

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





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 más 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. <i>marko.escalante@gmail.com</i>
Espinosa Pérez, Héctor	Colección Nacional de Peces. Instituto de Biología, UNAM. Ciudad Universitaria, 3er Circuito Exterior s/n. Coyoacán, CDMX. 04510. México. <i>hector@unam.mx</i>
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. <i>fgarciadl@cibnor.mx</i> .
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. <i>aacosta@ipn.mx</i>
Hernández Guzmán, Rafael	Catedrático CONACYT - Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. San Juanito Itzicuaró s/n. Col. Nueva Esperanza, Morelia, Michoacán. 58330. México. <i>rhernandez.g@gmail.com</i>
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. <i>genovevaingle@yahoo.com.mx</i>
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 trabajo 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, allí 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 Ruíz 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 Ruíz-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

12. 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

INTRODUCCIÓN

La Sierra Madre Occidental (SMO) es un ecosistema altamente heterogéneo en términos geológicos y climáticos, lo que permite que haya una gran riqueza y diversidad biológica no sólo en los ecosistemas terrestres sino también en los acuáticos (Brown 1994). Tal es el caso del complejo de truchas del género *Oncorhynchus* que habita en las zonas altas de los ríos de la SMO sobre los 1500 msnm (Hendrickson et al. 2006). A pesar de que únicamente una especie ha sido formalmente descrita, los estudios genéticos han determinado que este complejo de truchas de la SMO muestra una gran diversidad de especies nativas (García-De León et al. en preparación, Camarena-Rosales et al. 2007, Abadía-Cardoso et al. 2015). Desafortunadamente, estos grupos se encuentran en riesgo por varios factores como la deforestación, la contaminación del agua, el cambio climático global y particularmente, la introducción de la trucha arcoíris exótica, *Oncorhynchus mykiss* (Escalante et al. 2014, Abadía-Cardoso et al. 2015).

La trucha arcoíris es nativa del Océano Pacífico Norte, desde la Península de Kamchatka en Rusia hasta Baja California en México pero ha sido introducida en casi todos los países del mundo incluyendo México, para la pesca deportiva y su cultivo en acuicultura con un éxito extraordinario ya que se adapta fácilmente a diferentes condiciones ambientales (Crawford y Muir 2008). En México, esta especie está en la lista del “Sistema de Información sobre Especies Invasoras” de la CONABIO (González-Martínez et al. 2014). La primera introducción de la trucha arcoíris en el país data del año 1888, con 30 mil huevos procedentes del río McCloud en los Estados Unidos de América (Arredondo-Figueroa 1983). La introducción se justificó debido a la falta de información sobre las especies nativas de la misma familia en territorio mexicano (Espinosa-Pérez et al. 2007). El primer centro piscícola del país creado para la reproducción de trucha arcoíris se estableció en la Ciudad de México en 1937 (Carta Nacional Acuícola 2013, <http://www.inapesca.gob.mx/portal/publicaciones/carta-nacional-acuicola>) y desde entonces, el número de centros dedicados al cultivo de esta especie exótica se ha incrementado exponencialmente.

Actualmente, existen registradas 1248 granjas comerciales y 492 de autoconsumo de trucha arcoíris localizadas en 14 entidades federativas y aunque la actividad trutícola se realiza principalmente en zonas con climas de templado a frío y en sitios con altitud superior a los 500 msnm (Carta Nacional Acuícola 2013), existen granjas pequeñas no registradas en prácticamente todos los estados de la República Mexicana, situación que afecta de manera grave y directa a las especies nativas, ya que no se tiene el control adecuado para evitar escapes de las truchas exóticas al medio natural. Esta situación crea la necesidad inminente de generar estudios como el presente que promuevan el desarrollo de biotecnologías para el cultivo de las especies nativas y así reducir el riesgo de hibridación

con la trucha arcoíris exótica. Los objetivos de este trabajo fueron varios: 1) hacer una prospección detallada del norte de la SMO para la búsqueda y colección de reproductores a partir de juveniles y adultos de truchas nativas capturados en su medio natural para el cultivo experimental; 2) determinar y asegurar la identidad nativa de estos reproductores utilizando métodos genéticos y 3) evaluar los aspectos reproductivos bajo condiciones controladas de cultivo.

MÉTODOS

Prospecciones y recolectas de truchas nativas

Se realizaron prospecciones en busca de truchas nativas en diferentes regiones de la SMO en el estado de Chihuahua, México (Fig. 1) en el período 2013 - 2015, tomando como referencia el modelo de delimitación de las cuencas e hidrología y los sitios de recolecta reportados bibliográficamente (Hendrickson et al. 2002). La obtención de datos y análisis de los sitios de recolecta se realizó con la herramienta de modelado hidrológico del ArcGIS 10 (ESRI *Geographic information systems*), la cual proporciona los métodos para describir los componentes físicos de una superficie y permite identificar sumideros, determinar la dirección de flujo, calcular la acumulación de flujo, delinear cuencas hidrográficas y crear redes de corrientes. Además, se utilizó la cartografía base de la unidad hidrográfica del estado de Chihuahua y la cartografía oficial de la hidrografía del área de estudio en formato *shapefile* obtenida del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a escala 1:50,000 y 1:250,000.

Los datos del área de estudio se obtuvieron a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) con una resolución de 15 m. Se utilizó la herramienta *Watershed* para la generación de cuencas y establecer el área aportante de la cuenca que drena dentro de ella y que fluye a una dirección determinada (Alves et al. 2010). Se creó el archivo *shapefile* con los polígonos de las unidades hidrográficas delimitadas a través de la herramienta Raster To Polygon. Por último, se llevó a cabo la codificación de cuencas hidrográficas siguiendo las recomendaciones de Galvão y Meneses (2005).

Debido a la presencia de unidades de producción de trucha arcoíris (UPT) no nativa en las cuencas de interés, se definieron los sitios de prospección y recolecta en lugares donde la distribución natural de truchas nativas no compartiera un mismo sistema de corrientes con las UPT y así disminuir la posibilidad de capturar escapes de trucha arcoíris.

Las técnicas de recolecta fueron manuales, utilizando redes de cuchara, chinchorro y anzuelos, posteriormente se utilizó un generador de corriente (Honda EUi-10) como sustituto de electropesca. Los sitios de prospección fueron georreferenciados, utilizando un equipo de GPS (GARMIN 62SC).

