La Trucha Dorada Mexicana

ARTURO RUIZ-LUNA
FRANCISCO JAVIER GARCÍA-DE LEÓN

Editores

LA TRUCHA DORADA MEXICANA

ARTURO RUIZ-LUNA

FRANCISCO JAVIER GARCÍA-DE LEÓN

Editores

CIAD

CONACYT

CIB

Primera edición: diciembre 2016

Derechos Reservados
© 2016, Arturo Ruiz Luna y
Francisco Javier García De León
(Editores)

ISBN: 978-607-7900-26-9

Impreso en México
Printed in Mexico

La presentación y disposición en conjunto de LA TRUCHA DORADA MEXICANA son propiedad del editor. Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método, electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin consentimiento por escrito de los titulares correspondientes. Sin embargo, es posible copiar o descargar material para uso exclusivamente personal o educacional y no comercial. No se permite la remoción o alteración de la leyenda de Derechos de Autor o la que manifieste la autoría del material.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) y al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), las facilidades otorgadas para el desarrollo del proyecto "El paisaje genético, nuevo enfoque multiescala para el estudio de poblaciones de truchas nativas en situación de riesgo en la Sierra Madre Occidental" financiado por CONACYT Ciencia – Básica (CB-2010-01-152893). Este libro forma parte de los resultados de dicho proyecto.

La elaboración de esta obra colectiva es, además del esfuerzo de los autores y de las instituciones que representan, resultado del apoyo de diversas personas que tuvieron la disposición para ayudarnos en el trabajo de campo, ya sea por curiosidad, para transmitirnos un poco de su saber local o lo más importante, por que les interesa preservar su ambiente y recursos naturales.

De manera particular, se agradece la colaboración de los guías locales, Sixto Rodríguez Velázquez, Basilio Rodríguez Vizcarra, Vicente Rodríguez Vizcarra, Adan Leal "El Güero", David Navar, Jorge Reyes, todos ellos del estado de Durango. De manera particular agradecemos a Ricardo Silva González "El Chalote" y también a Tomás Durán Moreno, Juan Apostol Espinoza Lazos y César E. Rascón Camuñez, del estado de Chihuahua. Asimismo, agradecemos el apoyo del Gobierno Municipal de Guanacevi, a través del Secretario del Ayuntamiento Luis Roberto Olivas Villaneva, así como a Javier Cruz Nieto de PRONATURA.

De igual manera extendemos nuestro reconocimiento al grupo binacional "Truchas Mexicanas", impulsores de la investigación sobre truchas nativas mexicanas. Adicionalmente agradecemos a Brad Shepard, Carter Kruse, Jason Dunham y varios más, que hicieron posible la donación de un equipo de electropesca, básico para los muestreos màs recientes.

Finalmente se agradece la valiosa colaboración de la M. en C. Nora Alicia Trelles Rios en la edición de textos, figuras y composición de formato de la presente obra.

LISTADO DE AUTORES

Abadía-Cardoso, Alicia	Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Carr. Tijuana - Ensenada 3917, Col. Fraccionamiento Playitas. Ensenada, Baja California. 22860. México. *aabadia@uabc.edu.mx*
Aguilar Zárate, Gabriela	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán, Av. Sábalo-Cerritos s/n. Mazatlán, Sinaloa, 82100. México. *gaguilar@ciad.mx*
Arredondo-Figueroa, José Luis	Centro de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes. km 3, Carr. Jesús María-La Posta, Municipio de Jesús María. 20900. Aguascalientes, México. *arredondo60@hotmail.com*
Barriga Sosa, Irene de los Ángeles	Departamento de Hidrobiología. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco- 186. Col. Vicentina. Del. Iztapalapa, CDMX. 09340. México. *ibs@xanum.uam.mx*
Betancourt Lozano, Miguel	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán, Av. Sábalo-Cerritos s/n. Mazatlán, Sinaloa, 82100. México. *mbl@ciad.mx*
Camarena Rosales, Faustino	Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Carr. Tijuana - Ensenada 3917, Col. Fraccionamiento Playitas. Ensenada, Baja California. 22860. México. *camarena@uabc.edu.mx*
Cassio Madrazo, Erika	Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango. Sigma 119. Fracc. 20 de Noviembre II, Durango, Dgo. 34220. México. *erikassio@gmail.com*
Damas Aguilar, José Luis	Dirección General Adjunta de Investigación en Acuicultura, Instituto Nacional de Pesca. Pitágoras 1320. Col. Sta. Cruz Atoyac. Del. Benito Juárez. CDMX. 03310. México,
De los Santos Camarillo,	Laboratorio de Genética para la Conservación, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Instituto

Anna Belia	Politécnico Nacional, 195, Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, BCS. 23096 México.
Dillman, Casey B.	Virginia Institute of Marine Science, Gloucester Point, VA, USA.
Escalante, Marco Alejandro	CEFE UMR 5175, CNRS – Université de Montpellier – Université Paul-Valéry Montpellier –EPHE. Laboratoire Biogéographie et écologie des vertébrés, 1919 route de Mende, 34293 Montpellier Cedex 5, France. *marko.escalante@gmail.com*
Espinosa Pérez, Héctor	Colección Nacional de Peces. Instituto de Biología, UNAM. Ciudad Universitaria, 3er Circuito Exterior s/n. Coyoacán, CDMX. 04510. México. *hector@unam.mx*
Falcón Rodríguez, José Luis	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Instituto Politécnico Nacional 195. Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur. 23096. México
García-De León, Francisco Javier	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Instituto Politécnico Nacional 195. Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur. 23096. México. *fgarciadl@cibnor.mx.*
Garza, John Carlos	Fisheries Ecology Division, Southwest Fisheries Science Center. National Marine Fisheries Service. Santa Cruz, CA; Institute of Marine Sciences, University of California, Santa Cruz, California, EUA.
George, Ana	Tennessee Aquarium Conservation Institute, Chattanooga, TN, USA.
Getino Mamet, Leandro Nicolás	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Instituto Politécnico Nacional 195. Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, BCS. 23096. México. Centro para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR – CONICET), Blvd. Brown 2915, U9120ACD, Puerto Madryn, Chubut, Argentina.
González Acosta, Adrián	Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

Felipe	Instituto Politécnico Nacional. El Conchalito. La Paz, BCS. 23096. México. *aacosta@ipn.mx*
Hernández Guzmán, Rafael	Catedrático CONACYT - Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. San Juanito Itzícuaro s/n. Col. Nueva Esperanza, Morelia, Michoacán. 58330. México. *rhernandez.g@gmail.com*
Hernández Ramírez, César Israel	Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango. Sigma 119. Fracc. 20 de Noviembre II, Durango, Dgo. 34220. México.
Ingle de la Mora, Genoveva	Dirección General Adjunta de Investigación en Acuicultura, Instituto Nacional de Pesca. Pitágoras 1320. Col. Sta. Cruz Atoyac. Del. Benito Juárez. CDMX. 03310. México. *genovevaingle@yahoo.com.mx*
Lambarri Martínez, Christian	Colección Nacional de Peces. Instituto de Biología, UNAM. Ciudad Universitaria, 3er Circuito Exterior s/n. Coyoacán, CDMX. 04510. México.
Márquez, Federico	Instituto de Biología de Organismos Marinos. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Boulevard Brown 2915 (U9120ACD), Puerto Madryn, Argentina. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB), Boulevard Brown 3100, Puerto Madryn, Argentina.
Martínez Castro, Armando	Colección Nacional de Peces. Instituto de Biología, UNAM. Ciudad Universitaria, 3er Circuito Exterior s/n. Coyoacán, CDMX. 04510. México.
Medina Herrera, Elizabeth	Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango. Sigma 119. Fracc. 20 de Noviembre II, Durango, Dgo. 34220. México.
Moreno Sánchez, Juan Francisco	Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo

