

# Biología de las Poblaciones de Peces de la Amazonía y Piscicultura

**Variabilidad genética y  
estructuración poblacional de  
*Cichla monoculus* en el Alto  
Madera (Bolivia), a partir del  
análisis EPIC-PCR**

**Fernando Carvajal, Jesús Nuñez, Fabrice Du-  
ponchelle, Jean Francois Renno**

**VARIABILIDAD GENÉTICA Y ESTRUCTURACIÓN  
POBLACIONAL DE CICHLA MONOCULUS EN EL  
ALTO MADERA (BOLIVIA), A PARTIR DEL ANÁLISIS EPIC-PCR  
(genética de poblaciones)**

**Primera edición digital**

**Diciembre, 2014**

**Lima - Perú**

**© Fernando Carvajal  
Jésus Nuñez  
Fabrice Duponchelle  
Jean Francois Renno**

**PLD 1637**

**Editor: Víctor López Guzmán**

***Guzlop editoras***

**<http://www.guzlop-editoras.com/>  
[guzlopster@gmail.com](mailto:guzlopster@gmail.com)  
[facebook.com/guzlop](https://www.facebook.com/guzlop)  
[twitter.com/guzlopster](https://twitter.com/guzlopster)  
731 2457 / 959 552 765  
Lima - Perú**

# PROYECTO LIBRO DIGITAL (PLD)

El proyecto libro digital propone que los apuntes de clases, las tesis y los avances en investigación (papers) de las profesoras y profesores de las universidades peruanas sean convertidos en libro digital y difundidos por internet en forma gratuita a través de nuestra página web. Los recursos económicos disponibles para este proyecto provienen de las utilidades nuestras por los trabajos de edición y publicación a terceros, por lo tanto, son limitados.

Un libro digital, también conocido como e-book, eBook, ecolibro o libro electrónico, es una versión electrónica de la digitalización y diagramación de un libro que originariamente es editado para ser impreso en papel y que puede encontrarse en internet o en CD-ROM. Por, lo tanto, no reemplaza al libro impreso.

Entre las ventajas del libro digital se tienen:

- su accesibilidad (se puede leer en cualquier parte que tenga electricidad),
- su difusión globalizada (mediante internet nos da una gran independencia geográfica),
- su incorporación a la carrera tecnológica y la posibilidad de disminuir la brecha digital (inseparable de la competición por la influencia cultural),
- su aprovechamiento a los cambios de hábitos de los estudiantes asociados al internet y a las redes sociales (siendo la oportunidad de difundir, de una forma diferente, el conocimiento),
- su realización permitirá disminuir o anular la percepción de nuestras élites políticas frente a la supuesta incompetencia de nuestras profesoras y profesores de producir libros, ponencias y trabajos de investigación de alta calidad en los contenidos, y, que su existencia no está circunscrita solo a las letras.

Algunos objetivos que esperamos alcanzar:

- Que el estudiante, como usuario final, tenga el curso que está llevando desarrollado como un libro (con todas las características de un libro impreso) en formato digital.
- Que las profesoras y profesores actualicen la información dada a los estudiantes, mejorando sus contenidos, aplicaciones y ejemplos; pudiendo evaluar sus aportes y coherencia en los cursos que dicta.
- Que las profesoras y profesores, y estudiantes logren una familiaridad con el uso de estas nuevas tecnologías.
- El libro digital bien elaborado, permitirá dar un buen nivel de conocimientos a las alumnas y alumnos de las universidades nacionales y, especialmente, a los del interior del país donde la calidad de la educación actualmente es muy deficiente tanto por la infraestructura física como por el personal docente.
- El personal docente jugará un rol de tutor, facilitador y conductor de proyectos

de investigación de las alumnas y alumnos tomando como base el libro digital y las direcciones electrónicas recomendadas.

- Que este proyecto ayude a las universidades nacionales en las acreditaciones internacionales y mejorar la sustentación de sus presupuestos anuales en el Congreso.

En el aspecto legal:

- Las autoras o autores ceden sus derechos para esta edición digital, sin perder su autoría, permitiendo que su obra sea puesta en internet como descarga gratuita.

- Las autoras o autores pueden hacer nuevas ediciones basadas o no en esta versión digital.

Lima - Perú, enero del 2011

*“El conocimiento es útil solo si se difunde y aplica”*

*Víctor López Guzmán*  
*Editor*

# **Variabilidad genética y estructuración poblacional de *Cichla monoculus* en el Alto Madera (Bolivia), a partir del análisis EPIC-PCR**

Fernando Carvajal<sup>1,2</sup>, Jesús Nuñez<sup>1,2</sup>, Fabrice Duponchelle<sup>1,3</sup>,  
Jean Francois Renno<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UR175, GAMET,  
BP 5095, 34196 Montpellier cedex, France

e-mail: renno@univ-montp2.fr

nunez@ird.fr duponchelle@ird.fr dugue@ird.fr

<sup>2</sup> Universidad Mayor San Andrés (UMSA), IBM y B, La Paz, Bolivia

<sup>3</sup> Universidad Mayor San Simón (UMSS), ULRA, Cochabamba, Bolivia  
e-mail: fmcvalle@yahoo.com

**Palabras claves:** *Cichla*, Amazonía Boliviana, EPIC-PCR

## **Resumen**

El tucunaré es un recurso pesquero muy poco conocido en los ríos de Bolivia. A partir de la variación alélica de varios intrones se concluyó que esta especie está estructurada en 4 poblaciones en Bolivia. Dos de estas poblaciones serían el resultado de dos efectos fundadores que ocurrieron desde el Iténez Central. Esta zona, probablemente llegó a ser un refugio del cuaternario o el primer lugar de colonización de la especie antes de su dispersión en Bolivia.

