua relativamente más fresca; sistemas con diferentes tonalidades de azul y sistemas con aguas turbias color pardo.

Para el cálculo del IBVI se consideraron solo tres de las pozas principales que contienen aguas azulosas o verde azulosas; dado que la composición ictiológica también varía (p. ej. en cuanto a la presencia o ausencia de *Herichthys minckleyi* que requiere condiciones de temperatura muy constantes y de *H. cyanoguttatus* que prefiere condiciones más templadas; la presencia o ausencia de estromatolitos; etc.); entre otras características que invitan a analizar separadamente los ecosistemas (ciénegas, pozas frías y



Fig. 53 Poza Verde en la reserva ecológica Pozas Azules

pozas calientes, por mencionar algunos) que conforman el complejo de Pozas Azules dentro de la reserva ecológica propiedad de Pronatura Noreste, A.C.

La visibilidad dentro de la poza es pobre, pues a pesar de la aparente tonalidad azul del agua; la turbidez de la misma es relativamente elevada (salvo en la poza verde), dándole al agua, desde una perspectiva subacuática, un aspecto lechoso que dificulta localizar e identificar a las especies a distancias mayores de un metro.

Cálculo puntual del IBVI

Se consideraron las siguientes métricas: Riqueza (Nativos); Comportamiento reproductivo de *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *Herichthys minckleyi*; Reclutamiento en *C. bifasciatus*; Especies exóticas; % de especies endémicas; % de especies sensibles; % de especies tolerantes; % de especies medianamente sensibles; Presencia de ejemplares enfermos; Abundancia de especies exóticas; posibilidad de puntos extra por presencia de *I. lupus* (Tabla 28 y Tabla 29).

Especie	Línea base histórica	Observadas
<i>Gambusia marshi</i>	X	X
<i>Astyanaxmexicanus</i>	X	X
<i>Herichthys minckleyi</i>	X	X
<i>Lepomis megalotis</i>	X	X
<i>Micropterus salmoides</i>	X	X
<i>Ictalurus lupus</i>	X	X
Especies restringidas a hábitats circundantes		
<i>Cyprinodon atrorus*</i>	X	0 (no se buscó)
<i>Gambusia longispinis*</i>	X	0 (no se buscó)
<i>Lucania interioris*</i>	X	0 (no se buscó)

Tabla 28. Cuadro de especies históricas y observadas en el Complejo de Pozas Azules. *Estas especies no se conocen de las Pozas Azules, pero se encuentran en las ciénegas de alrededor.

Métrica	Calificación	Valor	Cálculo
Riqueza (Nativos)	6/6	100%	5
Comportamiento reproductivo de <i>Herichthys minckleyi</i>	Sí	X	5
Reclutamiento en <i>Herichthys minckleyi</i>	Sí	X	5
Especies exóticas	No	X	0
% de especies endémicas	4/4	100%	5
% de especies sensibles	0/0	0%	0
% de especies tolerantes	1/1	100%	5
% de especies medianamente sensibles	5/5	100%	5
Presencia de ejemplares enfermos	No	X	0
Abundancia de especies exóticas	No se detectaron	X	0
TOTAL SIN AJUSTAR			30
TOTAL AJUSTADO	Valor obtenido X 40)/30		40
Puntos extra por presencia de <i>I. lupus</i>	Sí	X	5
PUNTUACIÓN SIN AJUSTAR			45
PUNTUACIÓN BASE 100	Puntuación sin ajustar + 55		100

Tabla 29. Cálculo de IBVI para el Complejo de Pozas Azules.



Fig. 54 Vista superficial de la Poza Azul.

En relación a las pozas calientes, en términos de su composición íctica estas se encuentran en excelentes condiciones de conservación, manteniendo un balance adecuado de los elementos bióticos esenciales que conforman dichos ecosistemas; siendo relevante destacar que la abundancia absoluta y relativa de las especies que las conforman es menor en comparación a otros sistemas dentro del valle como la poza de la Becerra o la poza Escobedo; siendo los elementos faunísticos y ecológicos más notorios la presencia de estromatolitos vivos en perfecto estado de salud; y la población (relativamente escasa) de mojarra de Minckley (*Herichthys minckleyi*) cuyas formas alargadas se encuentran ausentes; así como la ausencia, aparentemente natural, del pez *Cyprinodon bifasciatus*.

Recomendaciones de manejo

- 1. Continuar con el monitoreo del sistema en base al IBVI con el fin de poder detectar alertas en cuanto al estado de salud del ecosistema.
- 2. Habilitar la poza Quintero como refugio para la especie *Xiphophorus gordonii*.

Nota: En términos ictiológicos, actualmente la Poza Quintero corresponde a un sistema de importancia relativamente menor debido a la presencia de especies «menormente prioritarias» para la conservación (i.e. *Gambusia marshi*, *Astyanax mexicanus* y *Herichthys cyanoguttatus*), por lo que se podría adecuar y aprovechar el sistema para establecer una población perteneciente a una de las especies más amenazadas de todo el valle, la cual además es microendémica del sistema Santa Tecla, *Xiphophorus gordonii*, buscándose optimizar, como objetivo prioritario, la variabilidad genética.

Santa Tecla (Poza Tía Tecla; La Tecla) 704 26° 47' 16.78" 102° 00' 08.26"

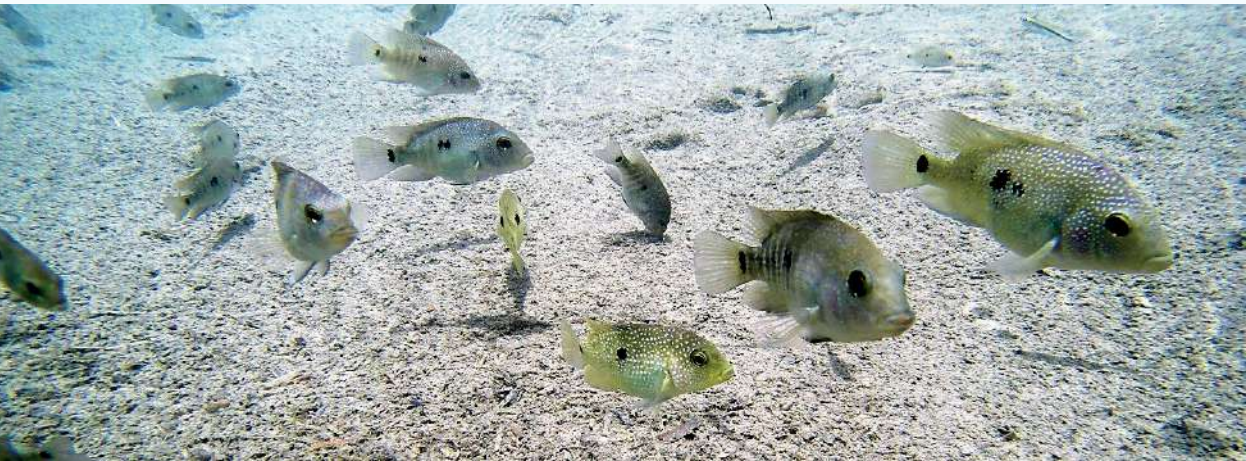


Fig. 55 Cardumen de *Herichthys cyanoguttatus* en el manantial de Santa Tecla.

La Poza Grande (Santa Tecla) cuenta con una extensión de ~40 m de largo por ~90 m de ancho, y una profundidad de 3 a 6 m. La vegetación está conformada por *Phragmites* sp., zacate, Tule, *Typha* sp. y nenúfares. El banco es arcillo-limoso, el fondo con cieno; y en un área de la poza se observa un piso formado por conchas de caracol.

La visibilidad subacuática del sistema es prácticamente nula, por lo que se recomienda complementar el monitoreo utilizando otros métodos tales como arrastre de chinchorro y el uso de atarraya para detectar presencia/ausencia de tilapia, con el propósito de poder obtener un cálculo más preciso del IBVI. Es por ello que el IBVI que aquí presentamos se basa principalmente en lo observado en secciones de alta visibilidad del sistema; en concreto, en el nacimiento del mismo, así como en la utilización de una red de cuchara en algunas de las acequias adyacentes al sistema.

Cálculo puntual del IBVI

Debido a la ausencia en forma natural de las especies *H. minckleyi* y *C. bifasciatus* se realizaron ajustes al protocolo del IBVI; cuyos valores obtenidos nuevamente se ajustaron, utilizando la fórmula: **Va=Vo X Vibvi)/ Pp**; donde Va= valor ajustado; Vo=Puntaje obtenido sin ajustar, Vibvi=puntaje máximo obtenible antes de sumar puntos extra, utilizando el protocolo de IBVI para sitios con presencia natural de *H. minckleyi* y *C. bifasciatus*; y Pp=Puntaje máximo posible antes de sumar puntos extras para el sitio en particular. Para el sitio se consideraron las siguientes métricas: Riqueza (Nativos); Especies exóticas; % de especies endémicas; % de especies sensibles; % de especies tolerantes; % de especies medianamente sensibles; Presencia de ejemplares enfermos; Abundancia de especies exóticas; posibilidad de puntos extra por presencia de *Xiphophorus gordonii* (Tabla 30 y Tabla 31).

Especie	Línea base histórica	Observadas
<i>Herichthys cyanoguttatus</i>	X	X
<i>Gambusia marshi</i>	X	X
<i>Astyanaxmexicanus</i>	X	X
<i>Cyprinella xanthicara</i>	X	X
<i>Gambusia longispinis</i> *	X	X
<i>Xiphophorus gordonii</i> *	X	X
Especies restringidas a hábitats circundantes		
<i>Cyprinodon atrorus</i> *	X	0 (no se buscó)
<i>Lucania interioris</i> *	X	0 (no se buscó)

Tabla 30. Cuadro de especies históricas y observadas en el sistema Santa Tecla. *Estas especies se encuentran en las ciénegas de alrededor.

Métrica	Calificación	Valor	Cálculo
Riqueza (Nativos)	6/6	100%	5
Especies exóticas	No se observaron	X	0
% de especies endémicas	3/3	100%	5
% de especies sensibles	3/3	100%	5
% de especies tolerantes	2/2	100%	5
% de especies medianamente sensibles	1/1	100%	5
Presencia de ejemplares enfermos	No	X	0
Abundancia de especies exóticas	No se detectó presencia	X	0
TOTAL SIN AJUSTAR		25	
TOTAL AJUSTADO	Valor obtenido X 40)/25		40
Puntos extra por presencia de <i>Xiphophorus gordonii</i>	Sí	X	5
PUNTUACIÓN SIN AJUSTAR			45
PUNTUACIÓN BASE 100	Puntuación sin ajustar + 55	100	

Tabla 31. Cálculo de IBVI para el sistema Santa Tecla.

Recomendaciones de manejo

1. Continuar con el monitoreo del sistema en base al IBVI y complementarlo con métodos de captura, con el fin de poder detectar alertas en cuanto al estado de salud del ecosistema.
2. Monitorear puntualmente el estatus de las especies microendémica *Xiphophorus gordonii*.

Teclitas 26°47'04"N, 101° 59' 18" W



Fig. 56 Cardumen de la especie invasora *Oreochromis sp.* en el sistema Teclitas.

Las especies de peces nativos que se ubican en el interior de este sistema no corresponden a las que requieren la atención más urgente de todas las nativas y endémicas del valle, no obstante, se observó una diversidad importante de otros grupos acuáticos, entre los que destaca la presencia abundante de palemónidos.

Cálculo puntual del IBVI

Debido a la ausencia en forma natural de las especies *H. minckleyi* y *C. bifasciatus* se realizaron ajustes al protocolo del IBVI; cuyos valores obtenidos nuevamente se ajustaron, utilizando la fórmula: **Va=Vo X Vibvi)/ Pp**; donde Va= valor ajustado; Vo=Puntaje obtenido sin ajustar, Vibvi=puntaje máximo obtenible antes de sumar puntos extra, utilizando el protocolo de IBVI para sitios con presencia natural de *H. minckleyi* y *C. bifasciatus*; y Pp=Puntaje máximo posible antes de sumar puntos extras para el sitio en particular. Para el sitio se consideraron las siguientes métricas: Riqueza (Nativos); Especies exóticas; % de especies endémicas; % de especies sensibles; % de especies tolerantes; % de especies medianamente sensibles; Presencia de ejemplares enfermos; Abundancia de especies exóticas (Tabla 32 y Tabla 33)

Especie	Línea base histórica	Observadas
<i>Herichthys cyanoguttatus</i>	X	X
<i>Gambusia marshi</i>	X	X
<i>Asyanax mexicanus</i>	X	X
<i>Oreochromis sp.</i>	0	X
Especies restringidas a hábitats circundantes		
<i>Xiphophorus gordonii</i> *	X	0 (No se buscó)

Tabla 32. Cuadro de especies históricas y observadas en el sistema Teclitas. *Presente en el sistema (Carson et al., 2013)

Métrica	Calificación	Valor	Cálculo
Riqueza (Nativos)	3/3	100%	5
Especies exóticas	Sí	X	-5
% de especies endémicas	No hay endemismos	X	0
% de especies sensibles	No hay sensibles	X	0
% de especies tolerantes	2/2	100%	5
% de especies medianamente sensibles	1/1	100%	5
Presencia de ejemplares enfermos	No	X	0
Abundancia de especies exóticas	Invasión muy fuerte	X	-5
TOTAL SIN AJUSTAR			5
TOTAL	(Valor obtenido X 40)/15		8
TOTAL SIN AJUSTAR			5
TOTAL AJUSTADO	Valor obtenido X 40)/15		8
PUNTUACIÓN SIN AJUSTAR			8
PUNTUACIÓN BASE 100	Puntuación sin ajustar + 55		63

Tabla 33. Cálculo de IBVI para el sistema Teclitas.

Recomendaciones de manejo

1. Continuar con el monitoreo del sistema en base al IBVI con el fin de poder detectar alertas en cuanto al estado de salud del ecosistema; incluyendo la evolución en la invasión de las tilapias.
2. Sustituir el uso de nazas para la captura de tilapias por el uso de artes de pesca más eficaces tales como chinchorros y/o redes experimentales de arrastre.
3. Evitar el escape de tilapias hacia otros sistemas dentro del valle. En dicho contexto, resulta menos grave incrementar la eficiencia en los esfuerzos de extracción utilizando métodos más agresivos que el uso de nazas; que el riesgo potencial de escape y dispersión de las tilapias hacia otras áreas del valle.

Nota: Debido a que el cíclido nativo presente en el sistema es *Herichthys cyanoguttatus*, el cual en términos relativos no es tan importante (a diferencia del sistema Churince donde habita el cíclido endémico *Herichthys minckleyi*); consideramos que sí resultaría aceptable la captura incidental de cíclidos nativos durante el desarrollo de esfuerzos para el control de las tilapias; por lo que se recomienda la instrumentación intensiva de artes de pesca más eficaces como el arrastre de redes y/o el uso de redes agalleras para la extracción de estas; evitando en la medida de lo posible la captura incidental de tortugas y otras especies acuáticas; devolviendo al sistema, siempre que sea posible, los cíclidos nativos capturados.

Discusión

El Valle de Cuatro Ciénegas se ubica en el Estado de Coahuila donde los efectos de las sequías recurrentes son severos. Está rodeado por sierras que funcionan como fuentes de captación de agua, y brindan condiciones de aislamiento para la presencia de endemismos. En contraste con el resto del estado, Cuatro Ciénegas posee numerosas pozas que son habitadas por especies endémicas, entre las que sobresalen peces, tortugas y macroinvertebrados. Sus humedales albergan colonias de estromatolitos, que son formas ancestrales de vida. Estos forman la base productiva de las pozas que da sustento a la existencia de otras especies endémicas como la mojarra de Minckley (*Herichthys minckleyi*).

El objetivo general del Plan de Monitoreo & Evaluación (M&E) es (1) comprender la dinámica natural de los ecosistemas (agua, suelo, vegetación y biodiversidad; asociadas a los peces y sus requerimientos de hábitat), así como la condición y estado de salud que éstos guardan dentro del Valle de Cuatro Ciénegas; (2) poder identificar los umbrales ecológicos y sus componentes biofísicos; (3) poder tomar decisiones informadas y adecuadas con fundamento científico para el manejo adaptativo de las especies y sus hábitat; (4) poder cuantificar los niveles de avance hacia los objetivos establecidos; y (5) poder identificar advertencias/señales tempranas de amenazascontra la diversidad ictiológica del valle, así como cualquier condición anormal que se presente, con el fin de poder implementar medidas correctivas y/o de mitigación.

En el caso de la cuenca hidrológica del río Bravo, se han utilizado diversos IBI cuyos resultados se han publicado en la literatura científica, o se encuentran disponibles en la literatura gris. Estos incluyen al Índice Biológico de Integridad histórico (IBIh) desarrollado por Contreras-Balderas et al., (2000); aplicado para el bajo río Bravo y posteriormente en el río Conchos durante los años 2005, 2007 y 2009 (De la Maza-Benignos, 2009); así como al IBI para arroyos vadeables de < 1 m de profundidad en Texas desarrollado por Linam et al., (2002); y recientemente el IBI para los arroyos San Carlos y San Antonio en el municipio de Manuel Benavides, Chihuahua, dentro del APFF Cañón de Santa Elena, desarrollado por De la Maza-Benignos, et al., (2014).

Existen algunas consideraciones geohidrológicas que se deben tomar en cuenta. La variabilidad estacional en el caudal que pasa a través de una sección de un cuerpo de agua determinado se denomina régimen hidrológico. Este puede variar en función del tipo de sistema hidrológico, así como del origen de su agua; especialmente en regiones áridas tales como el Valle de Cuatro Ciénegas.

De acuerdo a Minckley (1969) existen 7 grandes sistemas hidrológicos en la cuenca de Cuatro Ciénegas, los cuales aparentemente corresponden a relictos de un sistema más extenso que se distribuyó en el pasado reciente. Estos son (**Figura 57**):

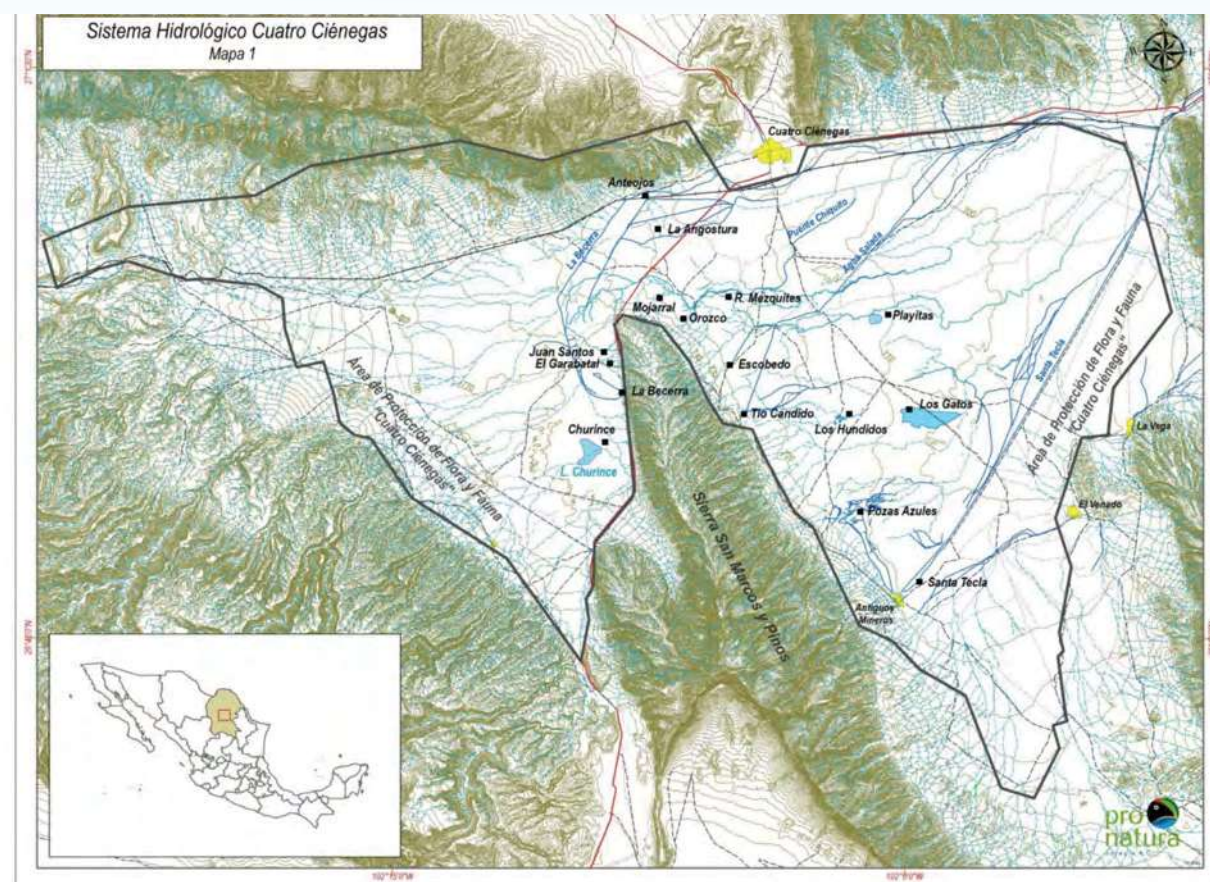


Figura 57. Mapa del APFF Cuatrociénegas mostrando los puntos analizados en el presente estudio.

- I. Sistema que se origina en las pozas Churince y la Becerra, el cual fluye de forma superficial y/o subterránea hacia las lagunas conocidas como el Garabatal.
- II. Río Mezquites. Se trata del sistema más grande y complejo de la cuenca. Su corriente se origina tanto de manantiales termales como de fríos que actualmente derivan hacia las Salinas, las Playitas y el canal Saca Salada que trasvasa el cauce hacia el río Salado de Nadadores.
- III. Río Puente Chiquita en la zona Norte que es alimentado por aguas frías. Es probable que éste río anteriormente se conectara directamente con el sistema del río Bravo a través de un área baja en la parte norte de la cuenca.
- IV. Sistema Tío Cándido-Hundidos que se origina en las pozas Tío Cándido y Escobedo, y termina en el sistema Los Gatos, pasando por los Hundidos.
- V. Sistema Santa Tecla, el cual fluye en dirección norte-noroeste para entrar por la porción sur del valle a un enorme lago barrial ubicado al este.
- VI. Río Salado de Nadadores, el cual forma parte de la cuenca del río Bravo.

Analizando las tendencias recientes en la hidrología del sistema, partiendo del año 2007, se puede decir que las pozas y cuerpos de agua del valle de Cuatro Ciénegas tienen un comportamiento cíclico; el cual sin embargo, manifiesta una tendencia marcada hacia la disminución del nivel de agua, en particular en las pozas Churince, Juan Santos, La Tecla, Las Teclitas, Los Gatos, Mojarral Oeste, el complejo de Pozas Azules, Pozo Bonito y Tío Cándido (Pérez-Flores, 2009). Es por ello que resulta recomendable, para cada uno de los subsistemas que conforman el valle, contar con una red de control batimétrica y piezométrica, que permita conocer el comportamiento de las masas de agua, para poder así detectar tempranamente cualquier anomalía relacionada con cualquier contingencia ambiental que ponga en riesgo la viabilidad de dichos sistemas. Para la selección de los puntos de control se deberán elegir aquellos emplazamientos regionales que se consideran más significativos del comportamiento global de la(s) masa(s) de agua.

