

## Reflexiones sobre el manejo genético de los peces en Colombia

### Reflections on the genetic management of fish in Colombia

### *Reflexões sobre o manejo genético de peixes na Colômbia*

Hermes R. Pineda-Santis<sup>1</sup> 

#### Artículo de investigación

Recibido: 15 de febrero de 2023

Aceptado: 23 de junio de 2023

#### RESUMEN

El conocimiento de la conservación genética de las especies ícticas está ampliando la comprensión de las estructuras poblacionales en la megadiversidad colombiana. Los esfuerzos por avanzar en la identificación de las familias, géneros y especies de peces, siguen siendo insuficientes para establecer el gran endemismo existente. Las características ambientales, las especies y los estudios genéticos deben ser la premisa para una visión panorámica, de lo descrito en la teoría que refrende lo existente en los ríos colombianos. Un caso particular, son los estudios realizados en la sabaleta *Brycon henni*, que conlleva a una comprensión del componente genético para la implementación de los programas de repoblamiento en los ambientes que le corresponden, según su participación evolutiva. El llamado ante esta perspectiva es aumentar los apoyos económicos al estudio integral en los peces de aguas continentales, unido a la formación de un mayor número de profesionales, que apoyen y manifiesten el real escenario del trabajo conjunto en conservación de la biodiversidad.

**Palabras clave:** Biodiversidad, endémicos, especies ícticas, repoblamientos

<sup>1</sup> Grupo de Investigación en Sistemas Agrarios Sostenibles, Línea de Acuicultura, Pesca y Conservación de Recursos Hidrobiológicos, Facultad de Ciencias Agrarias, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia. Email: [hrpineda@elpoli.edu.co](mailto:hrpineda@elpoli.edu.co) Biol, MSc, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5821-5993>

**Como Citar (Norma Vancouver):** Norma Vancouver: Pineda-Santis HR. Reflexiones sobre el manejo genético de los peces en Colombia, 2023;27(1):e-785 <https://doi.org/10.22579/20112629.785>

La Revista Orinoquia es una revista de acceso abierto revisada por pares. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Consulte <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

OPEN ACCESS



## ABSTRACT

Knowledge of the genetic conservation of fish species is expanding the understanding of population structures in Colombian megadiversity. Efforts to advance in the identification of families, genera and species of fish remain insufficient to establish the great existing endemism. The environmental characteristics, the species and the genetic studies must be the premise for a panoramic vision, of what is described in the theory that endorses what exists in Colombian rivers. A particular case are the studies carried out on the sabaleta *Brycon henni*, which leads to an understanding of the genetic component for the implementation of repopulation programs in the corresponding environments, according to their evolutionary participation. The call from this perspective is to increase economic support for the comprehensive study of inland water fish, together with the training of a greater number of professionals, who support and demonstrate the real scenario of joint work in biodiversity conservation.

**Keywords:** Biodiversity, endemics, fish species, restocking

## RESUMO

O conhecimento da conservação genética das espécies de peixes está ampliando a compreensão das estruturas populacionais na megadiversidade colombiana. Esforços para avançar na identificação de famílias, gêneros e espécies de peixes ainda são insuficientes para estabelecer o grande endemismo existente. As características ambientais, as espécies e os estudos genéticos devem ser a premissa para uma visão panorâmica, do que está descrito na teoria que endossa o que existe nos rios colombianos. Um caso particular são os estudos realizados sobre o sabaleta *Brycon henni*, que permitem compreender a componente genética para a implementação de programas de repovoamento nos respectivos ambientes, de acordo com a sua participação evolutiva. O apelo nessa perspectiva é aumentar o apoio econômico para o estudo abrangente dos peixes de águas interiores, juntamente com a formação de um maior número de profissionais, que apoiem e demonstrem o cenário real de trabalho conjunto na conservação da biodiversidade.

**Palavras chave:** Biodiversidade, endemismos, espécies de peixes, repovoamento

## INTRODUCCIÓN

Los programas de conservación de las especies en fauna y flora son los aportes más valiosos que harían los países megadiversos para la contención de los procesos de extinción y del calentamiento global, pero esta premisa se encuentra atada a la disponibilidad económica y la conciencia ambiental de los países en desarrollo. La presencia de los organismos vivos es fundamental en los ambientes, como evidencia de una representación con interacciones insospechadas que enriquecen un esquema general sistémico que, por los rápidos efectos antrópicos, no se alcanzarían a descifrar en la naturaleza. La complejidad de los sistemas naturales, supone respuestas de enorme magnitud que son imposible detenerlas, ni comprenderlos fácilmente, llevando a un gran número de especies, a su desaparición. Por lo tanto, los inventarios biológicos deben evidenciar, a través de los registros y referencias en los centros de investigación certificados, las abundantes denominaciones de organismos endémicos para una identificación como país. Es absurda la idea de que la megadiversidad en Colombia siga siendo una retórica, sin evidenciarlos ante una realidad latente en los hábitats colombianos (Pineda-Santis, 2005).