	Integral Regional Unidad Durango. Sigma 119. Fracc. 20 de Noviembre II, Durango, Dgo. 34220. México.
Penaluna, Brooke E.	Pacific Northwest Research Station. US Forest Service. 3200 SW Jefferson Way, Corvallis, OR, 97331. USA. *bepenaluna@fs.fed.us*
Ramírez Huerta, Alejandro Luis	Programa de Posgrado. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán, Av. Sábalo-Cerritos s/n. Mazatlán, Sinaloa, 82100. México.
Reyes Valdez, Claudia Alejandra	Bioforestal del Noroeste. Calle del Puerto 361. Col. Playa Ensenada, Ensenada, Baja California, 22880, México. *alechrysogaster@hotmail.com*
Rodríguez Jaramillo, Carmen	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Instituto Politécnico Nacional 195. Col. Playa Palo de Santa Rita. La Paz, Baja California Sur. 23096 México.
Ruiz Campos, Gorgonio	Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Carr. Tijuana - Ensenada 3917, Col. Fraccionamiento Playitas. Ensenada, Baja California. 22860. México. *gruiz@uabc.edu.mx*
Ruiz Luna, Arturo	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Mazatlán, Av. Sábalo-Cerritos s/n. Mazatlán, Sinaloa, 82100. México. *arluna@ciad.mx*
Sánchez González, Sergio	Escuela de Biología. Universidad Autónoma de Sinaloa.
Sánchez Ortiz, Eduardo	Instituto Politécnico Nacional - Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango. Sigma 119. Fracc. 20 de Noviembre II, Durango, Dgo. 34220. México.

PROLOGO

Fue un gran placer recibir la invitación para escribir este prologo. Me dio no solo la oportunidad de leer los estudios más recientes sobre las truchas Mexicanas, sino también la oportunidad para reflexionar sobre las truchas, su conservación, la naturaleza y biodiversidad, amistades, ciencia, relaciones internacionales, y el futuro. En el proceso, me sorprendió algo darme cuenta de la gran importancia que las truchas han tenido a lo largo de toda mi vida y su importancia mundial. Lo que sigue es entonces, mi historia personal con las truchas en lugares visitados con amigos muy especiales con quienes he convivido durante muchos años. Compartimos no solo experiencias memorables, sino también carreras y metas muy parecidas y ahora, este libro escrito y publicado por un grupo muy dedicado a todo lo que a mí me importa, con intención de divulgar al mundo la importancia de una de las más bellas especies de truchas, hasta ahora muy poco conocida.

Nací en el desierto Sonorense en Arizona, donde como niño pasé los veranos pescando trucha arco iris en las sierras del estado. Dedicaba mucho tiempo a la pesca con mosca y aprendí por experiencia y curiosidad, mucho sobre los invertebrados acuáticos y de la ecología acuática. Así que al matricularme al programa de licenciatura en Arizona State University, fue obvio declararme un estudiante de biología. Pero me fue difícil al principio dedicar tanto tiempo a los cursos básicos y tareas del laboratorio y a menudo escapé de mis clases huyendo a las montañas a explorar y pescar. Era mi pasión y en un *spring break* esa pasión me llevó junto con un amigo, a lo que fue mi primera visita a México, no a sus playas, sino a cruzar en mi vieja camioneta a la Sierra San Pedro Mártir, en el norte de Baja California. Una noche cenamos trucha arcoiris, pescada con lombrices de un arroyito entre los pinos. Pasaron muchos años antes de darme cuenta de que no fue trucha arcoiris común, como la que se cultiva y siembra como especie introducida por todo el mundo, sino era una trucha muy especial, endémica de esa sierra. Eso aprendí luego en un curso de pesquerías o de ictiología, que me introdujo también a la increíble diversidad de los peces del mundo, al conocimiento de los peces nativos del desierto y la gran problemática de su conservación, y mi pasión y *hobby* entonces empezaron poco a poco a convertirse en mi profesión.

A raíz de haber tomado esas clases clave, me despertó la conciencia para reconocer la importancia de la parte académica formal en mi futuro. Ya más dedicado y con algo de suerte, conseguí un trabajó de verano con el Servicio Forestal de los EUA. Con mi nuevo jefe y mentor del Servicio Forestal y dos mulas para llevar equipo de acampar, un equipo de electropesca, y una hielera llena de hielo seco, fuimos a hacer ciencia de campo. La meta era tomar muestras de una especie de trucha nativa y endémica (*O. gilae*) para estudios genéticos de su hibridización con una especie invasora – la introducida trucha arcoiris. Un tema aún prevalente en casi todas las actividades sobre conservación de truchas nativas y mencionado en varios capítulos de este libro.

Luego, pasé un par de años en Colombia trabajando en el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INDERENA), investigando las pesquerías del río Magdalena, radicado en un pueblito en una tierra súper caliente y húmeda. Para escapar del calor, a menudo visitaba a un amigo, experto en truchas, trabajando en una estación de cultivo de trucha arcoiris en Lago de Tota, a 3000 msnm en los Andes. Ahí vivía el pez graso (*Rhizosomichthys totae*), antes común, pero hoy seguramente extinto o casi extinto, debido en parte por lo menos, a la introducción de trucha arcoiris. Intentamos muchas veces atrapar

especímenes en las profundidades del lago, sin éxito. Esta historia me hace reflexionar sobre la magnitud del impacto adverso que tiene la trucha arcoiris, la cual se repite muchas veces en muchas partes de este planeta.

Luego, en mi curso de Maestría en Hidrobiología Aplicada en la Universidad de Londres, me impresionó la intensidad de manejo de recursos naturales en Gran Bretaña, allá conocí a una de las muchas estaciones de trucha arcoiris introducida en ese país. El curso destacó sus impactos, no tanto de la especie en sí misma, sino de los desechos que puedan afectar la calidad de agua para consumo humano, etc.

Regresando a casa, fui a visitar a mi profesor de licenciatura, el Dr. Minckley, quien inmediatamente me ofreció un trabajo. Implicó pasar mucho tiempo explorando toda la cuenca del río Yaquí colectando peces para un inventario de su estado de conservación. Ni pensé averiguar el salario antes de aceptar ese verdadero sueño de repente vuelto realidad. Entonces fue en el verano de 1978 que colecté mis primeros especímenes de ambas especies de truchas nativas de esa cuenca y un espécimen de trucha arcoiris introducida. Además, vi en la sierra de Chihuahua varias instalaciones de cultivos rústicos de trucha arcoiris, claramente con alta tasa de escape. Vi también los fuertes impactos de las prácticas forestales y de agricultura en las cuencas de tributarios del altiplano de Chihuahua y me enamoré de las grandes áreas remotas y las bellezas de la Sierra Madre Occidental (SMO), sus culturas y su gente tan amable y diversa.

