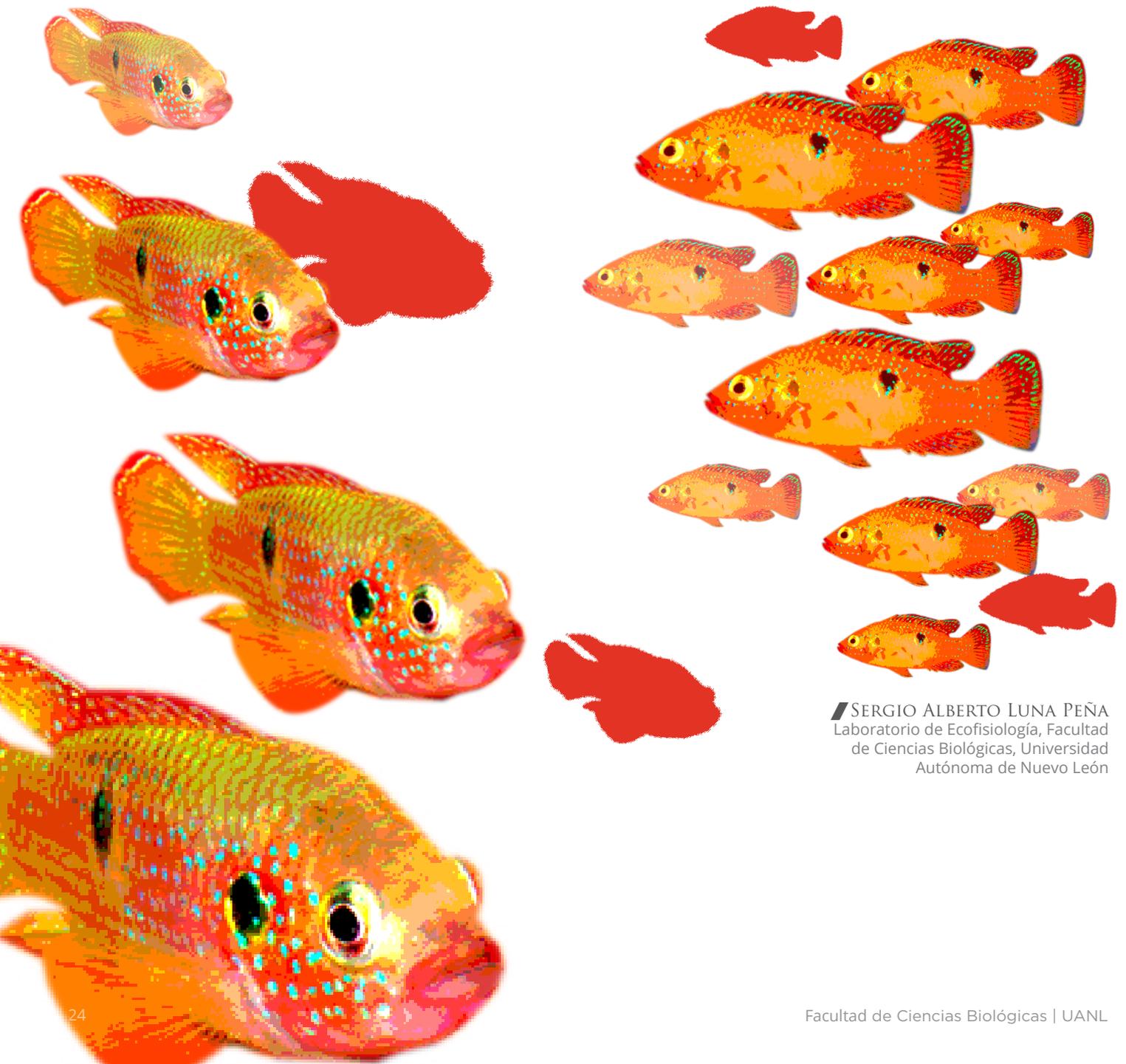


EL PEZ CÍCLIDO JOYA (*HEMICHROMIS GUTTATUS*) EN CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA: **UNA ESPECIE EXÓTICA INVASORA**



/// SERGIO ALBERTO LUNA PEÑA
Laboratorio de Ecofisiología, Facultad
de Ciencias Biológicas, Universidad
Autónoma de Nuevo León

RESUMEN

La introducción de especies exóticas invasoras es una de las principales causas de pérdida de la biodiversidad a nivel mundial, siendo los ambientes acuáticos especialmente susceptibles a su impacto. El pez cíclido joya (*Hemichromis guttatus*) es una especie nativa de África que fue reportada por primera vez en Cuatrociénegas, Coahuila, en 1996, donde se ha expandido rápidamente. Esta especie invasora ha provocado impactos por competencia sobre algunas de las especies de peces nativos de la región, algunas de las cuales se reportan bajo alguna categoría de riesgo. En especial han sido afectadas las poblaciones de la mojarra endémica *Herichthys minckleyi*. Considerando lo anterior, resulta imperativo establecer un método de control para mitigar de manera eficaz la invasión del cíclido joya. En el presente artículo se describe el proceso de invasión de esta especie en Cuatrociénegas, y se describe una alternativa para su control mediante la introducción de cromosomas sexuales troyanos a la población.