### *El ambiente acuático*

Las cuencas colombianas, por su geomorfología (relieve y altitud), determinaron los tipos de microhábitat acuáticos o humedales apropiados, que dan una identidad fisiográfica, susceptibles de ser conservadas y en donde se reportan los peces endémicos de mayor interés (Téllez *et al.*, 2011, Jiménez-Segura *et al.*, 2016, Mesa *et al.* 2017). Las áreas geográficas claves para la conservación de peces en Colombia se encuentran distribuidas así: Cuenca Magdalena – Cauca 16, Cuenca Caribe 3, Cuenca Orinoquía 7 y Cuenca Pacífica 2, alcanzando un cubrimiento del 76% de las especies amenazadas, ya que no hubo registros para evidenciar el 100% de los peces *in situ* (Lasso *et al.*, 2017).

En los peces ornamentales, el 90% de los volúmenes de mercado son peces tropicales de agua

dulce, en su mayoría provenientes de las diversas poblaciones naturales (Olivier, 2001) en Brasil (Fujimoto *et al.*, 2020), Orinoquia colombiana (Ramírez *et al.*, 2001; Moreno y Duque, 2004), y la amazonia peruana (Zafra *et al.*, 2018), situación cuestionable para la sostenibilidad, gestión de conservación y disminución en las poblaciones (Raghavan *et al.*, 2013). En estas cuencas, las condiciones ecológicas tropicales y orográficas, han generado unos organismos y una serie de estrategias adaptativas, que permitieron una diversidad de peces con importancia comercial para los grupos indígenas y pescadores, con dedicación a la actividad extractiva (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2017).

En Colombia, se reconocen 16 zonas de pesca de peces ornamentales (Sánchez-Páez y Muñoz-Torres 2015), de donde se estableció una lista de 522 especies agrupadas en 13 órdenes, 49 familias y 213 géneros así: *Siluriformes* (10 familias, 208 especies), *Characiformes* (19 familias, 178 especies), *Perciformes* (4 familias, 78 especies) y *Gymnotiformes* (5 familias, 30 especies) (Franco-Ortega *et al.*, 2021). Indudablemente, un efecto erosivo muy fuerte sobre el componente genético de las poblaciones de peces naturales, que van disminuyendo sus probabilidades de sobrevivencia en un medio donde un gran número de animales, no podrían entregar las ventajas genéticas adaptativas ante un ambiente variable causado por los efectos antrópicos. Las causas que atentan contra la conservación de especies son: el crecimiento de la población humana, las necesidades alimentarias, la investigación en salud, la alteración del régimen fluvial por embalses, la degradación de suelos, tala indiscriminada de bosques con fines agropecuarios, el uso desmedido de agroquímicos, los distritos de riego y el vertimiento de efluentes tóxicos provenientes de varias fuentes de contaminación agrícola y urbana, el manejo de residuos y la pobreza, intensificando la presión constante y afectando los ecosistemas vulnerables o poco conocidos, en donde se pierden valiosos componentes de la biodiversidad entre los que se incluyen especies, poblaciones o continuos de plantas, insectos, reptiles, anfibios, peces, hongos, y en

mayor grado, microorganismos sin registro en los inventarios y las caracterizaciones de la biodiversidad (Calderón *et al.*, 2009, Téllez *et al.*, 2011, Mojica *et al.*, 2012, Jiménez-Segura *et al.*, 2016).

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) presentó el índice de lista roja para el grupo de peces en Colombia, pasando de 1.0, el mejor estado de conservación de las especies, a 0.5, sugiriendo un riesgo de extinción global de las especies ícticas, debidas a un aumento en las amenazas sobre ellas, a la ausencia de medidas de conservación o a la baja eficiencia en las medidas implementadas, lo que aumenta la responsabilidad hacia la mejora de las políticas de conservación en este grupo de animales (González *et al.*, 2016). Ya se han descrito 53 especies con alguna categoría de amenaza para Colombia (Lasso *et al.*, 2017).