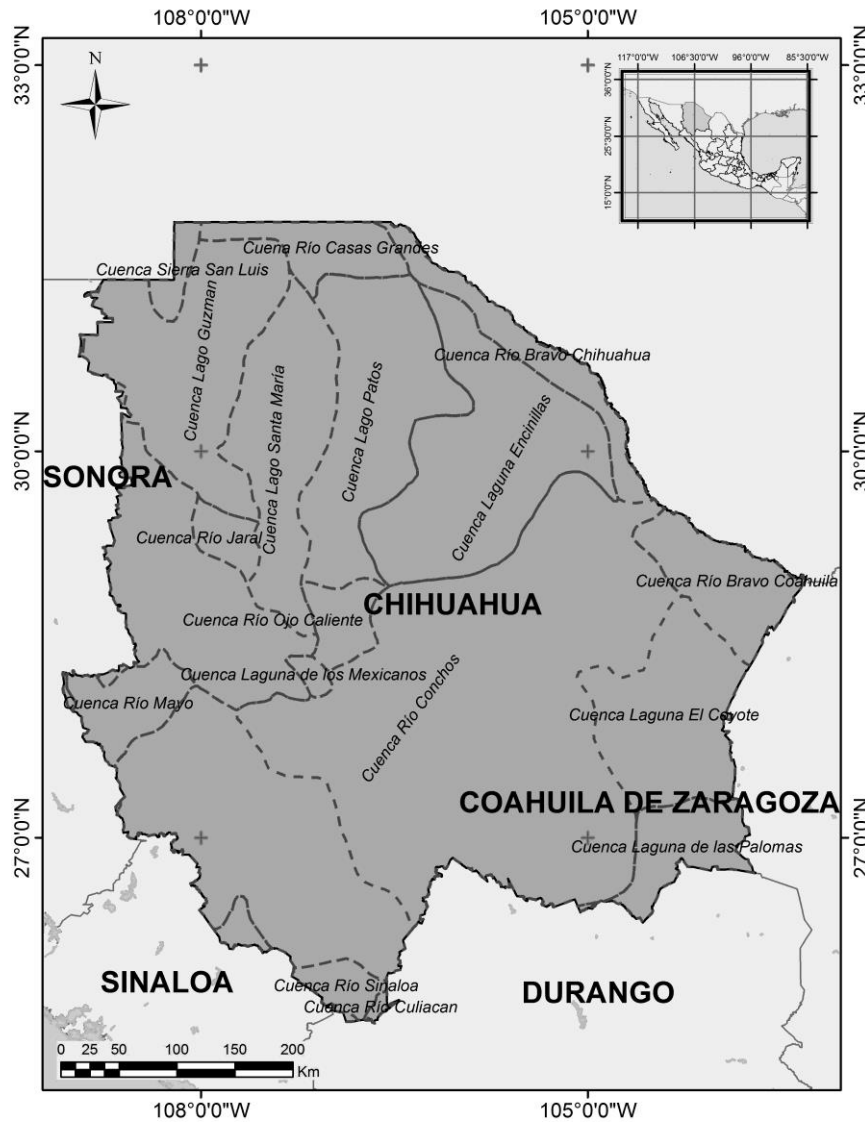


Figura 1. Localización geográfica de las cuencas de los ríos Yaqui y Fuerte exploradas en este estudio.

Determinación de la identidad genética

Se extrajo el ADN genómico de una submuestra de 144 individuos recolectados en diversos afluentes de las cuencas del río Yaqui-río Tomochic y el río Fuerte. La extracción se realizó utilizando un sistema semiautomático de membranas (DNeasy 96 Tissue Kit) en un BioRobot 3000 (Qiagen Inc.).

Todas las muestras se genotificaron con un panel de 95 polimorfismos nucleotídicos simples (SNPs). Estos SNPs fueron desarrollados para la trucha arcoíris (*O. mykiss*; (Aguilar y Garza 2008, Campbell et al. 2009, Abadía-Cardoso et al. 2011) y validados en múltiples poblaciones de truchas nativas de la SMO (Abadía-Cardoso et al. 2015) incluyendo las cuencas donde fueron colectadas las muestras del presente capítulo.

Primero se llevó a cabo un PCR de pre-amplificación (las condiciones pueden ser consultadas con los autores) y posteriormente la genotificación que se llevó a cabo

usando ensayos de discriminación alélica de la nucleasa 5' (TaqMan™; *Life Technologies*) en arreglos dinámicos de genotipificado de SNPs 96.96 en un sistema EP1 (*Fluidigm Corporation*) utilizando los protocolos recomendados por el fabricante.

Los genotipos generados fueron comparados con los genotipos previamente obtenidos de poblaciones nativas de los ríos Yaqui, Conchos, Fuerte, Sinaloa, Culiacán, San Lorenzo y Piaxtla (Abadía-Cardoso et al. 2015, Tabla 1). Además, se incluyeron cuatro poblaciones de trucha arcoíris de criaderos localizados en ríos donde se han reportado truchas nativas en la SMO y una del Centro Trutícola Guachochi, Chihuahua. Esta última población corresponde a un lote presumiblemente de trucha nativa que resultó contaminado por trucha arcoíris (Abadía-Cardoso et al. 2015). Por último, se incluyeron los genotipos de cuatro sepas de trucha arcoíris de criadero de California que se conocen por exportar huevos a otros criaderos (Pearse y Garza 2015; Tabla 1).

Tabla 1. Poblaciones utilizadas para el análisis de determinación de identidad genética. Los grupos de organismos evaluados corresponden a los números del 1 al 5. N: número de individuos analizados; He: Heterocigosidad esperada; Ho: Heterocigosidad observada.

Núm	Población	N	He	Ho
1	Río Yaqui- Río Sirupa- Río Tomochic- Arroyo La Tinaja	17	0.005	0.006
2	Río Yaqui- Río Sirupa- Río Tomochic- Arroyo Rosacachi	10	0.005	0.006
3	Río Yaqui- Río Sirupa- Río Tomochic A	20	0.043	0.020
4	Río Yaqui- Río Sirupa- Río Tomochic B	44	0.021	0.016
5	Río Fuerte- Río Chinatu- Arroyo San José	50	0.079	0.071
6	Río Yaqui- Río Bavispe- Arroyo Los Cuarteles	25	0.005	0.004
7	Río Yaqui- Río Sirupa- Río Papagochi- Arroyo El Salto	33	0.022	0.019
8	Río Conchos- Río El Porvenir- Arroyo San Antonio- Arroyo El Molino	21	0.007	0.003
9	Río Fuerte- Arroyo Santa Rosalia- Arroyo Las Truchas	29	0.061	0.061
10	Río Sinaloa- Río San José- Río Basonopira- Arroyo Potrero	26	0.007	0.002
11	Río Sinaloa- Río Mohinora- Arroyo Soldado	38	0.107	0.105
12	Río Culiacán- Arroyo Santa Rosa	21	0.119	0.109
13	Río San Lorenzo- Río Los Remedios- Arroyo Las Truchas	27	0.081	0.083
14	Río Piaxtla- Arroyo de la Plazuela- ejido El Maguey	33	0.049	0.050
15	Río Yaqui- Río Bavispe- Criadero Arroyo Yenquin	24	0.346	0.339
16	Río Yaqui- Río Bavispe- Arroyo El Arco- Criadero Truchas la Presita	19	0.332	0.343
17	Río Fuerte- Río Ateros- Arroyo Aparique criadero abandonado	7	0.277	0.284
18	Río San Lorenzo- Río Los Remedios- Criadero Piscicultura Vencedores	18	0.359	0.367
19	Criadero Centro trutícola Guachochi	73	0.332	0.362
20	Battle Creek- Cepa Coleman	46	0.338	0.344
21	British Columbia- Cepa Kamloops	47	0.225	0.221
22	Eagle Lake- Cepa Eagle Lake	47	0.246	0.239
23	Upper American River- Cepa Mt. Shasta	47	0.310	0.312

La variabilidad genética dentro de las poblaciones fue estimada a partir de la heterocigosidad esperada (H_E) y la observada (H_O) utilizando el programa GENEPOP (Rousset 2008). Múltiples análisis fueron aplicados para determinar el origen y las relaciones genéticas de los organismos. Se determinó la ancestría de los individuos a partir de un análisis Bayesiano de agrupamiento implementado en el programa STRUCTURE 2.2 (Pritchard et al. 2000). Se evaluaron valores de $K = 2 - 7$, con cinco iteraciones cada uno. Los resultados se organizaron y visualizaron con los programas CLUMPP (Jakobsson y

Rosenberg 2007) y DISTRUCT (Rosenberg 2004). Además, se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales (ACP) usando el paquete adegenet 1.3-4 (Jombart 2008) en el programa R (R Development Core Team 2011). Por último, se generó un dendrograma (representación gráfica de datos genéticos en forma de árbol) sin raíz utilizando el método del vecino más cercano y distancias genéticas de Cavalli-Sforza y Edwards con el programa PHYLIP (Felsenstein 2005). Los loci que fallaron para una población completa fueron eliminados de forma que el dendrograma incluyó 89 SNPs y 23 poblaciones.

Parámetros reproductivos

Los organismos recolectados (Tabla 2) fueron trasladados al Centro Trutícola Guachochi, donde fueron aclimatados y liberados en dos estanques de concreto previamente acondicionados. En cada estanque se introdujo un lote de peces de acuerdo al origen.