INTRODUCCIÓN

La introducción de especies exóticas invasoras es actualmente uno de los principales factores causales de pérdida de la biodiversidad a nivel mundial (Pyšek *et al.*, 2020). Los ambientes acuáticos dulceacuícolas se han destacado por ser más susceptibles al impacto generado por las especies invasoras, los cuales además presentan una mayor tasa de extinción de especies con respecto a los ecosistemas terrestres (Rahel, 2002; Leprieur *et al.*, 2008). En México, se tiene registro de 506 especies de peces dulceacuícolas, de los cuales 169 se encuentran en alguna categoría de riesgo y 25 se consideran ya extintos, siendo la introducción de especies exóticas uno de los principales factores causales (Contreras-Balderas *et al.*, 2003; Mendoza y Koleff, 2014).

El pez cíclido joya (*Hemichromis guttatus*) es una especie nativa de África que fue reportado por primera vez en la Poza Churince de Cuatrociénegas, Coahuila, México, en 1996. Se desconoce el motivo por el cual fue introducida esta especie, aunque se ha sugerido que fue debido a su liberación por algún acuarista ya que esta poza fue empleada anteriormente con fines turísticos y las especies de cíclido joya son comercializadas en el acuarismo (Contreras-Balderas y Ludlow, 2003; APFFC, 2008).

Desde su introducción el cíclido joya se ha expandido rápidamente a otros sistemas acuáticos de la región como Laguna Intermedia, Poza San José del Anteojo, Mojarral Este, Río Churince y Poza Bonita (Cohen *et al.*, 2005; Lozano-Vilano *et al.*, 2006; Aguilar-Aguilar *et al.*, 2014; Hernández *et al.*, 2017). Algunas de las características que contribuyen a su éxito como especie invasora son su alta agresividad hacia otros peces y una dieta omnívora oportunista (Froese y Pauly, 2020). Además, posee una gran capacidad de reproducción ya que se ha reportado actividad reproductiva durante todo el año, los individuos alcanzan la edad reproductiva en el primer año y la especie

muestra cuidado biparental; es decir, ambos progenitores participan en el cuidado de la descendencia durante las primeras etapas de vida (Espinoza-Hernández *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2017). En individuos silvestres se reporta una fecundidad máxima de 498 huevos por hembra (Espinoza-Hernández *et al.*, 2006), aunque en cautiverio hemos observado desoves de hasta 991 huevos (observación personal).

CUATROCIÉNEGAS UN ÁREA NATURAL PROTEGIDA

El valle de Cuatrociénegas se encuentra ubicada en el estado de Coahuila (Figs. 1 y 2). Es una región con un clima árido tipo BWh, aunque está rodeado por sistemas de montañas que funcionan como fuentes de captación de agua y brindan condiciones de aislamiento entre los cuerpos de agua formados. Lo anterior ha ocasionado una alta presencia de especies endémicas, razón por lo que fue decretada como Área de Protección de Flora y Fauna en 1994. Además, se encuentra clasificada como un sitio RAMSAR, por lo cual es un humedal de conservación prioritario a nivel mundial (Carabias *et al.*, 1999; Ruiz, 2010).

Dentro de la biota nativa destaca la presencia de comunidades formadoras de estromatolitos en diferentes puntos del valle, una condición poco común en cuerpos de agua dulce (Carabias *et al.*, 1999). Las comunidades microbianas formadoras de estromatolitos, constituidas principalmente por bacterias, se consideran entre las formas de vida más antiguas de la Tierra. En Cuatrociénegas, a diferencia de otros sitios, estas poblaciones coexisten con animales superiores que se alimentan de ellas (principalmente caracoles), formando la base productiva de las pozas que da sustento a la existencia de otras especies endémicas. Por lo cual su estudio es de una gran importancia para comprender los cambios en la historia evolutiva del planeta (Elser *et al.*, 2005).