En los peces ornamentales persiste la problemática del reconocimiento biológico, taxonómico y ecológico de las especies (Ajiaco-Martínez *et al.*, 2012), sumado al pobre crecimiento de la acuicultura, así como la falta de técnicas eficientes de reproducción, adaptación en la cautividad, formulación de dietas alimenticias (Parada-Guevara, 2010) e incentivo al cultivo sostenible e inclusivo (Franco-Ortega *et al.*, 2021). Lo anterior, en asocio con las malas prácticas, tanto de pesca como de mantenimiento, transporte y control (Ajiaco-Martínez *et al.*, 2012), aumentan los niveles de estrés (Schreck, *et al.*, 2016), disminuyen la resistencia inmune (Sampaio y Freire, 2016) y aumenta la mortalidad de lotes completos (Franco-Ortega *et al.*, 2021).

Es necesario plantear desafíos tendientes a publicar estadísticas actualizadas de importación y exportación, fomentar la investigación biológica y ecológica de las especies, desarrollar paquetes tecnológicos productivos de especies nativas con potencial de comercialización, fomentar el cultivo y no la extracción, hacer trazabilidad de los peces capturados, conservación y protección de los ecosistemas acuíferos, con el fin de generar mayor productividad y competitividad, para aumentar el ingreso económico del sector agropecuario, de las

comunidades rivereñas, costeras y los demás actores involucrados en el proceso de la comercialización (Franco-Ortega *et al.*, 2021).

Ciertamente, el daño ambiental acuático ha manifestado un deterioro enorme debido a la sobrepesca, y a la degradación de su hábitat natural, que ha significado un empobrecimiento genético, y hasta una posible extinción, de las especies en las cuencas colombianas (Zárate *et al.*, 1988).

### Las especies ícticas

El reporte de 1494 especies de peces (DoNascimento *et al.*, 2017), todavía deja la duda de los esfuerzos necesarios para completar la abundancia que se presume en las cuencas colombianas. En las fuentes naturales la oferta de peces es enorme, tanto así que, el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB Colombia) con el apoyo del Instituto Alexander von Humboldt y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, reportaron 2425 especies de peces en literatura, 1960 especies con al menos un registro, teniendo un 81% de representatividad y un estimado de 36029 registros en el SiB Colombia, que sigue siendo la enorme brecha entre las especies estimadas y el conocimiento de ellas. Lo anterior, deja en consideración las ideas de gestión de la información y la unión de esfuerzos para la identificación y organización de un completo inventario nacional (Escobar *et al.*, 2016). En consecuencia, permanece en perspectiva el inmenso trabajo que todavía hay por hacer para el pleno conocimiento de las especies, no solo de peces, sino de la biodiversidad en Colombia (Pineda-Santis, 2002).

Jiménez-Segura *et al.*, (2016) mencionaron que, de las 666 especies de peces endémicas de la región de los Andes Tropicales, 13 fueron categorizadas como En Peligro Crítico, 28 En Peligro, 33 Vulnerables, 36 Casi Amenazada, 341 Con preocupación Menor y 215 Con datos Insuficientes para evaluar su riesgo de extinción, resaltando el inadecuado conocimiento de la distribución, hábitats y ecología, población y amenazas de los peces en sus cuencas.

Con el propósito de hacer un mejor manejo de las especies, conservar el componente genético y disminuir la sobrepesca, la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca (AUNAP), promulgó la Resolución 417 de 2019, por la cual se modificó parcialmente la Resolución número 2838 del 17 de diciembre de 2017, que estableció las directrices técnicas y los requisitos para realizar repoblamiento, rescate, traslado y liberación con recursos pesqueros ícticos en aguas continentales de Colombia, con el respaldo de la comunidad científica y consideraciones sociales, ambientales, de manejo genético de las especies y seguimiento y evaluación de las acciones de repoblamiento (AUNAP, 2019). Por consiguiente, este debe ser el compromiso, tanto del ente regulador como de las instituciones públicas y privadas, para promover, de forma efectiva, la conservación de los organismos, en este caso, a la diversidad de peces en el país.

Respecto a la acuicultura, el mantenimiento de las producciones piscícolas, dos de ellas foráneas (tilapia *Oreochromis sp* y trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss*), se han convertido en una alternativa para el consumo humano de estratos socio económicos medio y alto. Cormagdalena, (2003) considera que entre 30.000 y 50.000 pescadores artesanales en las riberas de la cuenca Magdalena - Cauca, con una oferta hídrica de un 15% (MAVDT, 2010), y un 57% de la población colombiana (DANE, 2018), aumentan la depredación y hacen difícil el control de la pesca, máxime cuando la situación social y económica de los ribereños es baja, y recurren a las capturas de especies acuáticas de menor valor comercial para obtener una proteína de mejor calidad, erosionando a un grupo mayor de organismos que hacen parte del ecosistema.

