

## MANEJO GENÉTICO DE REPRODUCTORES DE PAICHE *Arapaima gigas* PARA REPRODUCCIÓN EN CAUTIVERIO

Carmen GARCÍA-DÁVILA<sup>1,3</sup>, Jean-François RENNO<sup>2,3</sup>

- 1 Laboratorio de Biología y Genética Molecular – LBGM, Programa para el Uso y Conservación del Agua y sus Recursos-AQUAREC, Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, IIAP, Carretera Iquitos-Nauta km. 4.5, Iquitos, Perú, e-mail: cdavila19@yahoo.com
- 2 Institut de Recherche pour le Developpement, Unite Mixte de Recherche Biologie des Organismes et Ecosystemes Aquatiques (UMR BOREA - MNHN, CNRS-7208, UPMC, UCBN, IRD-207), Montpellier, France.
- 3 Laboratoire Mixte International - Evolution et Domestication de l'Ichtyofaune Amazonienne (LMI - EDIA)

### INTRODUCCIÓN

El paiche *Arapaima gigas* es uno de los peces de agua dulce más grande de Sudamérica, esta especie puede crecer hasta tres metros y pesar más de 200 kg (Nelson, 1994). Tradicionalmente, el paiche forma parte de la dieta de una porción significativa de amazónicos que viven cerca de los ríos de la planicie de inundación (García-Davila *et al.*, 2011), pero actualmente, esta especie es mucho más conocida y es consumida tanto a nivel nacional como internacional (principalmente exportada desde Brasil a Nueva York). La explotación comercial del paiche comenzó a principios del siglo 18, debido principalmente a la calidad de su carne (36.5% de proteína y carencia de espinas intermusculares), por lo cual en el Brasil es considerado como sustituto para el bacalao (*Gadus morhua*) - salados y secos y en el Perú. En el siglo 19 y 20 más de 3.000 toneladas de paiche fueron exportadas por año a partir de la Amazonía brasileña (Veríssimo, 1895; Menezes, 1951), lo que dio lugar a la muerte de aproximadamente 150 000 ejemplares de paiche por año. Según los registros pesqueros hasta los años 60 el paiche era abundante cerca de las grandes ciudades de la Amazonía continental, pero a partir de los años 70 y los 80, el paiche se convirtió en una especie muy escasa y comercialmente extinta cerca de las ciudades amazónicas (Goulding, 1980). Formando parte de las especies vulnerables del CITES II desde 1975. Los reportes de desembarque pesquero de las Direcciones Regionales de la Producción de Loreto y Ucayali, señalan que entre los años 1995 al 1999 se registraron las mayores extracciones de paiche en la Amazonía peruana (alrededor de 200 toneladas en cada una de las regiones), en tanto que a partir del año 2000, los registros muestran una fuerte disminución de esta especie en los desembarques. Actualmente, esta especie presenta una de las más drásticas disminuciones de sus poblaciones naturales, esto,

como consecuencia de los muchos años de fuerte presión de pesca, por lo que se necesita medidas urgentes de conservación y manejo sostenido de la especie. La piscicultura de esta especie representa una de las mejores alternativas de manejo de la especie, debido que permitiría el abastecimiento de la demanda regional, nacional e internacional por carne de paiche y por ende una disminución de la presión de pesca sobre sus poblaciones naturales. Pero para realizar una piscicultura masiva y a largo plazo, debemos conocer aspectos relacionados a su biología, fisiología, ecología que permitan desarrollar una piscicultura sostenida en esta especie. En esta nota técnica pretendemos orientar la selección de especímenes para la conformación de parejas de reproductores con base en las características genéticas de la especie.

### GENÉTICA DE POBLACIONES NATURALES DE PAICHE

Antes de hablar sobre el manejo de los reproductores de paiche *Arapaima gigas* para el cultivo en cautiverio, es necesario conocer los resultados de investigaciones recientes que muestran que las poblaciones naturales de paiche en la Amazonía peruana presentan una fuerte diferenciación genética entre ellas, es decir existe un reducido flujo de genes entre sus poblaciones (García-Dávila, *et al.*, 2011). Si las poblaciones están diferenciadas, significa que tienen una historia evolutiva diferente y que pueden estar adaptadas o tener respuestas diferentes frente a las mismas condiciones ambientales. El cruzamiento de individuos genéticamente distintos a aquellos encontrados en una población natural puede promover modificaciones del genoma con nuevas combinaciones genéticas y pérdida de capacidades adaptativas, que puede influenciar en la supervivencia de progenies en el ambiente natural