Luego, con un trabajo en el Departamento de Caza y Pesca de Arizona y encargado de programas de peces nativos, desarrollé programas binacionales para la conservación de especies compartidas con el estado de Sonora. Aunque no estudiamos truchas en ese entonces, empezaron con este trabajo varias colaboraciones y amistades con biólogos mexicanos y de esas amistades eventualmente evolucionó el grupo binacional llamado Truchas mexicanas, citado en muchos capítulos de este libro, por la colección de muchas de las muestras iniciales usadas en algunos estudios expuestos en este libro.

La historia de cada quién dentro del grupo Truchas mexicanas es parecida a la mía. Conocemos toda la problemática de la conservación y la importancia de la biodiversidad. Ahora, por medio de nuestros esfuerzos, sabemos que México es dueño de gran parte de la diversidad global de este grupo económicamente importante, las truchas, y que esa diversidad importante para la economía global ahora se encuentra en grave peligro de extinción. Así aumenta nuestra pasión, que desde el principio ha sido siempre fuerte, tanto que la mayoría de nuestras salidas a la SMO fueron apoyadas, sobre todo, por nuestros propios bolsillos. Tomamos vacaciones de nuestros empleos para perseguir el *hobby* que compartimos –la exploración y descubrimiento científico. Desafortunadamente, siendo un grupo de científicos con una economía que depende de los trabajos profesionales y trabajando en sistemas diferentes en distintos países, en muy diferentes ambientes y perspectivas, la pasión mezclada con las diferencias a veces, generaron conflictos. Pero lo que siempre nos motivó y nos unió, fue la conservación de la diversidad biológica y sabemos que eso a fin de cuentas, depende de la humanidad. En este caso, específicamente de las poblaciones humanas de la SMO. Para ellos, aquí tenemos por primera vez en este libro, un resumen del conocimiento científico en español, escrito por la comunidad científica mexicana, que es, por fin mucho más accesible para la comunidad en general que lo que ha sido la literatura científica, ya casi todo en inglés y publicado en revistas inaccesibles. Este libro, entonces, servirá de fuente de la información básica que requieren no solo los que viven en las cuencas de los ríos con truchas nativas, sino también para los empleados de unidades de los gobiernos quienes requieren este conocimiento para asuntos

legales y logísticos que apoyan acciones locales. También es útil para los escritores de revistas populares, quienes ahora pueden difundir más efectivamente la ciencia a los que viven en la bella e importante SMO. Así, felicito a todos los autores de los capítulos de este libro y a los editores, por sus diversas contribuciones al conocimiento de la zona y una parte de la importante diversidad de truchas endémicas de México, así como por su pasión y dedicación a la conservación. Anticipo por medio de la publicación de este libro una acción acelerada para seguir avanzando en el conocimiento de esa riqueza biológica y más atención por parte de los diferentes niveles de gobiernos para su conservación en beneficio a largo plazo de la gente de la región y del país a quien pertenecen esas truchas únicas.

Dean A. Hendrickson
Curator of Ichthyology
University of Texas Austin
Department of Integrative Biology
Biodiversity Collections

CONTENIDO

Capítulo 1

1

La trucha dorada mexicana: estado actual, oportunidades de estudio y retos para el manejo y conservación de una especie endémica en riesgo

Arturo Ruiz-Luna, Francisco Javier García-De León

Capítulo 2

13

Caracterización paisajística e hidrológica de la Sierra Madre Occidental utilizando técnicas de Percepción Remota, Modelos Digitales de Elevación y Sistemas de Información Geográfica

Rafael Hernández-Guzmán, Arturo Ruiz-Luna

Capítulo 3

29

Historia evolutiva y biodiversidad genética de las truchas de la Sierra Madre Occidental

Alicia Abadía-Cardoso, Francisco Javier García-De León, John Carlos Garza

Capítulo 4

39

Análisis del contenido estomacal de la trucha dorada mexicana *Oncorhynchus chrysogaster* (Needham y Gard 1964) en los ríos Fuerte, Culiacán y Sinaloa, México

Arturo Ruiz Luna, Francisco Javier García de León

Capítulo 5

53

Dimorfismo sexual y periodo reproductivo de la trucha dorada mexicana, *Oncorhynchus chrysogaster* en los ríos Fuerte, Sinaloa y Culiacán

Francisco Javier García-De León, Leandro Nicolás Getino Mamet, María del Carmen Rodríguez Jaramillo, Sergio Sánchez González, Federico Márquez, Arturo Ruíz Luna

Capítulo 6

73

Relaciones biométricas y aspectos poblacionales de la trucha dorada mexicana *Oncorhynchus chrysogaster* en las cuencas de los ríos Fuerte, Sinaloa y Culiacán, México

Arturo Ruiz Luna

Capítulo 7

87

Relaciones biométricas comparativas de peso y longitud y longitud-longitud entre la trucha dorada mexicana (*Oncorhynchus chrysogaster*) y otras truchas nativas del noroeste de México

Gorgonio Ruiz-Campos, Claudia Alejandra Reyes-Valdez, Faustino Camarena-Rosales, Adrián Felipe González-Acosta

Capítulo 8

97

Predicción de la distribución geográfica de trucha dorada *Oncorhynchus chrysogaster* (Needham y Gard 1964) en los ríos Sinaloa y Culiacán, México

Arturo Ruiz-Luna, Rafael Hernández-Guzmán, Francisco Javier García-De León, Alejandro L. Ramírez-Huerta

Capítulo 9

115

Presencia de Compuestos Organoclorados Persistentes (COPs) en poblaciones de trucha dorada mexicana (*Oncorhynchus chrysogaster*), especie endémica de la Sierra Madre Occidental

Gabriela Aguilar Zárate, Arturo Ruiz-Luna, Miguel Betancourt Lozano

Capítulo 10

125

Introgresión genética de la trucha arcoíris exótica en poblaciones de trucha dorada mexicana

Marco Alejandro Escalante, Francisco Javier García-De León, Casey B. Dillman, Anna Belia De los Santos Camarillo, Ana George, Irene de los Angeles Barriga Sosa

Capítulo 11

137

Estrategias acuícolas para la conservación de trucha nativa: primeras experiencias

Irene de los Angeles Barriga Sosa, José Luis Arredondo-Figueroa, Genoveva Ingle de la Mora, Francisco Javier García-De León

Capítulo 12

153

Primeras gestiones para el cultivo de trucha nativa de la Sierra Madre Occidental: recolecta, determinación de identidad genética y reproducción

Alicia Abadía-Cardoso, José Luis Damas-Aguilar, José Luis Falcón-Rodríguez, Francisco Javier García-De León, John Carlos Garza, Genoveva Ingle de la Mora

Capítulo 13

173

La truticultura en México y sus implicaciones para las truchas nativas

Héctor Espinosa Pérez, Christian Lambarri Martínez, Armando Martínez Castro

Capítulo 14

183

Conservación de truchas del Pacífico

Brooke E. Penaluna

Capítulo 15

189

Caracterización Socioeconómica de la Actividad Truchícola en el estado de Durango: Un acercamiento para dimensionar su importancia

Erika Cassio Madrazo, Elizabeth Medina Herrera, Eduardo Sánchez Ortiz,César Israel Hernández Ramírez, Juan Francisco Moreno Sánchez

Capítulo 16

203

La política pública mexicana de truchicultura

Eduardo Sánchez Ortiz, Erika Cassio Madrazo, Elizabeth Medina Herrera

3. Historia evolutiva y biodiversidad genética de las truchas de la Sierra Madre Occidental.

Alicia Abadía-Cardoso, Francisco Javier García-De León, John Carlos Garza

Los peces de la familia Salmonidae son especies de agua fría que se encuentran naturalmente en las regiones subártica y templada del hemisferio norte, tanto en el océano Pacífico como en el Atlántico. Las truchas de la Sierra Madre Occidental (SMO) en México son las poblaciones nativas más sureñas en el rango mundial de esta familia. Por tanto, muestran los límites fisiológicos de este importante grupo de peces y nos previenen sobre las condiciones que va a enfrentar un alto porcentaje de poblaciones de truchas y salmones en Norteamérica (género *Oncorhynchus*). Pero, en las últimas décadas, los métodos moleculares han dejado en claro que no hay solamente una especie de trucha en la SMO, sino que existen varias con historias evolutivas distintas.