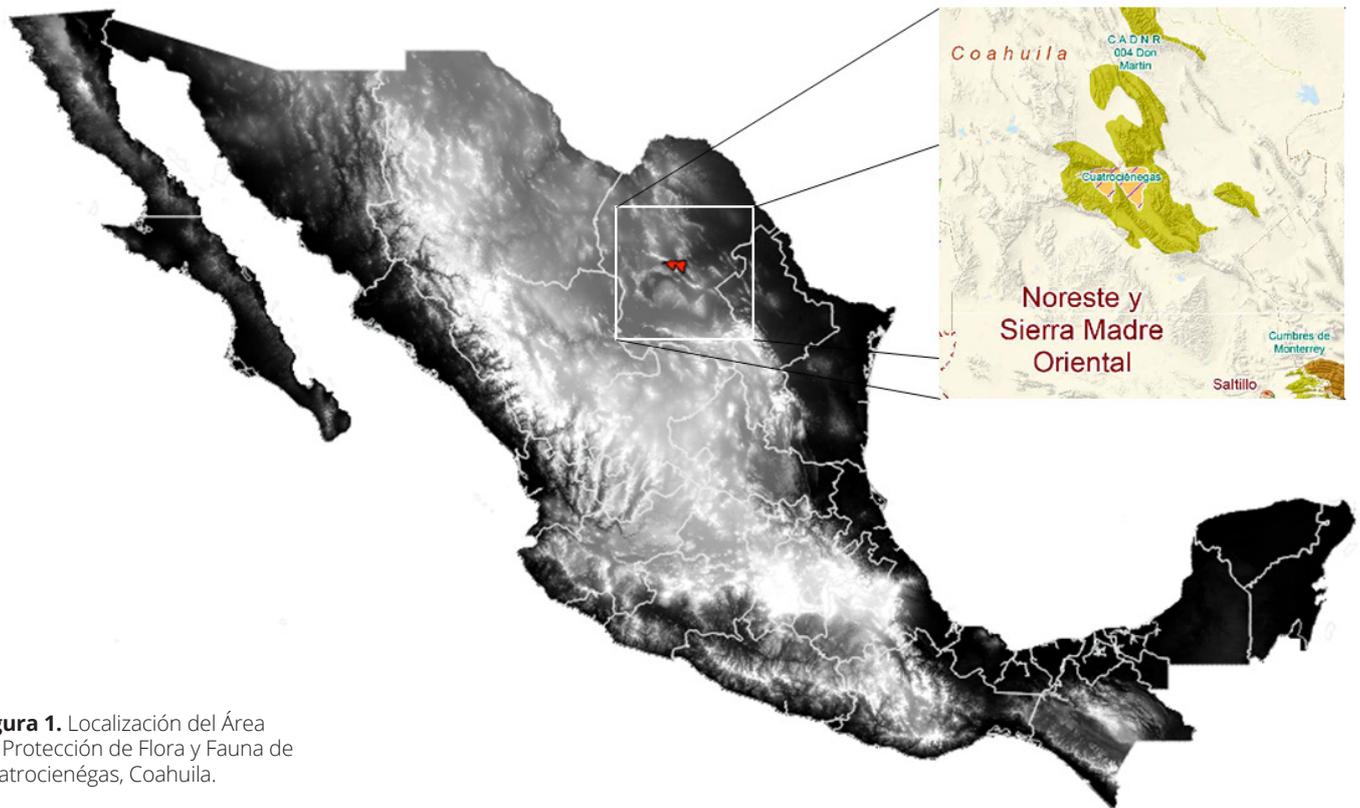


Figura 1. Localización del Área de Protección de Flora y Fauna de Cuatrociénegas, Coahuila.

IMPACTO DEL CÍCLIDO JOYA

En la región de Cuatrociénegas actualmente se reportan 13 especies de peces bajo alguna categoría de riesgo (Cohen *et al.*, 2005; Jelks *et al.*, 2008). El cíclido joya (Fig. 3) ha provocado impactos por competencia sobre algunas de estas especies como *Ictalurus* sp., *Gambusia marshi*, *Herichthys minckleyi* y *Astyanax mexicanus* (Lozano-Vilano *et al.*, 2006; Marks *et al.*, 2011). En especial han sido afectadas las poblaciones del cíclido *H. minckleyi*, ya que se ha reportado que el cíclido joya es muy agresivo hacia esta especie, inhibiendo potencialmente su reproducción (Dugan, 2014) y compitiendo por alimento con los individuos juveniles de acuerdo con estudios de isotopos estables en la dieta (Marks *et al.*, 2011). Además de lo anterior, los cambios en la composición de la comunidad de macroinvertebrados y alteraciones de las redes tróficas debido a la presencia de la especie invasora, pueden conducir eventualmente a un impacto en las comunidades formadoras de estromatolitos presentes en Cuatrociénegas (Elser *et al.*, 2005; Hulseley *et al.*, 2005; Dugan, 2014), lo cual tendría graves repercusiones para la biodiversidad del lugar.

CONTROL DEL CÍCLIDO JOYA

Considerando lo anterior, resulta imperativo establecer un método de control para mitigar de manera eficaz la invasión del cíclido joya en Cuatrociénegas. Históricamente se han empleado diversas estrategias para el control y erradicación de poblaciones de peces invasores, como el uso de químicos (Hill y Cichra, 2005)



Figura 2. Detalles de dos cuerpos de agua de Cuatrociénegas: Poza Churince (a) y Poza de La Becerra (b).

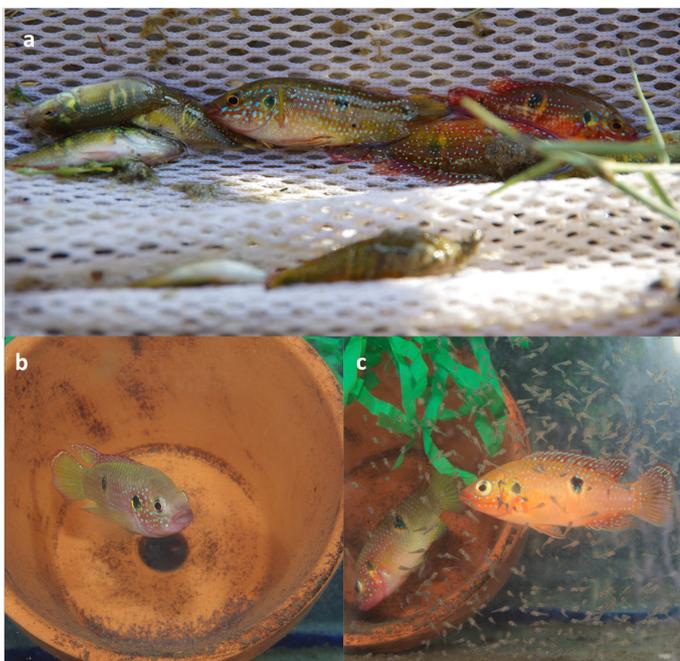


Figura 3. Cíclidos joya capturados en Cuatrociénegas (a), macho adulto protegiendo su nido en cautiverio (b), y una pareja cuidando sus larvas (c).

o el control biológico (Hoddle, 2004). Sin embargo, estos métodos suelen ser inespecíficos, controversiales o de difícil implementación.