En (2009) Pérez-Flores estimó que durante el periodo de octubre del 2008 a febrero del 2009 las pozas que disminuyeron su nivel fueron Poza Escobedo, Tío Cándido y Poza Azul-Pronatura; lo cual asoció a la falta de lluvias y consecuente falta de recarga de los acuíferos durante el periodo de otoño a invierno de 2008. Así mismo se detectó una tendencia a la disminución de nivel en las pozas Churince (la cual ya se determinó está biológicamente colapsada conforme al presente estudio) y Pozo Bonito; Juan Santos; La Tecla; Las Teclitas; Los Gatos; Mojarral Oeste; Complejo de Poza Azules en el rancho Pronatura; y Tío Cándido.

Adicionalmente, durante el período de febrero a agosto del 2009 también se observó una disminución significativa en el nivel del agua de Los Hundidos. Lo anterior representa un riesgo latente para los sistemas Mojarral Oeste, Los Hundidos, Las Teclitas y Churince. En cambio, las pozas que aumentaron sus niveles de agua fueron El Anteojo, río Mezquites, Las Teclitas y La Tecla.

Conclusiones y Recomendaciones

Las condiciones ecológicas actuales, el estatus de conservación de los cuerpos de agua del valle de Cuatro Ciénegas y sus especies, y las poco halagadoras tendencias hacia la degradación, obligan a un manejo activo de los ecosistemas y las especies que los conforman, a través del desarrollo de estrategias combativas, así como la realización de intervenciones que permitan la restauración eficaz de los ecosistemas acuáticos y sus hábitat; buscando promover la adaptación de los mismos a las condiciones imperantes, actuales y futuras. En dicho contexto, es a partir de ahora, que se debe de actuar, pues consideramos que algunas de las acciones propuestas, quizá considerables un poco heterodoxas, si lo viéramos desde una perspectiva no intervencionista de conservación, representan una última esperanza para evitar la extinción de algunas de las poblaciones endémicas con distribución más restringida dentro del valle.

En dicho contexto, consideramos que, para alcanzar el éxito en la conservación de poblaciones tan amenazadas como lo son por ejemplo, las mojarra de Minckleyi de la poza Churince; se requerirá de implementar acciones de manejo tanto *in situ* como *ex situ*; las cuales deberán estar fundadas en la colaboración intersectorial; considerando como la base para la toma de decisiones, el monitoreo permanente de los factores que mayormente contribuyen a las principales amenazas, sean estas del orden natural (p. ej. el clima) o de origen antropogénico (p. ej. la extracción ilegal de agua) que afectan al valle de Cuatro Ciénegas y su biodiversidad.

El costo de la inacción supera por creces el riesgo de tener que afinar dichas acciones como parte de un esquema de manejo adaptativo. Es por ello que se debe de contar con un plan de acción, que incluya un plan de contingencias, pero que a su vez sea práctico y funcional; y que permita identificar y mitigar a tiempo riesgos demográficos, genéticos, climáticos y antropogénicos que afectan a cada una de las especies endémicas de peces de Cuatro Ciénegas.

Consideramos estos resultados la línea base para el desarrollo de un programa para el manejo *in situ* y *ex situ* para las especies de peces nativos del valle para salvaguarda la diversidad inctiológica del Valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila.

Referencias

Los peces de Cuatro Ciénegas

1. Aguilar-Aguilar, R., Martínez-Aquino, A., Espinosa-Pérez, H., & de León, G. P. P. (2014). Helminth parasites of freshwater fishes from Cuatro Ciénegas, Coahuila, in the Chihuahuan Desert of Mexico: inventory and biogeographical implications. *Integrative zoology*, 9(3), 328–339.
2. Carson, E. W., y Dowling, T. E. (2006). Influence of hydrogeographic history and hybridization on the distribution of genetic variation in the pupfishes *Cyprinodon atropus* and *C. bifasciatus*. *Molecular Ecology*, 15, 667-679.
3. Carson, E. W. (2009a). Threatened fishes of the world: *Cyprinodon atropus* Miller 1968 (Cyprinodontidae). *Environmental biology of fishes*, 86(3), 425-426.
4. Carson, E. W. (2009b). Threatened fishes of the world: *Cyprinodon bifasciatus* Miller 1968 (Cyprinodontidae). *Environmental Biology of Fishes*, 86, 445-446.
5. Carson, E. W. (2011). Low but stable frequency of xanthic phenotypes in a population of the twoline Pupfish, *Cyprinodon bifasciatus*. *The American Midland Naturalist*, 166(2), 462-466.
6. Carson, E. W., Tobler M., Minckley W. L., Ainsworth R. J., y Dowling, T. E. (2012). Relationships between spatio-temporal environmental and genetic variation reveal an important influence of exogenous selection in a pupfish hybrid zone. *Molecular Ecology*, 21, 1209-1222
7. Carson, E.W., Espinosa, H., y Souza, V. (2013). Low mitochondrial DNA sequence variation in the microendemic Cuatro Ciénegas platyfish, *Xiphophorus gordonii*. *Western North American Naturalist*, 73, 224-229.
8. Carson, E.W., Souza, V., Espinosa, H. y Turner, T.F. (2015). Mitochondrial DNA diversity and phylogeography of *Lucania interioris* inform conservation of biodiversity in the Cuatro Ciénegas Basin, Mexico. *Western North American Naturalist*, 75, 200-208.
9. Contreras-Balderas S & Ludlow A. (2003). *Hemichromis guttatus* Günther, 1862 (Pisces: Cichlidae), nueva introducción en México, en Cuatro Ciénegas, Coahuila. *Vertebr Mex* 12:1–5.
10. Daget, J. & Teugels, G.G. (1991). *Hemichromis*.p. 187–194. In J. Daget, J., P. Gosse, G.G. Teugels & D.F.E. Thys van den Audenaerde (eds.) Check-list of the freshwater fishes of Africa, CLOFFA, ISNB, Brussels; MRAC, Tervuren; and ORSTOM, Paris. Vol. 4.
11. De la Maza-Benignos, M. (2014). Sistemática, zoogeografía y evolución del género *Herichthys* (pisces: cichlidae), en el noreste de México (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
12. De la Maza-Benignos, M., Ornelas-García, C. P., Lozano-Vilano, M., García-Ramírez, M. E., & Doadrio, I. (2015). Phylogeographic analysis of genus *Herichthys* (Perciformes: Cichlidae), with descriptions of *Nosferatu* new genus and *H. tepehua* n. sp. *Hydrobiologia*, 748(1), 201–231.
13. García De León, F. J., Rodríguez-Martínez, R.I., & Hendrickson, D. A. (2015). Genetic Analysis and Conservation Status of Native Populations of Largemouth Bass in Northeastern Mexico. *American Fisheries Society Symposium* 82:635–657.
14. García Ramírez, M. E. (2005). Ecología y distribución de peces en áreas selectas del valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México.
15. Hubbs, C.L. & Miller, R. R. (1965) Variation in *Lucania parva*, its establishment in Western United States, and description of a new species from an interior basin in Coahuila, Mexico. *Miscellaneous Publications Museum of Zoology, University of Michigan*, no. 127.
16. Johnson, D. L. (2000). Sound production in *Cyprinodon bifasciatus* (Cyprinodontiformes). *Environmental biology of fishes*, 59(3), 341–346.
17. Kornfield, I., Smith, D. C., Gagnon, P. S., & Taylor, J. N. (1982). The cichlid fish of Cuatro Cieneg

gas, Mexico: direct evidence of conspecificity among distinct trophic morphs. *Evolution*, 658-664.

18. Kornfield, I., & Taylor, J. N. (1983). A new species of polymorphic fish, *Cichlasoma minckleyi*, from Cuatro Cienegas, Mexico (Teleostei: Cichlidae). *Proc. Biol. Soc. Wash*, 96(2), 253-269.
19. Lozano, M., García, M. E., Contreras A. J. (2003). Jewel cichlid *Hemichromis guttatus*, an exotic fish eradicated from Poza San José del Anteojo Cuatro Ciénegas Valley, Coahuila, México. *Proceedings, Desert Fishes Council XXXIV Th*, Pp 37.
20. Ludlow, A. M., Itzkowitz, M. & Baird, D. R. (2001). Male mating success and female preference for multiple traits in the twoline pupfish (*Cyprinodon bifasciatus*). *Behaviour*, 138:1303–1318.
21. Magalhaes, I. S., Ornelas-García, C.P., Leal-Cardin, M., T. Ramírez & Barluenga, M. (2015). Untangling the evolutionary history of a highly polymorphic species: introgressive hybridization and high genetic structure in the desert cichlid fish *Herichthys minckleyi*. doi: 10.1111/mec.13316.
22. Miller, R. R. (1968). Two new fishes of the genus *Cyprinodon* from the Cuatro Ciénegas Basin, Coahuila, Occ. Pap. Mus. Zool. Univ. Mich., (659):1–15.
23. Miller, R. R., Minckley W. L. & Norris, S. M. (2005). *Freshwater Fishes of México*. The University of Chicago Press, Chicago. Pp. I–XXV, 1–490.
24. Minckley, W. L. (1962). Two new species of fishes of the genus *Gambusia* (Poeciliidae) from north-eastern Mexico. *Copeia*, 391-396.
25. Minckley, W. L. & Lytle, G. L. (1969). *Notropis xanthicara*, a new cyprinid fish from the Cuatro Ciénegas basin, north-central Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 82(40) 491–501.
26. Norris, S. M. & Minckley, W. L. (1997). Two new species of *Etheostoma* (Osteichthyes: Percidae) from central Coahuila, northern Mexico. *Ichthyol. Explor. Freshwaters*, 8(2), 159–176.
27. Oldfield, R. G., Mandrekar, K., Nieves, M. X., Hendrickson, D. A., Chakrabarty, P., Swanson, B. O., & Hofmann, H. A. (2015). Parental care in the Cuatro Ciénegas cichlid, *Herichthys minckleyi* (Teleostei: Cichlidae). *Hydrobiologia*, 748(1), 233–257.
28. Ornelas-García, C.P., Santos-Magallanes, I., De la Maza-Benignos, M., y Barluenga, M. (2015). La mojarra de Cuatro Ciénegas *Herichthys minckleyi*. CONABIO, En prensa.
29. Soto-Galera, E. & Rincón-Sandoval, L.A. (2007). Ficha técnica de *Gambusia longispinis*. En: Soto-Galera, E. (compilador). *Conocimiento biológico de 32 especies de peces dulceacuícolas mexicanos incluidos en la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT-2001*. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N. Bases de datos SNIB-CONABIO. Proyecto No. CK011. México D.F.
30. Tobler, M., y Carson, E. W. (2010). Environmental variation, hybridization, and phenotypic diversification in Cuatro Ciénegas pupfishes. *Journal of Evolutionary Biology*, 23, 1475-1489.
31. Wischnath, L. (1993) *Atlas of Livebearers of the World*. T. F. H. Publications, Inc. Estados Unidos.

El índice biológico visual de integridad (IBVI)

1. Carson, E. W., Tobler M., Minckley W. L., Ainsworth R. J., y Dowling, T. E. (2012). Relationships between spatio-temporal environmental and genetic variation reveal an important influence of exogenous selection in a pupfish hybrid zone. *Molecular Ecology*, 21, 1209-1222
2. Contreras-Balderas, S., Edwards, R. J., Lozano-Vilano, M. L., & García-Ramírez, M. E. (2000). Ecology Chapters (Chapters 7 and 15). En: J. Schmandt, et al. (comps.) *Water and Sustainable Development in the Lower RioGrande/Rio Bravo, Texas and Mexico*. A joint 24 research project between the Houston Advanced Research Center (HARC) and Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM). <http://www.harc.edu/cgs/mexico/lrgv.html>.
3. Contreras-Balderas S, Ludlow A. (2003). *Hemichromis guttatus* Günther, 1862 (Pisces: Cichlidae), nueva introducción en México, en Cuatro Ciénegas, Coahuila. *Vertebr Mex* 12:1–5.
4. Contreras-Balderas, S., Lozano-Vilano, M. & García-Ramírez, M. (2005). Historical changes in the

1. index of biological integrity for the Lower Rio Nazas, Durango, Mexico. American Fisheries Society Symposium 45: 225–237.
2. De la Maza-Benignos, M. (2009). Los peces del río Conchos. Alianza WWF-Fundación Gonzalo Río Arce Gobierno del Estado de Chihuahua, 198 pp.
3. De la Maza-Benignos, M., Lozano-Vilano, M. L. & Carson, E.W. (eds.). (2014). Conservation of desert wetlands and their biotas, Vol 1. Special Publications. Museum of Southwestern Biology, Pronatura Noreste, and Universidad Autónoma de Nuevo León. 45pp.
4. Evans, S. B. (2005). Using chemical data to define flow systems in Cuatro Ciénegas, Coahuila, Mexico. University of Texas at Austin.
5. García De León, F. J., Rodríguez-Martínez, R.I., & Hendrickson, D. A. (2015). Genetic Analysis and Conservation Status of Native Populations of Largemouth Bass in Northeastern Mexico. American Fisheries Society Symposium 82:635–657.
6. García Ramírez, M. E. (2005). Ecología y distribución de peces en áreas selectas del valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México.
7. Karr, J. R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries 6:21-27.
8. Karr, J. R., Fausch, K. D., Angermeier, P. L., Yant, P. R. & Schlosser, I. J. (1986). Assessing biological integrity in running waters. A method and its rationale. Illinois Natural History Survey, Champaign, Special Publication, 5, USA
9. Karr, J. R., (1991). Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management. Ecological Applications 1: 66–84.
10. Karr, J. R., & Chu, E. W. (2000). Introduction: Sustaining living rivers. In Assessing the Ecological Integrity of Running Waters (pp. 1-14). Springer Netherlands.
11. Karr, J. R., & Yoder, C. O. (2004). Biological assessment and criteria improve total maximum daily load decision making. Journal of Environmental Engineering, 130(6), 594-604.
12. Karr, J. R., & Chu, E. W. (2006). Seven foundations of biological monitoring and assessment. Biología Ambiental, 20(2), 7-18.
13. Linam, G. W., Kleinsasser, L. J., & Mayes, K. B. (2002). Regionalization of the index of biotic integrity for Texas streams. Resource Protection Division, Texas Parks and Wildlife Department, Austin, USA.
14. Lozano-Vilano, M. L., García-Ramírez, M. E., Artigas-Azas, J. M., De la Maza-Benignos, M., Salazar-González, M., & Ruiz-Campos, G. (2009). Los peces del río Conchos. En Los peces del río Conchos, M. De la Maza-Benignos (ed.). Alianza WWF-FGRA y Gobierno del Estado de Chihuahua, Chihuahua, 33-133.
15. Magalhaes, I. S., Ornelas-García, C.P., Leal-Cardin, M., T. Ramírez & Barluenga, M. (2015). Untangling the evolutionary history of a highly polymorphic species: introgressive hybridization and high genetic structure in the desert cichlid fish *Herichthys minckleyi*. doi: 10.1111/mec.13316.
1. Minckley, W. L. (1969). Environments of the Bolson of Cuatro Ciénegas, Coahuila, Mexico, with special reference to the aquatic biota. Univ. Tex., El Paso, Cei. Ser. 2:1-65.
16. Ornelas-García, C.P., Santos-Magallanes, I., De la Maza-Benignos, M., y Barluenga, M. (2015). La mojarra de Cuatro Ciénegas *Herichthys minckleyi*. CONABIO, En prensa.
17. Pérez Flores, A. (2009). Análisis multitemporal de los cuerpos de agua del área de protección de flora y fauna de Cuatro Ciénegas, Coahuila. Informe final. Instituto Nacional de Ecología (INE), SEMARNAT.
18. Tobler, M., y Carson, E. W. (2010). Environmental variation, hybridization, and phenotypic diversification in Cuatro Ciénegas pupfishes. Journal of Evolutionary Biology, 23, 1475-1489.



CONTROL DE ESPECIES ACUÁTICAS INVASORAS EN EL ANP CUATROCIÉNEGAS, COAH.

Roberto Mendoza¹, Sergio Luna¹, Carlos Aguilera¹,
Jesús Montemayor¹, Dvorak Montiel²

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Grupo Ecofisiología

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Ciencias Genómicas

Introducción

A nivel mundial, el acuarismo constituye una industria multimillonaria; anualmente se comercializan cerca de mil millones de peces ornamentales (Whittington y Chong, 2007), con un valor aproximado de USD\$ 6 mil millones (Holthus y Gamain, 2007), el cual se incrementa a USD\$ 15 mil millones al incluir diversos insumos (acuarios, bombas, termostatos, etc.; Bartley, 2000). Desde hace varios años, esta industria ha venido creciendo a una tasa de 14% anual a nivel mundial (Padilla y Williams, 2004), y en México se mantiene la misma tendencia ya que a lo largo de los años se ha observado un 8% de crecimiento anual (Mendoza et al., 2010).

Durante muchos años la acuicultura ornamental se ha desarrollado significativamente con la carencia de análisis de los riesgos ecológicos, soslayando las consecuencias negativas derivadas del movimiento de enormes cantidades de peces en todo el mundo (Tlustý, 2004). A diferencia del cultivo de peces comestibles, donde un número relativamente pequeño de especies dominan el mercado, los peces ornamentales representan un enorme reservorio de especies potencialmente invasoras como resultado del comercio mundial de aproximadamente 5000 especies (McDowall, 2004). El riesgo de la liberación accidental de especies exóticas se incrementa día a día, ya que gran parte de la producción de peces ornamentales se realiza fuera de su área de distribución nativa (Tlustý, 2004). Como consecuencia de este comercio carente de control, actualmente el acuarismo representa una de las cinco vías principales de introducción de especies acuáticas exóticas en el mundo (Ruiz et al., 1997), y al menos 150 especies invasoras, de las cuales 115 son peces dulceacuícolas, han sido introducidas debido a esta actividad productiva (Padilla y Williams, 2004). De hecho, el acuarismo ha sido considerado como la principal vía de introducción de especies exóticas en algunas regiones (Lintermans, 2004; Cobo et al., 2010; Low, 2011) y se espera que la proporción de especies invasoras introducidas por esta vía aumente en el futuro (Copp et al., 2007; Wolter y Röhr, 2010; Ishikawa y Tachihara, 2014).

En México la falta de regulación en el establecimiento y operación de las granjas de peces ornamentales ha resultado en el establecimiento de especies exóticas en nueve de las diez regiones acuáticas continentales del país, provocando severos impactos ambientales (60% de las extinciones de peces en México se han asociado a la presencia de especies no nativas; Contreras-Balderas et al., 2003) y económicos (Mendoza et al., 2010). Adicional a los escapes de las granjas, el vertido de organismos no deseados (efecto Nemo) y el drenaje del agua de tanques y acuarios públicos que aún contienen organismos vivos, son vectores de introducción de especies exóticas con potencial invasor asociados con el comercio de especies ornamentales en México (Mendoza, et al., 2014). Derivado de esta actividad, en 1996 fue reportada la presencia del cíclido joya (*Hemichromis guttatus*) en la poza Churince de Cuatrociénegas (Contreras-Balderas y Ludlow, 2003).

Impacto del Cíclido Joya en peces de Cuatrociénegas

En el Valle de Cuatrociénegas han sido reportadas 19 especies de peces, clasificadas taxonómicamente en 4 órdenes y 8 familias. De estas, al menos 12 son consideradas endémicas por tener la totalidad de su distribución dentro de la subcuenca (De la Maza-Benignos, 2015). Las especies más ampliamente distribuidas son *Astyanax mexicanus* y *Gambusia marshi* (García-Ramírez, 2005). Estas especies se distribuyen en 7 grandes sistemas hidrológicos de la cuenca de Cuatrociénegas. De estos sistemas, el que se origina en

las pozas Churince y la Becerra es uno de los más representativos de la región, fluyendo de forma superficial y/o subterránea hacia las lagunas conocidas como el Garabatal (Minckley, 1969). El subsistema Churince está conformado principalmente por cuatro cuerpos de agua superficiales comunicados subterráneamente y por una serie de riachuelos: la Poza Churince y Poza Bonita que conforman la fuente del sistema, así como la Laguna Intermedia y la hoy ya seca Laguna de Churince (De la Maza-Benignos, 2015). Debido a que este sistema se considera el origen de la introducción del cíclido joya, ha sido la principal zona de estudio para evaluar los efectos de esta especie invasora. Hace cerca de 20 años en el sistema Churince se tenía registro de las especies *Herichthys minckleyi*, *Cyprinodon bifasciatus*, *C. atlorus*, *Astyanax mexicanus*, *Gambusia marshi*, *G. longispinis*, *Micropterus salmoides*, *Lepomis megalotis*, *Dionda episcopa*, *Cyprinella xanthicara*, *Ictalurus lupus*, así como híbridos de *Cyprinodon bifasciatus* y *C. atlorus* (Minckley, 1977). La mayoría de estas especies se pueden encontrar desde el nacimiento de la poza Churince y se ha observado que se desplazan estacionalmente por el canal Churince, con excepción de *Cyprinodon atlorus*, *Gambusia longispinis* y los híbridos de *C. bifasciatus* y *C. atlorus* que se restringen al canal y resto del sistema Churince.

Particularmente la poza Churince se encuentra en un severo colapso ecológico, no solo por el daño antropogénico ocasionado por la afluencia de turistas, sino también por diversas especies de plantas riparias. Por otra parte, la ictiofauna de esta poza ha sufrido un grave descenso en sus poblaciones considerando que, de las observaciones más recientes (De la Maza-Benignos, 2015), de las especies anteriormente mencionadas solo se pudieron encontrar escasos ejemplares de *H. minckleyi* en malas condiciones, y aun utilizando trampas y redes de chinchorro solo se obtuvieron un gran número de ejemplares de cíclido joya.

En 1995, antes de la introducción del cíclido joya, se describieron en la poza Churince abundantes grupos de *Cyprinodon bifasciatus*, *Herichthys minckleyi*, *Astyanax mexicanus* y *Gambusia marshi*. *Cyprinodon bifasciatus* dominando el fondo del manantial distribuido de manera más o menos regular, con una densidad promedio de 1.2 organismos por m². *Herichthys minckleyi* en las partes más profundas, y ejemplares aislados de *Micropterus salmoides*. Mientras que la superficie, los márgenes y el canal de salida estaban dominados por *Astyanax mexicanus* y *Gambusia marshi* (Aguilera, 1998).

No obstante, para el año 2010, una vez que se encontró establecido el cíclido joya, se reportó la desaparición de las especies de *Cyprinodon bifasciatus* y *Astyanax mexicanus*, mientras que *Gambusia spp.*, *Cyprinella xanthicara*, *Micropterus salmoides* y *Lepomis megalotis* solo fueron observados en el canal Churince (Dugan, 2014).