En 2002, el ilustre ictiólogo Robert J. Behnke escribió "El grupo de truchas nativas de la SMO es el más diverso y el menos conocido de Norteamérica". La principal inquietud de Behnke era la imposibilidad de conservar a estos grupos sin un entendimiento profundo de la diversidad existente (Behnke 2002). En ese mismo año, el grupo binacional "Truchas Mexicanas" comenzó la ardua tarea de explorar la SMO en búsqueda de una mayor comprensión sobre estos increíbles peces. Desafortunadamente, más de 10 años después, la afirmación de Behnke continua siendo, en parte, verdadera, ya que sólo una especie de trucha nativa de la SMO ha sido formalmente descrita: *O. chrysogaster*, la trucha dorada mexicana. Sin embargo, gracias al esfuerzo del grupo "Truchas Mexicanas" en los últimos años, mucha información ha sido generada para entender la historia evolutiva y las relaciones genéticas entre y dentro de estos grupos. En este capítulo presentamos un compendio de lo que hemos aprendido y damos perspectivas futuras sobre la biodiversidad molecular de esta herencia natural de importancia mundial.

El género Oncorhynchus

Los patrones evolutivos de la diversidad de peces de agua dulce son el resultado de una gran actividad geológica, cambios climáticos y de factores como el aislamiento geográfico, las oportunidades ecológicas de dispersión y la estabilidad de las poblaciones a largo plazo. Las especies del género *Oncorhynchus*, las cuales han evolucionado en ambientes extremadamente dinámicos (Montgomery 2000), provienen de un ancestro común (Stearley y Smith 1993), es decir, un grupo monofilético que incluye 11 especies descritas aproximadamente y cerca de 28 subespecies (Behnke 2002). En América Noroccidental, el género está dividido en dos subgrupos: los salmones del Pacífico que incluye a los salmones coho (*O. kisutch*), real (*O. tshawytscha*), rojo (*O. nerka*), chúm (*O. keta*) y rosado (*O. gorbuscha*); y las truchas del Pacífico que incluye a las truchas arcoíris (*O. mykiss*), degollada (*O. clarki*), gila (*O. gilae*), apache (*O. apache*) y dorada mexicana (*O. chrysogaster*), así como a un diverso complejo de truchas no descritas que habita en la Sierra Madre Occidental en México (Behnke 2002).

Truchas del Pacífico

La taxonomía y clasificación de las especies que constituyen al grupo de las truchas del Pacífico ha estado en constante debate debido a la complejidad de sus historias evolutivas y plasticidad fenotípica, las cuales han estado influenciadas por factores geológicos y climáticos como la actividad volcánica, los movimientos de las capas tectónicas, glaciaciones, ciclos de sequías e inundaciones, entre otros (Cavender 1986; Minckley et al. 1986). Las características morfológicas y caracteres de su historia de vida (como la iteroparidad o capacidad de los organismos de reproducirse más de una vez a lo largo de la vida) fueron el fundamento inicial para clasificar al complejo de truchas del Pacífico junto con el grupo de los salmones del Atlántico dentro del género *Salmo* (Behnke 1972; Miller y Brannon 1982; Wilson 1997). Hacia finales del siglo pasado, nuevos rasgos morfológicos y datos moleculares se utilizaron para reclasificar al grupo dentro del género *Oncorhynchus* con los salmones del Pacífico (Smith y Stearley 1989). La hipótesis más difundida plantea que los géneros *Oncorhynchus* y *Salmo* divergieron a partir de un ancestro común durante el Mioceno Medio, hace alrededor de 15 a 20 millones de años atrás (Behnke 1992; Devlin 1993), sin embargo, otros autores han propuesto al género *Salvelinus* y no *Salmo*, como taxón hermano de *Oncorhynchus* (Oakley y Phillips 1999; Wilson y Turner 2009). Evidencias moleculares, apoyadas por el registro fósil, indican que hacia finales del Mioceno, seis millones de años atrás, el género *Oncorhynchus* se había dividido en dos distintos linajes: los salmones del Pacífico y las truchas del Pacífico y que durante el Plioceno Medio tuvo lugar la radiación de especies dentro de ambos grupos (Cavender y Miller 1972; Behnke 1992; Shedlock et al. 1992; Stearley y Smith 1993; Wilson y Turner 2009). La divergencia del complejo de truchas del Pacífico en dos linajes filogenéticamente distintos (el complejo arcoíris (*O. mykiss*) y el complejo degollada (*O. clarki*)) se dio durante el Pleistoceno Tardío (Behnke 1992; Crespi y Fulton 2004). El registro fósil indica que, durante los máximos climáticos fríos del Pleistoceno, la distribución de algunas formas de salmónidos anádromos se extendía hasta la Mesa Central Mexicana, cerca de los 20° de latitud Norte (Cavender y Miller 1982; Miller y Smith 1986).

Truchas mexicanas de la Sierra Madre Occidental

La Sierra Madre Occidental es muy compleja geológicamente, por lo tanto, su topología y condiciones climáticas son muy diversas, resultando en una gran biodiversidad y endemismos en ambientes tanto terrestres como acuáticos (Brown 1994). Desafortunadamente, la complejidad del terreno y las actividades ilegales en la Sierra han limitado el avance del conocimiento sobre su biodiversidad, especialmente en zonas altas (arriba de 1500 msnm) donde habitan las truchas nativas (De los Santos-Camarillo 2008). Aunado a esto, el registro fósil de salmónidos en la SMO es escaso, por lo que es difícil hacer una reconstrucción precisa de la expansión y colonización de los salmónidos en este territorio sureño. La hipótesis más aceptada para explicar su dispersión sugiere que una forma de trucha anádroma ancestral migró desde el Pacífico Norte, en la costa occidental de Estados Unidos, hacia el Golfo de California, donde se refugió de las temperaturas bajas extremas durante las glaciaciones del Pleistoceno y se adentró a las cuencas hidrográficas que desembocan al Golfo. Al término de la última glaciación y con el aumento en la temperatura del océano y las partes bajas de los ríos, las truchas quedaron aisladas en las zonas altas de las cuencas el tiempo suficiente para dar origen a las truchas gila (*O. gilae*), apache (*O. apache*), dorada mexicana (*O. chrysogaster*) y probablemente, a las otras truchas nativas de la SMO (Behnke 1992).