La revisión de la madurez gonádica de los organismos colectados se llevó a cabo al inicio de la época de invierno, ya que se ha observado que las características climáticas en México propician la reproducción de otros salmónidos como la trucha arcoíris entre los meses de noviembre a febrero (Ingle de la Mora et al. 2009). Una vez seleccionados los organismos maduros, se procedió a obtener las ovas y el semen, y se llevó a cabo la fecundación artificial. Los desoves se realizaron en tres tiempos para los reproductores del río Yaqui (2013, 2014 y 2015) y dos para los del río Fuerte (2015 y 2016).

Las ovas fertilizadas fueron colocadas en charolas de incubación. La totalidad de ovas obtenidas fue contada manualmente en la etapa de huevo oculado. La mortalidad por estadio de desarrollo fue retirada y registrada. Se obtuvo una submuestra de 142 óvulos de cuatro hembras (dos por cuenca de origen) para evaluar el diámetro de ova (mm) utilizando un microscopio binocular estereoscópico (Olympus SZ61) y el programa *Image-Pro Plus Media Cybernetics* v6.2 siguiendo la metodología reportada en Ingle de la Mora et al. (2009).

Los parámetros reproductivos evaluados de los machos fueron: peso pre y post-espermiación (g), y peso teórico del esperma (peso pre - peso post-espermiación (g)). Los parámetros reproductivos evaluados de las hembras fueron: fecundidad absoluta (número de ovas por hembra), fecundidad relativa (número total de ovas/peso post-desove (g)), diámetro de ova (mm), porcentaje del huevo oculado (número de huevos oculados/número total de huevos obtenidos X 100), porcentaje de eclosión (número de alevines obtenidos/número total de huevos obtenidos X 100). La edad del embrión se determinó a partir de la “Unidad Térmica”, que equivale a un grado de temperatura sobre cero durante un periodo de veinticuatro horas. La suma acumulativa de la temperatura media diaria por el número de días para alcanzar la eclosión (grados día) define el tiempo que se necesita para que el embrión alcance su desarrollo (Blanco 1995). Los datos obtenidos se expresaron en grados día (de huevo verde a oculado y de huevo oculado a eclosión). Los desoves se clasificaron de acuerdo al periodo en el que se realizó cada uno y de acuerdo a la cuenca de origen. El desempeño reproductivo se evaluó sometiendo las bases de datos a pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad (Test de Barlett) y se aplicó un análisis de varianza de dos factores con nivel de confianza del 95%. El análisis estadístico se realizó con el software Statistica v10.

RESULTADOS

Prospecciones y colectas de truchas nativas

Las colectas de truchas nativas se realizaron exitosamente en ocho arroyos localizados en las cuencas de los ríos Yaqui y Fuerte, en el periodo de 2013 - 2015 (Tabla 2). En la cuenca del río Yaqui se colectaron 104 organismos en seis arroyos localizados en la subcuenca del río Tomochic (Fig. 2) y en la cuenca del río Fuerte se colectaron 82 organismos en dos arroyos localizados en las subcuencas de los ríos Chinatú y río Verde (Fig. 3).

Tabla 2. Truchas nativas colectadas en las cuencas de los ríos Yaqui y Fuerte, en el estado de Chihuahua, México. N: número de organismos colectados.

Año	Mes	Cuenca	Subcuenca	Arroyo	N
2013	Abril	Río Yaqui	Río Tomochic	El Piñón	5
2013	Abril	Río Yaqui	Río Tomochic	La Tinaja	10
2013	Junio	Río Yaqui	Río Tomochic	La Tinaja	7
2013	Agosto	Río Yaqui	Río Tomochic	El Piñón	2
2013	Agosto	Río Yaqui	Río Tomochic	Rosacachi	12
2013	Septiembre	Río Yaqui	Río Tomochic	El Carrizo	13
2014	Julio	Río Yaqui	Río Tomochic	Ochocachi	8
2014	Julio	Río Yaqui	Río Tomochic	Erepreachi	37
2014	Diciembre	Río Yaqui	Río Tomochic	Ochocachi	3
2014	Diciembre	Río Yaqui	Río Tomochic	Erepreachi	7
2014	Diciembre	Río Fuerte	Río Chinatú	San José	23
2015	Diciembre	Río Fuerte	Río Chinatú	San José	56
2015	Diciembre	Río Fuerte	Río Verde	-	3

Se registró una sobrevivencia al final de periodo experimental de 46% del total de las truchas nativas colectadas en las dos cuencas. La causa principal de la mortalidad fueron las lesiones causadas por los anzuelos durante la recolecta, contingencias durante el manejo de los organismos y la poca aceptación de alimento suministrado.

De acuerdo al análisis de los sitios de recolecta y de la base de datos de las UPT en el estado de Chihuahua, no se registraron UPT cercanas a los sitios de recolecta en la cuenca del río Yaqui. Por otro lado, se observaron tres UPT en la cuenca del río Fuerte (Fig. 3), sin embargo, estas no comparten la misma corriente de agua con los sitios de recolecta, los cuales se ubican en altitudes superiores a 2400 msnm en contraste con las UPT que se localizan a una altitud aproximada de 1994 msnm.

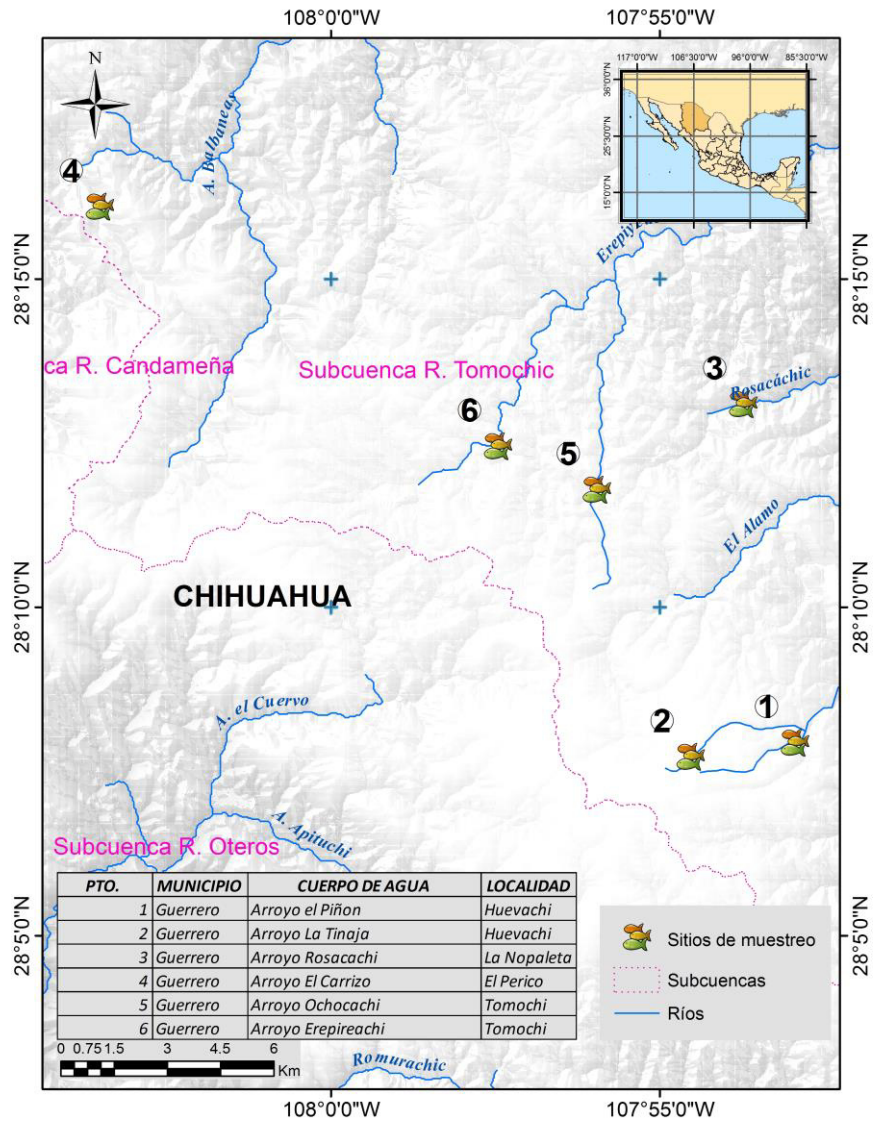


Figura 2. Sitios de recolecta de trucha nativa en la subcuenca del río Tomochic, cuenca del río Yaqui.