### Los estudios genéticos

Márquez-Fernández *et al.* (2021) dentro de sus consideraciones del trabajo genético *in situ* pusieron de manifiesto que, a pesar de la enorme cantidad de especies en la cuenca del Río Magdalena, existe poca disponibilidad de información genética para valorar el estado de sus poblaciones y la comprensión de procesos evolutivos y ecológicos.

Los estudios genéticos poblacionales fraccionados, en ésta y las otras cuencas, no hacen posible conocer la distribución de la diversidad y estructura genética para la mayoría de las especies.

Es claro que para las decisiones sobre la recuperación del componente genético en las poblaciones naturales, se recurre a los programas de repoblamiento, lo cual lleva, si no se tienen los suficientes estudios, a la reducción en la variabilidad genética, producto del cruzamiento de padres con hijos (endogamia), que potencia la generación de juveniles homocigotos en los que pueden hacerse evidente rasgos recesivos o deterioros genéticos, del cual se cita como ejemplo, el caso de los repoblamiento con ejemplares de bocachico *Prochilodus magdalenae*, realizados en la cuenca del río Magdalena a finales del siglo pasado con juveniles obtenidos de parentales, provenientes de las poblaciones del río Sinú y viceversa, siendo fuente de contaminación genética (introgresión génica debido a hibridización), que puede estar conformando una subpoblación de la especie dentro de la cuenca (Lamprea *et al.* 2004; Tognelli *et al.*, 2016). Ciertamente, Márquez-Fernández *et al.* (2021) reportaron índices significativos de endogamia por encima del 10%, lo que sugiere una pérdida de la eficacia biológica, llamando la atención al seguimiento genético apropiado de las poblaciones naturales para evitar potenciales afectaciones.

Las técnicas moleculares han ofrecido un avance para responder a las preguntas relacionadas con la nutrigenómica, genómica, marcadores moleculares en la reproducción y selección de reproductores con interés comercial y control de enfermedades (Pardo-Carrasco y Brú-Cordero, 2013). Respecto a las consideraciones sobre el conocimiento del componente genético en las poblaciones de peces en Colombia, la revisión realizada por Mancera-Rodríguez *et al.*, (2013) es un aporte relevante en el conocimiento de esa variabilidad genética que demostró la enorme cantidad de especies en los ríos colombianos y las herramientas adecuadas para su estudio, que han sido potencializados en las últimas décadas, iniciando desde

el uso de la citogenética hasta las aplicadas para un desarrollo de ese conocimiento basados en el ADN. Asimismo, se hace el llamado al aumento del número de estos estudios, considerando el apoyo económico y a una mayor formación de la comunidad técnica, tecnológica y profesional que aborde los temas de conservación genética de las especies de peces. Dentro de las técnicas moleculares para el estudio de la biodiversidad, se encuentran los microsátelites, los cuales proporcionan una información más completa de la estructura genética en una población (Pineda-Santis *et al.*, 1999).

Dentro de la complejidad para la identificación de especies, los reportes sobre el conocimiento de la sistemática molecular para el género *Brycon*, han mostrado que es un grupo monofilético con una mayor diversificación en la zonas de los andes colombianos (Hilsdorf *et al.*, (2008; Guisande *et al.*, 2012). Este resultado es congruente con la hipótesis de Zanata (2000), según la cual la mayoría de especies de *Brycon* del Sur trasandino y Centro América forman un clado, pero existen más de dos linajes en la región neotropical.

Los esfuerzos para la conservación *ex situ* están enmarcados en la propuesta del Banco de Recursos Genéticos Acuáticos de la Orinoquia (BRG-ORINOQUIA), liderado por el Grupo de Investigación sobre Reproducción y Toxicología de Organismos Acuáticos (GRITOX), adscrito al Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos en Villavicencio (Colombia), el cual pretende conservar el recurso íctico de especies nativas como una reserva sostenible ante los desafíos antrópicos (Mauricio Medina, Docente Universidad de los Llanos, Comunicación Personal).

### Caso específico

La sabaleta *Brycon henni* ha sido objeto de un recorrido que, desde la perspectiva de un correcto manejo, ha llegado tener un interés en: 1. el conocimiento de su entorno ecológico como una demostración de su presencia en las microcuencas y cuencas donde se ha reportado, venciendo las agresiones ambientales antrópicas. 2. Como es-

pecie, ha logrado diversificarse hasta el punto de reportarse más de diez especies en Colombia. 3. Posee estudios que dan cuenta de su componente genético y estructura poblacional para la comprensión de su manejo, permitiendo las reproducciones y apropiadas repoblaciones, en los ambientes naturales. Si bien, la conservación de la mayoría de las especies de peces en Colombia, se encuentran en los enunciados 1 y 2, respecto al genético, no se considera o se tiene postergado por sus costos o como espacio para una pequeña comunidad de investigadores.