Más recientemente, De la Maza-Benignos (2015) describe a *Gambusia marshi* en la poza Churince, la cual se observó abundantemente; en contraste, se observaron menos de 50 ejemplares de *H. minckleyi* en un estado senil y con heridas y marcas de ataques y signos de enfermedad. Igualmente se observó la presencia de un ejemplar de *Micropterus salmoides*. El fondo de la poza se encuentra invadido por crecimientos algales anormales, que en algunas zonas superan el metro de espesor, y que brindan refugio y estructura reproductiva para la especie invasora *H. guttatus*. Consideramos que dichos crecimientos anormales se deben principalmente a la desaparición de las especies herbívoras tanto de peces (e.g. *Cyprinodon bifasciatus*) como de los macroinvertebrados que los controlaban (Tabla 1).

Especie/Año	Sistema Becerra		Sistema Churince		Complejo Pozas Azules		Santa Tecla	
	1995	2015	1995	2015	1995	2015	1995	2015
<i>Astianax mexicanus</i>	X	X	X	O	X	X	X	X
<i>Cyprinella xanthicara</i>	X	O	X	O	O	O	X	X
<i>Herichthys minckleyi</i>	X	X	X	X	X	X	O	O
<i>Cyprinodon bifasciatus</i>	X	X	X	O	X	O	O	O
<i>Gambusia marshi</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Dionda episcopa</i>	O	O	X	X	X	O	O	O
<i>Gambusia longispinis</i>	O	O	X	O	O	O	O	O
<i>Cyprinella atlorus</i>	O	O	X	X	O	O	O	O
<i>Micropterus salmoides</i>	O	O	X	X	X	X	X	O
<i>Lepomis megalotis</i>	O	O	X	O	X	X	X	O
<i>Ictalurus lupus</i>	X	X	O	O	X	X	O	O
<i>Xhiphophorus gordonii</i>	O	O	O	O	O	O	X	X
<i>Herichthys cyanogutatum</i>	O	O	O	O	O	O	X	X

Tabla 1. Relación de especies observadas en diferentes localidades y tiempos (X=presente; O=ausente).

El análisis de la tabla anterior muestra que en el tiempo que transcurrió de un análisis a otro, desapareció *Cyprinella xanthicara* del sistema Becerra. Mientras que en el sistema Churince desaparecieron *Astyanax mexicanus*, *Cyprinella xanthicara*, *Cyprinodon bifasciatus*, *Gambusia longispinis* y *Lepomis megalotis*. Así mismo, se puede observar que en el complejo de Pozas Azules se perdieron *Cyprinodon bifasciatus* y *Dionda episcopa*. Por último, en Santa Tecla desaparecieron *Micropterus salmoides* y *Lepomis megalotis*.

Mediante el uso de isótopos, Marks et al., (2011), demostraron competencia alimenticia entre *H. guttatus* y las especies nativas *Herichthys minckleyi* y *Cyprinodon bifasciatus*. Tanto *H. guttatus* como *H. minckleyi* poseen una dentición papiliforme, lo que explicaría la rápida disminución de ésta última en la Poza Churince como consecuencia de la introducción del cíclido joya (Hendrickson et al., 2008).

A pesar de que se ha puesto mayor atención en los efectos negativos provocados sobre el cíclido *H. minckleyi* (Dugan, 2014), probablemente los impactos más importantes a nivel del ecosistema son los producidos por el desplazamiento de *Cyprinodon bifasciatus* de la poza Churince. Lo anterior tomando en cuenta su abundancia reportada sobre el fondo del manantial antes de la introducción del cíclido joya (Aguilera, 1998), así como por la invasión anormal de algas como consecuencia de la falta de esta especie como principal forrajera que controla estos florecimientos (De la Maza-Benignos, 2015). Esta diferencia en la composición del fondo de los manantiales también se puede apreciar comparando actualmente la poza Churince con la poza la Becerra en donde aún no está presente el cíclido joya y en la cual, a pesar de las alteraciones por la disminución de su nivel de agua, aún se observa una comunidad de peces en buenas condiciones de acuerdo a de la Maza-Benignos (2015). Estos cambios pueden influir sobre la abundancia de las otras especies, particularmente cuando las condiciones climáticas son extremas y alteran las condiciones fisicoquímicas (e.g. temperatura, oxígeno disuelto) de los ecosistemas más alejados de los manantiales como los canales, humedales y lagunas, de tal forma que las pozas representan ecosistemas vitales para el refugio de diversas especies de peces.

Control del cíclido joya

Debido a lo anterior es primordial implementar un método de control de esta especie. Históricamente el control y erradicación de peces exóticos ha involucrado el uso de químicos como la rotenona (Hill y Cichra 2005), el control biológico (Hoddle, 2004) y estrategias basadas en la modificación genética (Twohey et al., 2003; Snow et al., 2005; Bergstedt y Twohey, 2007). Sin embargo, muchas de estas estrategias son inespecíficas, controversiales o de difícil implementación (Myers et al., 2000; Gutierrez y Teem, 2006). Recientemente se ha sugerido una forma de control de poblaciones exóticas mediante la introducción de individuos portadores de cromosomas sexuales troyanos (Cotton y Wedekind, 2007). Este método implica la introducción de organismos con doble cromosoma Y (machos YY o supermachos) con el fin de disminuir paulatinamente la proporción de hembras, lo cual es posible debido a que los machos YY, al cruzarse con una hembra, tienen una descendencia exclusiva de machos XY, evitando la presencia de hembras y su consecuente reproducción (Fig. 1). De esta forma, la introducción de machos YY de cíclido joya en las pozas de Cuatrociénegas conduciría a un incremento en la proporción de machos como consecuencia de un flujo desproporcionado del cromosoma Y, lo que generaría una importante reducción en el número de hembras a través de la introducción de varias generaciones de estos individuos, hasta la extinción de la población (Gutierrez y Teem, 2006; Cotton y Wedekind, 2007). Por otra parte, la introducción de machos YY no representaría gran riesgo para las especies nativas ya que los machos son menos agresivos que las hembras.

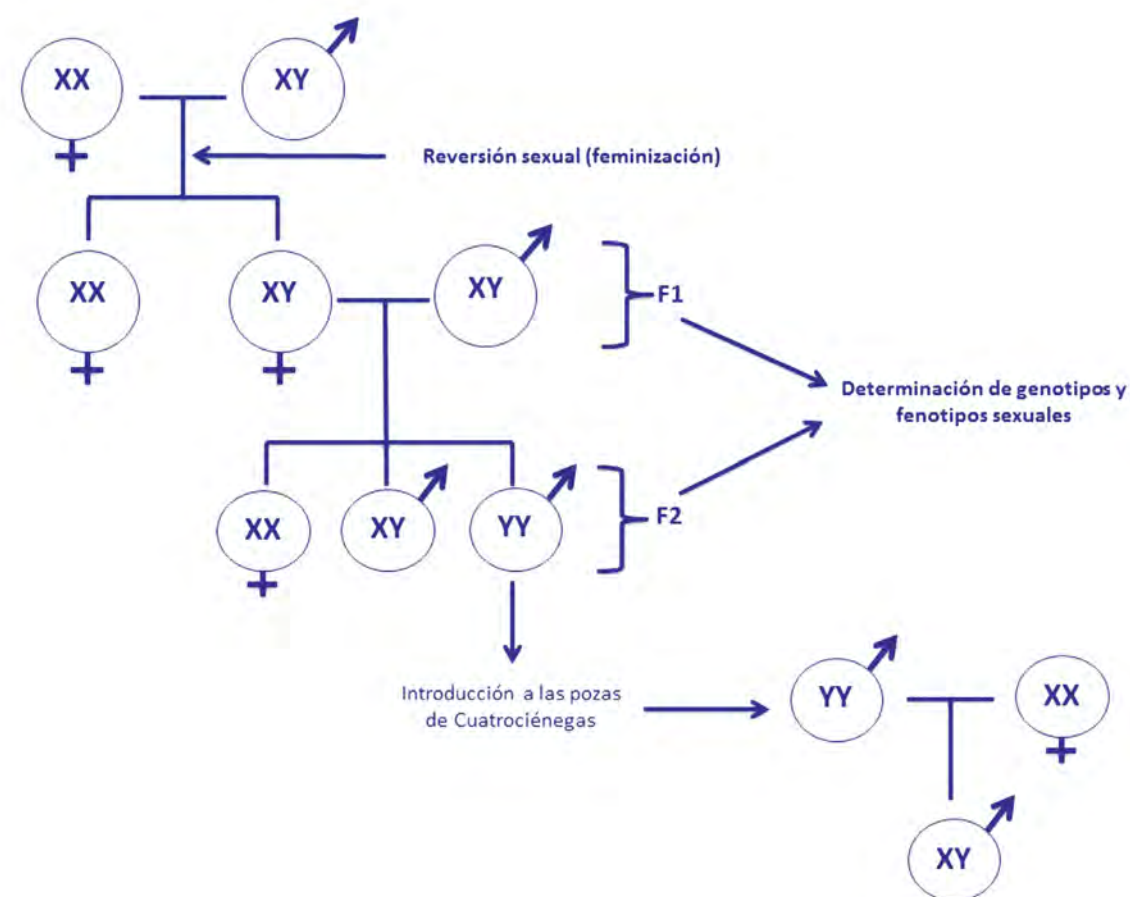


Figura 1. Esquema de los eventos de reproducción, reversión sexual y producción de machos YY para el control del cíclido joya en Cuatro Ciénegas. El fenotipo sexual se muestran con los símbolos ♀ y ♂ mientras que el genotipo sexual se indican con los cromosomas X y Y.

La implementación de este método solo requiere que la especie tenga un período de diferenciación sexual lábil, algo común en los cíclidos (Pandian y Sheela, 1995; D’Cotta et al., 2001). Sin embargo, durante los eventos de producción de machos YY es necesario implementar procedimientos para evaluar la efectividad del tratamiento de reversión sexual, además de la identificación de los distintos fenotipos y genotipos sexuales durante el desarrollo temprano. Para abordar esto se hará uso de biomarcadores como la vitelogenina, la expresión de la aromatasa y otros genes de determinación y diferenciación sexual, así como la determinación del cariotipo de la especie (Fig. 2).

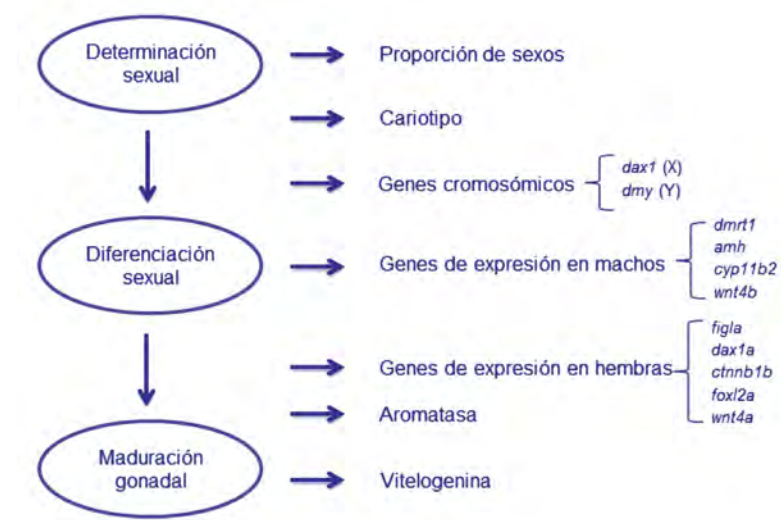


Figura 2. Esquema de los marcadores empleados para la identificación de genotipos sexuales de cíclido joya dentro del contexto de la biología reproductiva de los peces.

Reversión sexual

En peces se han reconocido una gran diversidad de mecanismos de determinación sexual. Sin embargo, los procesos que conducen a la diferenciación sexual se encuentran relativamente conservados (Ijiri et al., 2008; Wootton y Smith, 2014), y muestran un alto grado de plasticidad, por lo que es común que el sexo se vea influenciado por disruptores ambientales (e.g. esteroides exógenos) (Guerrero-Estévez y Moreno-Mendoza, 2010). En efecto, en etapas tempranas de desarrollo existe un período crítico durante el cual es posible revertir el sexo (período lábil), por lo cual es posible producir poblaciones monosexuales experimentalmente (Fuentes-Silva et al., 2013). Lo anterior es ampliamente utilizado para la obtención de machos YY mediante la cruce de un macho normal con un macho revertido sexualmente, es decir una hembra fenotípica con cromosomas sexuales XY (Beardmore et al., 2001).

Considerando este contexto, la reversión sexual del cíclido joya se ha venido realizando sobre la descendencia de ejemplares colectados en Cuatrociénegas. Para ello se ha inducido la formación de parejas en cautiverio (Fig. 3) mediante la simulación de lluvias y refugios, además de una dieta basada en alimento vivo. Actualmente se han feminizado juveniles de cíclido joya mediante su exposición a un antiandrógeno (flutamida) y un estrógeno (17β-estradiol) con un tiempo de exposición de 50 días a partir de la edad de 15 días después de la eclosión. El estradiol se ha administrado en la dieta utilizando nauplios de *Artemia* sp. como vehículo (Vidal-López et al., 2009). Mientras que la flutamida se ha administrado por inmersión con la finalidad de que sea absorbida por las branquias y el aparato digestivo (Sebire et al., 2008). Además, se ha establecido un control positivo utilizando un inhibidor de la aromatasa (fradozol) para obtener organismos masculinizados (Afonso et al., 2001).

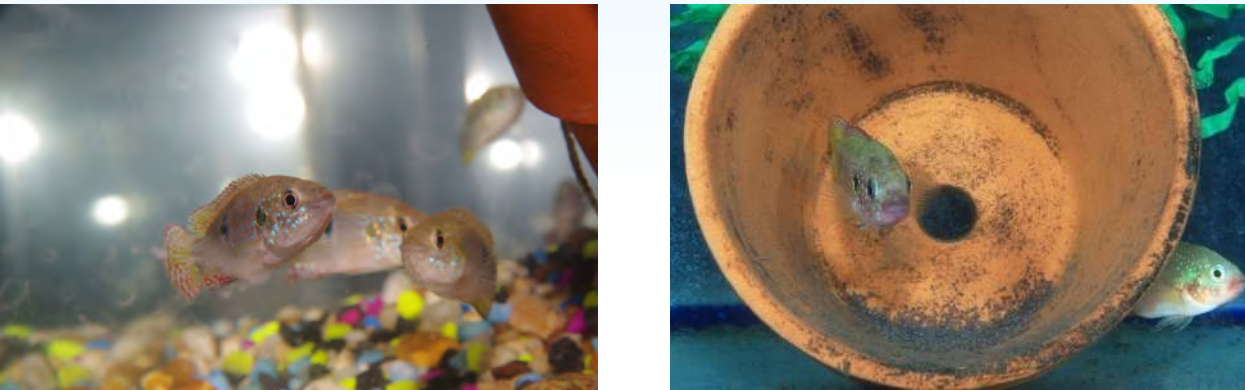


Figura 3. a) Ejemplares adultos de cíclido joya antes de la formación de parejas. b) Pareja formada: hembra ventilando los huevos del desove y macho resguardando el nido.

Los juveniles de ambos tratamientos están siendo alimentados con una dieta comercial y posteriormente se determinará la proporción de sexos en cada tratamiento mediante disección y análisis molecular, bioquímico y cromosómico. Debido a que en teoría el 50% de los organismos producidos por este método son hembras normales y el resto son hembras revertidas se utilizarán los marcadores indicados en las siguientes secciones para su correcta identificación. Una vez identificadas las hembras revertidas, se cruzarán con machos normales, lo que permitirá la obtención de una descendencia con un 25% de machos YY, los que serán igualmente identificados por estos métodos.

Identificación de la vitelogenina

La vitelogenina es una lipoglicocarotenofosfoproteína que se presenta únicamente en las hembras iniciando la etapa de pubertad en las especies ovíparas. Esta molécula posteriormente se convierte en el componente principal del vitelo presente en el ovocito, por lo cual resulta un marcador sumamente útil para la identificación de hembras (Arukwe y Goksøyr, 2003). La vitelogenina se produce en el hígado durante la fase de crecimiento secundario del ovocito (vitelogénesis), estimulada por el estradiol liberado por las células del folículo ovárico (Lubzens et al., 2010). Considerando estas características se realizará la purificación de la vitelogenina mediante técnicas cromatográficas, aprovechando su tamaño molecular (>300 kDa) y características bioquímicas (presencia de sacáridos, lípidos y grupos fosfato). Una vez aislada se procederá a la producción de anticuerpos específicos, mediante inmunización de conejos, los cuales serán útiles en la identificación de hembras durante los tratamientos empleando inmunoensayos enzimáticos (Mendoza et al., 2012). Debido a que el gen se encuentra presente en ambos sexos, se espera la expresión de la vitelogenina en las hembras obtenidas durante la feminización del cíclido joya.

Aromatasa

La citocromo P450 aromatasa (*P450aro*), también conocida comúnmente como aromatasa, es una enzima esteroideogénica implicada en la diferenciación sexual en vertebrados cuyo papel primordial es catalizar la conversión de andrógenos a estrógenos (Piferrer y Blázquez, 2005; Guiguen et al., 2010). En tetrápodos, incluyendo mamíferos, la aromatasa es codificada por un único gen (*cyp19*) con diversos promotores tejido-específicos (Simpson et al., 1994). Sin embargo, en teleósteos se han reportado dos isoformas, nombradas *cyp19a1a* y *cyp19a1b*, cuya presencia se debe a un evento de duplicación genómica (Guiguen et al., 2010). Ambas isoformas tienen afinidad a sustratos androgénicos, generalmente testosterona, aunque difieren en su secuencia y expresión, siendo la *cyp19a1a* activa predominantemente en gónadas, mientras que *cyp19a1b* se expresa preferentemente en el cerebro (Piferrer y Blázquez, 2005). La actividad enzimática de la aromatasa se ve afectada de manera importante por la temperatura, lo que explica que algunas especies tengan una influencia ambiental en el proceso de determinación y diferenciación sexual. Además, en especies hermafroditas secuenciales, se ha encontrado que la aromatasa participa en la remodelación de las gónadas durante la transición sexual (Sunobe et al., 2005). La inhibición de esta enzima por diversas sustancias químicas como el fradazol también influye en el proceso de reversión sexual en algunas especies de peces (Ankley et al., 2002).

Se ha determinado que la presencia de la aromatasa en gónadas puede estar influenciada por el genotipo sexual (Kotula-Balak et al., 2008) y que los niveles de expresión difieren en machos y hembras desde el inicio del periodo de diferenciación sexual (Kitano et al., 1999), por lo cual su expresión será de gran utilidad para la identificación de machos YY. Bajo esta premisa, se evaluará el éxito en los experimentos de masculinización y feminización, mediante el análisis de la expresión genética de la aromatasa mediante PCR en tiempo real, así como por su actividad enzimática al cuantificar los niveles de estradiol producido durante su exposición a andrógenos, utilizando un inmunoensayo (ELISA).

Expresión de genes sexuales específicos

Debido a que el periodo de diferenciación sexual es específico para cada especie, y la ontogenia de la expresión genética es particular y muy diversa (Raghuvver et al., 2005), se han realizado varios estudios para evaluar los niveles de expresión de distintos genes durante este periodo (Scholz et al., 2003; Kotula-Balak et al., 2008; Rasheeda et al., 2010). A este respecto, los genes maestros determinantes del sexo y aquellos que se encuentran arriba en el control de este proceso ontogenético son más variables desde un punto de vista evolutivo y, además de la importancia científica que revisten, su búsqueda tiene considerables implicaciones económicas en especies comerciales. De aquí que resulte importante evaluar la expresión de genes cuya expresión sea dependiente del sexo, tales como los análogos al gen *SRY* en mamíferos cuya expresión es específica de machos durante el periodo de desarrollo gonadal (Matsuda et al., 2002).

Para la verificación de los genotipos sexuales durante las fases de reversión, así como de la descendencia del cíclido joya se han venido midiendo marcadores moleculares específicos de machos, hembras y de cromosomas sexuales (Tabla 2) mediante el análisis de su expresión genética utilizando PCR en tiempo real y PCR punto final

Machos	Hembras	Cromosomas sexuales	Gen de referencia
Gen <i>DMRT1</i>	Gen <i>FIGLA</i>	Gen <i>Dax1 - ChrX</i>	Gen <i>18S ribosomal</i>
Gen <i>AMH</i>	Gen <i>DAX1A</i>	Gen <i>DMY - ChrY</i>	
Gen <i>CYP11B2</i>	Gen <i>CTNNB1B</i>		
Gen <i>WNT4B</i>	Gen <i>FOXL2A</i>		
	Gen <i>WNT4A</i>		

Tabla 2. Marcadores genéticos candidatos para evaluar la intersexualidad y reversión sexual en el cíclido joya.

Los patrones de expresión de los genes *Dmrt1*, *Cyp11b2*, *Amh* y *Wnt4b* se postulan aquí como candidatos para la evaluación de la diferenciación sexual del cíclido joya macho, por haberse reportado así en otras especies de peces (Ijiri et al., 2008; Nicol et al., 2012; Böhne et al., 2013; Böhne et al., 2014; Heule et al., 2014; Liu et al., 2015).

El primer gen propuesto, *Dmrt1*, es un factor de transcripción el cual se ha estudiado en la especie trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), especie en la que se registró la expresión de dicho gen durante la diferenciación testicular, más no en la de los ovarios en hembras. Durante la misma investigación, la expresión de *Dmrt1* incluso se mostró en descenso al aplicar tratamiento con estrógenos a los peces, confirmando así su papel en la diferenciación testicular de esta especie (Marchand et al., 2000).

La importancia de *Cyp11b2* dentro del desarrollo sexual de machos reside principalmente en el papel de su producto, la 11-hidroxilasa, que actúa en la síntesis de un potente andrógeno, la 11-cetotestosterona (Ijiri et al., 2008).

Como en el caso de *Dmrt1*, Böhne et al., (2013; 2014), encontraron una sobreexpresión de *Cyp11b2* en testis, comparada con la expresión mínima en ovarios de los cíclidos *Astatotilapia burtoni*, *Ophthalmotilapia ventralis*, *Julidochromis ornatus*, *N. pulcher* y *Eretmodus cyanostictus*, postulándolo de igual manera como un marcador de la diferenciación sexual de machos.

El gen *Amh*, cuyo producto es la hormona anti-mülleriana, es un gen involucrado en la diferenciación sexual de machos caracterizado por su papel en mamíferos donde actúa en la regresión de los conductos de Müller (estructura fisiológica de las hembras) resultando en un fenotipo de macho (Rey et al., 2003). Liu et al., (2015) confirman de igual manera la sobreexpresión en testis de *Amh* en la especie *Thalassoma bifasciatum*.