En el caso de la invasión del cíclido joya, se ha reportado un esfuerzo de erradicación aparentemente exitoso mediante su captura, así como la restauración de la fauna nativa en la poza San José del Anteojo (Lozano-Vilano *et al.*, 2006). No obstante, aunque esto demuestra la factibilidad de remoción manual de especies exóticas en espacios reducidos, el procedimiento puede ser costoso y prolongado, ya que fueron requeridas un total de 20 visitas durante un período de 4 años para el trampeo.

Recientemente se ha sugerido una forma de control de poblaciones exóticas mediante la introducción de individuos portadores de cromosomas sexuales “troyanos” (TYC, por sus siglas en inglés). Esta estrategia implica la liberación de individuos portadores de dos cromosomas sexuales Y, de ahí el nombre de cromosoma troyano, ya sean machos YY, también conocidos como supermachos, o (preferiblemente en teoría) hembras (Gutierrez y Teem, 2006). Esto funcionaría de la siguiente manera; la introducción de estos individuos en una población exótica durante varias generaciones conduciría a un cambio en la proporción de sexos a través del tiempo. Lo anterior debido a que un supermacho solo produce gametos sexuales con el cromosoma Y, por lo cual al reproducirse con una hembra XX su descendencia consiste exclusivamente de machos XY. El impacto en la proporción de sexos sería aún mayor si fueran introducidas hembras YY, ya que éstas al reproducirse con un macho XY silvestre, producirían una descendencia que consistiría en 50% de machos XY y 50% de machos YY, y estos últimos continuarían reduciendo la proporción de hembras durante la siguiente generación. Además, en generaciones sucesivas existe la posibilidad de cruce entre estos machos YY silvestres con hembras YY introducidas, generando una descendencia de 100% de machos YY (Fig. 4). Con el tiempo eventualmente el número de hembras llegaría a cero, por lo que al alcanzar este momento se lograría la extirpación local de la población al dejar de introducir más individuos (Gutierrez y Teem, 2006; Gutierrez *et al.*, 2012).

De esta forma, en el caso del cíclido joya, la introducción de organismos YY durante varias generaciones, conduciría a un aumento paulatino en la proporción de machos debido a un mayor flujo del cromosoma Y, reduciendo el número de hembras hasta lograr la extinción de la población (Cotton y Wedekind, 2007).

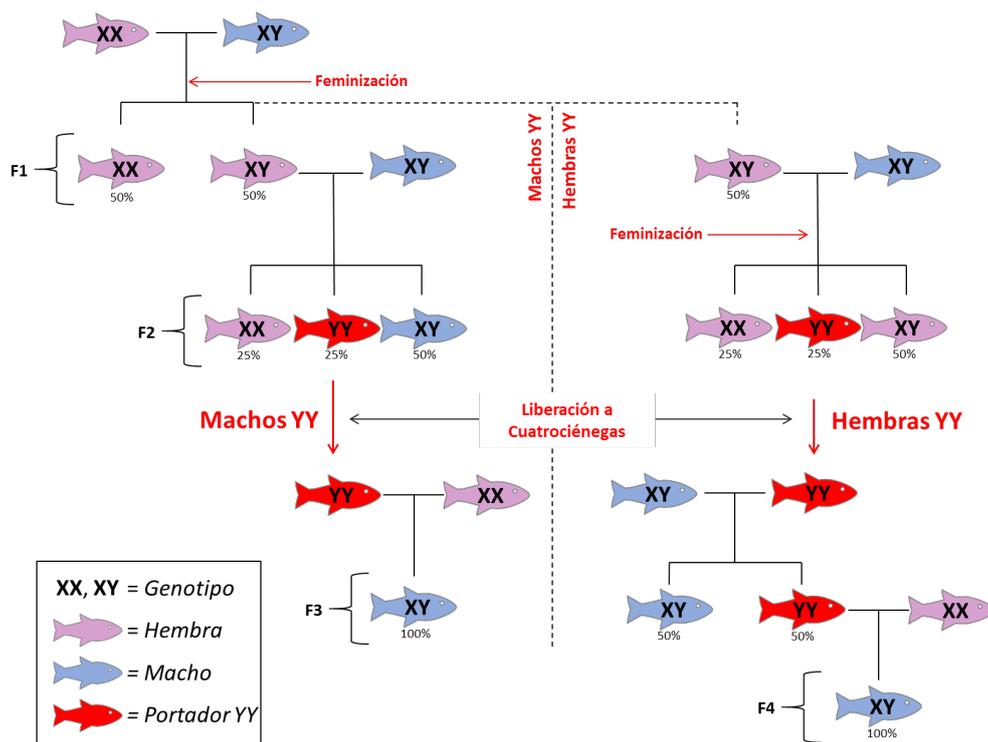


Figura 4. Esquema de los eventos reproductivos, reversión sexual e introducción de organismos YY para el control del cíclido joya en Cuatrociénegas. Se muestra el efecto de la introducción de machos YY producidos en cautiverio (F2), cuya descendencia (F3) consiste sólo de machos XY; o de la introducción de hembras YY para lo cual sería necesario un segundo paso de feminización de la F2. El fenotipo y genotipo sexual esperada de los individuos se muestra en el recuadro. Los porcentajes indican la proporción de los individuos en la descendencia.