La primera publicación que hace referencia a truchas en territorio Mexicano data del final del siglo XIX (Cope 1886), donde se hace una breve descripción de dos especímenes que presentan dientes en el hueso basihial, característica comúnmente encontrada en las truchas degolladas (*O. clarki*). Sin embargo, las descripciones de los especímenes así como las localidades de colecta son ambiguas y nunca se pudo corroborar, ya que los especímenes se perdieron y no fueron analizados por otros expertos (Hendrickson et al. 2002). A finales de los 1800 y principios de los 1900, varios científicos y naturalistas como C. Lumholtz, S. E. Meek y A. Leopold, visitaron la SMO en busca de truchas nativas con exitosos resultados (Hendrickson et al. 2002), sin embargo, ninguno hizo una descripción formal de los organismos encontrados. Es hasta mediados del siglo pasado que P. R. Needham y R. Gard analizan 243 especímenes de truchas nativas de la SMO y hacen una recopilación completa y detallada de la información existente (Needham 1955, Needham y Gard 1959). Además, son los primeros en describir y nombrar formalmente a la única especie reconocida actualmente, *Oncorhynchus chrysogaster*, la trucha dorada mexicana (Needham y Gard 1964), con especímenes recolectados en un tributario del río Fuerte en el estado de Durango.

A partir del análisis de especímenes recolectados en 1997 y 2001 se determinó que la distribución de la trucha dorada mexicana corresponde a tres cuencas de la SMO: el río Fuerte, el río Sinaloa y el río Culiacán en los estados de Durango y Chihuahua (Nielsen y Sage 2001; Hendrickson et al. 2002, Fig. 1). Las múltiples expediciones realizadas en la SMO durante décadas reportan grupos de truchas nativas no descritas distribuidos en cuencas tanto al norte como al sur de la distribución de *O. chrysogaster*, en cuatro cuencas hacia el norte: los ríos Mayo, Yaqui, Casas Grandes y Conchos; y en cinco cuencas hacia el sur: los ríos San Lorenzo, Piaxtla, Presidio, Baluarte y Acaponeta (Behnke 2002; Hendrickson et al. 2002, 2006; Ruiz-Campos et al. 2003, Fig. 1) y posiblemente hasta el río San Pedro Mezquital (Espinosa-Pérez, comunicación personal[1]).

Estudios Genéticos

A pesar de la falta de descripciones formales de estos grupos, existe un gran número de estudios que han investigado las relaciones evolutivas dentro del complejo de truchas nativas de la SMO usando diversos métodos. Uno de los trabajos más completos consiste en un análisis de variación morfológica utilizando distancias de Mahalanobis, que incluye múltiples grupos de truchas nativas del Noroeste de México abarcando casi toda su distribución (Ruiz-Campos et al. 2003). En este estudio se observó que las truchas que habitan la SMO están presumiblemente divididas en cuatro grupos. Encontraron al grupo de *O. chrysogaster* dividido en dos subgrupos: por un lado, las truchas del río Sinaloa y por otro, los ríos Fuerte y Culiacán junto con truchas del río Piaxtla. El tercer grupo conformado por truchas de los ríos San Lorenzo, Baluarte y Acaponeta y por último, las truchas de los ríos Yaqui y Mayo.

[1] Héctor Espinosa Pérez. Colección Nacional de Biología. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. (CNPE – IBUNAM).

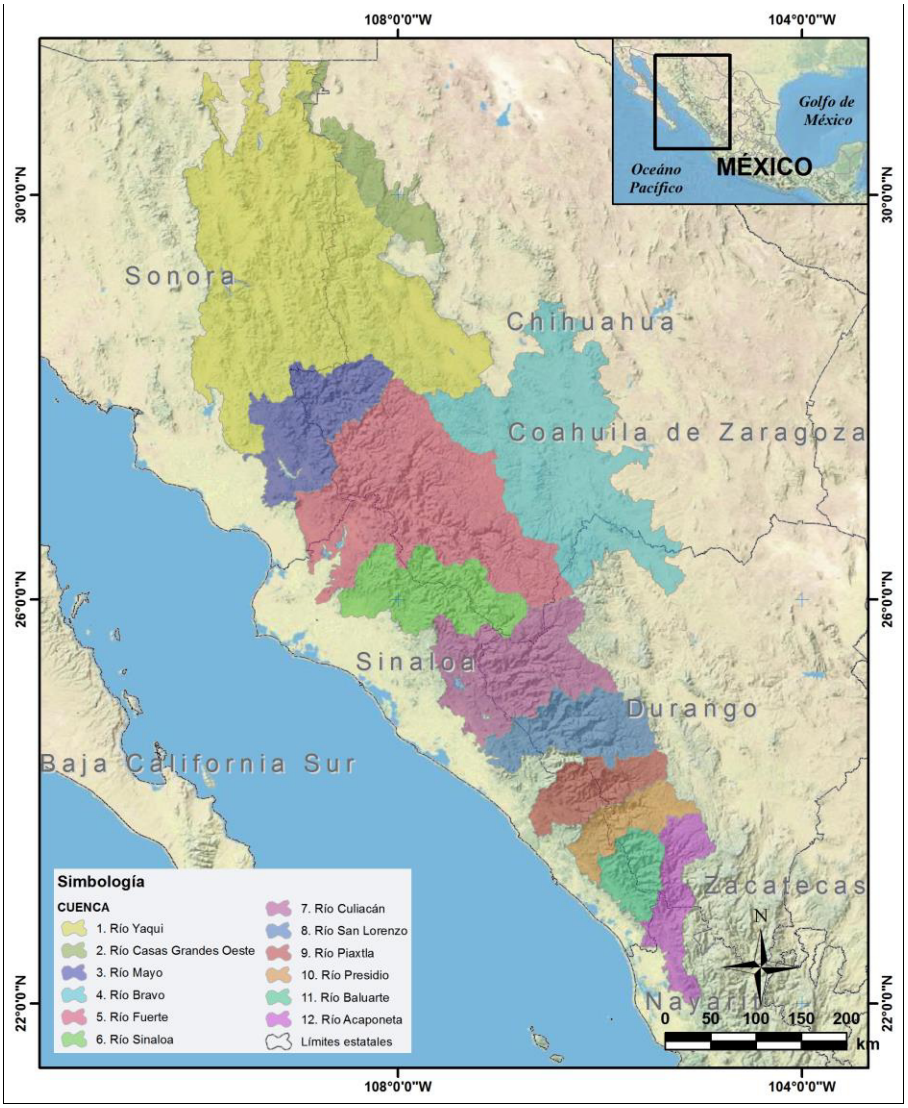

Figura 1. Localización geográfica de las cuencas hidrológicas, delimitadas por la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental, donde se han reportado truchas nativas.

El primer estudio del género *Oncorhynchus* que incluyó una población de truchas del noroeste mexicano en un análisis filogenético utilizando herramientas moleculares, fue realizado por Loudenslager y colaboradores (1986). El objetivo de ese trabajo era analizar la relación entre las truchas gila, apache y las del río Mayo e identificar las diferencias entre éstas y las truchas arcoíris y degollada, a partir del análisis de 36 alozimas polimórficas. Los resultados mostraron que las truchas gila, apache y las del río Mayo están más relacionadas con la trucha arcoíris que con la degollada. Además, encontraron que gila y apache son grupos hermanos y que las truchas del río Mayo están más emparentadas con las arcoíris que con cualquier otro grupo analizado (Loudenslager et al. 1986), lo que apoya la hipótesis de Miller (1950) y Needham y Gard (1959), la cual sugiere que el grupo de truchas arcoíris (también llamado serie arcoíris que incluye a las truchas arcoíris, gila, apache y del río Mayo) y el grupo de truchas degolladas (serie degolladas) representan dos linajes evolutivos bien definidos dentro del género *Oncorhynchus* (Loudenslager et al. 1986).