## **Introducción**

Tucunaré o pavón es el nombre común con el que se conoce a los cíclidos piscívoros neotropicales de mayor tamaño. Estos peces ampliamente distribuidos en la cuenca amazónica y en la orinoquía, tienen un alto valor económico tanto para la pesca comercial y local de subsistencia, como en actividades de pesca deportiva (Taphorn & Barbarino, 1993; Winemiller, 2001)

Al momento 5 especies están consideradas como válidas de las 15 nominales. De todas ellas *C. monoculus* y *C. temensis* parecen ser las únicas que habitan en

ambientes de aguas claras, negras o blancas mientras que las restantes parecen habitar únicamente aguas claras o negras. A pesar de ser un componente ecológico importante y un recurso ampliamente distribuido, se sabe poco sobre la biología de estos peces e incluso sobre su taxonomía, puesto que se presume la existencia de al menos 12 especies (Alves *et al.*, 2004). Los únicos trabajos que tratan sobre la dinámica de poblaciones de estos peces, han sido publicados en los últimos 4 años y enfocan particularmente sobre la hibridización entre *C. temensis* y *C. monoculus* en su ambiente natural y reservorios (Texeira & de Oliveira, 2005).

El presente trabajo tiene por objeto determinar si en la amazonía boliviana la única especie identificada como *C. monoculus* está compuesta por una sola unidad poblacional estructurada en relación a su distribución geográfica y ecología.

## Metodología

Se capturaron 186 individuos en 5 localidades representativas de la amazonía boliviana (Alto Madera) entre el año 2001-2003: Ríos Manuripi, Yata, Iténez, Sécure e Ichilo (Fig. 1). De cada individuo se preservó una muestra de músculo para la amplificación de secuencias intrónicas (AldoB1 y MhcII: Hassan *et al.*, 2002, Opsin y Actin Bierre *et al.*, 2000).



Figura 1. Tucunaré (*Cichla monoculus*) de Bolivia, laguna Limón, Parque Isiboro-Sécure.

Mediante la técnica Exon-Primed Intron-Crossing (EPIC-PCR) se analizó el polimorfismo en longitud obtenido a partir de la variación alélica detectada al comparar la heterocigocidad esperada y observada; mientras que el estado del flujo genético intra- e inter-muestras geográficas fue determinado a partir del índice de endogamia  $F_{is}$  y el índice de fijación  $F_{st}$ , siguiendo el tratamiento de datos presen-

tado en esta publicación sobre *Colossoma macropomum* y *Piaractus brachypomus* (Renno *et al.*).

## Resultados y discusión

De manera general 5 loci intrónicos fueron visualizados, dos de ellos fueron ampliificados simultáneamente a partir de los iniciadores del intrón Actin y uno por cada par de iniciadores restantes. La variabilidad genética encontrada

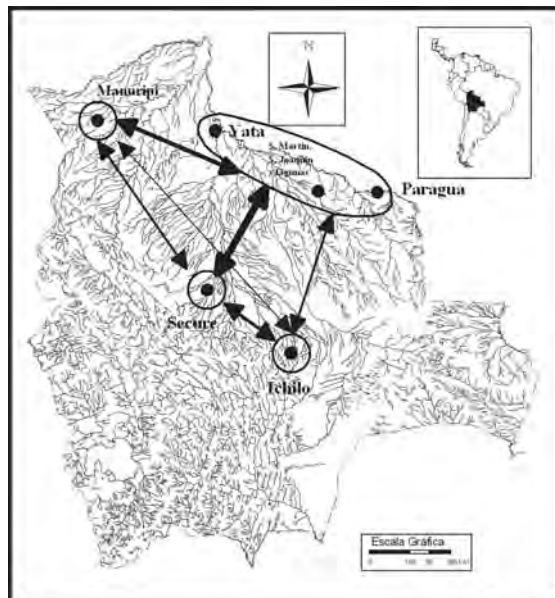


Figura 2. Representación de la estructuración de las poblaciones de tucunare en Bolivia. El grosor de las flechas es proporcional al flujo genético entre las poblaciones. (Diseño cartográfico Milton Zapata, ULRA).

sugiere que la mayor diversidad alélica se encuentra en la zona del Iténez Central (Río San Martín-San Joaquín) y la menor en los Ríos Manuripi e Ichilo. Estas últimas dos muestras geográficas fueron monomórficas en todos sus loci, excepto un locus de un individuo del Río Ichilo.