La sabaleta *Brycon henni*, como una especie de interés para la seguridad alimentaria tiene estudio de conservación y diversidad genética en las cuencas del Cauca-Magdalena, San Juan, Dagua y Patía, en donde se han descrito los aspectos morfológicos, ecológicos, alimenticios, reproductivos y de manejo tanto en medio natural como en cautiverio para la implementación del paquete técnico (Montoya-López *et al.*, 2006; Lenis-Sucerquia y David-Ruales, 2015). Pineda-Santis *et al.*, (2007) en un estudio con marcadores moleculares, tipo RAPD (Polimorfismo de ADN Amplificados al Azar), estableció las diferencias entre las poblaciones de sabaleta *Brycon henni* provenientes de las cuencas de los ríos Cauca y Magdalena, mostrando las primeras diferencias genéticas entre organismos de la misma especie con distinto origen. Estas dos cuencas, forman zonas ecológicas de drenaje independientes con características de complejidad y singularidad, que podrían considerarse como una estructura ecológica principal, en cuanto a la biodiversidad acuática presente en las subcuencas (Télez *et al.*, 2011).

Recientemente, Landinez-García y Márquez, (2020) reportaron 21 secuencias polimórficas de ADN, para la sabaleta *Brycon henni*, convirtiéndose en un hito, si se tiene en cuenta que pueden ser utilizados de forma heteróloga, es decir, en todas las especies del género para caracterizar las poblaciones y conocer su estructura alélica, distancia entre grupos en diferentes cuencas, grado de aislamiento y flujo génico para el apropiado mane-

jo genético. El grupo de microsatélites reportados y aplicados en varias poblaciones naturales de sabaleta *Brycon henni*, mostró una estructura genética jerárquica a nivel local y escalas regionales, que exhiben una migración lateral entre tributarios y el canal principal, en lugar de una migración longitudinal, observación previamente reportada por Lasso *et al.*, (2010), lo cual puede explicar el limitado flujo génico en el cauce principal (Landínez-García y Márquez, 2020).

En recientes estudios, realizados por Pineda-Santis, Arboleda-Chacón y Taborda-Arboleda, y con el apoyo económico del Sistema General de Regalías, se confirmaron las diferencias, en las frecuencias alélicas, en la separación de las poblaciones de sabaleta *Brycon henni* en los dos afluentes, Cauca y Magdalena. Asimismo, dentro de la cuenca del Cauca, se encontró un grado de aislamiento moderado entre los tres sitios de muestreo considerados para el estudio (artículo en redacción). Lo anterior, evidenció las diferencias en las frecuencias alélicas de marcadores microsatélites, fragmentos de ADN, que muestran un grado de adaptación a ambientes específicos, en respuesta a las condiciones ecológicas, asociadas a las regiones, que por los efectos de las escorrentías dan un sello particular a la fisicoquímica del agua. Estas características ofrecen las posibilidades, a que muchos organismos hagan parte de un sistema integrado específico de relaciones naturales tanto bióticas como abióticas.

### Consideraciones finales

Las técnicas moleculares siguen adecuándose para responder las preguntas relacionadas con la conservación de las especies, planteando una visión integral desde la ecología molecular, donde se aplican los marcadores genéticos moleculares a los temas de evolución, ecología y conservación (Eguiarte *et al.*, 2007). En ese sentido, el reto es detectar las entidades taxonómicas para administrar los esfuerzos de conservación en estrecha correlación que tienen los organismos para evolucionar en respuesta a los cambios ambientales (Thomas *et al.*, 2004). Por lo tanto, se consideran

los conceptos y las técnicas de la filogeografía, la teoría de la coalescencia, el método comparativo filogenético, los contrastes filogenéticos independientes y la autocorrelación filogenética, que ofrecen información genética para definir los límites de las especies y/o poblaciones, la estructura de las poblaciones y sus patrones de migración y flujo génico, entender los cambios genéticos que afectan la supervivencia de las especies y la viabilidad de las poblaciones a largo plazo y ofrecer información genética utilizable para la gestión de las especies amenazadas (Zamora-Abrego *et al.* 2013). Lo anterior, apunta a la necesidad de fortalecer una comunidad científica, acorde a las manifestaciones de un ambiente tropical, montañoso y con gran número de especies nativas.