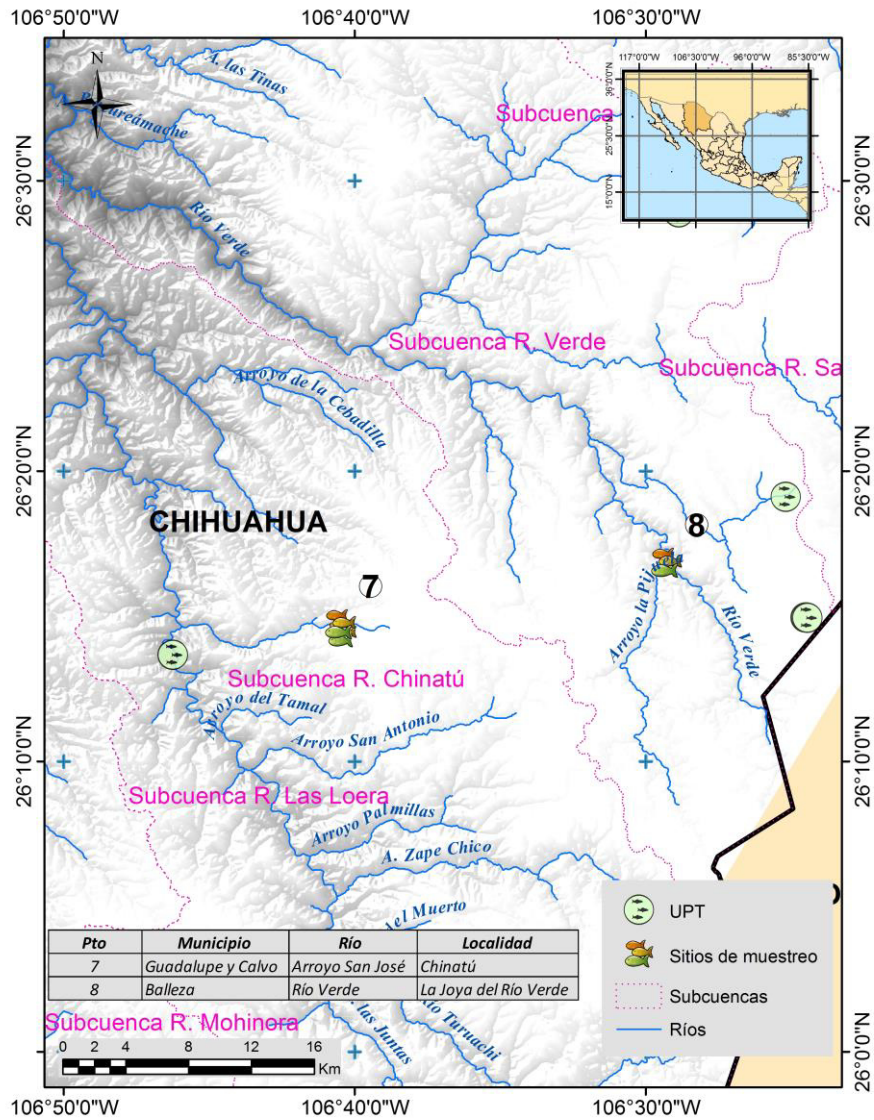


Figura 3. Unidades de Producción de Trucha arcoíris (UPT) en referencia a los sitios de recolecta de trucha nativa en la cuenca del río Fuerte.

Determinación de la identidad genética

Todos los 144 organismos de la submuestra fueron genotipados exitosamente con el panel de 95 SNPs. La heterocigosidad observada de las truchas evaluadas fue baja en comparación a las poblaciones de criadero pero similar a las poblaciones nativas, siendo la más baja en el río Yaqui-arroyo Rosacachi ($H_o = 0.005$) y la más alta en el río Fuerte-arroyo San José ($H_o = 0.079$; Tabla 1). Los resultados del análisis Bayesiano y del ACP indican que la mayoría de los organismos evaluados vienen de poblaciones nativas excepto por dos organismos, uno perteneciente al grupo Yaqui-Tomochic A y el otro al grupo Yaqui-Tomochic B que se agrupan con las truchas arcoíris de criadero (Figs. 4 y 5).

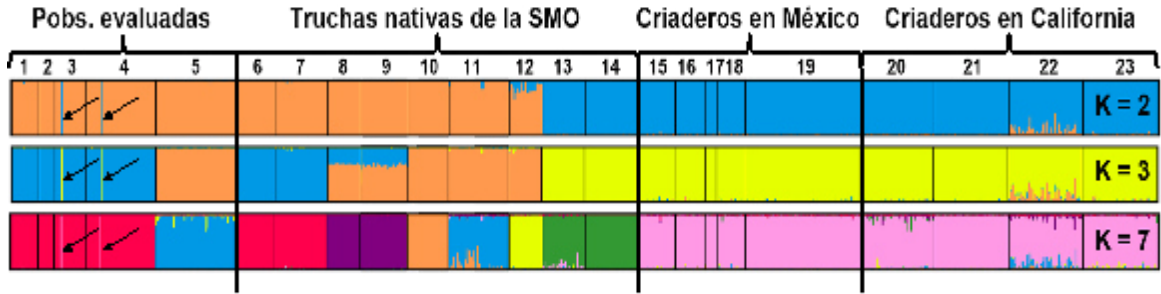


Figura 4. Estimación de la ancestría (representada por colores) de los 144 organismos evaluados (poblaciones 1 al 5) en comparación con organismos pertenecientes a nueve poblaciones de truchas nativas de diferentes cuencas (dos del río Yaqui (6 y 7), una del río Conchos (8), una del río Fuerte (9), dos del río Sinaloa (10 y 11), una del río Culiacán (12), una del río San Lorenzo (13) y una del río Piaxtla (14)), cinco poblaciones de trucha arcoíris de criaderos en México (15 al 19) y cuatro cepas de trucha arcoíris de criadero de California, E.U.A (20 al 23). Cada línea delgada vertical representa a un individuo y las líneas negras separan las diferentes localidades. Se muestra el patrón más frecuente de cinco iteraciones para los valores de $K = 2, 3$ y 7. Las flechas señalizan a los organismos evaluados identificados como trucha arcoíris.

El resto de los organismos evaluados provenientes de los arroyos de la subcuenca río Tomochic se agrupan claramente con la población nativa del río Yaqui en ambos análisis. Por otro lado, los organismos colectados en el río Fuerte-arroyo San José muestran una afinidad mayor a las poblaciones de *O. chrysogaster* (Figs. 4 y 5).