Wnt4b, el último de los genes propuestos, es conocido por corresponder a una molécula de señalización que se ve involucrada en la cascada de determinación del sexo femenino. Sin embargo, *Wnt4b* es propuesto aquí como posible marcador del desarrollo sexual de machos ya que se considera relevante el hallazgo de una aparente subfuncionalización de ésta molécula en los 5 cíclidos anteriormente mencionados, *Astatotilapia burtoni*, *O. ventralis*, *J. ornatus*, *N. pulcher* y *E. cyanostictus* (Böhne et al., 2013; Böhne et al., 2014), donde se determinó con análisis de expresión que está involucrado en el desarrollo de testis. Además, en otro estudio similar ya ha sido propuesto como posible gen involucrado en el desarrollo sexual de machos en *Astatotilapia burtoni* (Heule et al., 2014).

Los marcadores genéticos seleccionados para hembras son: *FiglA*, *Foxl2A*, *Ctnnb1B*, *Dax1A* y *Wnt4A*. En cuanto a sus actividades, la mayoría de estos se encuentran involucrados en diferentes rutas del desarrollo gonadal, como se describe a continuación.

FiglA, es un factor de transcripción conocido como factor alfa en la línea germinal, y es considerado como un marcador sexual dimórfico en gónadas por ser un regulador específico de ovocitos y de la foliculogénesis. Actúa positivamente sobre la expresión de genes de las proteínas de la zona pelúcida, capa externa que cubre el ovocito, y además, activa la expresión de genes importantes en el desarrollo temprano de los ovocitos (Miyake et al., 2012). Se ha observado su actividad de factor transcripcional en el desarrollo gonadal de hembras de diferentes especies como medaka (*Oryzias latipes*), pez cebra (*Danio rerio*) y en mamíferos.

Para el gen *Foxl2A*, Böhne et al., (2013) determinaron que este gen presenta altos niveles de expresión en hembras y por su parte, Shao et al., (2010) cita algunos autores cuyos resultados muestran que este gen es un regulador en las rutas de determinación sexual para la diferenciación del ovario, tanto en mamíferos como en peces, mediante la activación de la expresión de la aromatasa (*Cyp19a1a*), involucrada en la producción de estrógenos. Es además uno de los genes más estudiados que ha demostrado una relación con el sexo femenino en diferentes especies de vertebrados (Wang et al., 2004).

Wnt4A, presenta una actividad muy particular, ya que forma parte de la vía de señalización de Wnt/ β -catenina, involucrada en la pluripotencialidad de la célula y la decisión de su destino celular, es decir su diferenciación (Cell Signaling Technology 2016), siendo *Wnt4* la principal proteína que regula este proceso (Nicol et al., 2012). Se ha demostrado que *Wnt4* se encuentra presente en gónadas tanto de macho como de hembra en etapas tempranas del desarrollo de las mismas, y sumados a los ensayos de qPCR realizados por Böhne et al., (2013) podemos definir que la variante presente en gónadas de hembras es la A. Aunque no tiene una función directa su vía de señalización es importante para el desarrollo gonadal de hembras.

Ctnnb1B codifica para la proteína Catenina B o beta, la cual forma parte de un complejo de activación de la transcripción de genes, vía *Wnt* (Clevers y Nusse, 2012). Es debido a su participación en la vía Wnt/ β -catenina que se le considera importante en el desarrollo gonadal, ya que algunos de los genes activados por esta vía se encuentran involucrados en dicha función (Jeays-Ward et al., 2004). Tomando en cuenta los ensayos de Böhne et al., (2013), donde las gónadas de las especies estudiadas presentaron altos niveles de expresión, especialmente aquellas de hembra, se consideró este gen como candidato para el proyecto.

El gen que codifica para un receptor nuclear hormonal es *Dax1a* que, en estudios de expresión realizados por Wang et al., (2002) ha demostrado estar elevado en las gónadas de hembras. Es considerado como determinante del sexo femenino en mamíferos y salmón, con base en lo reportado por Li (2010), y esto debido a que se encarga de regular la esteroidogénesis gonadal, específicamente la producción de estradiol, siendo esta una hormona esteroidea sexual femenina.

Finalmente, el gen marcador de cromosoma sexual hembra es el ya descrito *Dax1*, gen que está involucrado en la determinación sexual en mamíferos y posiblemente en vertebrados inferiores como el salmón, hecho que concuerda con lo que ocurre en mamíferos ya que este gen es un antagonista de *SRY* (Heule et al.,

2014). Además, este gen está presente en muchos peces hembra, incluidos el pez cebra, bacalao del Atlántico, carpa dorada y la tilapia (Shirak et al., 2006; Haugen et al., 2012).

Para el caso del cromosoma sexual de macho se han descrito varios genes equivalentes al *SRY* y de los más cercanos filogenéticamente a los cíclidos está el reportado para el pez vertebrado medaka. A pesar de su distancia genética con *Hemichromis*, *DMY* parece ser uno de los únicos genes específicos de sexo reportados. *DMY* es un gen master presente en medaka y surgió por una duplicación del gen *DMRT1*, el cual también tiene un rol en la diferenciación sexual (Matsuda et al., 2002; Nanda et al., 2002; Matsuda et al., 2003). Dicho gen ha sido descrito en *O. curvinotus* y *Oryzias latipes*, lo cual sugiere que este gen pudiera encontrarse en el cíclido joya.

Cariotipo

La determinación sexual es el mecanismo por el cual se define el sexo fenotípico de un organismo. En especies gonocóricas, como los cíclidos, se han reconocido dos principales mecanismos de determinación sexual: genéticos (genetic sex determination, GSD) y ambientales (environmental sex determination, ESD). A diferencia de las especies con ESD, en especies con GSD el sexo es determinado al momento de la fertilización, lo cual usualmente se refleja en la presencia de cromosomas sexuales, como los XY (Wootton y Smith, 2014). La forma de estos cromosomas y su comportamiento durante la meiosis puede ser utilizado para determinar el sexo heterogamético (i.e. machos en el caso de XY), debido a que sus cromosomas muestran un apareamiento anormal por las diferencias en su contenido genético (Carrasco et al., 1999).

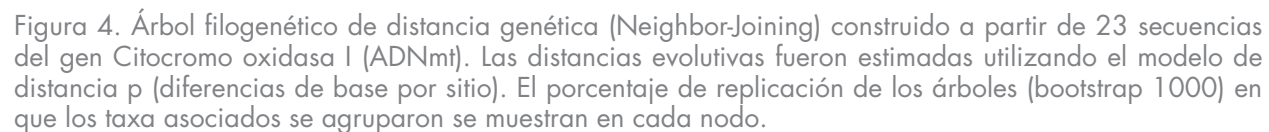
A pesar de que el cariotipo es conocido para una pequeña proporción de peces, cuando se ha estudiado específicamente la presencia de cromosomas sexuales estos se han encontrado en un 50% de los casos (Devlin y Nagahama, 2002; Wootton y Smith, 2014). Con la finalidad de poder corroborar y respaldar los resultados moleculares y bioquímicos, se ha iniciado un análisis citogenético para la elaboración del cariotipo de la especie invasora. Actualmente ya se han logrado visualizar los cromosomas, no obstante, hasta el momento uno de los grandes retos es el volumen de la muestra de sangre debido al diminuto tamaño de los individuos.

Estudio de mesocosmos

Debido a la posibilidad de que se incremente la agresividad de los cíclidos joya YY, se correrá una serie de bioensayos para evaluar el comportamiento agonístico de estos animales y las especies nativas del mismo hábitat (*Herichthys minckleyi* y *Cyprinodon bifasciatus*). Se tomarán como base los bioensayos propuestos por Lorenz et al., (2011), que implican la utilización de un ejemplar de la especie nativa en un acuario con un refugio durante 24 horas para que se aclimate y se apodere del territorio. Posteriormente se colocará un vidrio opaco en el centro del acuario y será introducido un espécimen de cíclido joya, de tamaño similar, en el lado opuesto. Al "invasor" también se le proporcionará un territorio temporal después de la introducción al acuario para reducir el estrés del manejo. Después de 10 minutos se retirará el vidrio divisor y todas las interacciones serán videograbadas durante 10 minutos, minimizando con esto el efecto del estrés por la presencia de humanos.

Para evaluar si existe un cambio en el comportamiento entre los machos normales y los machos YY, se registrará el número y tipo de comportamientos agresivos exhibidos por los peces, específicamente: 1) acercamientos (el pez moviéndose hacia su oponente con los opérculos branquiales abiertos en señal de reto); 2) movimientos laterales (el pez girando su cuerpo hacia los lados de su oponente ondulando sus aletas); y, 3) persecución/mordeduras (cuando un pez presenta un comportamiento tendiente a lesionar o infringir daños específicos a su oponente). Estos comportamientos serán sumados para obtener el comportamiento total agresivo para cada especie y se podrán realizar con otras especies que coexisten con *H. guttatus* en los hábitats invadidos.

Un aspecto significativo sobre la especie invasora es su verdadera identidad. En efecto, la especie fue reportada como *Hemichromis guttatus* desde 1996 (Contreras-Balderas y Ludlow, 2003), no obstante, por medio del análisis molecular por Barcode se logró elaborar un árbol filogenético (Fig. 4), que ponen en duda esta identidad, ya que de acuerdo al análisis de la secuencia del gen citocromo oxidasa I (COI) la especie se encuentra más cercana a *Hemichromis letourneuxi*. En el árbol de distancia genética se incluyó una secuencia de *H. guttatus* que se encuentra en la base de datos del GenBank, sin embargo, es muy similar a las secuencias de *H. letourneuxi*, por lo que probablemente haya sido una mala identificación, lamentablemente es la única secuencia del COI que está reportada para esta especie. Vale la pena señalar que *H. letourneuxi* es la misma especie que se encuentra introducida en distintos sitios de Florida (Díaz-Ferguson et al., 2014; Schofield et al., 2014) y Austria (Rabitsch et al., 2013).



Afonso LO, Wassermann GJ, Terezinha de Oliveira R (2001) Sex reversal in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using a nonsteroidal aromatase inhibitor. *J Exp Zool* 290:177–181.

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

Ankley GT, Kahl MD, Jensen KM, et al (2002) Evaluation of the aromatase inhibitor fadrozole in a short-term reproduction assay with the fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Toxicol Sci* 67:121–130.

Arukwe A, Goksøyr A (2003) Eggshell and egg yolk proteins in fish: hepatic proteins for the next generation: oogenetic, population, and evolutionary implications of endocrine disruption. *Comp Hepatol* 2:4.

Bartley D (2000) Responsible ornamental fisheries. *FAO Aquac News* 24:10–14.

Beardmore J a., Mair GC, Lewis RI (2001) Monosex male production in finfish as exemplified by tilapia: applications, problems, and prospects. *Aquaculture* 197:283–301.

Bergstedt RA, Twohey MB (2007) Research to support sterile-male-release and genetic alteration techniques for sea lampre control. *J Great Lakes Res* 33:48–69.

Böhne A, Heule C, Boileau N, Salzburger W (2013) Expression and sequence evolution of aromatase *cyp19a1* and other sexual development genes in east african cichlid fishes. *Mol Biol Evol* 30:2268–2285.

Böhne A, Sengstag T, Salzburger W (2014) Comparative transcriptomics in East African cichlids reveals sex- and species-specific expression and new candidates for sex differentiation in fishes. *Genome Biol Evol* 6:2567–2585.

Carrasco L a P, Penman DJ, Bromage N (1999) Evidence for the presence of sex chromosomes in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) from synaptonemal complex analysis of XX, XY and YY genotypes. *Aquaculture* 173:207–218.

Cell Signaling Technology (2016) Wnt/ β -Catenin signaling pathway. <http://www.cellsignal.com/contents/science-pathway-research-stem-cell-markers/wnt-catenin-signaling-pathway/pathways-wnt>. accesado 6 feb 2016

Clevers H, Nusse R (2012) Wnt/ β -catenin signaling and disease. *Cell* 149:1192–205.

Cobo F, Vieira-Lanero R, Rego E, Servia MJ (2010) Temporal trends in non-indigenous freshwater species records during the 20th century: a case study in the Iberian Peninsula. *Biodivers Conserv* 19:3471–3487.

Contreras-Balderas S, Almada-Villela P, Lozano-Vilano L, García-Ramírez ME (2003) Freshwater fish at risk or extinct in México. *Rev Fish Biol Fish* 12:241–251.

Contreras-Balderas S, Ludlow A (2003) *Hemichromis guttatus* Günther, 1862 (Pisces: Cichlidae), nueva introducción en México, en Cuatro Ciénegas, Coahuila. *Vertebr Mex* 12:1–5.

Copp GH, Templeton M, Gozlan RE (2007) Propagule pressure and the invasion risks of non-native freshwater fishes: a case study in England. *J Fish Biol* 71:148–159.

Cotton S, Wedekind C (2007) Control of introduced species using Trojan sex chromosomes. *Trends Ecol Evol* 22:441–443.

D’Cotta H, Fostier A, Guiguen Y, et al (2001) Aromatase plays a key role during normal and temperature-

induced sex differentiation of Tilapia *Oreochromis niloticus*. *Mol Reprod Dev* 59:265–276.

Devlin RH, Nagahama Y (2002) Sex determination and sex differentiation in fish: An overview of genetic, physiological, and environmental influences. *Aquaculture* 208:191–364.

de la Maza-Benignos, M (ed) (2015). Plan de manejo para las especies de peces de Cuatro Ciénegas, Coah. Pronatura Noreste, A.C. 101p.

Díaz-Ferguson E, Herod J, Galvez J, Moyer G (2014) Development of molecular markers for eDNA detection of the invasive African jewelfish (*Hemichromis letourneuxi*): a new tool for monitoring aquatic invasive species in National Wildlife Refuges. *Manag Biol Invasions* 5:121–131.

Dugan LE (2014) Invasion risk and impacts of a popular aquarium trade fish and the implications for policy and conservation management. PhD Dissertation, University of Texas at Austin, 180p.

Fuentes-Silva C, Soto-Zarazúa G, Torres-Pacheco I, Flores-Rangel A (2013) Male tilapia production techniques: a mini-review. *African J Biotechnol* 12:5496–5502.

García-Ramírez ME (2005) Ecología y distribución de peces en áreas selectas del valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. PhD Dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León, 242p.

Guerrero-Estévez S, Moreno-Mendoza N (2010) Sexual determination and differentiation in teleost fish. *Rev Fish Biol Fish* 20:101–121. doi: 10.1007/s11160-009-9123-4

Guiguen Y, Fostier A, Piferrer F, Chang CF (2010) Ovarian aromatase and estrogens: a pivotal role for gonadal sex differentiation and sex change in fish. *Gen Comp Endocrinol* 165:352–366.

Gutierrez JB, Teem JL (2006) A model describing the effect of sex-reversed YY fish in an established wild population: the use of a Trojan Y chromosome to cause extinction of an introduced exotic species. *J Theor Biol* 241:333–341.

Haugen T, Almeida FF, Andersson E, et al (2012) Sex differentiation in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.): morphological and gene expression studies. *Reprod Biol Endocrinol* 10:47.

Hendrickson DA, Marks JC, Moline AB, Dinger EC, Cohen AE (2008). Combining ecological research and conservation: a case study in Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. pp. 127–157 *Aridland Springs in North America Ecology and Conservation*. The University of Arizona Press and The Arizona-Sonora Desert Museum.

Heule C, Göppert C, Salzburger W, Böhne A (2014) Genetics and timing of sex determination in the East African cichlid fish *Astatotilapia burtoni*. *BMC Genet* 15:140.

Hill JE, Cichra CE (2005) Eradication of a reproducing population of convict cichlids, *Cichlasoma nigrofasciatum* (Cichlidae), in North-Central Florida. *Florida Sci* 68:65–74.

Hoddle MS (2004) Restoring balance: using exotic species to control invasive exotic species. *Conserv Biol* 18:38–49.

Holthus P, Gamain N (2007) Del arrecife al minorista. *Conserv Mund* 37:19.

Ijiri S, Kaneko H, Kobayashi T, et al (2008) Sexual dimorphic expression of genes in gonads during early differentiation of a teleost fish, the Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Biol Reprod* 78:333–341.

Ishikawa T, Tachihara K (2014) Introduction history of non-native freshwater fish in Okinawa-jima Island: ornamental aquarium fish pose the greatest risk for future invasions. *Ichthyol Res* 61:17–26.

Jeays-Ward K, Dandonneau M, Swain A (2004) Wnt4 is required for proper male as well as female sexual development. *Dev Biol* 276:431–440.

Kitano T, Takamune K, Kobayashi T, et al (1999) Suppression of P450 aromatase gene expression in sex-re-

versed males produced by rearing genetically female larvae at a high water temperature during a period of sex differentiation in the Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J Mol Endocrinol* 23:167–176.

Kotula-Balak M, Zielińska R, Glogowski J, et al (2008) Aromatase expression in testes of XY, YY, and XX rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comp Biochem Physiol - A Mol Integr Physiol* 149:188–196.

Li J (2010) Sex determination in the genus *Salmo*. Simon Fraser University

Lintermans M (2004) Human-assisted dispersal of alien freshwater fish in Australia. *New Zeal J Mar Freshw Res* 38:481–501.

Liu H, Lamm MS, Rutherford K, et al (2015) Large-scale transcriptome sequencing reveals novel expression patterns for key sex-related genes in a sex-changing fish. *Biol Sex Differ* 6:26.

Lorenz OT, O’Connell MT, Schofield PJ (2011) Aggressive interactions between the invasive Rio Grande cichlid (*Herichthys cyanoguttatus*) and native bluegill (*Lepomis macrochirus*), with notes on redspotted sunfish (*Lepomis miniatus*). *J Ethol* 29:39–46.

Low T (2011) Australia: invasions. En: Simberloff D, Rejmánek M (eds) *Encyclopedia of biological invasions*. University of California Press, pp 36–42

Lubzens E, Young G, Bobe J, Cerda J (2010) Oogenesis in teleosts: How fish eggs are formed. *Gen Comp Endocrinol* 165:367–389.

Marchand O, Govoroun M, D’Cotta H, et al (2000) DMRT1 expression during gonadal differentiation and spermatogenesis in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Biochim Biophys Acta* 1493:180–187.

Marks JC, Williamson C, Hendrickson DA (2011) Coupling stable isotope studies with food web manipulations to predict the effects of exotic fish: lessons from Cuatro Ciénegas, Mexico. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 21:317–323.

Matsuda M, Nagahama Y, Kobayashi T, et al (2003) The sex determining gene of medaka: a Y-specific DM domain gene (DMY) is required for male development. *Fish Physiol Biochem* 28:135–139.

Matsuda M, Nagahama Y, Shinomiya A, et al (2002) DMY is a Y-specific DM-domain gene required for male development in the medaka fish. *Nature* 417:559–563.

McDowall RM (2004) Shoot first, and then ask questions: a look at aquarium fish imports and invasiveness in New Zealand. *New Zeal J Mar Freshw Res* 38:503–510.

Mendoza R, Contreras S, Koleff P, Álvarez P (2010) Aquarium trade as a pathway for the introduction of invasive species into Mexico. En: De Carlo F, Bassano A (eds) *Freshwater ecosystems and aquaculture research*, 1ª edn. Nova Science Publishers, Inc, New York, pp 209–224

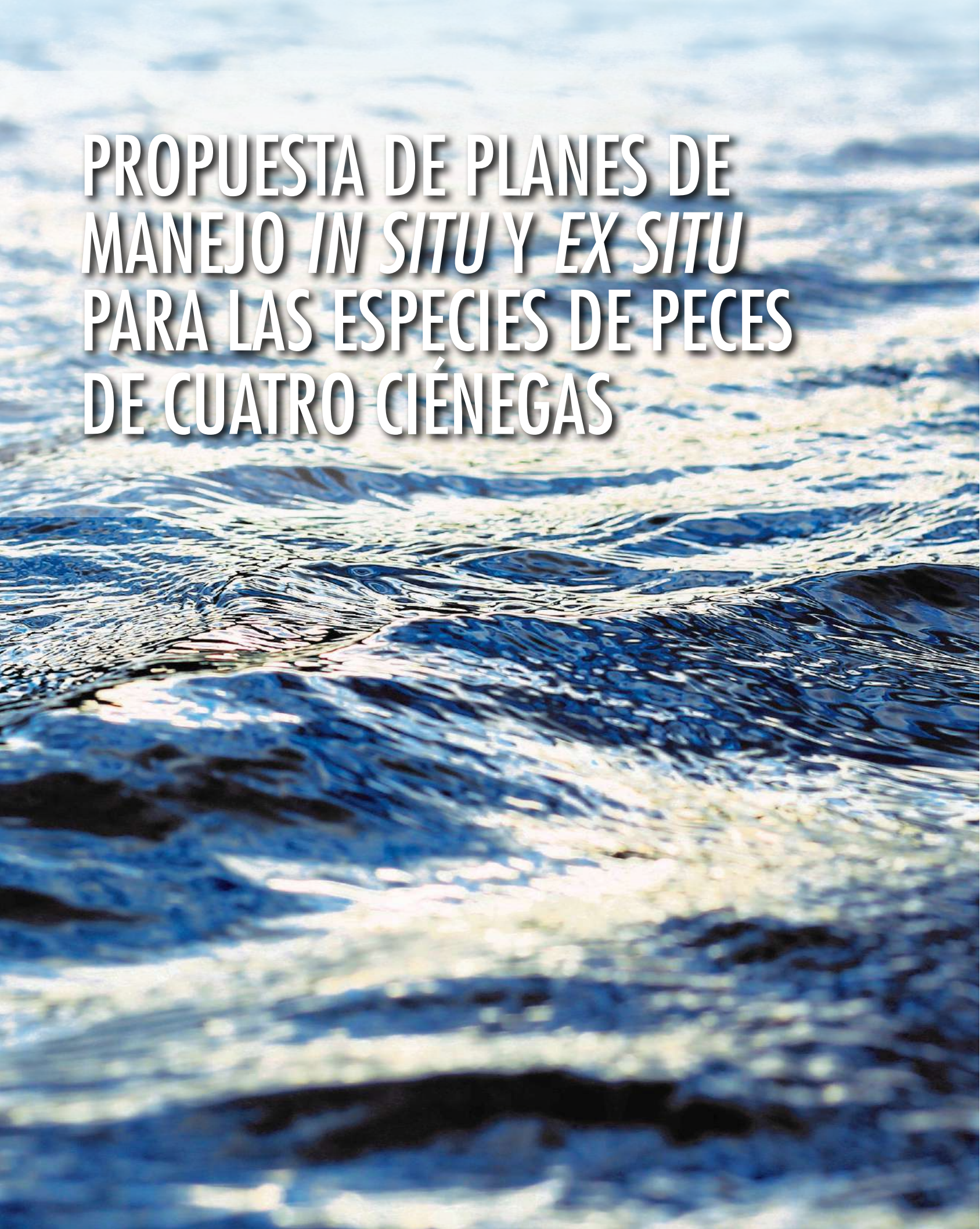
Mendoza R, Ramírez-Martínez C, Aguilera C, Meave del Castillo ME (2014) Principales vías de introducción de las especies exóticas. En: Mendoza R, Koleff P (eds) *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp 43–73

Mendoza R, Santillán O, Revol A, et al (2012) Alligator gar (*Atractosteus spatula*, Lacépède 1803) vitellogenin: purification, characterization and establishment of an enzyme-linked immunosorbent assay. *Aquac Res* 43:649–661.