Téllez *et al.*, (2011), planteó como objetivos de conservación y estrategias de manejo, una planificación de la biodiversidad, la mitigación de amenazas, la planificación del desarrollo por diseño y el levantamiento y generación de información básica. Lo que sugiere la unión de esfuerzos hacia la organización de los programas de conservación, en general, y en especial en las especies ícticas, con una mayor formación de personal cualificado, a nivel de pregrado y posgrado, para el registro de nuevas especies de peces, el fortalecimiento de los centros de referencia, el apoyo económico para el inventario e identificación molecular de muchos organismos y la disminución de la sobrepesca, con la aplicación efectiva de las normas de control existentes contra los efectos antrópicos, ocasionados por la sobrepoblación y la industrialización.

## REFERENCIAS

Ajiaco-Martínez RE, Ramírez-Gil H, Sánchez-Duarte P, Lasso CA, Trujillo F. 2012. *IV Diagnóstico de la pesca ornamental en Colombia*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://omacha.org/wp-content/uploads/2019/12/diagnostico-de-la-pesca-ornamental-en-colombia>.

- AUNAP - Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. 2019. Resolución 417 de 2019. Diario Oficial No. 50.892 de 11 de marzo 2019. Bogotá, Colombia
- Calderón MJ, Álzate A, Hernández V. 2009. Primera aproximación a los avances del eje conocer de la Política Nacional sobre Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 152 p.
- Cormagdalena - Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena. 2003. Plan de Ordenamiento y Manejo Integral de la Cuenca del Río Grande de la Magdalena POMIM. Barrancabermeja: Cormagdalena. (V. 8). Santander, Colombia.
- DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2018. Censo Nacional de Población y Vivienda. Dirección de Censos y Demografía. DANE. Bogotá, Colombia.
- DoNascimento C, Herrera-Collazos EE, Herrera-R GA, Maldonado-Ocampo JA, Ortega-Lara A, Usma-Oviedo JS, Villa-Navarro FA. Checklist of the freshwater fishes of Colombia: a Darwin Core alternative to the updating problem. *ZooKeys*;708:25-138.
- Eguiarte L, Souza V, Aguirre X. 2007. Ecología molecular. Editorial SEMARNAT, INE, UNAM y CONABIO. México. 592 p.
- Escobar D, Gamboa J, Buitrago L. 2016. Biodiversidad 2016 en cifras: una mirada desde SiB Colombia a nuestras especies. *En: Biodiversidad 2016. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Moreno LA, Andrade GI, Ruíz-Contreras LF. (Eds). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 106 p.
- Franco-Ortega JA, Moncaleano-Gómez EM, Ajiaco-Martínez RE. Comportamiento del mercado de los peces ornamentales continentales en Colombia. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. *Revista Ciencia y Agricultura*;18(1):63-75. Doi:10.19053/01228420.v18.n1.2021.11320.
- Fujimoto RY, Malta H, Da Costa N, Silva do Couto M, Brandão R, Guimarães P, Dos Santos F, Menezes F, Silva K, Holanda F. Is There Sustainability for "Satellite" Ornamental Fishing Regions? A Case Study of Guamá River basin-Pará-Brasil. *Fisheries Research*;221:105354. doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105354.
- González I, Londoño MC, Velásquez-Tibata J. 2016. 204 especies amenazadas en Colombia: categoría global. *En: Biodiversidad 2016. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia*. Moreno LA, Andrade GI, Ruíz-Contreras LF. (Eds). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 106 p.
- Guisande C, Pelayo-Villamil P, Vera M, Manjarrés-Hernández A, Carvalho MR, Vari RP, Jiménez-Segura LF, Fernández C, Martínez P, Prieto-Piraquive E, Granado-Lorencio C, Duque SR. Ecological Factors and Diversification among Neotropical Characiforms. *International Journal of Ecology*;12:1-20
- Guzmán-Maldonado A, Macedo-Lopes P, Rodríguez-Fernández C, Lasso-Alcala C, Sumalia U. Transboundary Fisheries Management in the Amazon: Assessing Current Policies for the Management of the Ornamental Silver Arawana (*Osteoglossum bicirrhosum*). *Marine Policy*;76:192-199. doi.org/10.1016/j.marpol.2016.11.021.
- Hilsdorf AWS, Oliveira C, Lima F, Matsumoto C. 2008. A phylogenetic analysis of Brycon and Henochilus (Characiformes, Characidae, Bryconinae) based on the mitochondrial gene 16S rRNA. *Genetics and Molecular Biology - GENET MOL BIOL*. 31. 10.1590/S1415-47572008000200034.
- Jiménez-Segura LF, Ortega H, Chuctaya J, Jiménez-Prado P, Carvajal-Vallejos F, Rivadeneira JF, Mojica JI, Mesa LM, Sánchez-Duarte P, Maldonado-Ocampo JA, Correa V, Chocano