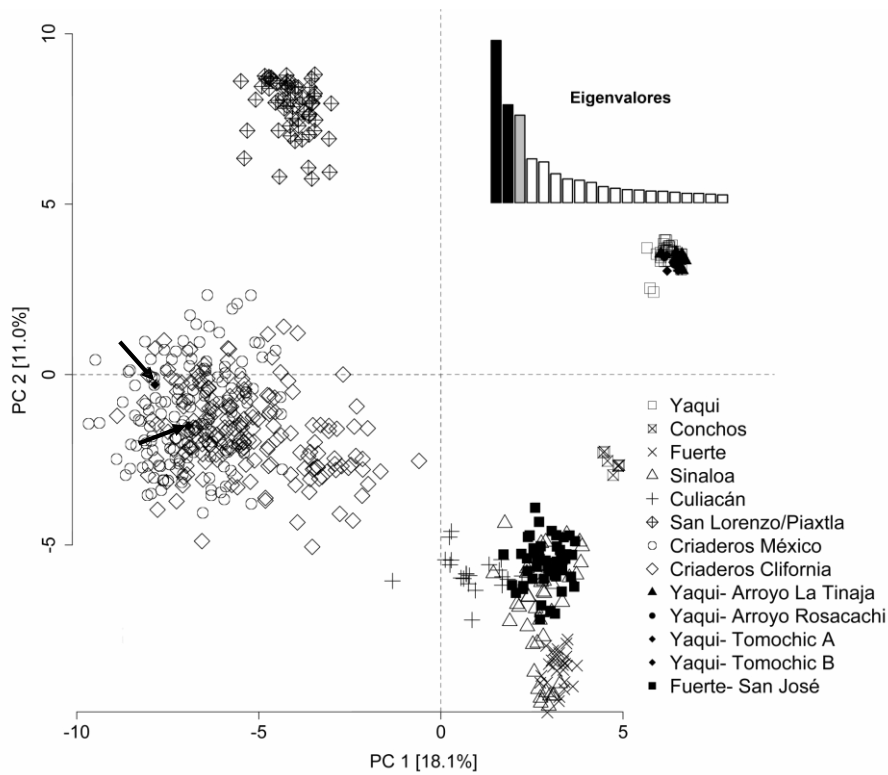


Figura 5. Análisis de Componentes Principales a partir de las frecuencias alélicas de 95 SNPs. Las flechas señalizan a los organismos evaluados identificados como trucha arcoíris.

Además, en el análisis Bayesiano se observa que los organismos del río Fuerte-arroyo San José se agrupan con la población nativa de *O. chrysogaster* del río Culiacán a valores altos de K (e. g. K = 7), sin embargo, en el ACP muestra una mayor proximidad a la población del río Sinaloa (Figs. 4 y 5).

Finalmente, los resultados del dendrograma son consistentes con lo observado en los análisis previos, es decir, los grupos evaluados pertenecientes a la cuenca del río Yaqui-río Tomochic se agruparon con las poblaciones nativas del río Yaqui y el grupo evaluado de la cuenca del río Fuerte- arroyo San José se asoció con la rama correspondiente a *O. chrysogaster*, específicamente a la población del río Culiacán al igual que en el análisis Bayesiano (Fig. 6).

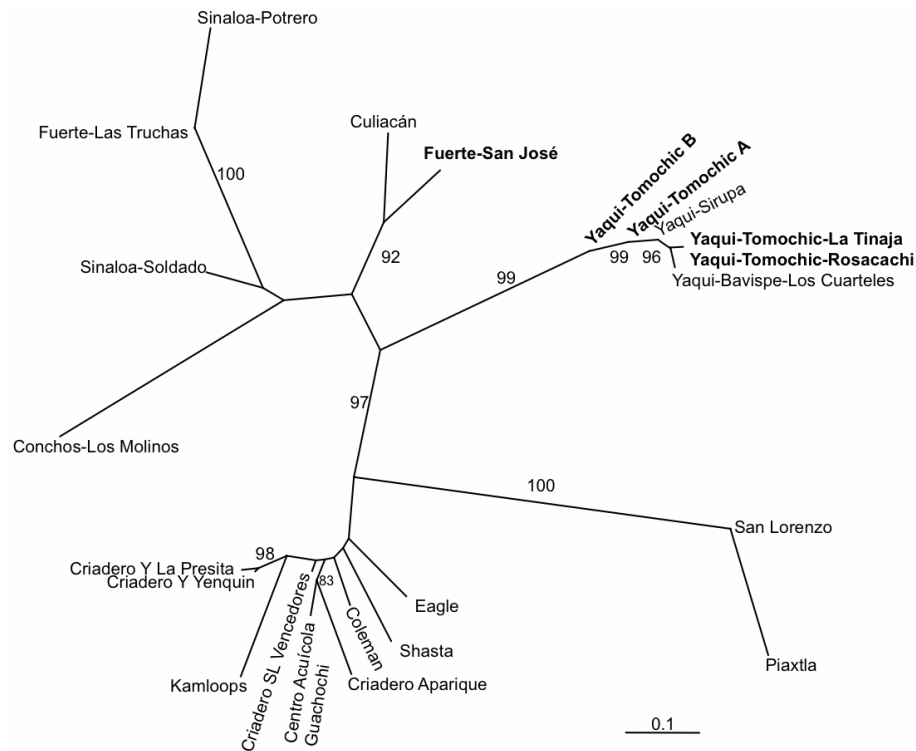


Figura 6. Dendrograma construido con el método del vecino más cercano a partir de 89 SNPs y utilizando distancias genéticas de Cavalli-Sforza y Edwards. Se muestran valores de bootstrap mayores al 80%. Los grupos de organismos evaluados se muestran en negritas.

Parámetros reproductivos

La fecundación artificial de los organismos colectados en las cuencas de los ríos Yaqui y Fuerte se completó exitosamente. Se obtuvieron desoves y espermiaciones en tres tiempos para los reproductores del río Yaqui y en dos tiempos para los de la cuenca del río Fuerte (Tabla 3).

Tabla 3. Número de organismos utilizados en cada tiempo de reproducción para las cuencas de los ríos Yaqui y Fuerte.

	Río Yaqui						Río Fuerte			
	Primer tiempo	%	Segundo tiempo	%	Tercer tiempo	%	Primer tiempo	%	Segundo tiempo	%
Hembras desovadas	15	43	15	38	10	56	9	41	16	24
Machos espermeados	12	34	14	36	8	44	9	41	9	13
Inmaduros	8	23	10	26	0	0	4	18	42	63
Total de organismos	35		39		18		22		67	
Porcentaje de sobrevivencia	71		38		17		96		2	

Los machos de ambas cuencas utilizados en estas cruza presentaron un aumento en el peso corporal y peso teórico del esperma durante la temporada de reproducción, aunque los organismos del río Fuerte presentaron valores más bajos, siendo el organismo más pequeño de 10.7 g (Tabla 4).

Tabla 4. Valores obtenidos del peso pre-espermiación (Peso Pre), peso post-espermiación (Peso Post), peso teórico del esperma y número de machos utilizados en la fecundación de las hembras (n) durante el manejo reproductivo. Cada valor es la media \pm DE (desviación estándar).

Cuenca	Tiempo de espermiación	Peso Pre (g)	Peso Post (g)	Peso teórico esperma (g)	n
Yaqui	Primero	59.1 \pm 23.4 (32.9-100.2)	58.2 \pm 23.2 (32.3-99.2)	0.9 \pm 0.2 (0.5-1.2)	12
Yaqui	Segundo	90.3 \pm 30.6 (39.6-150.9)	89.6 \pm 30.4 (39.3-149.7)	0.7 \pm 0.5 (0.2-2)	14
Yaqui	Tercero	208.1 \pm 102.3 (60.1-350)	207.0 \pm 102.0 (59.9-349)	1.1 \pm 0.6 (0.2-2)	8
Fuerte	Primero	35.8 \pm 11.0 (24.7-51.6)	35.5 \pm 11.1 (24-51.3)	0.4 \pm 0.3 (0.1-1)	9
Fuerte	Segundo	56.1 \pm 33.2 (10.7-112.8)	55.6 \pm 32.9 (10.7-112.1)	0.5 \pm 0.4 (0-1)	9
Total		85.8 \pm 72.0 (10.7-350)	85.1 \pm 71.7 (10.7-349)	0.7 \pm 0.5 (0-2)	52

Los resultados muestran que el peso de las hembras de ambas cuencas está positivamente relacionado con la fecundidad absoluta pero negativamente relacionado con la fecundidad relativa ($p < 0.05$). Se observaron diferencia estadísticamente significativas ($p < 0.05$) con respecto a los valores de fecundidad relativa de las hembras de la cuenca del río Yaqui, siendo más altos en el primer desove con respecto a los del segundo y tercero.

Tabla 5. Parámetros reproductivos y biométricos de las hembras reproductoras del río Yaqui. Cada valor es la media \pm DE (desviación estándar). Mismos subfijos no representan variaciones significativas, ($p > 0.05$) diferentes subfijos, representan variaciones significativas ($p < 0.05$).