Diez años después, Nielsen et al. (1997) utilizaron la región control del ADN mitocondrial y tres marcadores microsatelitales nucleares en un análisis biogeográfico que incluyó 15 poblaciones de California (*O. mykiss*), una población de la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California (*O. mykiss nelsoni*) y una población del río Yaqui en la SMO. La conclusión de este análisis fue que las truchas del río Yaqui son considerablemente diferentes a cualquiera de los otros grupos analizados. Al año siguiente, la misma autora y otros realizaron un análisis filogenético utilizando la región control del ADN mitocondrial incluyendo dos especies de salmones del Pacífico (real y coho), cuatro subespecies de trucha degollada, gila, apache, nueve subespecies de trucha arcoíris y la misma población del río Yaqui (Nielsen et al. 1998). Los resultados que obtuvieron muestran una robusta diferenciación entre especies y son consistentes con los resultados de estudios previos. Además, las truchas del río Yaqui se agruparon con las otras especies consideradas dentro de la serie arcoíris y no con las degolladas ni con los salmones del Pacífico. Curiosamente, Nielsen et al. (1998) encontraron una deleción en la secuencia de nucleótidos de la región control en cuatro individuos de truchas del río Yaqui. Este tipo de deleciones, sólo se ha reportado previamente en humanos y se relaciona con enfermedades mitocondriales, pero en ese trabajo no se observaron síntomas de este tipo de enfermedad en las truchas analizadas.

Nielsen y Sage (2001) en un análisis de 11 marcadores microsatelitales, incluyeron peces de los ríos Yaqui, Mayo y Casas Grandes y los compararon con poblaciones de la trucha dorada mexicana de los ríos Sinaloa y Culiacán. Los resultados de este estudio apoyaron la idea de los grupos de truchas de la SMO como filogenéticamente independientes y no como subespecies de trucha arcoíris como se había sugerido anteriormente (Behnke 1992).

El primer estudio genético molecular que incluyó muestras de la mayoría de las cuencas de la Sierra Madre Occidental donde se han reportado truchas nativas fue realizado por Camarena-Rosales et al. (2007). En este estudio, se analizaron polimorfismos en fragmentos de restricción (RFLP) en la región entre el gen del citocromo b y la región control del ADN mitocondrial. Los resultados obtenidos en este trabajo fueron parcialmente consistentes con lo reportado en el análisis morfológico de Ruiz-Campos y colaboradores (2003). Camarena-Rosales et al. (2007) también proponen cuatro grupos de las truchas de la SMO. Ambos estudios reconocen como dos grupos independientes a las truchas de los ríos Yaqui y Mayo y a la trucha dorada mexicana (subdividida en dos: las truchas del río Sinaloa y las de los ríos Fuerte y Culiacán). Sin embargo, los datos moleculares separan a las truchas del río Piaxtla en un grupo independiente.

Por otra parte, De Los Santos-Camarillo (2008) expandió el rango de muestreo para abarcar más poblaciones, incluyendo a todas las cuencas donde se han reportado truchas nativas en el Noroeste de México y analizó la diversidad genética utilizando marcadores microsatelitales y dendogramas mediante el método del vecino más cercano. De los Santos-Camarillo (2008) encontró una gran diversidad y propuso siete grupos genéticamente homogéneos: Casas Grandes/Yaqui-Bavispe, Yaqui-Sirupa/Mayo, Conchos, San Lorenzo/Piaxtla, Acaponeta/Baluarte/Presidio, un grupo en el arroyo La Sidra de la cuenca del San Lorenzo y un grupo en el arroyo Aparique de la cuenca del Fuerte (estos dos últimos y las truchas del río Acaponeta fueron posteriormente identificados como posibles híbridos con la trucha arcoíris introducida (Abadía-Cardoso et al. 2015).

Recientemente, Abadía-Cardoso et al. (2015) realizaron el estudio más exhaustivo existente sobre las relaciones filogenéticas de las truchas que habitan en la SMO. En este

trabajo, se utilizaron dos clases de marcadores moleculares: 93 polimorfismos nucleotídicos simples (SNPs) y 18 loci microsatelitales; y una vez más se incluyeron muestras de todas las cuencas. Los objetivos de ese trabajo fueron documentar la biodiversidad genética y entender las relaciones filogenéticas de las truchas nativas del noroeste mexicano, pero además, analizar estos grupos en un contexto geográfico más amplio, comparándolas con otras especies y subespecies como las truchas arcoíris, degollada, gila y apache. En ese estudio se confirmó la gran diversidad genética observada en trabajos previos en el complejo de truchas de la SMO (Camarena-Rosales et al. 2007; De los Santos-Camarillo 2008) y se definieron cuatro linajes genéticos a nivel de especie correspondientes a, 1) la trucha dorada mexicana (*O. chrysogaster*), 2) las truchas de los ríos Yaqui, Casas Grandes y Mayo, 3) las truchas de los ríos Piaxtla y San Lorenzo y 4) las truchas de los ríos Presidio y Baluarte (Fig. 2). Además, se identificó un origen mixto entre *O. chrysogaster* y el complejo Yaqui-Casas Grandes-Mayo de las truchas de los tributarios del río Conchos (el único río con truchas del género *Oncorhynchus* que desemboca al Golfo de México).

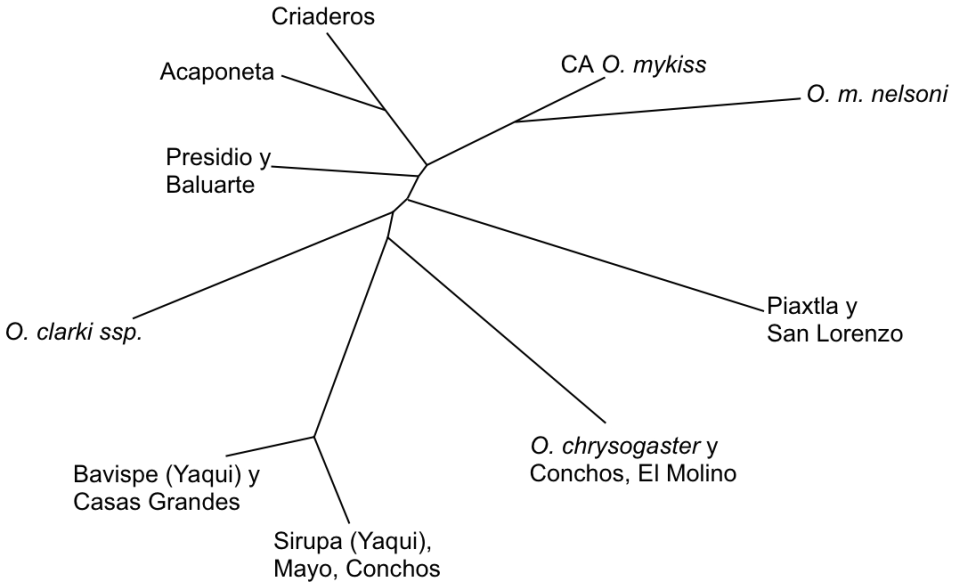

Figura 2. Dendrograma de las relaciones evolutivas entre las poblaciones de truchas de las distintas cuencas del Noroeste de México, la trucha arcoíris costera, diversas subespecies de trucha degollada y truchas de criaderos establecidos en México y California (CA).