(Melo *et al.*, 2006; Sønstebø *et al.*, 2007; Lopera-Barrero *et al.*, 2008). Entonces en el manejo de poblaciones naturales, no es recomendable traspasar especímenes de paiche de una cuenca a otra distante, pues los ejemplares introducidos serían exóticos (extraños al ambiente) en estas áreas y no estarían adaptados a ella. La introducción en áreas naturales de individuos producidos y criados en cautiverio, que no son originarios del hábitat de la población nativa, puede causar la reducción a la supervivencia (Almeida *et al.*, 2003; Leuzzi *et al.*, 2004). Por lo tanto, para rehabilitar una población natural demográficamente reducida mediante un programa de repoblamiento, es necesario respetar su pool genético con la introducción de especímenes procedentes de poblaciones genéticamente cercanas (Povh *et al.*, 2008, García-Dávila *et al.*, 2012). Estos problemas pueden consecuentemente afectar las poblaciones naturales de peces y el ecosistema en general, pudiendo conducir la especie a la extinción tornando el repoblamiento ineficiente (Sønstebø *et al.*, 2007; Agostinho *et al.*, 2005; Povh *et al.*, 2008).

## CONFORMACIÓN DE STOCK DE REPRODUCTORES

La piscicultura es una actividad ampliamente difundida en la Amazonía peruana, especialmente de los grandes caracidos como la gamitana *Colossoma macropomum* y el paco *Piaractus brachipomus*. En los últimos 10 años en las regiones de Loreto y Ucayali se ha sumado con fuerza la piscicultura del paiche *Arapaima gigas*, la cual en los últimos cinco años, se ha visto extendida a la región costera de Tumbes. Actualmente las actividades de piscicultura solo están pensadas para en el cultivo de peces para producción de carne, sin ningún otro interés (piscicultura convencional), esta es lamentablemente pensada para un tiempo finito, es decir está pensada solo en el cultivo de peces hasta que alcancen el tamaño comercial y venderlos como carne, allí acaba esta actividad en el marco de una piscicultura todavía no sostenible en nuestra región. En tanto que una piscicultura sostenible involucra eventos de reproducción no solo para la producción de progenie sino también para la selección de nuevos stock de reproductores a través varias generaciones.

Los criterios para la constitución de un stock de reproductores no es la misma para todas las especies de peces, primero es necesario conocer algunas de sus características de sus rasgos de vida y de su genética, como por ejemplo si la especie presenta un ciclo de vida larga o corta, a qué edad alcanza la primera reproducción sexual, si son migrantes o no, y por ende si mantienen o no flujo de gene entre sus

poblaciones, entre otros aspectos. Esto nos permitirá tomar las mejores decisiones al momento de establecer nuestro stock de reproductores. En el caso de las especies migradoras como la gamitana *Colossoma macropomum* y el paco *Piaractus brachipomus*, que mantienen una relación constante entre sus poblaciones naturales, el flujo de genes está garantizado (originando que sus poblaciones no estén muy diferenciadas unas de otras), debemos considerar solo aspectos relacionados a variabilidad genética de los reproductores para evitar problemas de consanguinidad que conlleven a una erosión genética que podría perjudicar a la progenie. En tanto que en la conformación de un stock de reproductores de paiche, en primer lugar debemos considerar, que hasta el momento no se puede reproducir al paiche mediante inducción hormonal, por lo que es necesario, constituir casales. Entonces es necesario conocer el sexo de los ejemplares, esto puede ser determinado mediante un test inmunológico de la presencia de la hormona vitelogenina en hembras con maduración sexual (Chu-Koo *et al.*, 2009). Este test puede realizarse ahora en forma fácil e *in situ* en las granjas, mediante la utilización de un kit comercial para determinación del sexo de *Arapaima gigas*.