Minckley WL, Lytle GL (1969) *Notropis xanthicara*, a new cyprinid fish from the Cuatro Ciénegas basin, north-central Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 82(40):491-501.

Minckley WL (1977) Endemic fishes of the Cuatro Cienegas basin, Coahuila, Mexico. Pp. 383-404, En Roland H, Riskind, W, Riskind D (eds.) *Symposium on the Biological Resources of the Chihuahuan Desert Region, United States and Mexico*. U.S. National Park Service Transactions and Proceedings Series 3. Government Printing Office, Washington, District of Columbia USA.

- Miyake Y, Sakai Y, Kuniyoshi H (2012) Molecular cloning and expression profile of sex-specific genes, Figla and Dmrt1, in the protogynous hermaphroditic fish, *Halichoeres poecilopterus*. *Zoolog Sci* 29:690–701.
- Myers JH, Simberloff D, Kuris AM, Carey JR (2000) Eradication revisited: dealing with exotic species. *Trends Ecol Evol* 15:316–320.
- Nanda I, Kondo M, Hornung U, et al (2002) A duplicated copy of DMRT1 in the sex-determining region of the Y chromosome of the medaka, *Oryzias latipes*. *Proc Natl Acad Sci U S A* 99:11778–11783.
- Nicol B, Guerin A, Fostier A, Guiguen Y (2012) Ovary-predominant wnt4 expression during gonadal differentiation is not conserved in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Mol Reprod Dev* 79:51–63.
- Padilla DK, Williams SL (2004) Beyond ballast water: aquarium and ornamental trades as sources of invasive species in aquatic ecosystems. *Front Ecol Environ* 2:131–138.
- Pandian TJ, Sheela SG (1995) Hormonal induction of sex reversal in fish. *Aquaculture* 138:1–22.
- Piferrer F, Blázquez M (2005) Aromatase distribution and regulation in fish. *Fish Physiol Biochem* 31:215–226.
- Rabitsch W, Milasowszky N, Nehring S, et al (2013) The times are changing: temporal shifts in patterns of fish invasions in central European fresh waters. *J Fish Biol* 82:17–33.
- Raghuveer K, Garhwal R, Wang DS, et al (2005) Effect of methyl testosterone- and ethynyl estradiol-induced sex differentiation on catfish, *Clarias gariepinus*: expression profiles of DMRT1, cytochrome P450aromatases and 3 β -hydroxysteroid dehydrogenase. *Fish Physiol Biochem* 31:143–147.
- Rasheeda MK, Sridevi P, Senthilkumaran B (2010) Cytochrome P450 aromatases: impact on gonadal development, recrudescence and effect of hCG in the catfish, *Clarias gariepinus*. *Gen Comp Endocrinol* 167:234–245.
- Rey R, Lukas-Croisier C, Lasala C, Bedecarrás P (2003) AMH/MIS: What we know already about the gene, the protein and its regulation. *Mol Cell Endocrinol* 211:21–31.
- Ruiz GM, Carlton JT, Grosholz ED, Hines AH (1997) Global invasions of marine and estuarine habitats by non-indigenous species: mechanisms, extent, and consequences. *Am Zool* 37:621–632.
- Schofield PJ, Slone DH, Gregoire DR, Loftus WF (2014) Effects of a non-native cichlid fish (African jewelfish, *Hemichromis letourneuxi* Sauvage 1880) on a simulated Everglades aquatic community. *Hydrobiologia* 722:171–182.
- Scholz S, Rösler S, Schäffer M, et al (2003) Hormonal induction and stability of monosex populations in the medaka (*Oryzias latipes*): expression of sex-specific marker genes. *Biol Reprod* 69:673–678.
- Sebire M, Allen Y, Bersuder P, Katsiadaki I (2008) The model anti-androgen flutamide suppresses the expression of typical male stickleback reproductive behaviour. *Aquat Toxicol* 90:37–47.
- Shao CW, Chen SL, Scheuring CF, et al (2010) Construction of Two BAC Libraries from Half-Smooth Tongue Sole *Cynoglossus semilaevis* and Identification of Clones Containing Candidate Sex-Determination Genes. *Mar Biotechnol* 12:558–568.
- Shirak A, Seroussi E, Cnaani A, et al (2006) Amh and Dmrt2 genes map to tilapia (*Oreochromis* spp.) linkage group 23 within quantitative trait locus regions for sex determination. *Genetics* 174:1573–1581.
- Simpson ER, Mahendroo MS, Means GD, et al (1994) Aromatase cytochrome P450, the enzyme responsible for estrogen biosynthesis. *Endocr Rev* 15:342–355.
- Snow A, Andow D, Gepts P, et al (2005) Genetically engineered organisms and the environment: current status and recommendations. *Ecol Appl* 15:377–404.
- Sunobe T, Nakamura M, Kobayashi Y, et al (2005) Aromatase immunoreactivity and the role of enzymes in steroid pathways for inducing sex change in the hermaphrodite gobiid fish *Trimma okinawae*. *Comp Biochem Physiol - A Mol Integr Physiol* 141:54–59.
- Tlusty M (2004) Ornamental aquaculture. Small scale of production does not automatically mean small scale of impact. *OFI J* 46:6–9.
- Twohey MB, Heinrich JW, Seelye JG, et al (2003) The sterile-male-release technique in Great Lakes sea lamprey management. *J Great Lakes Res* 29:410–423.
- Vidal-López J, Álvarez-González C, Contreras-Sánchez W, Hernández-Vidal U (2009) Masculinización del cíclido nativo Tenhuayaca, *Petenia splendida* (Günther, 1862), usando nauplios de Artemia como vehículo del esteroide 17 α -metilttestosterona. *Hidrobiológica* 19:211–216.
- Wang DS, Kobayashi T, Senthilkumaran B, et al (2002) Molecular cloning of DAX1 and SHP cDNAs and their expression patterns in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Biochem Biophys Res Commun* 297:632–640.
- Wang DS, Kobayashi T, Zhou LY, Nagahama Y (2004) Molecular cloning and gene expression of Foxl2 in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Biochem Biophys Res Commun* 320:83–89.
- Whittington RJ, Chong R (2007) Global trade in ornamental fish from an Australian perspective: the case for revised import risk analysis and management strategies. *Prev Vet Med* 81:92–116. doi: 10.1016/j.prevetmed.2007.04.007
- Wolter C, Röhr F (2010) Distribution history of non-native freshwater fish species in Germany: how invasive are they? *J Appl Ichthyol* 26:19–27.
- Wootton R, Smith C (2014) Reproductive biology of teleost fishes. John Wiley & Sons, Ltd.



PROPUESTA DE PLANES DE MANEJO *IN SITU* Y *EX SITU* PARA LAS ESPECIES DE PECES DE CUATRO CIÉNEGAS

Mauricio De la Maza Benignos

Pronatura Noreste, A.C.

Consideraciones generales

Se considera que, dadas las modificaciones que ha sufrido el valle en las últimas décadas, y para poder cumplir con la meta de conservar la biodiversidad endémica del valle de Cuatro Ciénegas, se requiere de la articulación de programas de manejo específicos, tanto *in situ* como *ex situ*; fundados en la colaboración intersectorial, que consideren como base el monitoreo de las principales amenazas, tanto del orden natural como antropogénicas.

Un elemento fundamental para poder implementar cualquier plan de conservación para las especies de peces de Cuatro Ciénegas consiste en identificar las líneas base para el monitoreo de largo plazo de las variables demográficas, pero también de la genética poblacional (P. ej. datos de genética de conservación tales como tamaño efectivo de población), así como relativas a las variaciones ambientales naturales (P. ej. identificar a través de herramientas de modelamiento los puntos de inflexión) tanto relativas al hábitat como a cada una de las especies prioritarias.

Especies, unidades poblacionales y Unidades Evolutivamente Significativas (ESU)

Se deberán desarrollar muestreos comparables iniciando con el año 0 (comenzando idealmente durante el 2016); a replicarse los años 2019 y 2022 con el propósito de obtener métricas múltiples de variación genética y tamaño efectivo de población (N_e), las cuales arrojarían estimaciones, así como detectarían posibles cambios (ya sean positivos o negativos) en la genética de las poblaciones a conservar.

Durante los primeros dos muestreos la base debería ser de al menos ($N=50-100$). Sin embargo, en el futuro (mediano y largo plazo) sería recomendable determinar tendencias a partir de muestras de ($N=100-200$).

Parámetros genéticos que se deben monitorear

1. Se sugiere determinar la estructura genética y filogeográfica para las especies que faltan; así como también estimar las siguientes métricas a partir de los muestreos iniciales de variación genética en ADN mitocondrial y microsatelital: (a) número de haplotipos/alelos para cada una de las especies; (b) riqueza haplotípica/alelar; y (c) diversidad haplotípica/genética a partir de ADNmt y marcadores microsatelitales respectivamente.
2. Estimar al menos dos medidas específicas de tamaño efectivo de población, (N_e), las cuales cabe mencionar no representa el tamaño censal de la población, sino una medida de riesgo de extinción; así como realizar una estimación inicial del tamaño efectivo de población inbridada (N_eI).
3. A partir del segundo muestreo genético, el cual debería representar al menos una generación posterior a la muestra inicial, se determinará la Varianza en el tamaño efectivo de la población (N_eV); que es una medida crítica para evaluar el riesgo de extinción en especies amenazadas; pero que requiere de dos muestras en al menos una generación aparte de separación.
4. Dar continuidad al monitoreo a partir del tercer año, y al menos cada cinco años.

Conservación y manejo *in situ* de las especies prioritarias que se encuentran en mayor riesgo

Habilitación y manejo de refugios

El programa de manejo *in situ* para las especies más vulnerables se deberá enfocar, de forma adicional a los programas de manejo y restauración de los cuerpos de agua en lo particular, en el desarrollo de Planes de Manejo para por lo menos las siguientes especies: *Xiphophorus gordonii*; *Gambusia longispinis*; *Cyprinella xanthicara*; *Etheostoma lugoi*; *Etheostoma segrex*; *Herichthys minckleyi* y las dos especies de *Cyprinodon* spp.

La meta general de dichos programas debe de ser la de conservar la diversidad específica de peces, restaurando la hidrología de los sistemas; los hábitat en lo particular; así como atender con criterios de *genética de la conservación*, en estado libre, y de forma natural, aquellas unidades poblacionales y/o *Unidades Evolutivamente Significativas* (ESU), independientemente de su tipo, caracterización o correspondencia taxonómica formal, que requieren de un manejo y atención especial; con un énfasis en preservar la diversidad genética. Los objetivos específicos, metas e indicadores a desarrollarse incluyen los siguientes aspectos:

Mapeo y monitoreo de especies prioritarias, identificación y manejo de ESU

1. Identificación, mapeo y valoración de poblaciones de las especies prioritarias dentro del Valle; así como realizar un monitoreo permanente basado en determinaciones de presencia/ausencia de las mismas en el tiempo y el espacio.
2. Protección y rescate de las principales ESU, a través de la **habilitación y/o construcción de refugios** ubicados estratégicamente, que estén asociados a los cuerpos de agua naturales; asegurando las condiciones físico químicas, compositivas y estructurales ideales, incluyendo la exclusión en los refugios de especies exóticas y depredadores; garantizando así los procesos naturales de reclutamiento de nuevas generaciones genéticamente variables hacia el sistema natural abierto.
3. Caracterizar la biología, etología y genética de las especies prioritarias, a través de la experimentación bajo condiciones controladas y la investigación científica para determinar la historia natural, fenológica y etológica de las especies prioritarias.
4. Crear y optimizar infraestructura y equipar las diferentes áreas para atender cualquier contingencia relacionada con eventos estocásticos que afecten a las ESU y/o su hábitat.
5. Promover la participación de la población residente en el área, en los procesos de gestión y manejo de la misma, en colaboración con las personas que designe el municipio, el estado y la Federación, buscando siempre su involucramiento para elevar su nivel de vida, económico, social y cultural.

Control de especies invasoras

Programa de erradicación

1. Incrementar la eficiencia de los programas de erradicación y control de especies exóticas invasoras. En concreto:
 - a. En el sistema Mezquites continuar con los protocolos de trampeo, así como continuar con el registro puntual del número de ejemplares colectados.
 - b. En los sistemas Teclitas y Churince, sustituir el método de trampeo actualmente utilizado por artes de pesca más efectivas tales como el uso de chinchorros y redes agalleras para la captura de tilapias y cíclidos joya respectivamente. Lo anterior es viable si se utiliza una luz de malla adecuada que permita el paso a través de la misma a las especies de menor talla y a los macroinvertebrados en el caso de Teclitas; al tiempo que en el caso del Churince se inicie un programa de rescate y conservación *ex situ* para las especies nativas que aún sobreviven en el sitio.
2. Rescate, producción y repoblación de especies prioritarias altamente vulnerables en los sistemas Churince y Garabatal.
 - a. Desarrollar e implementar un programa de restauración de hábitats, con énfasis en los aspectos hidrológicos; y la repoblación de los sistemas con ejemplares nativos producidos *ex situ*.
 - b. Capacitar a los ejidatarios y personal que estará involucrado en los proyectos de restauración y repoblación.
3. Realizar en sitios selectos una evaluación integral de la calidad del hábitat, incluyendo la batimetría

de los cuerpos de agua, los parámetros fisicoquímicos, así como la caracterización estructural y de composición de plantas vasculares, macro algas, macroinvertebrados y plancton.

- a. Utilizando Modelos de Elevación digital identificar los umbrales de riesgo asociados a la desecación.
- b. Integrar los monitoreos hidrológicos que se llevan a cabo por parte de otras dependencias con los planes de manejo de las especies prioritarias.

Programa experimental para el desarrollo de machos YY de cíclidos joya

Conforme avanza la dispersión de esta especie, y dada la imposibilidad práctica de su extracción total, especialmente cuando se trata de los sistemas más complejos como el río Mezquites; se torna importante desarrollar tecnologías que permitan abordar la problemática de forma innovadora y efectiva. Por ello resulta fundamental continuar con el desarrollo de esta tecnología que se encuentra en fase experimental por parte de la UANL, para que, en un futuro mediano, contar con dicha herramienta para su aplicación a una escala mayor.

Conservación *ex situ* de las especies en mayor riesgo

Con el propósito de asegurar la permanencia de la diversidad íctica de Cuatro Ciénegas, en particular de sus especies endémicas y su genética; es necesario iniciar ya, especialmente en aquellos casos urgentes como El Churince, un programa para la reproducción en cautiverio de las especies y sus ESU que permita mantener, intercambiar y en caso necesario reforzar genéticamente a las poblaciones naturales.

En particular es de suma importancia contar con los siguientes stocks: *Xiphophorus gordonii*; *Etheostoma lugoi*; *Etheostoma segrex*; *Gambusia longispinis* así como rescatar la diversidad de peces asociados al sistema Churince, particularmente *Herichthys minckleyi*; *Cyprinella xanthicara*; *Dionda episcopa*; *Cyprinodon bifasciatus*; y *Micropterus salmoides*.

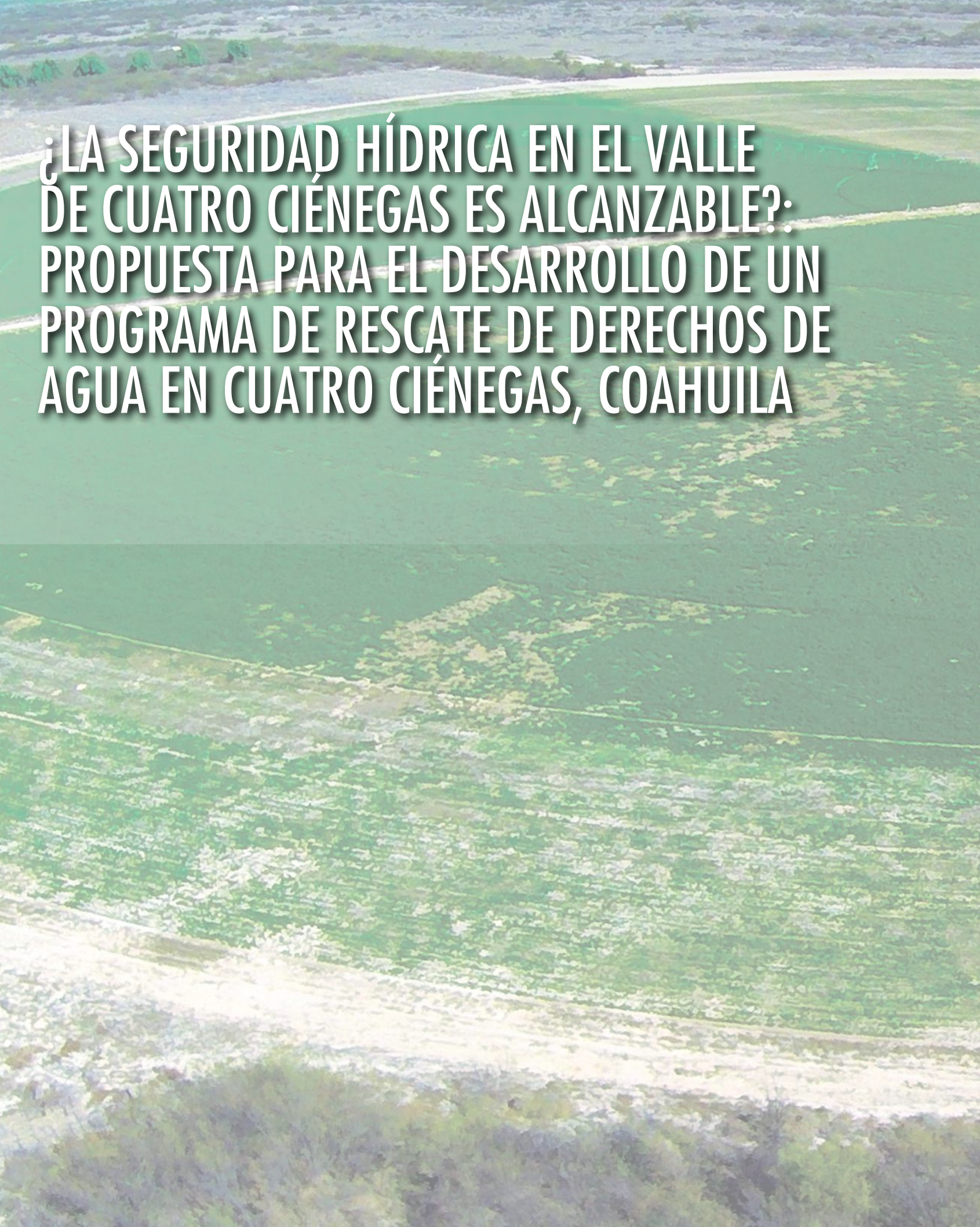
Para ello se deberá establecer un vivero (UMA de conservación) para la conservación, resguardo, experimentación y producción de las especies endémicas del valle de Cuatro Ciénegas con fines de repoblación.

Establecimiento de un vivero para la conservación y producción de especies de peces nativas con propósitos de repoblación

Dada la problemática detectada en la cuenca, la cual ya demuestra el colapso ecológico de algunos de los sistemas más importantes, se torna indispensable comenzar con un programa de rescate y producción de las especies de peces endémicas y sus poblaciones prioritarias. Para ello se debe de montar un vivero con la capacidad instalada para producir con propósitos de rescate, resguardo y reposición/repoblación de los cuerpos de agua que han o están sufriendo una pérdida de su diversidad ictiológica las especies de peces prioritarias. Las especies a resguardar deberán ser, en primera instancia, *X. gordonii* (en vivero y en refugio en estado libre); *G. longispinis* (en vivero y en refugio en estado libre); *Etheostoma lugoi* (en vivero); *Etheostoma segrex* (en vivero); *H. minckleyi* del Churince (en vivero); *Dionda episcopa* del Churince (en vivero). Adicionalmente, se requiere producir un volumen importante de lobina (*Micropterus salmoides*) pura de Cuatro Ciénegas para poder afrontar la problemática del cíclido joya en el sistema Churince.

En una segunda fase sería deseable resguardar poblaciones de las especies *Lucania interioris* (en vivero); *Cyprinella xanthicara* (en vivero) y *Etheostoma segrex* (en vivero).

El vivero deberá establecerse dentro del mismo Valle para evitar la entrada de patógenos, parásitos y/u otros organismos contaminantes que pudieran entrar de fuera. La operación deberá contar con un protocolo muy estricto, pero sencillo y viable, de bioseguridad. Las instalaciones deberán de contar mínimamente con un sistema de trampas de arena en las entradas y salidas del agua para evitar escapes. Los insumos como plancton, alimento (p. ej. *Artemia* sp.), etc., deben provenir del mismo valle.



¿LA SEGURIDAD HÍDRICA EN EL VALLE DE CUATRO CIÉNEGAS ES ALCANZABLE?: PROPUESTA PARA EL DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE RESCATE DE DERECHOS DE AGUA EN CUATRO CIÉNEGAS, COAHUILA

Mauricio De la Maza Benignos

Pronatura Noreste, A.C.

“Somos la porción de la tierra que piensa y que ama, y con la función específica de cuidar de ella.”

Leonardo Boff

En el presente ensayo postulo que a pesar de grandes retos, México cuenta con el marco normativo, nacional y supranacional, suficiente para fundamentar el *derecho natural y positivo*¹, que en su calidad de garantía individual, el Estado otorga a toda persona, bajo el precepto constitucional que reconoce el derecho a un medio ambiente sano; pues dicho precepto acredita las aguas nacionales, en su función más trascendental, como prestadoras de bienes y servicios ambientales que son indispensables para el desarrollo sustentable de la Nación.

De acuerdo a la *Ley de Aguas Nacionales (LAN)* de 1992, reglamentaria del artículo 27 constitucional, el *uso Ambiental es el «caudal o volumen mínimo necesario en cuerpos receptores, incluyendo corrientes de diversa índole o embalses, o el caudal mínimo de descarga natural de un acuífero, que debe conservarse para proteger las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema»*; de ahí que resulta indefectible darle certeza jurídica al aprovechamiento de los volúmenes mínimos con fines de conservación ecológica, necesarios para mantener con buena salud a los ecosistemas dulceacuícolas nacionales.

El precedente que en Cuatro Ciénegas, Coahuila marcó el acto que conllevó a la concesión de aguas nacionales para la conservación ecológica, a través del procedimiento de cambio de uso de un volumen, de consuntivo a *no consuntivo*, a la Asociación Civil, *Pronatura Noreste*, allanó el camino para incursionar en terreno fértil hacia el rescate de derechos y reordenamiento de los usos; de manera técnica y jurídicamente fundamentada y motivada, en aras de alcanzar la *seguridad hídrica* y ecológica del valle; pues es hecho indubitable que el *uso ambiental* no trastoca en lo absoluto las condiciones originales y naturales de los cuerpos de agua, ya que su único propósito es mantener las condiciones de los sistemas acuáticos.