Finalmente, García-De León et al. (en preparación) hacen un estudio con el objetivo de identificar Unidades Evolutivas Significativas (UES) como un instrumento indispensable para iniciar prácticas de conservación. En este trabajo, resaltan la carencia de nombres científicos y las amenazas de extinción del complejo de truchas nativas mexicanas debido a la fragmentación del hábitat e introducción de truchas exóticas, que obligan a tomar medidas precautorias urgentes para evitar la extinción de este valioso recurso íctico. Para ello, utilizaron 11 loci microsatelitales y estimaron parámetros poblacionales tales como flujo genético, tamaño efectivo de poblaciones y cuello de botellas entre las diferentes poblaciones del complejo de truchas mexicanas en el noroeste de México. Con estos análisis se identificaron siete Unidades Evolutivas Significativas en la SMO (una para las truchas norteñas de las cuencas Casas Grandes, Mayo y Yaqui; una para el norte del río

Conchos; otra para *O. chrysogaster*; dos para las truchas de los río San Lorenzo y Piaxtla y dos entre los ríos Presidio, Baluarte y Acaponeta) y una en la Península de Baja California.

El Futuro

El desarrollo y la disponibilidad cada vez mayor de tecnología de secuenciación masiva de ADN, está revolucionando el campo de la biología, tanto por la cantidad de datos que se pueden generar en un corto tiempo, como por la posibilidad de diseccionar rasgos complejos sobre la fisiología y el comportamiento en sus fundamentos genéticos y ambientales (e.g., Barson et al. 2015; Prince et al. 2016). Con el poder de instrumentos que pueden generar millones de secuencias en pocos días, ahora es posible caracterizar miles de genes en un grupo de animales y explorar el genoma entero para evaluar correlaciones entre variables ambientales con variación en genes específicos y regiones cromosómicas. Es decir, ahora es posible entender de forma precisa los fundamentos biológicos de las adaptaciones a condiciones ecológicas y ambientales locales.

La trucha dorada mexicana y los otros grupos de truchas nativas de México habitan de forma exitosa en regiones con las condiciones ambientales más extremas posibles para peces salmónidos, un grupo de importancia mundial por su papel en pesquerías y acuicultura en todos los continentes. Por lo tanto, es de importancia mundial entender las adaptaciones que les permiten prosperar en condiciones sub-tropicales, ya que son un valioso recurso económico a nivel global. Así como sucedió con el teosinte y su primo el maíz (Fedoroff 2003), el conocer y entender los genes involucrados en las adaptaciones de las truchas mexicanas a estos ambientes extremos, puede ayudar a mejorar el cultivo de su prima la trucha arcoíris. Actualmente, con el uso de estas nuevas tecnologías, se está trabajando para evaluar la relación entre la diversidad y estructura genética neutral y adaptativa de la trucha dorada mexicana con la estructura del paisaje, lo que ayudará a entender las cusas que han permitido el aislamiento y evolución independiente de las poblaciones de trucha dorada mexicana en los ríos Fuerte, Culiacán y Sinaloa y eventualmente, se podrá extender a otras cuencas.

Para conservar el complejo de truchas en el extremo sur de su distribución global, es crítico continuar revelando la biodiversidad molecular que guardan, para entender mejor los patrones de divergencia histórica representados por marcadores genéticos neutrales y adaptativos y dilucidar los fundamentos biológicos que resultan en el éxito en ambientes subtropicales. Una visión sintética de la diversidad de truchas mexicanas permitirá el manejo eficaz de esfuerzos de conservación, por ejemplo, sugiriendo grupos prioritarios de conservación (Abadía-Cardoso et al. 2015), donde se considere un balance entre las edades de los linajes evolutivos con las adaptaciones únicas. En casos de reintroducción a ecosistemas restaurados, estas consideraciones son esenciales en la selección de poblaciones donantes para asegurar su éxito. Además, se deben proponer biotecnologías para el cultivo de formas locales, reduciendo el riesgo de la introducción de especies exóticas (ver Barriga-Sosa et al. Capítulo 11, esta obra).

Mientras tanto, los esfuerzos para delinear y describir formalmente nuevas especies, subespecies y Unidades Evolutivas Significativas, con la ayuda de los robustos datos de los marcadores genéticos, deberían continuar. La tendencia humana de nombrar cosas es un reflejo de su valor. El reconocer y nombrar formalmente estos grupos de truchas tan diversos podría aumentar el valor social de estos importantes peces.

REFERENCIAS

Abadía-Cardoso, A., J.C. Garza, R.L. Mayden and F.J. García-De León. 2015. Genetic structure of Pacific trout at the extreme southern end of their native range. *PLoS ONE* 10(10):e0141775.

Barson, N.J., T. Aykanat, K. Hindar, M. Baranski, G.H. Bolstad, P. Fiske, C. Jacq, A.J. Jensen, S.E. Johnston, S. Karlsson, M. Kent, T. Moen, E. Niemelä, T. Nome, T.F. Næsje, P. Orell, A. Romakkaniemi, H. Sægrov, K. Urdal, J. Erkinaro, S. Lien and C.R. Primmer. 2015. Sex-dependent dominance at a single locus maintains variation in age at maturity in salmon. *Nature*. 528: 405–408.

Barriga-Sosa, I.A., J.L. Arredondo-Figueroa, G. Ingle de la Mora y F.J. García-De León. 2006. Estrategias acuícolas para la conservación de truchas nativas: primeras experiencias. En: Ruiz-Luna A. y F.J. García-De León (eds.) *La trucha dorada mexicana*. Cap. 11.

Behnke, R.J. 1972. The systematics of salmonid fishes of recently glaciated lakes. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 29: 639-671.

Behnke, R.J. 1992. *Native trout of western North America*. American Fisheries Society Monograph 6. USA.

Behnke, R.J. 2002. *Trout and salmon of North America*. Chanticleer press, inc., New York.

Brown, D.E. (ed.). 1994. *Biotic communities: Southwestern United States and Northwestern Mexico*. The University of Utah Press, Salt Lake City.

Camarena-Rosales, F., G. Ruiz-Campos, J. de la Rosa-Vélez, R.L. Mayden, D.A. Hendrickson, A. Varela-Romero and F.J. García-De León. 2007. Mitochondrial haplotype variation in wild trout populations (Teleostei: Salmonidae) from northwestern Mexico. *Reviews in Fish Biology and Fisheries.* 18(1): 33–45.

Cavender, T.M. and R.R. Miller. 1982. *Smilodonichthys rastrosus: a new Pliocene salmonid fish from western United States*. Museum of Natural History, University of Oregon.

Cavender, T.M. 1986. Review of the fossil history of North American freshwater fishes. En: Hocutt, C.H. and E.O. Wiley (eds.). *The zoogeography of North American Freshwater Fishes*. John Wiley and Sons, New York. pp. 699–724.