Un aspecto fundamental para la implementación de esta estrategia es la obtención de los individuos YY. Para lo cual el mecanismo que se ha empleado más frecuentemente es la reversión sexual, donde son administradas hormonas a los peces en etapas tempranas de desarrollo de forma que los individuos se desarrollan como machos (masculinización) o hembras (feminización), independientemente del sexo genético. En el caso de la estrategia TYC se realiza la feminización mediante la administración de estradiol, por ejemplo. De esta forma se obtienen hembras revertidas, es decir, individuos con un fenotipo de hembra, pero cuyo sexo genético es XY. Posteriormente estas hembras son cruzadas con machos normales XY y una parte de su descendencia consiste en machos YY. Con un segundo paso de feminización estos últimos pueden feminizarse a hembras YY. Durante este proceso es necesario contar con un método de identificación de los genotipos sexuales de los individuos mediante el uso de marcadores moleculares, ya que normalmente no es posible machos o hembras YY de los individuos normales de forma física (Piferrer, 2009; Schill *et al.*, 2016).

El análisis de un modelo matemático aplicado a la tilapia, otra especie de pez cíclido, que también es exótico en América, ha mostrado que la introducción continua de al menos 3.2% de hembras YY durante varias generaciones puede conducir efectivamente a la extinción de la población (Figura 5; Gutierrez y Teem, 2006; Cotton y Wedekind, 2007). En el caso de aquellas especies en las que las hembras YY no son viables, la introducción de machos YY también podría conducir a la extirpación de la población, aunque sería necesario un mayor tiempo o frecuencia de introducción de estos individuos (Parshad *et al.*, 2013). El tiempo necesario para lograr la extirpación de la población se encontrará

definido por el número total de individuos silvestres presentes y la cantidad y frecuencia de introducción de los individuos YY, así como su éxito reproductivo y competitivo (Cotton y Wedekind, 2007; Day *et al.*, 2020).

Desde su postulación como estrategia para el control de especies invasoras (Gutierrez y Teem, 2006), el uso de cromosomas Y troyanos ha generado mucho interés. Por ejemplo, se ha extrapolado el modelo a especies con sistemas de determinación sexual distintos al XY (Cotton y Wedekind, 2007; Senior *et al.*, 2013), se ha modelado la dinámica poblacional de acuerdo con la distribución espacial de las poblaciones (Gutierrez *et al.*, 2012; Day *et al.*, 2020), se ha evaluado su potencial uso en combinación con otras estrategias de control de especies invasoras (Teem y Gutierrez, 2014) y se ha analizado la influencia de distintos parámetros poblacionales (Parshad, 2011; Parshad *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2014, 2015).

Considerando lo anterior el empleo de esta estrategia para el control de las poblaciones de cíclido joya podría resultar factible ya que esta especie además de cumplir con los requisitos básicos del modelo: susceptibilidad de reversión sexual y un sistema de determinación sexual XY; también se apega a la factibilidad teórica del modelo aplicado a la tilapia *Oreochromis niloticus* (Gutierrez y Teem, 2006), una especie filogenéticamente cercana (Schwarzer *et al.*, 2015). Además, se encuentra introducida en algunas pozas con espacios reducidos, lo cual facilitaría el monitoreo de las poblaciones durante la implementación de la estrategia. Por último, debido a su comportamiento de cuidado biparental, es posible la disminución del éxito reproductivo conforme aumente el sesgo en la proporción de sesgos, lo cual ha sido reportado en otras especies de cíclidos (Rogers, 1987), y facilitaría aún más el control de esta especie.