Así mismo, postulo que, al menos en principio, las leyes de la materia disponen de los medios suficientes para dar certeza jurídica a la protección de cuerpos de agua con valor ecológico; así como también establecen el marco normativo para otorgar a personas físicas y morales la concesión de aguas nacionales con fines ambientales; pues hoy la adquisición de volúmenes de agua con fines de conservación, se encuentra plenamente justificada de hecho y derecho.

1. La doctrina ética y jurídica de *derecho natural* está formada por los postulados acerca de la justicia que se fundan o determinan en la condición natural del hombre. Estos principios basados en la naturaleza humana buscan materializarse a través del derecho positivo que está formado por las leyes dictadas por el Estado.

El régimen económico mexicano

En México, las normas constitucionales contenidas en los artículos 25, 26, 27 y 28 configuran nuestro régimen económico; que junto con otros principios contenidos en los artículos 1 (prohibición de la discriminación), 3 (derecho a la educación), 4 (equidad y derecho a un medio ambiente sano), 5 (derecho al trabajo), 31 (obligaciones a contribuir con la educación e instrucción cívica), 73 y 74 (facultades y atribuciones del Congreso), 89 (facultades y atribuciones del Presidente), 115, 117 y 118 (Los estados, su forma de gobierno y facultades) y 131 (facultad de la federación para gravar mercancías que se importen o exporten), entre otros; confieren un marco constitucional garante de los derechos fundamentales necesarios para el desarrollo y bienestar de las personas¹.

Así es como nuestra Carta Magna sienta las bases para la existencia de un modelo de Estado garantista, fundado en una concepción mayormente capitalista, aunque con elementos económicos mixtos, que conforme al artículo 27 se basa en la noción de la propiedad privada; cuya expropiación sólo podrá hacerse por **causa de utilidad pública** y mediante **indemnización**; pero que a la vez establece limitaciones a los particulares en la formación de monopolios, la participación en algunas industrias **estratégicas**; y obliga al Estado a cumplir con ciertos deberes sociales y estructurales como son la formación de capital humano, la construcción de infraestructura para impulsar la competitividad, y garantizar a las personas el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, así como un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de la población.

1. Artículo 4. ...Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley. Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines...

Artículo 25. Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional... y su régimen democrático y que, mediante la competitividad, el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales... La competitividad se entenderá como el conjunto de condiciones necesarias para generar un mayor crecimiento económico... El Estado velará por la estabilidad de las finanzas públicas y del sistema financiero para coadyuvar a generar condiciones favorables para el crecimiento económico y el empleo... El Estado planeará, conducirá, coordinará y orientará la actividad económica nacional, y llevará al cabo la regulación y fomento de las actividades que demande el interés general en el marco de libertades que otorga esta Constitución... ...concurrirán, con responsabilidad social, el sector público, el sector social y el sector privado, sin menoscabo de otras formas de actividad económica que contribuyan al desarrollo de la Nación...

Artículo 26. A. El Estado organizará un sistema de planeación democrática del desarrollo nacional que imprima solidez, dinamismo, competitividad, permanencia y equidad al crecimiento de la economía para la independencia y la democratización política, social y cultural de la nación...

Artículo 27. La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada. Las expropiaciones sólo podrán hacerse por causa de utilidad pública y mediante indemnización.

...En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas y de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico...

Artículo 28. En los Estados Unidos Mexicanos quedan prohibidos los monopolios, las prácticas monopólicas, los estancos y las exenciones de impuestos en los términos y condiciones que fijan las leyes. El mismo tratamiento se dará a las prohibiciones a título de protección a la industria...

Artículo 123. Toda persona tiene derecho al trabajo digno y socialmente útil; al efecto, se promoverán la creación de empleos y la organización social de trabajo, conforme a la ley...

Los conflictos de normas

Bajo la hipótesis que una ley establece dentro de una misma norma que determinado acto o conducta se encuentra a su vez prohibido y permitido, sucede en realidad que opera la **nulidad** si aplicamos el principio lógico-filosófico **de no contradicción**². Sin embargo, bajo el supuesto de que tal conflicto se encuentre separado en normas distintas o independientes (p. ej. distintos artículos constitucionales y sus leyes reglamentarias), es decir, que una prohibición (i.e. obligación de no hacer) o el deber (i.e. obligación de dar o hacer) de un acto o conducta se encuentra en una norma, y su permisón o beneplácito **a sensu contrario** se ubique en una norma diferente, asumiendo igual jerarquía entre ambas, entonces nos encontramos ante un **conflicto de normas**, tornándose necesario el análisis contextual que justifica el uso de una u otra en condiciones particulares.

En otras palabras, cuando la **antinomia** no es total, pero implica restricciones diferentes a sectores distintos de la sociedad bajo un mismo supuesto de hecho u objeto que pudieran conllevar la negación de derechos de forma aparentemente ilegal y/o discriminatoria, argumentaré con base en los principios de **lex posterior**³; y de **lex specialis**⁴; que en ciertas ocasiones, ante la inminente pérdida o menoscabo irreparable del patrimonio natural, la **causa de interés público**⁵ debiera prevalecer sobre la individual; siempre que se atiendan los preceptos contenidos en el artículo 27 constitucional y 21.2 de la **Convención americana sobre derechos humanos**; pues inclusive en materia de expropiación y/o de rescate, la **causa de utilidad pública** junto con la indemnización relativa salvaguardan el derecho de propiedad⁶.

De tal suerte argumentaré que la garantía constitucional a un ambiente sano para el desarrollo y bienestar de las personas resulta ser hoy por hoy, además de una garantía individual en **stricto sensu, causa de utilidad pública**, particularmente frente a riesgos inminentes de deterioro o daño irremediable a la salud de los ecosistemas; especialmente si estos se encuentran bajo la tutela de un marco normativo específico supranacional y nacional como lo son, por mencionar algunas, el **Convenio sobre la diversidad biológica** o la **Convención Ramsar** y la **Ley general de equilibrio ecológico y de protección al ambiente** (LGEEPA) respectivamente.

En la evolución del derecho, los cambios normativos se justifican a la luz de los principios axiológicos, independientemente de si estos provienen del develamiento de lagunas, antinomias o errores en el desarrollo de las leyes. ¿De qué otra manera podríamos entender el progreso, si no es al servicio de valores universales como los derechos humanos, la preservación de la integridad medio ambiental y la participación justa y

2. Recuérdese la formulación aristotélica: es imposible que lo mismo se dé y no se dé en lo mismo a la vez y en el mismo sentido.

3 Conforme al principio de *lex posterior* la norma posterior prevalece sobre la promulgada con anterioridad, verbigracia las reformas del párrafo quinto y adición del párrafo sexto al artículo 4 de la Constitución el miércoles 8 de febrero de 2012.

4. Conforme al principio de *lex specialis* la norma específica tiene preferencia sobre aquella cuyo campo de referencia es más general cuando estas se encuentran en conflicto. Por ejemplo, la LGEEPA vs la LAN en materia ambiental

5. Carla Huerta Ochoa postula que el concepto de interés público es amplio, y opera como cláusula general habilitante de actuación pública en nombre de un bien jurídico protegido por el ordenamiento; que puede identificarse en términos generales con uno de los fines del Estado mismo y es la pauta de actuación a la que la administración pública ha de sujetarse.

6. Ver Tesis: 1a. CCLXXXVIII/2014, 10ª de la Suprema Corte de Justicia, Primera Sala.

equitativa en los deberes y beneficios para con el Estado? La limitación del poder del Estado, acotado por el respeto de las garantías individuales forja y conforma al Estado de Derecho moderno. Dicha limitación debe estar expresada mediante normas jurídicas congruentes, que en el marco de una situación de normalidad constitucional convierten al Estado en sujeto de derechos, verbigracia el derecho a cobrar impuestos y derechos; pero también de obligaciones, verbigracia la obligación de garantizar, a través de políticas públicas efectivas y coherentes, el acceso y uso equitativo y sustentable de las aguas nacionales, tuteladas por el multicitado artículo 27 constitucional.

Así por ejemplo, a manera de ilustración, recurriendo a fuentes históricas, resulta que no hace demasiado tiempo en el México naciente, durante la administración del Presidente Guadalupe Victoria (1825-1829), la noción de abolición de la esclavitud contraponía el derecho de libertad con el de propiedad; al grado que, cuando la legislatura del estado de Chihuahua declaró libres en 1827 a los esclavos en dicha jurisdicción, sin indemnizar a sus propietarios, el Senado de la República, tras sesiones del 17, 19 y 20 de enero del año en comento emitió un dictamen considerando dicha ley contraria al **Acta Constitutiva** y a la Constitución de 1824; pues el legislativo en aquellos tiempos consideró que el derecho a la libertad y el derecho a la propiedad se encontraban a la par; por lo que la manumisión de esclavos no debía darse sin la previa indemnización a los dueños⁷.

No fue sino hasta 1829 cuando Vicente Guerrero finalmente publicó el 15 de septiembre de 1829 decreto mediante el cual volvía a suprimirse la esclavitud en México, bajo el siguiente texto⁸.

...Queda abolida la esclavitud en la República. 2°. Son por consiguiente libres los que hasta hoy se habían considerado como esclavos. 3°. Cuando las circunstancias del Erario lo permitan, se indemnizará a los propietarios de los esclavos, en los términos que dispusieren las leyes...

A partir de este momento, el tema de los derechos y garantías de los ciudadanos en México —sobre todo el derecho humano de la libertad individual— continuó siendo medular en las Constituciones posteriores, hasta nuestra actual Constitución de 1917⁸; y mientras que hoy resulta impensable un debate nacional como al que hacemos referencia; pues en el derecho reconocido por las naciones ‘civilizadas’ el derecho a la libertad y a la propiedad privada simple y llanamente no se contraponen; la realidad es que en materia de **derechos humanos de tercera generación** aún estamos en pañales, tal y como sucedía con los de primera generación a principios del siglo antepasado. Apelando a la lógica anterior, aún no está del todo claro, ante un conflicto normativo en materia de salud medio ambiental, cual derecho prevalece entre el derecho a la propiedad, el derecho al trabajo, y el derecho a un medio ambiente sano, por mencionar tres.

A partir de la segunda mitad del siglo pasado que se produjo una fuerte preocupación mundial ante la creciente pérdida y degradación de los hábitats de humedales. Ello conllevó a la adopción de la **Convención Ramsar** en 1971; a la cual México se adhirió en 1983. La misión de dicha Convención es «**la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo**».

7. Olveda-Legaspi, J. 2013. La abolición de la esclavitud en México, 1810-1917. Signos Históricos, núm. 29. El Colegio de Jalisco.

No obstante, es una realidad que aquellas instituciones como las Áreas Naturales Protegidas en sus diversas modalidades, y los humedales de importancia internacional (i.e. Convención Ramsar) que buscan ordenar el uso del territorio y sus recursos naturales, han sido incapaces —¿o acaso incompetentes, debido a su naturaleza **no vinculante** o de ‘**soft-law**’⁸ en el caso de Ramsar?— para, en el caso de los ecosistemas acuáticos epicontinentales y costeros de México, gestionar efectivamente los volúmenes de agua necesarios para salvaguardar la integridad ecológica de los territorios que por mandato expreso buscan proteger.

En México los ecosistemas dulceacuícolas se encuentran contemplados de forma implícita en el **Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018**, el cual establece como uno de los ejes rectores la sustentabilidad ambiental; particularmente asociados al Eje 4. México Próspero, objetivo 4.4., que tiene como propósito «**impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve nuestro patrimonio natural al mismo tiempo que genere riqueza, competitividad y empleo**.» Adicionalmente, existe una **Política Nacional de Humedales** difundida el 4 de febrero de 2014, durante la Celebración del **Día Mundial de los Humedales**, la cual incluye todos los humedales del territorio nacional, incluyendo aquellos protegidos a través de algún decreto de área natural protegida federal y los que se encuentran enlistados en la **Convención de Ramsar**; así como aquellos que carecen de una figura de protección. Dicha política se articula con procesos estratégicos y de planificación, entre otros, el manejo de los recursos hídricos y los planes de aprovechamiento eficiente del agua, los planes de manejo de los recursos costeros y marinos, y los programas forestales.

Volviendo a la materia jurídica, la **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos** corresponde al ordenamiento de jerarquía mayor, permanente, general, y reformable que gobierna todo dentro del territorio Nacional; siendo esta conforme a su artículo 133, las leyes del Congreso de la Unión que emanan de ella y los tratados celebrados por el Presidente de la República, con aprobación del Senado, la Ley Suprema de toda la Unión.

Resultan altamente relevantes a esta discusión los preceptos contenidos en los párrafos 5 y 6 del artículo 4, así como los artículos 25, 26, 42 y 73; pero especialmente el artículo 27 constitucionales y sus leyes reglamentarias, verbigracia la LAN; la **Ley Agraria**; la **Ley General de Asentamientos Humanos**; la **Ley General para el Desarrollo Forestal Sustentable**; la **Ley General de Vida Silvestre** y **Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables**; así como la **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente** y su reglamento; y las leyes y ordenamientos de los Estados que conforman la Unión, por mencionar solo algunos de los ordenamientos jurídicos y normativos relevantes al tema.

La **Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente** (LGEEPA), establece en su artículo 88 los criterios para el aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos. De tal suerte que, en la **fracción primera** corresponsabiliza al Estado y a la sociedad en la protección de los ecosistemas acuáticos y del equilibrio de los elementos naturales que intervengan en el **ciclo hidrológico**; la **fracción tercera** considera la protección de los caudales básicos de las corrientes de

8. Para una revisión global del tema véase: Shelton, Dinah (ed.), Commitment and compliance. The role of non-binding norms in the international legal system, Oxford University Press, New York, 2000. Sobre los aspectos generales del concepto véase, entre otros: Thürer Daniel, “Soft Law”, en R. Bernhardt (ed.), Encyclopedia of Public International Law, 2000, pp. 454-460 Baxter, R. R., “International law in “her infinite variety”, International and Comparative Law Quarterly, Vol. 29, October, 1980, pp. 549-566.

agua y la capacidad de recarga de los acuíferos; y por último, la **fracción cuarta**, responsabiliza a los usuarios, así como a quienes realicen obras o actividades que afecten dichos recursos, de la preservación y aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos.

Por su parte, el **Programa Hídrico Nacional** (PHN), plantea dentro de su Objetivo No. 1 fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua a través de diversas estrategias que plantea el propio PHN entre las que destacan: ajustar las concesiones y asignaciones a la oferta y disponibilidad real de agua y a las prioridades nacionales, realizar acciones para incrementar la recarga de acuíferos, establecer un sistema de gestión de proyectos del sector hídrico con visión de corto, mediano y largo plazo y fortalecer la participación de organizaciones sociales y académicas en la administración y preservación del agua.

En este sentido, la LAN establece en su artículo 1 que ésta «**tiene como objetivo regular la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable**». Asimismo, el artículo 14 establece que «**la CONAGUA acreditará, promoverá y apoyará la organización de los usuarios para mejorar el aprovechamiento del agua y la preservación y control de su calidad, y para impulsar la participación de éstos a nivel nacional, estatal, regional o de cuenca**». Finalmente, el artículo 14 bis 5 establece que «**el agua es un bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental, cuya preservación en cantidad y calidad y sustentabilidad es tarea fundamental del Estado y la sociedad**».

Sin embargo, la LAN también preceptúa en su artículo 4 que, «**la autoridad y administración en materia de aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes corresponde al Ejecutivo Federal, quien la ejercerá directamente o a través de la Comisión Nacional del Agua** (CONAGUA)»; incitándose con ello la **incongruencia** de que la protección formal de los hábitat acuáticos, no se encuentra reglamentada de forma explícita en la LAN; excluyendo virtualmente su protección efectiva al no tutelarse de manera expresa los procedimientos para la salvaguarda ecológica de la calidad, cantidad, y temporalidad de sus aguas, ni la morfología natural, ni la composición biológica de sus estructuras receptoras; pues tampoco prevé explícitamente la figura jurídica de la **supletoriedad**⁹. Dicha **incongruencia** ya condujo, en parte, al colapso ecológico de los humedales dentro del Área Natural Protegida de Cuatro Ciénegas¹⁰ (Ramos 2013); pues en la práctica no es difícil estimar que, de forma discordante, (i) la protección legal de los hábitat acuáticos (i.e. bajo nominación Ramsar o bajo la

9. La supletoriedad sólo se aplica para integrar una omisión en la ley o para interpretar sus disposiciones en forma que se integre con principios generales contenidos en otras leyes. Cuando la referencia de una ley a otra es expresa, debe entenderse que la aplicación de la supletoria se hará en los supuestos no contemplados por la primera ley que la complementará ante posibles omisiones o para la interpretación de sus disposiciones. Por ello, la referencia a leyes supletorias son la determinación de las fuentes a las cuales una ley acudirá para deducir sus principios y subsanar sus omisiones. La supletoriedad expresa debe considerarse en los términos que la legislación lo establece. De esta manera, la supletoriedad en la legislación es una cuestión de aplicación para dar debida coherencia al sistema jurídico. El mecanismo de supletoriedad se observa generalmente de leyes de contenido especializados con relación a leyes de contenido general. El carácter supletorio de la ley resulta, en consecuencia, una integración, y reenvío de una ley especializada a otros textos legislativos generales que fijen los principios aplicables a la regulación de la ley suplida; implica un principio de economía e integración legislativas para evitar la reiteración de tales principios por una parte, así como la posibilidad de consagración de los preceptos especiales en la ley suplida. TERCER TRIBUNAL COLEGIADO EN MATERIA ADMINISTRATIVA DEL PRIMER CIRCUITO. Amparo directo 173/91. María Verónica Rebeca Juárez Mosqueda. 3 de abril de 1991. Unanimidad de votos. Ponente: Genaro David Góngora Pimentel. Secretaria: Guadalupe Margarita Ortiz Blanco.

10. Ramos L (2013) Cuatro Ciénegas, al borde del colapso por extracción de agua. La jornada. <http://www.jornada.unam.mx/2013/08/20/estados/028n2est>.

figura de ANP) no garantiza ni siquiera el volumen mínimo de agua —superficial y menos subterránea— para conservar dichos ambientes (i.e. caudal ecológico); excluyéndose dentro de las figuras vigentes de protección, una reserva efectiva de las aguas que los conforman; (ii) se continua fomentando la siembra directa e indirecta de especies acuáticas invasoras como la tilapia con fines de acuacultura comercial y (iii) se continua vertiendo contaminantes de diversas clases en los cuerpos de agua que drenan en los humedales alterándose las propiedades físico químicas de sus aguas.

A partir de lo antes expuesto se puede inferir que, independientemente de la noción de norma que se adopte, el marco jurídico actual relativo a la conservación efectiva de los humedales presenta las siguientes problemáticas, incongruencias y contraposiciones: (a) inaplicación efectiva; (b) existencia de lagunas jurídicas; y (c) presencia conflictual de leyes o **antinomias**, toda vez, en el tercer punto, que por ejemplo, los casos concretos de reservar —o no— los volúmenes y calidad de agua necesarios para conservar los humedales y sus servicios ambientales; sembrar —o no— especies exóticas con fines de acuacultura comercial, modificar el cauce de los cuerpos de agua, o verter o no aguas crudas en los cuerpos receptores, solo por mencionar tres ejemplos, son legalmente posibles, y/o susceptibles de dos o más soluciones jurídicas opuestas con base en las normas existentes. De ahí la necesidad de una interpretación normativa congruente, conforme a los fundamentos de la teoría general del derecho, el derecho comparado y la metodología del derecho, entre otras ramas de las ciencias jurídicas que permita positivar el **ius naturale** a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de la población, tal y como preceptúa el artículo 4 constitucional.

Desarrollo de un modelo científico jurídico para la conservación de los ecosistemas acuáticos dulceacuícolas

A pesar de que en los últimos años comienza a hablarse del **ciclo hidrológico** como elemento central en el manejo sustentable del agua; el paradigma actual de su gestión en México continúa, en la práctica, promoviendo la extracción total en los usos consuntivos sin contemplar las necesidades volumétricas, cualitativas, estacionales, cíclicas, geomorfológicas y biológicas que tienen los hábitats acuáticos; factores que paradójicamente, sí son escrupulosamente considerados por ejemplo, en materia agrícola vía la reglamentación operativa de la infraestructura hidráulica nacional.

En un distanciamiento del **status quo**, el otorgamiento a Pronatura Noreste de la primera concesión de agua en la historia de México para uso ecológico, amparada bajo el título número 06COA101562/24AOGE06, en Cuatro Ciénegas en 2014, por parte de la CONAGUA, ilustró el valor y potencial de éxito que ofrece la interpretación congruente de la legislación vigente a través de la LAN y su reglamento en materia ambiental.

Dicho acto vinculó por primera vez en la historia de nuestro país los usos consuntivos y no consuntivos con el reconocimiento a la conservación medio ambiental como una actividad humana imprescindible; y del medio ambiente como **'usuario'** legítimo de recursos hídricos; lo cual a su vez representó un paso fundamental en la implementación de un cambio de paradigma hacia el dogma de la conservación de los ecosistemas dulceacuícolas y su diversidad biológica como **bien jurídico** protegido por derecho, cuya tutela efectiva se fundamenta en la positivización constitucional del **derecho natural** a un medio ambiente saludable.

La propuesta para Cuatro Ciénegas consiste en al menos asegurar un caudal ecológico equivalente al ~30% del volumen total que mana del valle; lo cual permitiría instituir un nuevo paradigma en el que el agua necesaria para el medio ambiente limita la cantidad de agua que se puede extraer para fines de consumo;

pues solo así se puede fomentar la sostenibilidad a largo plazo en beneficio tanto de los agricultores como de los demás usuarios, incluyendo al medio ambiente.

Si bien la LGEEPA, la LAN y sus reglamentos contemplan las figuras del **uso ambiental** y **caudales básicos** respectivamente, dichas leyes no son claras en cuanto a los procedimientos, mecanismos legales y en su caso las sanciones, para determinar, establecer y hacer cumplir su aplicación en un sistema dulceacuícola determinado. Surgen las siguientes interrogantes, ¿Se debiera establecer el uso ecológico como una obligación anterior a cualquier otro uso (i.e. reserva antes que otras asignaciones) o como una asignación o derecho de agua en competencia con los demás usos? ¿En aquellas cuencas hidrográficas en donde no se cuenta con disponibilidad, bajo el marco jurídico actual, cómo se puede rescatar las concesiones necesarias y administrar los volúmenes garantes de desarrollo sostenible en las mismas?

La determinación, implementación y tutela de los caudales ecológicos es una obligación de hacer por parte del Estado; pues apelando a la noción del **contrato social**, y conforme al artículo 27 constitucional, **«la nación tiene el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana. En consecuencia, se dictarán las medidas necesarias para... establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas... para preservar y restaurar el equilibrio ecológico... y para evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad.»** Dado que el Estado cuenta con el monopolio 'estratégico' sobre las aguas nacionales, tiene consecuentemente la obligación de ejercer sus atribuciones para velar por los artículos 4 y 27 constitucionales en materia medio ambiental; inclusive, si ello implica recurrir a la figura del **rescate**¹¹ por **causa de utilidad pública** mediante indemnización; salvaguardando así el derecho a la propiedad privada, **sensu** Tesis: 1a. CCLXXXVIII/2014, 10ª de la Suprema Corte de Justicia.