Crespi, B.J. and M.J. Fulton. 2004. Molecular systematics of Salmonidae: combined nuclear data yields a robust phylogeny. *Molecular Phylogenetics and Evolution.* 31(2): 658–679.

Cope, E.D. 1886. The most southern salmon. *American Naturalist*. 20: 735.

De los Santos-Camarillo, A.B. 2008. Definición de unidades taxonómicas en el complejo de truchas del noroeste de México, mediante el análisis de marcadores microsatálites. *Tesis de Maestría*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, La Paz, Baja California Sur.

Devlin, R.H. 1993. Sequence of sockeye-salmon type-1 and type-2 growth-hormone genes and the relationship of rainbow-trout with Atlantic and Pacific salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences,* 50(8):1738–1748.

Fedoroff, N.V. 2003. Prehistoric GM corn. *Science.* 302(5648): 1158-1159.

García-De León, F.J., C.B. Dillman, A.B. De los Santos-Camarillo, A.L. George, F. Camarena-Rosales, I. de los A. Barriga-Sosa and R.L. Mayden. (en preparación). First steps towards the identification of Evolutionarily Significant Units in Mexican native trout: an assessment of microsatellite variation. En preparación.

Hendrickson, D.A., H. Espinosa Pérez., L.T. Findley, W. Forbes, J.R. Tomelleri, R.L. Mayden, J.L. Nielsen, B. Jensen, G. Ruiz Campos, A. Varela Romero, A. van der Heiden, F. Camarena and F.J. García-De León. 2002. Mexican native trouts: a review of their history and current systematic and conservation status. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 12: 273-316.

Hendrickson, D.A., D.A. Neely, R.L. Mayden, K. Anderson, J.E. Brooks, F. Camarena-Rosales, R. Cutter, L. Cutter, A.B. De Los Santos C., G.W. Ernsting, H. Espinoza-Pérez, L.T. Findley, F.J. García-De León, A.L. George, J. Hatch, B.R. Kuhajda, K.E. Mayden, K. Mcnyset, J.L. Nielsen, F.W. Pfeifer, D.L. Propst, G. Ruiz-Campos, E. St. Clair, J.R. Tomelleri and A. Varela-Romero. 2006. Conservation of Mexican native trout and the discovery, status, protection and rediscovery of the Conchos trout, the first native. En: M.L. Lozano-Vilano and A.J. Contreras-Balderas (eds.). *Studies of North American Desert Fishes in Honor of E.P. (Phil) Pister*, *Conservationist*. Faculty of Biological Sciences, UANL. Mexico. pp. 162-201.

Loudenslager, E.J., J.N. Rinne, G.A. E. Gall and R.E. David. 1986. Biochemical genetic-studies of native arizona and new-mexico trout. *Southwestern Naturalist*. 31(2): 221–234.

Miller, R.R. 1950. Notes on the cutthroat and rainbow trouts with the description of a new species from the Gila River, New Mexico. *Occasional Papers of the Museum of Zoology*. 529:1–42.

Miller, R.J. and E.L. Brannon. 1982. The origin and development of life history patterns in Pacific salmonids. En: Brannon E.L. and E.O. Salo (eds.). *Proceedings of the salmon and trout migratory behavior symposium.* School of Fisheries, University of Washington. pp. 296–309.

Miller, R.R., and M.L. Smith. 1986. Origin and geography of the fishes of central Mexico. En: Hocutt, C.H. and E.O. Wiley (eds.). *The zoogeography of North American Freshwater Fishes*. John Wiley and Sons, New York. pp. 487 - 517.

Minckley, W.L., D.A. Hendrickson and C.E. Bond. 1986. Geography of western North American freshwater fishes: description and relations to intracontinental tectonism. En: Hocutt, C.H. and E.O. Wiley (eds.). *The zoogeography of North American Freshwater Fishes*. John Wiley and Sons, New York. pp. 519 - 613.

Montgomery, D.R. 2000. Coevolution of the Pacific salmon and Pacific Rim topography. *Geology*. 28(12): 1107–1110.

Needham, P.R. 1955. Trail of the Mexican trout. *Pacific Discovery*. 8(4): 18–24.

Needham, P.R. and R. Gard. 1959. Rainbow trout in Mexico and California, with notes on the Cutthroat Series. University of California Publications in *Zoology*. 67:1-149.

Needham, P.R. and R. Gard. 1964. A new trout from central Mexico: *Salmo chrysogaster*, the Mexican golden trout. *Copeia*. 1964(1):169–173.

Nielsen, J.L., M.C. Fountain, J.C. Favela, K. Cobble and B.L. Jensen. 1998. *Oncorhynchus* at the southern extent of their range: a study of mtDNA control-region sequence with special reference to an undescribed subspecies of *O. mykiss* from Mexico. *Environmental Biology of Fishes*. 51(1): 7–23.

Nielsen, J.L., M.C. Fountain and J.M. Wright. 1997. Biogeographic analysis of Pacific trout (*Oncorhynchus mykiss*) in California and Mexico based on mitochondrial DNA and nuclear microsatellites. En: Kocher, T.D. and C.A. Stepier (eds.). *Molecular systematics of fishes*. Academic Press, San Diego. pp. 53–73.

Nielsen, J.L. and G.K. Sage. 2001. Microsatellite analyses of the trout of northwest

Mexico. *Genetica*. 111(1-3):269–278.
Oakley, T.H. and R.B. Phillips. 1999. Phylogeny of salmonine fishes based on growth hormone introns: Atlantic (*Salmo*) and Pacific (*Oncorhynchus*) salmon are not sister taxa. *Molecular phylogenetics and evolution.* 11(3): 381–93.
Prince, D.J., S.M. O'Rourke, T.Q. Thompson, O.A. Ali, M. Arciniega, H.S. Lyman, I.K. Saglam, A.J. Clemento, T.J. Hotaling, A.P. Kinziger, A.P. Spidle, J.C. Garza, D.E. Pearse and M.R. Miller. 2016. The evolutionary basis of premature migration in Pacific salmon highlights the utility of genomics for informing conservation. *bioRxiv*.
Ruiz-Campos, G., F. Camarena-Rosales, A. Varela-Romero, S. Sánchez-Gonzales and J. de la Rosa-Velez. 2003. Morphometric variation of wild trout populations from northwestern Mexico (Pisces: Salmonidae). *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 13(1): 91–110.
Shedlock, A.M., J.D. Parker, D.A. Crispin, T.W. Pietsch and G.C. Burmer. 1992. Evolution of the salmonid mitochondrial control region. *Molecular Phylogenetics and Evolution.* 1(3): 179–192.
Smith, G.R. and R.F. Stearley. 1989. The classification and scientific names of rainbow and cutthroat trouts. *Fisheries.* 14(1): 4–10.
Stearley, R.F. and G.R. Smith. 1993. Phylogeny of the Pacific trout and salmon (*Oncorhynchus*) and genera of the family Salmonidae. *Transactions of the American Fisheries Society*. 122(1): 1–33.
Wilson, M.F. 1997. Variation in salmonid life historyes: patterns and prespectives. *Research Papers PNW-RP-498*. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 50 p.
Wilson, W.D. and T.F. Turner. 2009. Phylogenetic analysis of the Pacific cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki* ssp.: Salmonidae) based on partial mtDNA ND4 sequences: A closer look at the highly fragmented inland species. *Molecular Phylogenetics and Evolution.* 52(2): 406–415.