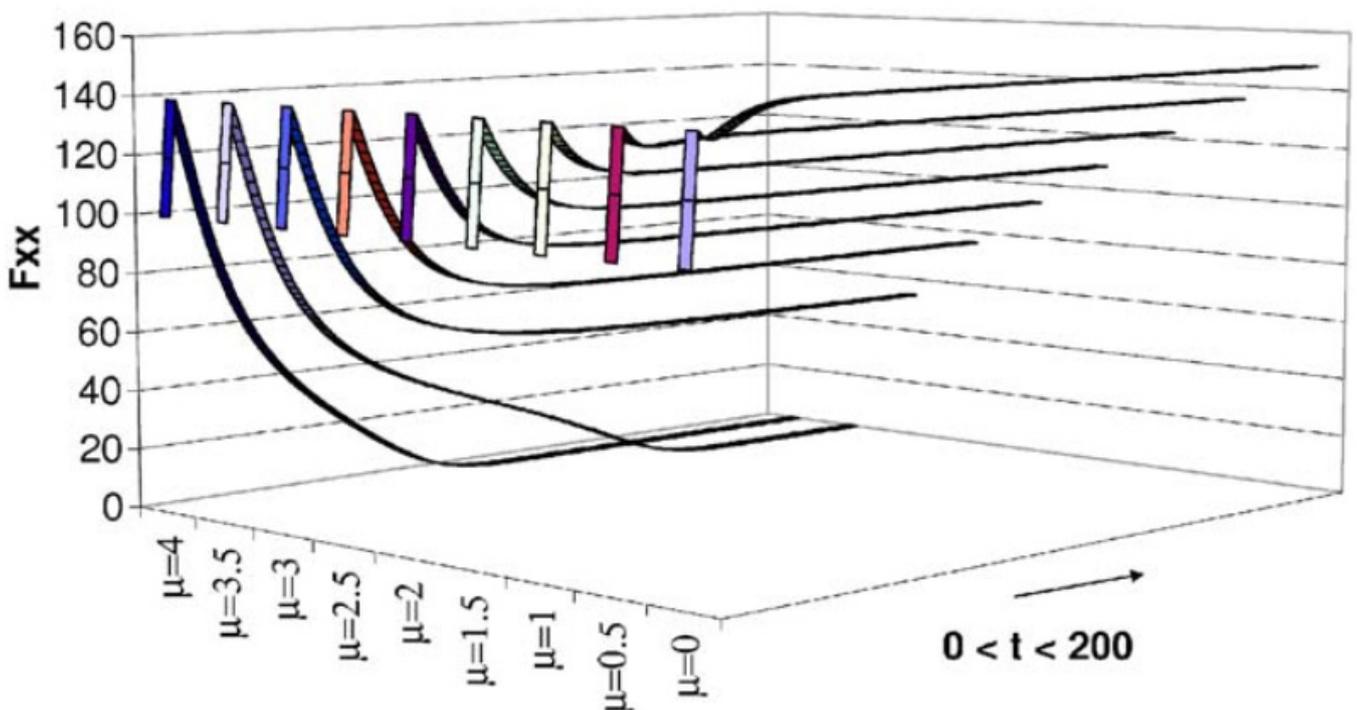
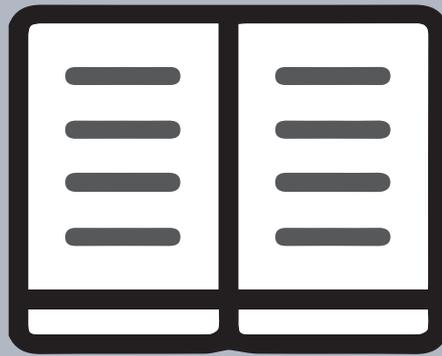


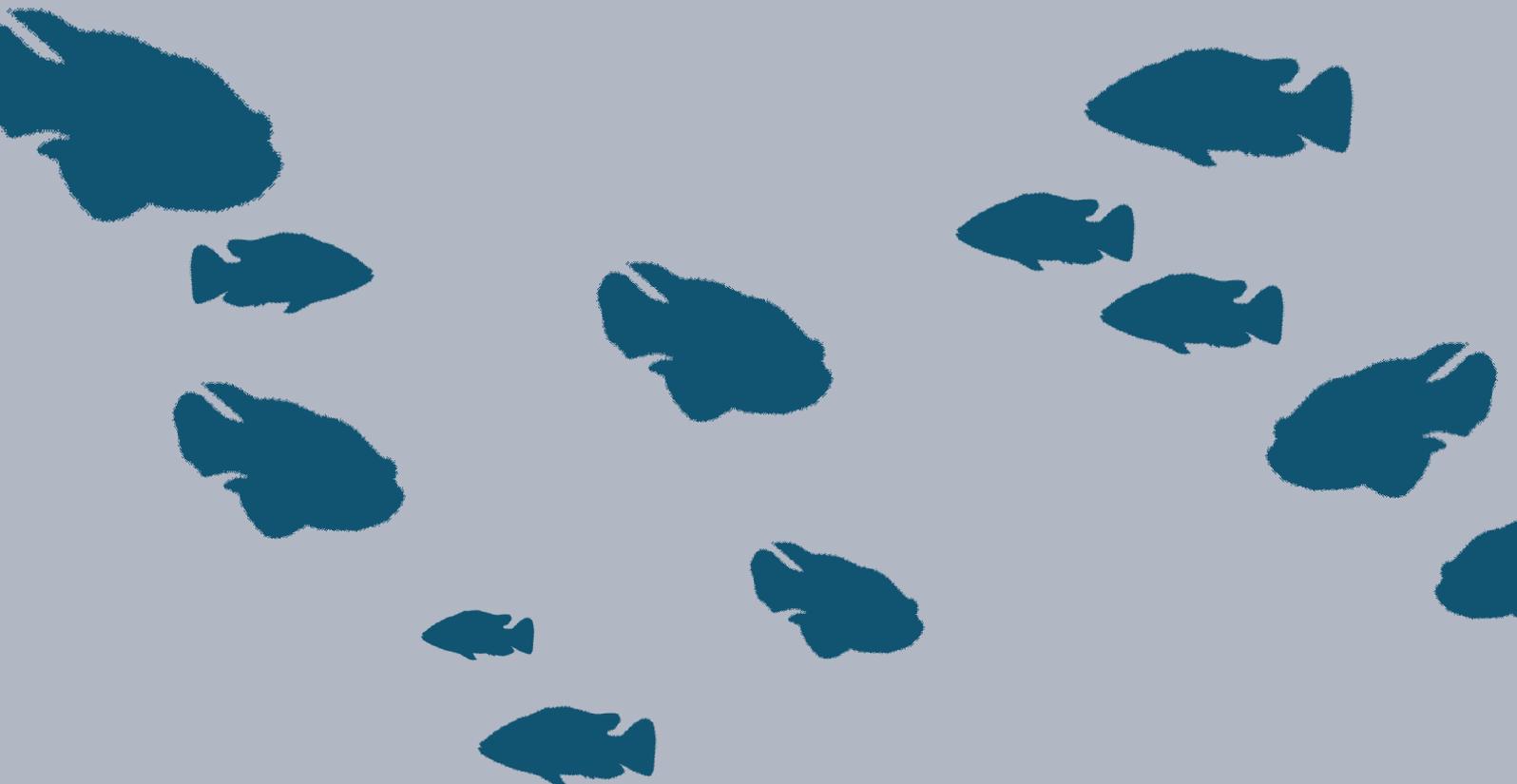
Figura 5. Cambio en la proporción de hembras (F_{xx}) a través del tiempo para diferentes porcentajes de individuos YY introducidos (tomado de Gutierrez y Teem, 2006).