	Primer tiempo n= 15	Segundo tiempo n= 15	Tercer tiempo n= 10
Peso pre-desove (g)	42.2 \pm 11.3 (28.1 - 71.8)	50.2 \pm 18.5 28.1 - 100.2	91.4 \pm 27.6 49.1 - 131.4
Peso post-desove (g)	34.1 \pm 10.2	41.6 \pm 14.7 (26.0 - 79.1)	72.2 \pm 25.1 (41.7 - 118.5)
Longitud estándar (cm)	13.4 \pm 1.4 (11.8 - 17.1)	14.6 \pm 1.7 (12.0 - 18.0)	17.3 \pm 2.1 (14.3 - 21.0)
Fecundidad absoluta (Número de ovas)	215 \pm 39b (143 - 309)	200 \pm 103b (67 - 484)	316 \pm 90c (182 - 522)
Fecundidad relativa (Número de ovas/g)	6 \pm 2a (4 - 6)	5 \pm 2b (3 - 6)	5 \pm 1b (4 - 4)
Peso de ova (g)	ND	0.04 \pm 0.01 (0.02- 0.05)	0.06 \pm 0.01 (0.03 - 0.08)
Diámetro de ova (mm)	ND	ND	4.0 \pm 0.19 (3.5 - 4.7)
Huevo oculado (%)	83.5 \pm 14.5 (52.9 - 99.1)	76.2 \pm 26.6 (0 - 96.6)	70.6 \pm 42.2 (0 - 100)
Eclosión (%)	83.0 \pm 14.5 (52.9 - 99.1)	74.6 \pm 27.1 (0 - 96.6)	70.6 \pm 42.2 (0 - 100)
Grados día de huevo verde a oculado (grados día)	205.7 \pm 21.8 (171.6 - 232.2)	197.7 \pm 7.8 (183.0 - 206.4)	178.0 \pm 7.93 (171.0 - 190)
Grados día de huevo oculado a eclosión (grados día)	390.2 \pm 11.2 (374.1-425.1)	370.7 \pm 40.5 (317.2-425.7)	323.0 \pm 56.2 (194.0 - 388.0)

Los porcentajes de huevo oculado y eclosión obtenidos en el primer desove fueron más altos con respecto a los del segundo y tercer desoves, aunque el peso y talla fueron mayores (Tabla 5).

Tabla 6. Parámetros reproductivos y biométricos de las hembras reproductoras del río Fuerte. Cada valor es la media \pm DE (desviación estándar). Mismos subfijos, no presentaron variación significativa $P > 0.05$, diferentes subfijos, mostraron variación significativa $p < 0.05$.

	Primer tiempo n= 9	Segundo tiempo n= 16
Peso pre-desove (g)	40.1 \pm 19.9 (15.8 - 73.7)	67.8 \pm 27.8 (34.3 - 129.9)
Peso post-desove (g)	34.9 \pm 18.2 (13.3 - 71.0)	57.1 \pm 25.4 (28.6 - 113.9)
Longitud estándar (cm)	13.4 \pm 2.2 (9.7 - 17.1)	16.1 \pm 2.2 (12.8 - 20.0)
Fecundidad absoluta (Número de ovas)	161 \pm 60a (84 - 313)	280 \pm 106b (72 - 464)
Fecundidad relativa (Número de ovas / g)	5 \pm 2b (4 - 6)	5 \pm 3b (3 - 4)
Peso de ova (g)	0.03 \pm 0.02 (0.01 - 0.06)	0.04 \pm 0.03 (0.02 - 0.14)
Diámetro de ova (mm)	3.8 \pm 0.17 (3.1 - 4.4)	3.8 \pm 0.17 (3.1 - 4.4)
Huevo oculado (%)	77.3 \pm 34.1 (0 - 100)	92.9 \pm 7.7 (77.7 - 99.8)
Eclosión (%)	73.6 \pm 34.7 (0 - 100)	92.1 \pm 7.7 (77.7 - 99.8)
Grados día de huevo verde a oculado (grados día)	189.6 \pm 12.3 (171.0 - 207.4)	177 \pm 13.6 (171.0 - 203.2)
Grados día de huevo oculado a eclosión (grados día)	345.1 \pm 28.5 (292.8 - 393.7)	351.8 \pm 21.9 (319.2 - 387.6)

Las hembras del río Fuerte desovadas presentaron valores promedio de fecundidad absoluta y relativa mayores en 2016 con respecto a las del 2015, en contraste, la fecundidad relativa no presentó diferencias estadísticamente significativas ($P > 0.05$) entre el primero y segundo tiempo. Además, los porcentajes de huevo oculado y de eclosión fueron mayores en las hembras desovadas en el 2016 con respecto a las del 2015 (Tabla 6).

DISCUSIÓN

Prospecciones y colectas de truchas nativas

En México se cuenta con limitada información geográfica de unidades hidrográficas (ver Hernández-Guzmán y Ruiz-Luna Capítulo 2, esta obra), es por esto que los resultados del presente trabajo ayudan a minimizar este requerimiento para las cuencas del estado de Chihuahua. El procedimiento descrito para determinar los sitios óptimos de recolecta se eligió con base en estudios desarrollados en diferentes países de Sudamérica (Aguirre et al.

2003; Rinner et al. 2014) y México (Hendrickson et al. 2006; Ruiz-Luna et al. 2014). En este trabajo, el uso de los datos altimétricos del MDE de 15 m de resolución espacial y la cartografía validada de cuencas hidrográficas disponible de forma oficial nos ayudó en la identificación de los sitios de prospección de la trucha nativa en las cuencas seleccionadas. Es importante resaltar que el establecer unidades hidrográficas en este estudio tuvo como función principal constituir unidades planificadoras, esto es que la delimitación del sistema hidrográfico nos ayudó a discriminar los sitios en donde las UPT tienen influencia directa en la recolecta de organismos.

Determinación de la identidad genética

El uso de análisis genéticos para la identificación del stock o población de origen de algún individuo es un método altamente eficaz, ya que cada organismo tiene una marca genética única. Estos métodos se han utilizado por décadas en la determinación de la identidad genética en pesquerías y acuicultura (i.e. Pérez y García-Vázquez 2004; Clemente et al. 2014; Hoareau et al. 2015). Las herramientas genéticas utilizadas en este estudio nos permitieron corroborar de manera precisa la identidad nativa de los organismos utilizados en el cultivo experimental. Los resultados muestran que la mayoría de los organismos colectados pertenecen al linaje genético nativo de la cuenca en la que fueron colectados. Únicamente dos organismos fueron identificados como trucha arcoíris exótica, los cuales no mostraron mezcla genética por lo tanto, al menos en el momento de la recolecta no hibridaron. Es importante mencionar que estos organismos se colectaron en la cuenca del río Yaqui-río Tomochic a pesar de que el análisis de los sitios de recolecta y la base de datos de las UPT no mostraran UPT cercanas a los sitios de recolecta en esta cuenca. Una posible explicación es que la base de datos no esté actualizada y haya más granjas de cultivo de trucha arcoíris establecidas en estas cuencas que las registradas, por lo tanto, una mayor probabilidad de escapes cerca de los sitios de recolecta. También es posible que exista translocación humana de trucha arcoíris de forma activa en la zona. Por otro lado, es conocida la gran capacidad de las truchas para migrar y trasladarse grandes distancias (Shapovalov y Taft 1954), por lo tanto, es posible que estos animales hayan viajado desde otras áreas donde hay UPT hasta los sitios de recolecta, sin embargo, esto depende de la conectividad física entre afluentes (ver Hernández-Guzmán y Ruiz-Luna capítulo 2 en esta obra). Otra posibilidad es que a pesar de que los sitios de recolecta de ejemplares vivos de trucha nativa se encontraban fuera de las zonas de cultivo de trucha arcoíris, la logística para su captura requirió movilizarse por zonas de difícil acceso y frecuentemente a días de distancia caminando entre una zona y otra. Con la finalidad de asegurar la sobrevivencia de los organismos mientras se concluía la recolecta, los ejemplares se acopiaron en un estanque de una granja de cultivo de trucha arcoíris, por lo que se presume que algunos animales saltaron al estanque de trucha nativa contaminando la muestra.