11. La fracción XLV del artículo 3 de la LAN define rescate como el acto emitido por el Ejecutivo Federal por causas de utilidad pública o interés público, mediante la declaratoria correspondiente, para extinguir: a. Concesiones o asignaciones para la explotación, uso o aprovechamiento de Aguas Nacionales, de sus bienes públicos inherentes, o b. Concesiones para construir, equipar, operar, conservar, mantener, rehabilitar y ampliar infraestructura hidráulica federal y la prestación de los servicios respectivos. Por su parte, la fracción V del artículo 6 de la LAN preceptúa que compete al Ejecutivo Federal expedir por causas de utilidad pública o interés público, declaratorias de rescate de concesiones otorgadas por "la Comisión", para construir, equipar, operar, conservar, mantener, rehabilitar y ampliar infraestructura hidráulica federal y la prestación de los servicios respectivos, mediante pago de la indemnización que pudiese corresponder.

Modelo conceptual para la restitución del uso ambiental vía cesión de derechos consuntivos y su reconversión a uso ambiental

A continuación, se presenta el modelo conceptual que se propone:

NEGOCIACIÓN/ACUERDO -> CESIÓN DE DERECHOS -> CONTRAPRESTACIÓN (e.g. modernización de sistemas de riego, pago por servicios ambientales, etc.) -> CAMBIO DE TÍTULOS AGRÍCOLAS A USO ECOLÓGICO -> RELOCALIZACIÓN DE FUENTE/DESTINO A SITIOS CRÍTICOS ESTRATÉGICAMENTE UBICADOS.

Para ello, se busca en primera instancia desarrollar un instrumento jurídico-financiero conformado por fondos provenientes de fuentes privadas, gubernamentales, y/o multilaterales interesadas en la conservación de Cuatro Ciénegas con la finalidad de adquirir derechos de aprovechamiento del agua superficial a usuarios agrícolas interesados en cederlos.

Algunos Precedentes

2003-2006 Programa de Adquisición de Derechos de Uso del Agua (PADUA): Las limitaciones para cumplir con el **Tratado sobre Distribución de aguas Internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América** de 1944 ocasionadas por el sobre-dimensionamiento de las zonas de riego; la sobre-concesión de los recursos hídricos de aguas superficiales y subterráneas y la sobre-explotación de los acuíferos, motivaron el desarrollo e implementación del PADUA para la cuenca del río Bravo.

El objetivo fue promover la sustentabilidad de los distritos de riego con problemas de disponibilidad de agua, cuya urgencia derivó de las sequías recurrentes y del abatimiento evidente de las fuentes de abastecimiento, determinada en estudios técnicos formulados por la CONAGUA; mediante la adquisición de títulos de concesión para la explotación, uso o aprovechamiento de agua para fines agrícola, ganadero o forestal expedidos por la CONAGUA.

Las **Reglas de Operación** para dicho programa se publicaron el día 12 de agosto del 2003, así como el 23 de abril de 2004 en el Diario Oficial de la Federación (DOF). Algunos de los retos legales que en aquel entonces afrontó el PADUA estuvieron relacionados con su estatus jerárquico y la designación de la SAGARPA como instancia responsable; pues se trató de una norma de jerarquía secundaria que no acataba el papel que en materia de competencias sobre la administración del agua otorga la LAN a la CONAGUA. En segunda instancia, se ha señalado al PADUA de incongruente al haberse "simulado" a través del mismo, un **rescate** de concesiones por la vía adquisitiva de volúmenes de agua mediante **forzada opción**.

No obstante, y a pesar de sus posibles vicios, opino que el PADUA fue un programa sumamente exitoso, pues permitió la recuperación de casi 190 Mm³ de agua a nivel nacional, evitando una catástrofe económica ambiental en aquellos sitios donde se implementó.

Presa Conchos:	Distrito de riego	Vol. Concesionado Promedio Agua Superficial	Vol. De extracción segura	Sobreconcesiones (Vc-VE)/Vc x 100
		(hm³/año)	(hm³/año)	(%)
La Boquilla	0 0 5	1,076.50	826.8	23.2
Fco. I. Madero	0 0 5	245.8	216.5	11.9
Luis L. León	0 9 0	150	114	24
SUMAS		1,472.30	1,157.30	59

Tabla 1. Sobre-concesión de agua superficial en distritos de riego del río Conchos.

Distrito de Riego	Lámina de riego promedio 1990-2002	Sobreconcesión	Superficie a comprar	Productividad del agua	Monto a pagar
	(m²/ ha)	(hm³/año)	(ha)	(\$ / millar m³.)	(miles Mex \$)
005, Delicias, Chih.	15,806	27	17,652	1,094	305,226
103, Río Florido, Chih.	14,874	30.5	2,051	758	23,119
090, Bajo Río Conchos, Chih.	15, 000	15	1,000	750	11,250
SUMAS	45,680.00	72,500	20,703.00	2,602.00	339,595.00

Tabla 2. Aguas superficiales: superficies y volúmenes a rescatar y montos a pagar

Resultados PADUA 2003-2006						
Ejercicio	Estado	Distrito de Riego	Vol. Adquirido (Mm³)	Recursos ejercidos MDP	Total	
					Vol. Adquirido (Mm³)	Recursos ejercidos MDP
2003	BCS	066 Santo Domingo	1.5	3.9	1.5	3.9
	Sonora	037 Altar Pitiquito Caborca	14.7	37.2	54.4	130.4
		038 Río Mayo	7.4	12		
		051 Costa de Hermosillo	23.4	58.8		
		084 Valle de Guaymas	8.9	22.4		
2004	Guanajuato	URDERALES y DR	0.8	2	0.8	2.0
	Chihuahua	005 Delicias	31.6	67.1	51.2	99.9
		090 Bajo Río Conchos	19.6	32.8		
2005	Chihuahua	005 Delicias	13.1	28.1	14.6	30.6
		090 Bajo Río Conchos	1.5	2.5		
2006	Chihuahua	005 Delicias	65.0	138.0	65.2	138.4
		090 Bajo Río Conchos	0.2	0.4		
TOTAL			187.7	405.2	187.7	405.2

Tabla 3. Resultados PADUA 2003-2006.

Obtención de derechos de agua y de uso de zona federal con fines ambientales: El 20 de julio de 2006, Pronatura Noreste obtuvo en Cuatro Ciénegas, mediante cesión de derechos por parte del ejido Antiguos Mineros, la concesión de los derechos de agua que mana del sistema de Pozas Azules, amparada bajo el título número 06COA101562/24AOGEO6 con un volumen de 9,460,800 m3/año.

Por su parte, en un hecho separado, en mayo del 2009, la Asociación Civil **Amigos del Pandeño** solicitaron a la CONAGUA, en el municipio de Julimes, Chihuahua, la concesión de (1) la ribera asociada al manantial **San José de Pandos** con fines de conservación y (2) un volumen de agua para uso no consuntivo, ecológico con fines de preservación de la fauna endémica del manantial. La fundamentación jurídica de esta solicitud se basó en que el agua que mana del manantial proporciona una gama de servicios ambientales y beneficios sociales que son del **interés público**.

El 28 de septiembre de 2010, la CONAGUA emitió a los **Amigos del Pandeño** una respuesta dividida en dos partes. En la primera, la CONAGUA les otorgó por un plazo de 10 años concesión para aprovechar, usar o explotar 12,731.36 m² de terreno federal asociado a la **zona federal** del manantial **San José de Pandos**, para uso ambiental; mientras que en el mismo comunicado resolvió no otorgarles concesión de aguas superficiales, con base al argumento: 1) **«...no se otorga la concesión de aguas superficiales en virtud de que existe veda del río Bravo del Norte y toda su cuenca tributaria publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de diciembre de 1955»**. 2) **«Esto, toda vez que en fecha 28 de agosto de 1931, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo que establece veda sobre concesión de aguas del río Conchos y sus afluentes en el estado de Chihuahua y específicamente»**. 3) **«...en el considerando segundo del acuerdo que dice –Que por el motivo indicado, esta Secretaría, tuvo a bien decretar el 3 de octubre de 1927 veda de concesiones de aguas referente a las corrientes incluidas en la lista mencionada, suspendiéndose además la tramitación de aquellas que en esa fecha hayan sido publicadas–»**.

A simple vista, el otorgamiento de derechos sobre el uso de terreno federal con fines ecológicos, pero la negativa de asignar un volumen de agua al ambiente tuvo dos implicaciones importantes. En primer lugar, la decisión fue contradictoria pues alienta la perspectiva de que la protección de los hábitats acuáticos puede excluir la protección de sus aguas. No obstante, el precedente jurídico que asienta el comunicado dirigido a los **Amigos del Pandeño** tiene implicaciones de gran alcance a favor de la protección del agua en la cuenca del río Bravo del Norte y sus tributarios; pues la respuesta proporciona los fundamentos jurídicos para no otorgar nuevas concesiones en dicha cuenca, y proceder en caso de extracciones ilegales; por lo cual, mediante esta resolución, la CONAGUA documentó los instrumentos jurídicos para asegurar y proteger las aguas del río Bravo y sus afluentes, incluyendo Cuatro Ciénegas; y en teoría abrió la posibilidad no sólo de impugnar cualquier nueva concesión, sino también aquellas concedidas después de los años mencionados en la comunicación oficial (resolución CONAGUA no. BOO.E.22.1/su.-4751, del 28 de septiembre de 2010).

Se torna necesarios análisis jurídicos más profundos de las vedas vigentes en el río Bravo y sus afluentes que se publicaron en el Diario Oficial de la Federación el 15 de diciembre de 1955; 28 de agosto de 1931; y 03 de octubre de 1927.

El primer título para uso ambiental: el 2 de julio de 2013 Pronatura Noreste solicitó ante la CONAGUA autorización para la modificación de la concesión de aprovechamiento de aguas nacionales superficiales amparada bajo el título número 06COA101562/24AOGEO6 (otorgado el 20 de julio de

2006), con un volumen de 9,460,800 m³/año, y un plazo de 50 años contados desde el 8 abril del 1996; con la finalidad de que dicha concesión cambiara su **uso agrícola** a **uso de conservación ecológica** o **uso ambiental**.

El 21 de marzo de 2014, la CONAGUA notificó a Pronatura Noreste, la autorización con respecto al cambio de uso. Adicionalmente, en el nuevo título se señala que el gasto de descarga natural de los manantiales es de 300 litros por segundo (lps), y que no se hará extracción del agua con el fin de conservar las condiciones ambientales y el equilibrio ecológico del sistema.

El trámite descrito con antelación, fue motivado a razón de que «**el uso será destinado única y exclusivamente para fines ambientales, por tanto, su uso es no consuntivo, no afecta a usuarios tanto aguas arriba como aguas abajo y no vulnera derecho alguno de terceras personas, su objeto único, será y deberá ser, mantener y proteger el medio natural y su riqueza ecológica**».

El precedente de cambio de uso de dicho volumen de consuntivo a **no consuntivo** abrió la posibilidad de reordenar los usos y relocalizar los volúmenes en las zonas más vulnerables y necesitadas para lograr una protección técnica-jurídica del sistema hidrológico; lo anterior en aras de alcanzar la seguridad hídrica y ecológica de Cuatro Ciénegas. De esta manera se obtiene seguridad ambiental jurídica sobre las aguas nacionales y se realiza una nueva forma de gestión del agua en humedales, a efecto de contener la presión que los usuarios ejercen ante la CONAGUA para obtener más agua y con esto, su uso indiscriminado.

Proyecto Modernización del Riego del Valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila: El día 24 de febrero de 2007 durante el evento de las **Jornadas por el medio ambiente**, en San José del Rincón, Estado de México, el Presidente de la República hizo el siguiente anuncio. «Quiero referirme en específico a un área, que no es de aquí obviamente, pero que debo hacer referencia, al área de Cuatro Ciénegas, en Coahuila, en donde instruyo a lo siguiente: Que se prepare el decreto por el que se veda la explotación de agua del Acuífero El Hundido, en el Estado de Coahuila. Que se tenga un programa específico de plantación de mezquites para restablecer las condiciones ambientales de esta área natural. Que se prepare y ejecute un programa para el ahorro de agua, mediante la modernización de los sistemas de riego de cinco mil 800 hectáreas, con lo que podrían liberarse 24 millones de metros cúbicos para recargar ese acuífero. Para ello estamos destinando 346 millones de pesos con un programa de inversión que inicia este mismo año.»

El 11 de marzo de 2010 la **Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental** (DGIRA) de la SEMARNAT emitió un permiso a favor de la CONAGUA para realizar las acciones derivadas de los proyectos de conducción del agua en las Unidades de Riego de la Poza La Becerra, Sacramento, Saca Salada, El Venado, La Vega, Tío Julio y Los Anteosos, dentro y fuera del Área Natural Protegida de Cuatro Ciénegas. La Dirección General de la CONAGUA instruyó a la **Dirección Local Coahuila** para la integración de un **Grupo Especializado de Trabajo** en el que participarían la **Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas**, la **Procuraduría Federal de Protección al Ambiente**, la **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales**, la **Comisión Nacional del Agua**, representantes de los usuarios del agua, el gobierno del estado de Coahuila y las

autoridades municipales, con el propósito de dar seguimiento a las acciones propias del **compromiso presidencial** así como de las condicionantes emitidas por la DGIRA mediante el resolutive S.G.P.A.-DGIRA.-DG.-1540/10, al proyecto **Modernización del Riego del Valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila** promovido por la CONAGUA.

El **Grupo Especializado de Trabajo** tuvo por objetivo general el seguimiento y evaluación del **compromiso presidencial** del 24 de febrero de 2007 para la conservación, restauración, aprovechamiento racional, promoción del reconocimiento del valor ambiental, social y económico del agua, vigilancia del mantenimiento del gasto ecológico, el aprovechamiento y uso sustentable del agua así como para propiciar la estabilización y recuperación de los niveles de los cuerpos de agua del valle de Cuatro Ciénegas, el seguimiento al cumplimiento de las condicionantes determinadas, mediante el resolutive S.G.P.A.-DGIRA.-DG.-1540/10, por la **Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental**, al proyecto **Modernización del Riego del Valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila**.

En el 2007 los recursos comprometidos para iniciar el proyecto para la **modernización del riego en el valle de Cuatro Ciénegas** fueron colocados en una partida presupuestal que requería contraparte del estado. En su momento el estado de Coahuila determinó que no contaba con recursos para aportar el porcentaje que le correspondía, por lo que se llevaron a cabo las gestiones necesarias a fin que los recursos pudieran ser ejercidos directamente por la CONAGUA.

Para el año 2010 se habían ejercido 18.09 mdp en la construcción de una obra de toma y estructuras para la conducción del agua para riego en el canal de la poza La Becerra y 1.8 mdp para el estudio de Modelación de la misma. Durante el 2011 con una inversión de 54.21 mdp se llevó a cabo la obra de entubamiento del canal La Becerra, que de acuerdo a proyecciones estimadas aportaría un gasto de 200 litros por segundo (lps) para la recuperación del río Garabatal; situación que a la fecha del presente escrito, simplemente no ha sucedido.

Se esperaba que para el 2012 se ahorraran al menos 24 Mm³ anuales de agua, mismos que contribuirían a la conservación del sistema de pozas y humedales de Cuatro Ciénegas. Al 2015 se habían invertido en el desarrollo del "compromiso" más de 321.8 mdp; incluyendo el entubamiento de La Becerra y Santa Tecla; quedando pendiente parte de Saca Salada, El Anteojo, La Vega y Antiguos Mineros; sin haberse a la fecha del presente escrito cancelado los canales a cielo abierto. Las aguas superficiales que manan en el valle se siguen trasvasando indiscriminadamente hacia cuencas aledañas.

A diferencia del PADUA, el proyecto **Modernización del riego del valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila** jamás contempló de forma expresa ni el recate de concesiones ni la adquisición de volúmenes de agua para el valle; y menos aún los mecanismos técnicos jurídicos que se implementarían para asignar y garantizar al humedal su caudal ecológico. Me pregunto, ¿Qué hubiese pasado si en lugar de semejante derroche de dinero, se hubieran aplicado parte de los recursos para **rescatar** concesiones, indemnizar a los usuarios afectados, y relocalizar físicamente mediante la figura de la reserva ambiental, mediante estructuras de control, los volúmenes rescatados hacia zonas estratégicas?

Mercados de agua

La relación que existe entre las fuentes de agua superficiales y subterráneas disponibles son evidentes en Cuatro Ciénegas¹². Diversos estudios coinciden en que la descarga anual de agua que mana de sus pozas es de alrededor de 99.5 Mm³ anuales¹¹ con estimaciones que oscilan entre los 53 y los 100.6 Mm³ por año. De estos se estima que ~17.8 Mm³ se aprovechan para el riego parcelario al interior del valle, mientras que ~81.7 Mm³ se trasvasan hacia Lamadrid, Sacramento, San Buenaventura y Nadadores, a través de los canales Saca Salada y Santa Tecla¹³.

En lo que respecta al Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) en materia de aguas superficiales, tan solo se tienen inscritos 42 títulos por un volumen de 18.35 Mm3 de agua; de los cuales 9.4 Mm3 (alrededor de la mitad) corresponden al título número 06COA101562/24AOGEO6 concesionado a Pronatura Noreste para uso ambiental¹¹. Con base en ello, es un hecho que existen fuertes discrepancias entre los volúmenes registrados en el REPDa y los volúmenes que en la práctica se dotan; pues con base a censos realizados por SEMARNAT-IMTA¹⁴ se identificaron 71 aprovechamientos, de los cuales 44 se encontraban activos.

En apego estricto a derecho, la entrega de volúmenes no inscritos en el REPDa representa en principio un acto ilegal que atenta contra la salud medio ambiental; pues conforme al artículo 62 de la LAN, **«Las inscripciones en el “Registro” estarán sujetas a las disposiciones que establece la “Ley” y el “Reglamento”, serán elementos de prueba de la existencia del título o acto administrativo registrado, y elemento de defensa de los derechos del título contra terceros. “La Comisión”, de oficio o a petición de parte interesada, proveerá lo necesario para el respeto de los derechos inscritos en el “Registro”».**

De acuerdo con la CONAGUA, durante presentación hecha en octubre de 2011 al **Grupo Especializado de Trabajo**, el gasto anual entregado asociado a las diferentes fuentes se distribuye de la siguiente manera:

Fuente	Gasto extraído (lps)	Vol. anual extraído (m³)	Gasto entregado (lps)	Vol. anual entregado (m³)	f _c (%)
La Becerra	730	23,021,280	550	17,344,800	5%
Poza del Saca Salada	1,645	51,876,720	1,000	31,536,000	1%
Santa Tecla	332	10,469,952	250	7,884,000	5%
Antiguas Mineros	10	315,360	9.5	315,360	5%
El Venado	80	2,522,880	55	1,734,480	9%
La Vega	100	3,153,600	90	2,838,240	0%
El Anteojo	48	1,513,728	30	946,080	3%
Tío Julio	145	4,572,720	100	3,153,600	9%
Agua Chiquita, S.Juan	100	3,153,600	65	2,049,840	5%
Total	3,190	100,599,840	2,150	67,802,400	7%

Tabla 4. Distribución del gasto anual entregado, asociado a las diferentes fuentes de agua.

En base al análisis anterior, si consideramos que el valle de Cuatro Ciénegas produce alrededor de 100 Mm³ anuales de aguas superficiales; que dentro del mismo se aprovechan ~18 Mm³, de estos ~9 se utilizan con fines agrícolas y ~9 se aprovechan con fines ambientales; que se trasvasan ~82 Mm³; que solo 18.35 Mm³ se encuentran inscritos en el REPDa; que se busca asegurar al menos ~30 Mm³ para sustentar los servicios ambientales; que de estos ya se cuenta con ~9Mm³ y que la CONAGUA “supone” una obligación de entregar ~68Mm³ anuales totales; es claro que independientemente de que actualmente la CONAGUA otorga volúmenes mayores a lo que está legalmente obligada; pero bajo la premisa que, con fundamento en las vedas de 1927, 1931 y 1955 sobre las aguas del río Bravo, no se pueden otorgar nuevas concesiones, resulta urgente (1) ajustar los volúmenes de agua cuyo punto de extracción se encuentra dentro del valle y que en la actualidad se trasvasan hacia cuencas aledañas, a los montos obligados conforme al REPDa; (2) iniciar un programa de **rescate de derechos de uso de agua** ya sea por la vía de la cesión (por la vía de la adquisición entre particulares) o por la vía de la indemnización; que contemple el cambio de uso de agrícola a ambiental con la consecuente relocalización estratégica de los puntos de carga y extracción asociados a los títulos dentro del valle.

Lo anterior, es viable si invocamos la fracción III del artículo 41 de la LAN, que establece que **«el Ejecutivo Federal podrá declarar o levantar mediante decreto la reserva total o parcial de las aguas nacionales, con el propósito de garantizar los flujos mínimos para la protección ecológica incluyendo la conservación o restauración de ecosistemas vitales.»**

Surgen las siguientes preguntas: ¿Existen usuarios dispuestos a “ceder” sus derechos a cambio de una contraprestación?

12. Leal-Nares, O. 2016. Influencia de la hidrología superficial y subterránea en la cobertura y composición de los humedales: caso de estudio Cuatro Ciénegas. Tesis doctoral. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

13. CONAGUA. 2009. Actualización de La Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea: Acuífero (0528) Cuatro Ciénegas. México, D.F.

14. SEMARNAT-IMTA. 2004. La integración y análisis de información piezométrica y propuesta de instrumentación de los acuíferos El Hundido y Cuatrociénegas, Coah. Morelos, México.