LITERATURA CITADA

- Aguilar-Aguilar, R., A. Martínez-Aquino, H. Espinosa-Pérez, G. Pérez-Ponce De León. 2014. Helminth parasites of freshwater fishes from Cuatro Ciénegas, Coahuila, in the Chihuahuan Desert of Mexico: inventory and biogeographical implications. *Integrative Zoology*. 9 (3): 328-339.
- Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas (APFFC). 2008. Monitoreo del Pez Joya (*Hemichromis guttatus*) en el Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas. Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, (200), pp 1-3.
- Carabias, L. J., E. Provencio, J. De la Maza, Y. S. Moncada. 1999. Programa de manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas. Instituto Nacional de Ecología SEMARNAP. D. F, México, 167pp.
- Cohen, A. E., D. A. Hendrickson, C. Parmesan, J. C. Marks. 2005. Habitat segregation among trophic morphs of the Cuatro Ciénegas Cichlid (*Herichthys minckleyi*). *Hidrobiológica*. 15 (2): 169-181.
- Contreras-Balderas, S., A. Ludlow. 2003. *Hemichromis guttatus* Günther, 1862 (Pisces: Cichlidae), nueva introducción en México, en Cuatro Ciénegas, Coahuila. *Vertebrata Mexicana*. 12: 1-5.
- Contreras-Balderas, S., P. Almada-Villela, M. L. Lozano-Vilano, M. E. García-Ramírez. 2003. Freshwater fish at risk or extinct in Mexico. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 12: 241-251
- Cotton, S., C. Wedekind. 2007. Control of introduced species using Trojan sex chromosomes. *Trends in Ecology and Evolution*. 22 (9): 441-443.
- Day, C. C., E. L. Landguth, R. K. Simmons, W. P. Baker, A. R. Whiteley, P. M. Lukacs, A. Bearlin. 2020. Simulating effects of fitness and dispersal on the use of Trojan sex chromosomes for the management of invasive species. *Journal of Applied Ecology*. 57 (7): 1413-1425.
- Dugan, L. E. 2014. Invasion risk and impacts of a popular aquarium trade fish and the implications for policy and conservation management. PhD dissertation. The University of Texas at Austin, 166pp.
- Elsner, J. J., J. H. Schampel, F. Garcia-Pichel, B. D. Wade, V. Souza, L. Eguiarte, A. Escalante, J. D. Farmer, 2005. Effects of phosphorus enrichment and grazing snails on modern stromatolitic microbial communities. *Freshwater Biology*. 50 (11): 1808-1825.
- Espinosa-Hernández, S., M. E. García-Ramírez, M. L. Lozano-Vilano. 2006. Aspects of growth and reproduction of spotted jewelfish, *Hemichromis guttatus* (Cichlidae), an exotic species in Poza Churince, Cuatro Ciénegas, Coahuila, Mexico. Proceedings Of The Desert Fishes Council – VOL. XXXVIII (2006 SYMPOSIUM).
- Froese, R., D. Pauly. 2020. *Hemichromis guttatus* Günther, 1862. Fishbase. World Wide Electronic publication. <https://www.fishbase.in/summary/Hemichromis-guttatus>
- Gutierrez, J. B., M. K. Hurdal, R. D. Parshad, J. L. Teem. 2012. Analysis of the Trojan Y chromosome model for eradication of invasive species in a dendritic riverine system. *Journal of Mathematical Biology*. 64 (1-2): 319-340.
- Gutierrez, J. B., J. L. Teem. 2006. A model describing the effect of sex-reversed YY fish in an established wild population: the use of a Trojan Y chromosome to cause extinction of an introduced exotic species. *Journal of Theoretical Biology*. 241 (2): 333-341.
- Hernández, A., H. S. Espinosa-Pérez, V. Souza. 2017. Trophic analysis of the fish community in the Ciénega Churince, Cuatro Ciénegas, Coahuila. *PeerJ*. 5,:e3637.
- Hill, J. E., C. E. Cichra. 2005. Eradication of a reproducing population of convict cichlids, *Cichlasoma nigrofasciatum* (Cichlidae), in North-Central Florida. *Florida Scientist*. 68 (2): 65-74.
- Hoddle, M. S. 2004. Restoring balance: using exotic species to control invasive exotic species. *Conservation Biology*. 18 (1): 38-49.
- Hulsey, C. D., D. A. Hendrickson, F. J. García De León. 2005. Trophic morphology, feeding performance and prey use in the polymorphic fish *Herichthys minckleyi*. *Evolutionary Ecology Research*. 7 (2): 1-22.
- Jelks, H. L., S. J. Walsh, N. M. Burkhead, S. Contreras-Balderas, E. Diaz-Pardo, D. A. Hendrickson, J. Lyons, N. E. Mandrak, F. McCormick, J. S. Nelson, S. P. Platania, B. A. Porter, C. B. Renaud, J. J. Schmitter-Soto, E. B. Taylor, M. L. Warren. 2008. Conservation status of imperiled North American freshwater and diadromous fishes. *Fisheries*. 33 (8): 372-407.
- Leprieux, F., O. Beauchard, S. Blanchet, T. Oberdorff, S. Brosse. 2008. Fish invasions in the world's river systems: when natural processes are blurred by human activities. *PLoS Biology*. 6 (2): 0404-0410.
- Lozano-Vilano, M., A. J. Contreras-Balderas, M. García-Ramírez. 2006. Eradication of Spotted Jewelfish, *Hemichromis guttatus*, from Poza San José del Anteojo, Cuatro Ciénegas Bolsón, Coahuila, Mexico. *The Southwestern Naturalist*. 51 (4): 553-555.