Parámetros reproductivos

En el presente estudio, se evaluaron los parámetros reproductivos de truchas nativas colectadas en las cuencas de los ríos Yaqui y Fuerte en Chihuahua, México, donde se incluyeron como reproductores a 65 hembras y 52 machos (relación de 1.3:1), esta proporción es muy similar al óptimo que propone Erdahl (2009), quien indica que el recomendable de la relación macho:hembra en el apareamiento de los salmónidos en cautiverio es de 1:1 para prevenir la pérdida de variabilidad genética.

Los periodos de desove para los peces de ambas cuencas se realizaron entre los meses de diciembre a marzo, incrementando su intensidad para ambas poblaciones en el mes de enero. Lo anterior coincide con un decremento de la temperatura del agua de 1 a 2°C y con un incremento paulatino de la misma durante los tres meses siguientes ya cuando las crías iniciaron su alimentación en condiciones naturales. El periodo de reproducción coincide con el reportado por Ruiz-Campos (1993) para la subespecie de trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss nelsoni* aunque el pico de desove se da en febrero.

Las tallas mínimas de reproducción de las hembras de las poblaciones de las cuencas Yaqui y Fuerte (9.7 cm y 11.8 cm respectivamente) son similares a las reportadas para *O. m. nelsoni*, la cual presenta madurez sexual entre los 103 y 112 mm a partir del primer año de vida (Ruiz-Campos 1993). La madurez sexual de los machos se presenta a menor talla (8.8 cm para el río Fuerte y 11.2 cm para el río Yaqui). La talla de primera maduración puede diferir ya que éstos ejemplares proceden de poblaciones naturales y durante la recolecta se procuró seleccionar los animales más grandes, sin embargo, este proceder genera mucha varianza, así que hay que ser precavidos en establecer las tallas de primera madurez y tomar en cuenta el tamaño de la muestra.

Las hembras de los ríos Yaqui y Fuerte presentaron la misma tendencia con respecto a la fecundidad absoluta, incrementando el número de huevos cuando incrementa el peso y lo inverso ocurrió con la fecundidad relativa, la cual disminuye al incrementar la talla. Este patrón ha sido referenciado ampliamente en *O. mykiss* (Bromage y Cumaranatunga 1988; Bromage 1992). La fecundidad absoluta y relativa del primer desove de las hembras del río Yaqui presentaron diferencias significativas con respecto a los dos desoves subsiguientes y con respecto a los valores obtenidos para las hembras del río Fuerte. La cautividad del lote y la dificultad para que éste consumiera el alimento comercial pudo intervenir para disminuir la cantidad de huevos producidos en los siguientes desoves. Los reportes de fecundidad en *O. mykiss* son sumamente variables oscilando entre los 900-4600 huevos/kg hembra y un diámetro promedio de 3-5 mm. El diámetro promedio del huevo registrado para ambas poblaciones de trucha nativa se encuentra dentro del rango reportado para *O. mykiss* (Bromage et al. 1990; Bromage et al. 1992; Estay et al. 1994) por lo que el número de huevos producidos y el diámetros de los mismos sugiere que se ha privilegiado la reproducción más que el crecimiento, es decir, que el crecimiento corporal disminuye durante la gametogenesis, lo cual es un fenómeno común en metazoarios.

Con respecto al porcentaje de huevo oculado y el porcentaje de eclosión, se encontró que la mortalidad aumenta con el tiempo de cautiverio, esto puede atribuirse a problemas con la calidad de alimento y posiblemente a la calidad de los gametos. En este estudio, se registró una tasa de eclosión del 100%, pero también una tasa de mortalidad del 100%. No se encontró diferencia significativa en los grados día requeridos para el desarrollo del huevo a oculación y a eclosión entre las poblaciones de trucha los ríos Yaqui y Fuerte.

Los resultados obtenidos del peso pre-espermiación y desove de los organismos de trucha nativa durante el manejo reproductivo (Tablas 4-6) contrastan considerablemente con lo reportado previamente para la trucha arcoíris. Por ejemplo, Reyes y Ortega (1998) reportan valores en los machos con rangos de peso que van de 236 a 2,500 g, y para las hembras de 195 a 3,500 g; Özgür y Bayir (2013) reportan pesos de 3,679 a 3,810 g; y Serezli et al. (2010) de 787 a 2,156 g. Este contraste de valores entre ambas especies puede estar relacionado con el hecho de que la trucha arcoíris lleva más de 100 años de domesticación, mientras que este es el primer trabajo de domesticación y manejo reproductivo para esta población de río Fuerte y para el linaje del río Yaqui.

Los organismos recolectados de la cuenca del río Yaqui, registraron en promedio los valores más altos de desoves, alcanzando en el tercer tiempo el 100%, en contraste con los de la cuenca del río Fuete, los cuales tuvieron un valor más alto en el primer tiempo (82%) que en el segundo (37%) considerando machos y hembras. Estos resultados se atribuyen a que los organismos no habían alcanzado la madurez gonádica, que en la recolecta se obtuvieron juveniles, o que los machos pudieron desfasarse y no ser sincrónicos con la maduración de las hembras. Diferentes aspectos de la biología reproductiva de truchas *O. mykiss* de cultivo difieren entre machos y hembras, por ejemplo, la edad a la cual maduran sus gametos, siendo que los machos maduran al año de edad y las hembras a los dos años, igualmente, las hembras maduran una sola vez por año y los machos lo hacen varias veces durante un ciclo anual (Bastardo 1999).

CONCLUSIONES

La posibilidad de conocer y controlar el proceso reproductivo e iniciar su caracterización es primordial para la domesticación de las especies. Generalmente, el cautiverio introduce variaciones con respecto a las condiciones naturales que no siempre permiten la reproducción exitosa. En el presente trabajo, el inicio de la caracterización reproductiva y la certidumbre del origen de los reproductores justifica la continuidad de los estudios a fin de propiciar la utilización de la acuicultura como una herramienta de protección de la biodiversidad. La incorporación de nuevas técnicas genéticas al desarrollo de la biotecnología de cultivo de las truchas nativas permitirá optimizar espacios y ahorrar tiempo para disponer de un paquete tecnológico que facilite las decisiones de repoblamiento o reservas. Los resultados de este estudio permiten asegurar la incorporación de políticas ambientales y productivas que prevengan la pérdida de la biodiversidad de salmónidos en México.

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo fue posible gracias a los esfuerzos de todas las personas que forman parte del grupo binacional “Truchas Mexicanas” y con los que estamos muy agradecidos. Además, agradecemos al personal de INAPESCA (T. Duran Moreno, J. Pérez López, M. Y. Mena Carballar, B. Olalde Ramírez y C. Antonio Cano) por el apoyo logístico y operativo, y a los miembros del Molecular Ecology and Genetic Analysis Team del Southwest Fisheries Science Center en Santa Cruz por su asistencia en los análisis de laboratorio. Este trabajo se realizó con el financiamiento de INAPESCA y con el fondo de fundación Produce Chihuahua folio 08-2011-0016.