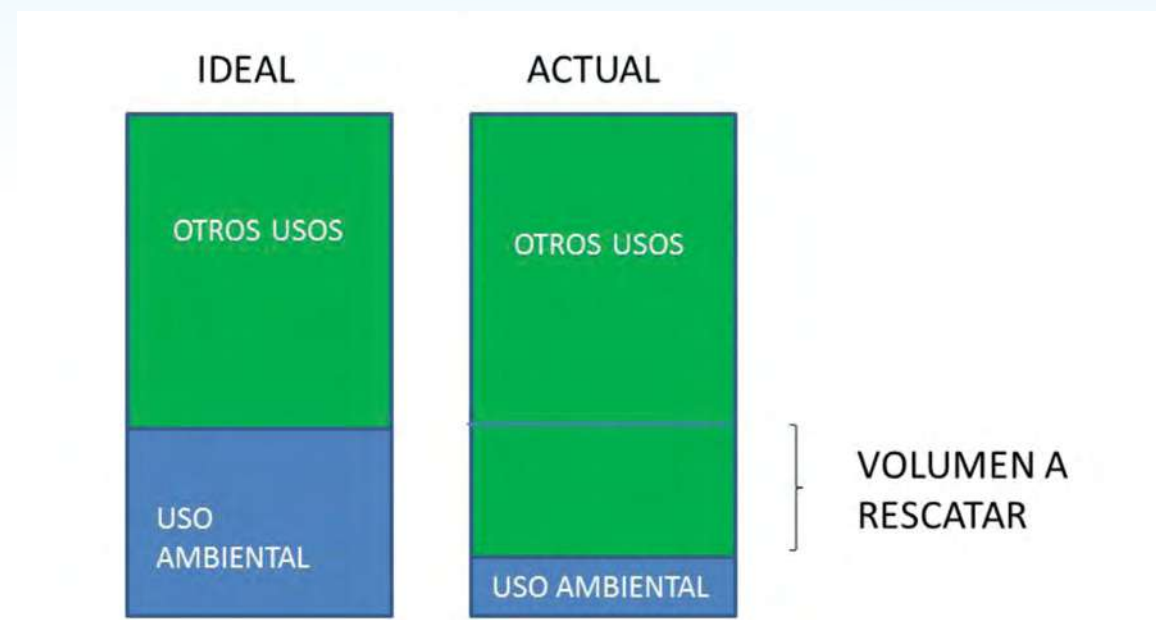


Figura 63 Modelo conceptual para el rescate de volúmenes de agua en el Valle de Cuatro Ciénegas

Propuesta para la seguridad hídrica del Valle

Si bien se han dado importantes pasos en materia del uso ambiental del agua, es necesario concretar dicho concepto a nivel regional con la asignación de un volumen correspondiente al gasto ambiental o caudal ecológico. Se buscaría rescatar al menos el 30% de las aguas que manan en el humedal de Cuatro Ciénegas a través de la adquisición de derechos agrícolas existentes; abriendo la brecha para realizar una nueva forma de gestión del agua en humedales y zonas ribereñas en México.

Con el objeto de alcanzar dicha meta en un plazo de tres años, en la forma de derechos de agua para uso ambiental, se debiera buscar adquirir dicho volumen con el propósito de asignarlo de forma estratégica física y legalmente al medio ambiente; agrupándose las actividades a realizarse en cinco categorías estratégicas que siguen una ruta crítica:

1. Caracterización de la oferta y la demanda, en base a los principales parámetros econométricos y sus elasticidades, incluido análisis de precios (cantidad de dinero que permite la adquisición y en su caso la indemnización).
2. Identificación de puntos ambientalmente estratégicos de carga y descarga.
3. Identificación de mecanismos para la adquisición/rescate de derechos.
4. Adquisición y rescate de derechos.

Fundamentación legal

Las concesiones de derechos se pueden otorgar en tres formas: 1) para la explotación, 2) para el uso o 3) para el aprovechamiento de las aguas nacionales. De conformidad con el supuesto normativo, los humedales de Cuatro Ciénegas encuadran al requerir un **caudal mínimo** para su conservación, protección y equilibrio ecológico. La fracción VII del artículo 3 de la LAN define como **aprovechamiento** a «**la aplicación del agua en actividades que no impliquen consumo de la misma**»; lo que también encuadra con el **uso ambiental**, puesto que éste, no requiere que se extraiga del cuerpo de agua ni cambiar su calidad físico-química y bacteriológica.

Adicionalmente, los humedales de Cuatro Ciénegas son prestadores de **servicios ambientales**, cuya situación de hecho se encuadra en la fracción XLIX del artículo en comento, al momento de definirlos como «**los beneficios de interés social que se generan o se derivan de las cuencas hidrológicas y sus componentes, entre otras razones, para la protección de la biodiversidad.**»

Con base en la definición de **aprovechamiento**, el **uso ambiental** recae en esta acepción puesto que no requiere el consumo del agua y conforme a lo mencionado en el párrafo anterior. Este uso es susceptible de adquisición de derechos mediante concesión otorgada a persona física o moral, conforme ha quedado demostrado a través del precedente supra analizado.

Por su parte, la fracción VIII del artículo 7 BIS declara de **interés público** la incorporación plena de la variable ambiental y la valoración económica y social de las aguas nacionales en las políticas, programas y acciones en materia de gestión de los recursos hídricos, en el ámbito de las instituciones y de la sociedad. Lo que pone de manifiesto la obligación de la autoridad del agua en las acciones de conservación, protección y restauración de los cuerpos de agua donde exista amenaza ecológica, como es el caso de los humedales de Cuatro Ciénegas.

Aunado a lo anterior, la Fracción III del artículo 29 BIS 5 dispone que el **Ejecutivo Federal**, a través de **la Autoridad del Agua**, tendrá la facultad para negar la concesión, asignación o permiso de descarga cuando afecte el caudal mínimo ecológico, que forma parte del **Uso Ambiental** al que se refiere la Fracción LIV del Artículo 3 de la LAN. Evidentemente esto viene a abonar en la defensa legal que evite el otorgamiento de nuevas concesiones o que incrementen el volumen de agua de los existentes, en la zona de influencia de los cuerpos de agua en cuestión.

Por su parte el **Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales**, establece en su artículo 100 la necesidad de tomar en cuenta los usos para conservación ecológica; asimismo, el artículo 155 prevé las atribuciones de la CONAGUA para preservar los humedales, entre las que se encuentra la que corresponde a la promoción de las reservas de aguas nacionales o ecológicas que se requieran para la preservación de los humedales, siendo estos últimos definidos por la fracción XXX del artículo tercero de la LAN como «... áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos», situación jurídica que nuevamente encuadra con la situación de hecho en Cuatro Ciénegas.

Por otro lado la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEPA), establece en su artículo 88 los criterios para el aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos. De esta

forma, en la fracción primera corresponsabiliza al Estado y a la sociedad en la protección de los ecosistemas acuáticos y del equilibrio de los elementos naturales que intervengan en el ciclo hidrológico; la **fracción tercera** considera la protección de los caudales básicos de las corrientes de agua y la capacidad de recarga de los acuíferos; y por último, la **fracción cuarta**, responsabiliza a los usuarios, así como a quienes realicen obras o actividades que afecten dichos recursos de la preservación y aprovechamiento sustentable del agua.

Así, la propuesta que se presenta se sustenta en los artículos 4°, párrafo cuarto, 27, párrafo quinto y sexto de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 32 Bis fracciones V, XXIV, XXV y XXXIX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 2°, 3° fracciones VII, XIII, XXX, XLIX y LIV, 7BIS fracción VIII, 12, 15 fracción X, 16, 20, 21, 21BIS, 22, 24, 25, párrafo segundo, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 38, 40 fracciones I y III, 41 fracción III, 42, 43, 47, 60, 65, 70, 86, 86 BIS1 fracción II, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 95, 98, 102, 107, 109, 112, 113 fracciones IV y VII, 118, Sexto Transitorio, Decimoprimer Transitorio y demás relativos de la Ley de Aguas Nacionales; 2° fracción XXV, 4°, 30, 31, 32, 33, 34, 38, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 57, 58, 64, 65, 66, 67, 68, 71, 72, 100, 155, 162, 164, 174 y 182 del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales; 1° fracciones III y IV, 2° fracción XXV, 4°, 5° fracciones II y XI, 28, 88, 89, 118 fracciones IV y V de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 16 y demás relativos y aplicables de la Ley General de Bienes Nacionales; 3° y 15 de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 y 5° del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación de Impacto Ambiental; 3°, 192-A fracción II, 192 fracción I y 192-D de la Ley Federal de Derechos y Octavo Transitorio del Decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de diciembre de 1994, así como las demás leyes y artículos relacionados.

Resultado esperado

Cumplido en todas sus partes los alcances contractuales y llevando un proceso adecuado, participativo, sustentado, fundamentado y bien motivado; es posible rescatar los títulos de concesión para uso ambiental que representen el 30% del volumen que mana de los humedales de Cuatro Ciénegas; y que opongán en derecho cualquier acción de tercero que atente contra el volumen de agua mínimo necesario para mantener la salud de los ecosistemas acuáticos dentro del valle.

Es un hecho indubitable que el uso ambiental no trastoca en lo absoluto las condiciones originales y naturales de los cuerpos de agua, por consiguiente, su único propósito es mantener las condiciones de los sistemas acuáticos en el valle de Cuatro Ciénegas; y que las leyes de la materia disponen de los medios suficientes para dar la certeza jurídica a la protección de cuerpos de agua con valor ecológico, como también establece el marco normativo para rescatar derechos y otorgar a personas físicas y morales, la concesión de aguas nacionales con fines ambientales. Lo anterior toda vez que ha quedado demostrado que la adquisición de volúmenes de agua con fines de conservación, son plenamente justificados de hecho y derecho.

El artículo 84 bis de la LAN menciona entre otros que, «**La Comisión con el concurso de los organismos de cuenca, deberá promover entre la población, autoridades y medio de comunicación, la cultura del agua acorde con la realidad del país y sus regiones hidrológicas**», de esta manera se está apoyando a la CONAGUA con la promoción de la cultura del agua y a que la sociedad civil se involucre y tome acciones relativas al derecho humano a un medio ambiente sano proclamado en el artículo cuarto de nuestra Constitución.



COLOFÓN



En el Valle de Cuatro Ciénegas, aunque las lluvias son escasas, existe abundante agua subterránea que emerge a la superficie a través de manantiales que dan vida a una gran diversidad de ecosistemas acuáticos compuestos por manantiales, ríos, lagunas, llanuras inundables, llanuras húmedas y vegetación de tipo emergente. Estos ecosistemas proporcionan condiciones ambientales únicas para el desarrollo de las comunidades biológicas y los procesos evolutivos que han favorecido la presencia de especies endémicas.

Cuatro Ciénegas es un oasis extraordinario que aparentemente ha mantenido vivas a comunidades bacteriana ancestrales. Estas bacterias de CCC representan a las descendientes directas de las “ingenieras planetarias” que transformaron a la Tierra ancestral en el actual planeta azul. Esto ha sido posible porque las condiciones ambientales en CCC se han mantenido, por mucho tiempo, similares a las de los mares del pasado de la Tierra. Estas bacterias de CCC y sus comunidades trabajan y evolucionan juntas, y no permiten que bacterias forasteras las desplacen, por lo que creemos que en la superficie de CCC nunca se pudieron establecer sobre el sedimento marino ancestral. Por ello, este valle no fue sepultado por sedimentos y se mantuvieron las condiciones ideales para el desarrollo de sus comunidades bacterianas ancestrales y únicas, guardando entre sus rocas al agua fósil, preciosa e invaluable molécula que permite la vida.

En el Valle de Cuatro Ciénegas han sido reportadas 19 especies de peces, clasificadas taxonómicamente en 4 órdenes y 8 familias. De estas 19 especies, al menos 12 consideramos como endémicas por tener la totalidad de su distribución dentro de la subcuenca. Zoogeográficamente, 5 de las familias son de origen neártico (i.e. Cyprinidae, Cyprinodontidae, Fundulidae, Percidae y Centrarchidae) y 3 de origen Neotropical (i.e. Characidae, Poeciliidae y Cichlidae), mientras que, ecológicamente 4 familias son primarias (Characidae, Cyprinidae, Percidae y Centrarchidae) y 4 secundarias. (Cyprinodontidae, Fundulidae, Poeciliidae y Cichlidae). Las especies más ampliamente distribuidas son *Gambusia marshi* y *Astyanax mexicanus*. En cuanto a su estatus ecológico, al menos 3 especies son exóticas (*Oreochromis* sp., *Hemichromis guttatus* y *Cyprinus carpio*), lo que representa el 17% del total, un número significativamente alto que al menos en el caso de El Churince, ha significado ya el colapso ecológico en uno de los subsistemas acuáticos más representativos de Cuatro Ciénegas. De esta forma, la irresponsabilidad de algunas personas, así como los programas de acuicultura del gobierno han sido causas por la introducción de estas especies, las cuales junto con otras especies acuáticas vegetales (p. ej. el *Arundo donax* y el *Tamarix* sp.) y macroinvertebrados tales como el cangrejo rojo (*Procambarus clarkii*) o el caracol asiático (*Melanoides tuberculata*), están teniendo efectos devastadores en las poblaciones de peces.

En las condiciones ecológicas actuales, los cambios en la hidrología han propiciado la degradación de los humedales en las zonas aledañas a los ríos, manantiales y canales artificiales, por lo que el estatus de conservación de los cuerpos de agua del valle de Cuatro Ciénegas y sus especies, y las poco halagadoras tendencias hacia la degradación, obligan a un manejo activo de los ecosistemas y las especies que los conforman, a través del desarrollo de estrategias combativas, así como la realización de intervenciones que permitan la restauración eficaz de los ecosistemas acuáticos y sus hábitat; buscando promover la adaptación de los mismos a las condiciones imperantes, actuales y futuras. En dicho contexto, es a partir de ahora, que se debe de actuar, pues consideramos que algunas de las acciones propuestas, quizá considerables un poco heterodoxas, si lo viéramos desde una perspectiva no intervencionista de conservación, representan una última esperanza para evitar la extinción de algunas de las poblaciones endémicas con distribución más restringida dentro del valle. Es por ello que se debe de contar con un plan de acción, que incluya un plan de contingencias, pero que a su vez sea práctico y funcional; y que permita identificar y mitigar a tiempo riesgos demográficos, genéticos, climáticos y antropogénicos que afectan a cada una de las especies endémicas de peces de Cuatro Ciénegas.

Consideramos que la información contenida en este documento representa la línea base para el desarrollo de un programa para el manejo in situ y ex situ para las especies de peces nativas del valle para salvaguardar la diversidad ictiológica del Valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila.

Semblanzas

Dr. Carlos Javier Aguilera González



Doctorado en Ciencias Biológicas y Profesor-Investigador del Laboratorio de Ecofisiología en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1999. Autor de más de 30 artículos científicos en revistas con arbitraje, 20 capítulos de Libros y 2 Libros. Sus trabajos cuentan con más de 500 citas. Acreedor a Premios de Investigación por la UANL y Universidad de La Habana, Cuba.

Dr. Luis Enrique Eguiarte Fruns



Es investigador titular "C" en el Departamento de Ecología Evolutiva del Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores en el nivel III. Su programa de investigación busca entender los mecanismos evolutivos y ecológicos que generan la diversidad y la adaptación en diferentes organismos, que van de plantas (incluyendo Agave, Abies, Bursera, Cucurbita y Zea) a bacterias (como Escherichia coli, Rhizobium y Bacillus), así como diferentes especies de mamíferos y aves, usando métodos genéticos modernos y genómicos.

Realizó sus estudios de Biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM y de Doctorado en Ecología en el Centro de Ecología de la UNAM, titulándose con mención honorífica. Hizo una estancia posdoctoral en el Departamento de Botánica y Ciencias Vegetales de la Universidad de California en Riverside. Se incorporó como investigador a la UNAM en 1992. Ha hecho dos estancias sabáticas en la Universidad de California en Irvine. Obtuvo en el 2011 la Medalla Faustino Miranda del Instituto de Ecología, UNAM, en reconocimiento a su contribución académica en la Ecología.

Ha publicado 153 artículos publicados en revistas internacionales indexadas y 14 en revistas científicas no indexadas, 36 capítulos en libros y ha editado o escrito 4 libros en español y 18 reseñas de libros en revistas científicas, 41 artículos de divulgación y 10 informes técnicos. Ha impartido 352 conferencias o presentaciones en congresos sobre diferentes temas ecológicos y evolutivos. Sus publicaciones cuentan con más de 4,900 citas, excluyendo autocitas. Ha obtenido financiamiento en 26 proyectos de investigación. Ha dirigido o está dirigiendo 28 tesis de licenciatura, 8 de maestría y 21 de doctorado, y varios de sus ex-alumnos son actualmente académicos dentro y fuera de la UNAM. Además ha impartido numerosos cursos de licenciatura y posgrado en la UNAM, principalmente sobre Genética de Poblaciones y Evolución.

Dr. Mauricio De la Maza Benignos



Graduado con honores summa cum laude en el doctorado en Biología y Desarrollo Sustentable en la UANL; MBA por la universidad de Lancaster en Reino Unido con programa de intercambio en Lyon, Francia, donde me especialicé en Planeación estratégica; soy Ingeniero agrónomo zootecnista por el Tecnológico de Monterrey, así como Licenciado en Derecho con mención honorífica de excelencia por el TecMilenio, México. Soy miembro (SNI 1) del Sistema Nacional de Investigadores. En el 2015 fui galardonado con el premio de investigación de la UANL al mejor documento de investigación en el área de Ciencias Naturales durante el 2014; en el 2014 recibí el premio Dr. José Álvarez del Villar por la Sociedad Ictiológica Mexicana a la mejor disertación de doctorado; en 1994 me fue otorgada la medalla de "Mejores estudiantes de México" por el CONACYT y el Instituto Mexicano de Cultura, impartido por el presidente a los mejores estudiantes graduados. Tengo experiencia internacional en análisis de conflictos, estructuración y búsqueda de soluciones; resolución de conflictos; dirección de proyectos; y en la coordinación de equipos multiculturales y multidisciplinarios. Tengo habilidades administrativas, sociales y técnicas, en conjunto con el conocimiento adecuado y credenciales académicas para guiar el desarrollo e implementación de proyectos que pueden incluir planeación estratégica, toma de decisiones, supervisión técnica y administrativa de recursos humanos, administración de presupuestos, investigación científica, estudios legales, comunicación y extensionismo. Me considero una persona metódica, afable, discreta, cauta y reflexiva. Aplico mis habilidades analíticas al desenvolverse en situaciones complejas. Soy respetuoso de otras ideas, opiniones y formas. Me siento motivado por los retos y el realizar tareas especializadas, ya sea por mi cuenta o como miembro de un equipo. He realizado edición de libros, escrito capítulos de libros y publicaciones científicas en diversos campos académicos. También he desarrollado análisis jurídicos y trabajo de política pública en materia de agua dulce, del ambiente natural y del desarrollo sustentable.

Dr. Oscar Adrián Leal Nares



Biólogo con Mención Honorífica por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, realizó sus estudios de maestría en Geografía Ambiental en la Universidad Nacional Autónoma de México y la Faculty of International Geo-information Science and Earth Observation de Holanda y recientemente Doctorado en Ciencias y Tecnología del Agua con Mención Honorífica por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Así como el diplomado acreditado con distinción Geographic Information Systems and Applications, enfocado en Administración de Servicios Municipales, impartido por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC) de Holanda y el Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

Se ha especializado en el uso y aplicación de los Sistemas de Información Geográfica y técnicas de Percepción Remota para el estudio de los procesos territoriales relacionados con el medio ambiente y el agua.

Cuenta con más de 14 años de experiencia desempeñando puestos en instituciones gubernamentales y no gubernamentales relacionados con biodiversidad, medio ambiente, agricultura y el manejo hídrico; entre las que se encuentran la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente y la Secretaría de Desarrollo Rural en Michoacán y el Organismo de Cuenca Río Bravo de la Comisión Nacional del Agua en Nuevo León. También ha participado en la elaboración y ejecución de proyectos de conservación, impacto ambiental, cambio de uso del suelo, manejo de humedales, desarrollo urbano y ordenamiento del territorio.

Como parte de su contribución científica, se destaca su participación como Co-Editor del libro "La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado" en conjunto con la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); así como su participación en tres capítulos de libros y en cinco artículos científicos publicados en revistas nacionales e internacionales.

Biol. Sergio Luna



Sergio Luna es biólogo por parte de la Facultad de Ciencias Biológicas, U.A.N.L. y actualmente se encuentra finalizando la maestría en Ciencias en Acuicultura en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Es coautor de un capítulo de libro, un artículo de investigación, una nota científica, cinco presentaciones en congresos y cuenta con 7 citas a sus trabajos. Su área de investigación incluye análisis de riesgo y control de especies acuáticas invasoras y fisiología reproductiva de peces.

Dr. Jesús Montemayor Leal



Biólogo egresado de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL, actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en la misma Institución. Posee una Maestría en Ciencias con Especialidad en Recursos Alimenticios y Producción Acuícola y un Doctorado en Ciencias Biológicas con acentuación de Acuicultura.

Dr. Roberto Mendoza Alfaro



Biólogo, por la ENEP Iztacala-UNAM. Cuenta con una especialización en cultivo de peces y camarón en la Japan Sea Farming Association, Japón, y con una maestría DEA (Diplôme d'Études Approfondies) en Oceanografía Biológica y un Doctorado de nuevo régimen en Acuicultura y Pesca por la Université de Bretagne Occidentale, Francia. Es miembro del SNI, nivel II, de la Academia Mexicana de Ciencias y de la Academia de Ciencias de Nueva York. Es director del Laboratorio de Ecofisiología del Departamento de Ecología de la UANL. Es autor de 11 libros, 55 capítulos de libro, 14 memorias in extenso, 46 artículos científicos en revistas con arbitraje, una patente y cuenta con 276 conferencias: 161 nacionales y 115 presentaciones en congresos internacionales. Acreedor a Premios de Investigación por la UANL y Universidad de La Habana, Cuba.

Dra. Valeria Francisca Eugenia Leopoldina de María de Guadalupe Souza Saldivar



Investigador Titular C; Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ecología. SNI nivel III. El área de trabajo de la Dra. Souza es la Ecología Evolutiva y la Evolución Molecular de los Microorganismos y trabaja con la pregunta: ¿porqué hay tantas especies?. Es decir, cuales son los procesos evolutivos, fisiológicos y ecológicos que separan a los organismos que forman poblaciones hasta convertirlos en especies así como entender como varias especies similares pueden coexistir en un sitio particular y saber que redes de interacciones forman.

A lo largo de su carrera científica hasta la fecha tiene 94 Artículos de investigación publicados o en prensa en revistas arbitradas internacionales Ha producido 12 Capítulos en libros, un libro coeditado y un texto de biología para 5° de prepa programa UNAM, 19 Artículos en revistas nacionales, 65 Conferencias Internacionales por invitación. Simultáneamente impartido alrededor de 58 cursos de 19 materias en UNAM. Sus distinciones incluyen una fellowship de la fundación MacArthur, Premio Nacional de Conservación, categoría investigación otorgado por SEMARNAT, 2006, Premio VW por amor al planeta 2010 y el Aldo Leopold fellowship otorgado por el Instituto Woods de Stanford, CA, USA así como el premio al merito académico "águila guerrera" del Colegio de Biólogos AC. en 2016. Alumnos recibidos bajo su dirección: 9 licenciatura, 6 Tesis de Maestría y 11 de doctorado

Dra. Dvorak Montiel-Condado.



Tiene un Doctorado y Maestría en Ciencias con Especialidad en Biomedicina Molecular por el CINVESTAV-IPN y es Químico-Farmacobiólogo por la BUAP. Actualmente es profesora e investigadora en la Facultad de Ciencias Biológicas de UANL, en donde ha dirigido y participado en diversos proyectos. Sus áreas de interés son la Regulación en la Expresión de Genes, la Genética y Proteómica de las Enfermedades Neurodegenerativas y el Monitoreo e Identificación de transgenes.