Por otro lado, al analizar la estructuración de la especie a nivel de la Amazonía boliviana, se encontró que las muestras analizadas se dividen en 4 unidades panméticas significativamente diferenciadas, sin estructuración en toda la cuenca del Río Iténez entre los varios sitios estudiados (lagunas Larga, Redonda, Sala y

Río San Joaquín). Estas unidades que representan poblaciones geográficamente separadas, habitan las aguas del Río Manuripi, Sécore, Ichilo y el conjunto Yata-Iténez respectivamente. Entre la población del Río Manuripi e Ichilo se da el menor flujo génico y el mayor entre las poblaciones del Río Sécore y el conjunto Yata-Iténez (Fig. 2).

Finalmente, al correlacionar la distancia genética inferida vs la distancia geográfica a vuelo de ave o por el curso normal de los ríos se determinó que existe una estructuración dependiente de la distancia geográfica entre las poblaciones y que la dispersión principalmente toma lugar por el curso normal de los ríos (Fig. 3).

Considerando que los 5 loci fueron encontrados en cada uno de los puntos de muestreo y que la parte central de la cuenca del Río Iténez posee la mayor diversidad genética (alélica), a diferencia de las poblaciones del Río Ichilo y Manuripi que poseen la menor; sugerimos que a nivel de la amazonía boliviana existe una sola especie de tucunaré geográficamente estructurada.

El origen de las poblaciones monomórficas en el Río Ichilo y Manuripi sucedió a partir de 2 efectos fundadores desde la población fuente en el Iténez Central. La mayor diversidad existente en esta zona podría deberse a que el área fue un refugio o que la zona fue el primer lugar de colonización antes de una dispersión ulterior hacia la amazonía boliviana. No obstante, esta hipótesis debe ser demostrada analizando mayor número de muestras provenientes de las poblaciones supuestamente fundadas (Ríos Manuripi e Ichilo).

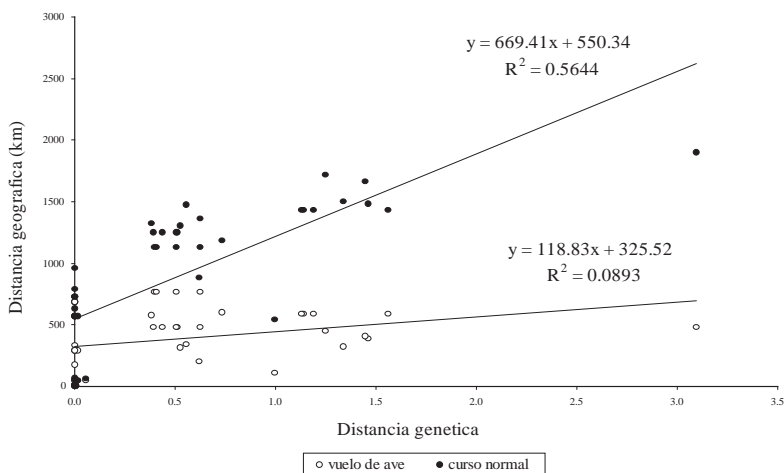


Figura 3. Relación de la distancia genética ( $F_{ST}$ ) vs la distancia geográfica a vuelo de ave y por el curso normal de los ríos.



## Referencias

- Alves, M. N.; Rebelo, J. I.; Feldberg, E. 2004. Karyological evidence for interspecific hybridization between *Cichla monoculus* and *C. temensis* (Perciformes, Cichlidae) in the Amazon. *Hereditas*, 141: 252-257.
- Bierne, N.; Lehnert, S.A.; Bédier, D.; Bonhomme, F.; Moore, S.;S. 2000. Screening for intron-length polymorphisms in penaeid shrimps using exon-primed intron crossing (EPIC)-PCR. *Molecular Ecology*, 9: 133-135.
- Hassan, M.; Lemaire, C.; Fauvelot, C.; Bonhome, F. 2002. Seventeen new exon-primed intron-crossing polymerase chain reaction amplifiable introns in fish. *Molecular Ecology Notes*, 2: 334-340.
- Taphorn, D. C.; Barbarino, A. 1993. Evaluación de la situación actual de los pavones, (*Cichla* spp.), en el Parque Nacional Capanaparo-Cinaruco, Estado Apure, Venezuela. *Natura*, 96: 10-25.
- Texeira, A. S.; de Oliveira. 2005. Evidence for a natural hybrid of peacock bass (*Cichla monoculus* vs *Cichla temensis*) base on esterase electrophoretic patterns. *Genetics and Molecular Research*, 4: 74-83.
- Winemiller, K. O. 2001. Ecology of peacock cichlids (*Cichla* spp.) in Venezuela. *Journal of Aquaculture and Aquatic Sciences*. Cichlid Research: State of the Art. 9: 93-112.



# Biología de las Poblaciones de Peces de la Amazonía y Piscicultura

Coloquio Internacional  
27 de Junio - 1 de Julio de 2005  
Iquitos, Perú

Red de Investigación sobre la Ictiofauna Amazónica

Editores:

J.-F. Renno

C. García-Dávila

F. Duponchelle

J. Nuñez