REFERENCIAS

- Abadía-Cardoso, A., A.J. Clemento and J.C. Garza. 2011. Discovery and characterization of single-nucleotide polymorphisms in steelhead/rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Molecular Ecology Resources*. 11: 31-49.
- 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.
- Aguilar, A. and J.C. Garza. 2008. Isolation of 15 single nucleotide polymorphisms from coastal steelhead, *Oncorhynchus mykiss* (Salmonidae). *Molecular Ecology Resources*. 8: 659-662.
- Aguirre, M., H. Torres y R. Ruiz. 2003. *Documento Guía para la Delimitación y*

- Codificación de las Unidades Hidrográficas del Perú*. SIG Intendencia de Recursos Hídricos del INRENA. Perú.
- Alves, T, P. Oliveira, D. Rodrigues e F. Ayres. 2010. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *SciELO*. 30: 46-57.
- Arredondo-Figueroa, J.L. 1983. Especies animales acuáticas de importancia nutricional introducidas en México. *Biotica*. 9: 23-39.
- Bastardo, H. 1999. Efecto del alimento sobre algunos aspectos reproductivos de la trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss*, en un criadero venezolano. *Nutrición*. 49: 367-372.
- Blanco, C.M. 1995. *La trucha cría industrial*. Ed. Mundi prensa España. 489 p.
- Bromage N., J. Jones, C. Randall, M. Thrush, B. Davies, J. Springate, J. Duston and G. Barker. 1992. Broodstock management, fecundity, egg quality and the timing of egg production in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 100:141-166.
- Bromage, N., P. Hardiman, J. Iones, J. Springate and V. Bye. 1990. Fecundity, egg size and total egg volume differences in 12 stocks of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* Richardson. *Aquaculture Research*. 21:269-284.
- Bromage, N. and P.R.C. Cumaranatunga. 1988. Egg production in the rainbow trout. En: Roberts R.J. and J.F. Muir (eds.). *Recent Advances in Aquaculture*. Croom Helm, London. pp. 63-138.
- Brown, D.E. 1994. *Biotic communities: southwestern United States and northwestern Mexico*. University of Utah Press, Salt Lake City.
- Camarena-Rosales, F., G. Ruiz-Campos, J. De La Rosa-Velez, 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: 33-45.
- Campbell, N.R., K. Overturf and S.R. Narum. 2009. Characterization of 22 novel single nucleotide polymorphism markers in steelhead and rainbow trout. *Molecular Ecology Resources*. 9: 318-322.
- Clemento A.J., E.D. Crandall, J.C. Garza and E.C. Anderson. 2014. Evaluation of a single nucleotide polymorphism baseline for genetic stock identification of Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in the California Current large marine ecosystem. *Fish bulletin*. 112: 112-130.
- Crawford, S.S. and A.M. Muir. 2008. Global introductions of salmon and trout in the genus *Oncorhynchus*: 1870-2007. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 18: 313-344.
- Erdahl, D.A. 2009. *Inland salmon broodstock management handbook*. United States Department of Interior, *Fish and Wildlife Service*, Report. 712 FW 1.
- Escalante, M.A., F.J. García-De León, C.B. Dillman, A. de los Santos C., A. George, I.A. Barriga-Sosa., A. Ruiz-Luna, R.L. Mayden and S. Manel. 2014. Genetic introgression of cultured rainbow trout in the Mexican native trout complex. *Conservation Genetics*. 15: 1063 – 1071.
- Espinosa, H., F.J. García-De León, G. Ruiz, A. Varela, I. Barriga, J.L. Arredondo, D. Hendrickson, F. Camarena y A.B. De los Santos C. 2007. Las Truchas Mexicanas: Peces Enigmáticos del Noroeste. Especies: *Revista sobre Conservación y Biodiversidad*, Naturalia A.C. Enero-Febrero: 8-14.
- Estay, F., N.F. Diaz, R. Neira and X. Fernández. 1994. Analysis of reproductive performance of rainbow trout in a hatchery in Chile. *Progressive Fish Culturist*. 56: 244-249.
- Felsenstein, J. 2005. PHYLIP (Phylogeny Inference Package) version 3.6. *Distribuido por*

- el autor*. Department of Genome Sciences, University of Washington, Seattle.
- Galvão, W.S. e P.R. Meneses. 2005. Avaliação dos sistemas de classificação e codificadas bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 12: 2511-2518.
- 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.
- González, A.I., Y. Barrios, G. Born-Schmidt y P. Koleff. 2014. El sistema de información sobre especies invasoras, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 95-112.
- 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.
- Hernández-Guzmán, R. y Ruiz-Luna, A. 2016. Caracterización paisajística e hidrológica de la Sierra Madre Occidental utilizando técnicas de Percepción Remota, Modelos Digitales de Elevación y Sistemas de Información Geográfica. En: Ruiz-Luna A. y F.J. García-De León (eds.) *La trucha dorada mexicana*. Cap. 2.
- Hoareau, T.B., A.W. Klopper, S.M.R. Dos Santos, C.J. Oosthuizen and P. Bloomer. Evaluating the resolution power of new microsatellites for species identification and stock delimitation in the Cape hakes *Merluccius paradoxus* and *Merluccius capensis* (Teleostei: Merlucciidae). *Journal of Fish Biology*. 86: 1650-1657.
- Ingle de la Mora, G., I. de los A. Barriga-Sosa, J. L. Arredondo-Figueroa, M. Chiharo y F. García-De León. 2009. Modificación de la época de desove de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) mediante la regulación del fotoperiodo. SAGARPA-CONACYT, No. 12386. *Informe Final*. México. 47 p.
- Jakobsson, M. and N.A. Rosenberg. 2007. CLUMPP: a cluster matching and permutation program for dealing with label switching and multimodality in analysis of population structure. *Bioinformatics*. 23: 1801-1806.
- Jombart, T. 2008. adegenet: a R package for the multivariate analysis of genetic markers. *Bioinformatics*. 24:1403-1405.
- Özgür, M.E. and I. Bayir. 2013. A research on reproduction performance for broodstocks of rainbow trout in a fish farm. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*. 6: 1-7.
- Pearse, D.E. and J.C. Garza. 2015. You can't unscramble an egg: Population Genetic structure of *Oncorhynchus mykiss* in the California Central valley inferred from

- combined microsatellite and single nucleotide polymorphism data. *San Francisco Estuary and Watershed Science*. 13: 2-17.
- Pérez, J. and E. García-Vázquez. 2004. Genetic identification of nine hake species for detection of commercial fraud. *Journal of Food Protection*. 67: 2792-2796.
- Pritchard, J.K., M. Stephens and P. Donnelly. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*. 155: 945-959.
- R Development Core Team. 2011. *R: A language and environment for statistical computing*. The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reyes, B.H. and S.A.A. Ortega. 1998. Reproducción de la trucha arcoiris *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) de 1985 a 1988 en la Piscifactoria Apulco Puebla, México. *Ciencia y Mar*. 4: 3-14.
- Rinner, J., M. Bruhn, F. Miralles-Wilhelm, and R. Muñoz-Castillo. 2014. Base de datos de hidrología analítica para América Latina y el Caribe. Parte 1. Departamento de Infraestructura y Medio Ambiente, Banco Interamericano de Desarrollo, IDB-TN-528. *Nota Técnica IDB-TN-528*. 54 p.
- Rosenberg, N.A. 2004. Distruct: a program for the graphical display of population structure. *Molecular Ecology Notes*. 4: 137-138.
- Rousset, F. 2008. GENEPOP' 007: a complete re-implementation of the GENEPOP software for Windows and Linux. *Molecular Ecology Resources*. 8:103-106.
- Ruiz-Campos, G. 1993. Bionomía y ecología poblacional de la trucha arcoiris, *Oncorhynchus mykiss nelsoni* (Evermann), de la sierra San Pedro Mártir, Baja California, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. *Tesis doctoral*. 223 p.
- Ruiz-Luna, A., C.A. Berlanga-Robles, R. Hernández-Guzmán y M.A. Escalante-Sánchez. 2014. Modelación de la distribución de truchas nativas de la Sierra Madre Occidental y su relación con la estructura del paisaje adyacente. Proyecto CONABIO JM058. *Reporte técnico*. México. 67 p.
- Serezli, R., S. Guzel and M. Kocabas. 2010. Fecundity and egg size of three salmonid species (*Oncorhynchus mykiss*, *Salmo labrax*, *Salvelinus fontinalis*) cultures at the same farm condition in North-Eastern Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 9: 576-580.
- Shapovalov, L. and L. Taft. 1954. The life histories of the steelhead rainbow trout (*Salmo gairdneri gairdneri*) and silver salmon (*Oncorhynchus kisutch*) with special reference to Waddell Creek, California, and recommendations regarding their management. *California Department of Fish and Game Fish Bulletin*. 98: 303.