- L, Velásquez MA, Hidalgo M, Usma JS, Lasso CA, Anderson EP, Villa-Navarro F, Tognelli MF. 2016. Capítulo 3. Estado de conservación y distribución de los peces de agua dulce de los Andes Tropicales. En: Estado de Conservación y Distribución de la Biodiversidad de Agua Dulce en los Andes Tropicales. Tognelli MF, Lasso CA, Bota-Sierra CA, Jiménez-Segura LF, Cox NA. (Editores). Gland, Suiza, Cambridge, UK y Arlington, USA: UICN. xii + 199 pp.
- Lamprea N, López L, Santacruz D, Guerrero J, Burbano C. Modificaciones técnicas en el uso de microsatélites y AFLP para el estudio poblacional de diversas especies de peces en el río Sinú, Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, ;6(1): 72-78.
- Landinez-García RM, Márquez EJ. Population genetics of the fish *Brycon henni* (Characiformes: Bryconidae) using species-specific polymorphic microsatellite loci. *Revista de Biología Tropical*, ;68(3):847-861.
- Lasso C, Agudelo E, Jimenez-Segura L, Ramírez-Gil H, Morales-Betancourt M, Ajiaco-Martínez R, Sanabria-Ochoa A. 2010. *Catálogo de los recursos pesqueros continentales de Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Lasso C, Córdoba AC, Morales-Betancourt MA. 2017. Áreas clave para la conservación de la biodiversidad dulceacuícola amenazada en Colombia: moluscos, cangrejos, peces, tortugas, crocodílidos, aves y mamíferos. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 353 p.
- Lenis-Sucerquia G, David-Ruales CA. 2015. Aspectos generales de la sabaleta *Brycon henni* (Pisces: Characidae), Eigenmann, 1913. En: Tópicos para el manejo de especies ícticas silvestres en confinamiento: casos de estudio *Brycon moorei*, *Brycon henni*, *Pseudoplatystoma magdaleniatum*, *Pimelodus grosskopfii* y *Pimelodus blochii*. David-Ruales, C.A. (Editor). Caldas (Antioquia). Editorial Lasallista. 186 p.
- Mancera-Rodríguez N, Márquez EJ, Hurtado-Alarcón JC. 2013. Uso de citogenética y técnicas moleculares en estudios de diversidad genética en peces colombianos. En: Biología molecular aplicada a la producción animal y la conservación de especies silvestres. López-Herrera, A. (Editor). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Sede Medellín. Centro de Publicaciones. Medellín. Colombia. 388 p.
- Márquez-Fernández E, Restrepo-Escobar N, Yepes-Acevedo AJ, Narvaez JC. 2021. Diversidad y estructura genética de los peces de la cuenca del Magdalena, Colombia. En: Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible. Jiménez-Segura L, Lasso CA. (Eds.). XIX. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. p 115-157. DOI: 10.21068/B2020RRHXIX03.
- Mesa LM, Córdoba D, Lasso CA. 2017. Peces. En: Áreas clave para la conservación de la biodiversidad dulceacuícola amenazada en Colombia: moluscos, cangrejos, peces, tortugas, cocodrilos, aves y mamíferos. Lasso CA, Córdoba D, Morales-Betancourt MA. (Editores). Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 58 p.
- MAVDT - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia. 124 p.
- Mojica JI, Usma JS, Álvarez-León R, Lasso CA. 2012. Libro rojo de peces dulceacuícolas de Co-

- Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales. Bogotá, DC, Colombia. 319 p.
- Montoya-López A, Carrillo LM, Olivera-Ángel M. Algunos aspectos biológicos y del manejo en cautiverio de la sabaleta *Brycon henni* Eigenmann, 1913 (Pisces: Characidae). Universidad de Antioquia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. ;19(2):180-186.
- Moreno P, Duque S. Peces ornamentales comercializados en Leticia, Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Básicas Universidad Militar*;24:129-36.
- Olivier K. 2001. The Ornamental Fish Market. FAO/Globefish Research Programme, 67. United Nations Food and Agriculture Organization.
- Parada-Guevara SL. 2010. Descripción de los procesos de captura y postcaptura de dos especies de Loricáridos comercializados en el departamento del Meta y propuesta de intervención como estrategia indirecta de conservación. (Tesis Maestría). Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia.
- Pardo-Carrasco S, Brú-Cordero S. 2013. Las técnicas moleculares como herramientas en la acuicultura. En: *Biología molecular aplicada a la producción animal y la conservación de especies silvestres*. López-Herrera, A. (Editor). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Sede Medellín. Centro de Publicaciones. Medellín. 388 p.
- Pineda-Santis H, Vázquez E, Blanco G, Sánchez JA. Variabilidad de loci microsátelites en salmón Atlántico *Salmo salar* L. *Actualidades Biológicas*;21(70):19-28.
- Pineda-Santis H. Recursos genéticos promisorios en peces colombianos de agua dulce. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. ;15(3):368-372.
- Pineda-Santis H. Recursos genéticos en fauna y flora colombianos ¿Mito o realidad? Impresos Begón Ltda. *Revista Tecnológico de Antioquia*. ;13:64-67.
- Pineda-Santis H, Arboleda-Chacón L, Echeverry-Echavarria A, Urcuqui-Inchima S, Pareja-Molina D, Olivera-Ángel M, Builes-Gómez J. Caracterización de la diversidad genética en el pez *Brycon henni* (Characiformes: Characidae) en Colombia central por medio de marcadores RAPD. *Revista de Biología Tropical*. ;55(3-4):1025-1035.
- Raghavan R, Dahanukar N, Tlustý M, Rhyne A, Kumar K, Molur S, Rosser A. Uncovering an Obscure Trade: Threatened Freshwater Fishes and the Aquarium Pet Markets. *Biological Conservation*. ;164:158-169. doi. org/10.1016/j.biocon.2013.04.019.
- Ramírez-Gil H, Carrillo L, Lacera E, Ajiaco-Martínez RE. 2001. La pesca de especies de interés ornamental en el área de influencia de Puerto Carreño. En: *La pesca en la Baja Orinoquia colombiana: pasado, presente y futuro*. Ramírez-Gil H, Ajiaco-Martínez RH. (eds.). Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, INPA.
- Sampaio F, Freire C. An Overview of Stress Physiology of Fish Transport: Changes in Water Quality as a Function of Transport Duration. *Fish and Fisheries*. ;17(4):1055-1072. <https://doi.org/10.1111/faf.12158>.
- Sánchez-Páez, CL, Muñoz-Torres SE. 2015. Marco institucional y normativo de la actividad pesquera ornamental continental en Colombia. En: *A. & E, Dinámica de la actividad pesquera de peces ornamentales continentales en Colombia*. Serie Recursos Pesqueros de Colombia AUNAP. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca AUNAP, Fundación Funindes.
- Schreck CB, Tort L, Anthony P, Colin F, Brauner J. 2016. *Biology of Stress in Fish*, (First ed.), Academic Press.

- Téllez P, Petry P, Walschburger T, Higgins J, Apse C. 2011. Portafolio de conservación de agua dulce para la Cuenca del Magdalena-Cauca. Programa NASCA The Nature Conservancy y Cormagdalena. 203 p.
- Thomas CD, Cameron A, Green RE. Extinction risk from climate change. *Nature*, University of Leeds. ;427(6970):145-148.
- Tognelli MF, Lasso CA, Bota-Sierra CA, Jiménez-Segura LF, Cox NA. 2016. Estado de conservación y distribución de la biodiversidad de agua dulce en los Andes tropicales. Gland, Suiza, Cambridge, UK y Arlington, USA: UICN. xii + 199 pp.
- Zafra AM, Díaz ME, Dávila FA, Vela K, Colchado JP. Catalogue of Ornamental Fishes in Trujillo, La Libertad, Perú. *Arnaldoa*, ;25(2):757-786. [doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25221](https://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25221).
- Zamora-Abrego JG, Manriquez-Moran NL, Ortíz-Yusty CE, Ortega-León AM. 2013. Uso de técnicas moleculares como herramienta para conservar la diversidad biológica. *En: Biología molecular aplicada a la producción animal y la conservación de especies silvestres*. López-Herrera A. (Editor). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Sede Medellín. Centro de Publicaciones. Medellín. 388 p.
- Zanata AM. 2000. Estudo das relações filogenéticas do gênero *Brycon* Müller and Troschel. Ph.D. Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 358 pp.
- Zárate M, Martínez J, Caraballo PR. 1988. Captura y esfuerzo pesquero en la cuenca del río Magdalena y su sistema de planos inundables durante la subienda 1987 y estado actual de sus pesquerías. Informe Técnico. INDERENA, San Cristóbal (Bolívar).