- Marks, J. C., C. Williamson, D. A. Hendrickson. 2011. Coupling stable isotope studies with food web manipulations to predict the effects of exotic fish: lessons from Cuatro Ciénegas, Mexico. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 21 (4): 317-323.
- Mendoza, R., P. Koleff. 2014. Introducción de especies exóticas acuáticas en México y en el mundo. Pp. 17-41. En: Mendoza, R., P. Koleff (Eds.). *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 555pp.
- Parshad, R. D. 2011. Long time behavior of a PDE model for invasive species control. *International Journal of Mathematical Analysis*. 5 (37-40): 1991-2015.
- Parshad, R., S. Kouachi, J. Gutierrez. 2013. Global existence and asymptotic behavior of a model for biological control of invasive species via supermale introduction. *Communications in Mathematical Sciences*. 11 (4): 951-972.
- Piferrer, F. 2009. Determinación y diferenciación sexual en los peces. Pp. 249-278. En: Carrilli-Estévez, M. A. (coord). *La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en acuicultura*. Fundación Observatorio Español de Acuicultura. Madrid, España.
- Pyšek, P., P. E. Hulme, D. Simberloff, S. Bacher, T. M. Blackburn, J. T. Carlton, W. Dawson, F. Essl, L. C. Foxcroft, P. Genovesi, J. M. Jeschke, I. Kühn, A. M. Liebhold, N. E. Mandrak, L. A. Meyerson, A. Pauchard, J. Pergl, H. E. Roy, H. Seebens, M. Kleunen, M. Vila, M. J. Wingfield, D. M. Richardson. 2020. Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*. 95 (6): 1511-1534.
- Rahel, F. J. 2002. Homogenization of freshwater faunas. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 33: 291-315.
- Rogers, W. 1987. Sex ratio, monogamy and breeding success in the Midas cichlid (*Cichlasoma citrinellum*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 21 (1): 47-51.
- Ruiz, R. 2010. Estimación y actualización al 2009 de la Tasa de Transformación del hábitat de las áreas naturales protegidas SINAP I y SINAP II del FANP: Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena. México. México: Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C. y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 49 pp. https://simec.conanp.gob.mx/TTH/SantaElena/SantaElena_TTH_2000_2008.pdf
- Schill, D. J., J. A. Heindel, M. R. Campbell, K. A. Meyer, E. R. J. M. Mamer. 2016. Production of a YY male brook trout broodstock for potential eradication of undesired brook trout populations. *North American Journal of Aquaculture*. 78 (1): 72-83.
- Schwarzer, J., A. Lamboj, K. Langen, B. Misof, U. K. Schliewen. 2015. Phylogeny and age of chromidotilapiine cichlids (Teleostei: Cichlidae). *Hydrobiologia*. 748: 185-199.
- Senior, A. M., M. Krkosek, S. Nakagawa. 2013. The practicality of Trojan sex chromosomes as a biological control: an agent based model of two highly invasive *Gambusia* species. *Biological Invasions*. 15 (8): 1765-1782.
- Teem, J. L., J. B. Gutierrez. 2014. Combining the Trojan Y chromosome and daughterless carp eradication strategies. *Biological Invasions*. 16 (6): 1231-1240.
- Wang, X., J. R. Walton, R. D. Parshad. 2015. Stochastic models for the Trojan Y-Chromosome eradication strategy of an invasive species. *Journal of Biological Dynamics*. 10 (1): 179-199.
- Wang, X., J. R. Walton, R. D. Parshad, K. Storey, M. Boggess. 2014. Analysis of the Trojan Y-Chromosome eradication strategy for an invasive species. *Journal of Mathematical Biology*. 68 (7): 1731-1756.



Biología y Sociedad

Revista de Divulgación Científica
de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL



#SOMOSUNI

TRABAJAR · TRANSFORMAR · TRASCENDER