En segundo lugar, debemos conocer la procedencia de los especímenes que conformaran los pares reproductores, (si provienen de la piscicultura o de la extracción en ambientes naturales). Si los ejemplares provienen de algún evento reproductivo realizado en cautiverio (piscigranjas), es muy probable que estén muy relacionados genéticamente, o si provienen de un único evento sean hermanos. Por lo que es necesario rastrear el origen de nuestros especímenes, para tener certeza sobre su procedencia dentro de los sistemas de cultivo. Si deseamos establecer el stock de reproductores en base a ejemplares provenientes de la piscicultura, la selección de especímenes F0 para la conformación de un futuro stock de reproductores, en una primera etapa, se debe hacer en base a individuos provenientes de distintos lotes producidos con reproductores nativos de una misma cuenca. Nunca se debe establecer casales de reproductores entre hermanos, ya que estos presentan un alto nivel de parentesco, lo que ocasionaría que nuestro casal presente una reducida variabilidad genética (baja heterocigosidad es decir pool genético homogenizado). Debido principalmente a un deficiente número efectivo de reproductores en el curso de las diferentes generaciones, lo que puede producir problemas de consanguinidad y correlativamente falta de adaptabilidad y baja supervivencia de las progenies (Aho *et al.*, 2006; Lopera-Barrero *et al.*, 2008; Povh

*et al.*, 2008). Esto ocasiona que sus hijos presenten pérdida de caracteres favorables como vigor, viabilidad, fecundidad y resistencia a enfermedades (Ferguson *et al.*, 1995). En una segunda etapa se podría cruzar individuos aparentados para fijar caracteres interesantes para la piscicultura y usando de los cruces anteriores como referencia.

Si el stock de reproductores será establecido en base a especímenes provenientes de ambientes naturales, debemos llevar en consideración los resultados de los estudios poblacionales de esta especie, que señalan una fuerte estructuración o diferenciación genética, con reducido flujo de genes entre sus poblaciones (García-Dávila *et al.*, 2011). Esto debido principalmente a que las grandes distancias geográficas y los hábitos no migratorios de esta especie originaron un aislamiento físico entre las poblaciones por muchas generaciones, trayendo como consecuencia una fuerte diferenciación genética entre ellas. Esto hace que estas poblaciones desarrollen complejos genéticos que les permiten adaptaciones a las peculiaridades del medio en que viven, pero que a la vez las diferencian de las otras poblaciones, estas diferenciaciones a veces son tan grandes que pueden llevar a la reducción de la viabilidad reproductiva entre ellas. Entonces, en una primera etapa la conformación de nuestro stock de reproductores tiene que ser establecido en base a especímenes provenientes de un mismo cuerpo de agua, o de áreas geográficas muy cercanas dentro de una misma cuenca (mismo río). Esto evitara las posibilidades de fracaso reproductivo por el cruzamiento de especímenes provenientes de poblaciones muy diferenciadas genéticamente y poco viables reproductivamente entre sí y permitirá la adquisición de primeros resultados científicos sobre la domesticación del paiche. Más adelante se podría mezclar progenitores de varias poblaciones de manera controlada usando de los primeros resultados como referencia. En todos casos, los linajes se deberían controlar siguiendo los cruzamientos, marcando los progenitores con microchip (pittag) y controlando la diversidad genética en el curso de las generaciones sucesivas con la posibilidad de integrar nuevos progenitores silvestres. Pero tenemos que tener cuidado que de que las progenies resultantes de esto cruces no escapen a los ambientes naturales, porque podrían causar modificaciones en el genoma de las poblaciones nativas perjudicándolas.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Agostinho, A.A.; Thomaz, S.M.; Gomes, L.C. 2005. Conservation of the biodiversity of Brazil's inland waters. *Conserv. Biol.*, 19(3): 646-652.
- Aho T.; Rönn, J.; Piironen, J.; Björklund, M. 2006. Impacts of effective population size on genetic diversity in hatchery reared Brown trout (*Salmo trutta* L.) populations. *Aquaculture*, 253(1-4): 244-248.
- Almeida, F.S.; Sodr , L.M.K.; Contel, E.P.B. 2003. Population structure analysis of *Pimelodus maculatus* (Pisces, Siluriformes) from the Tiet  and Paranapanema Rivers (Brazil). *Genetics and Molecular Biology*, 26:301-305.
- Chu-Koo, F. ; Dugu , R.; Alv n, M.; Casanova, A.; Alc ntara, F.; Chávez, C.; Duponchelle, F.; Renno, J.-F.; Tello, S.; Nuñez, J. 2009. Gender determination in the Paiche or Pirarucu (*Arapaima gigas*) using plasma vitellogenin, 17 -estradiol, and 11-ketotestosterone levels. *Fish Physiology and Biochemistry*, 35(1), 125-136.
- Ferguson, A.; Taggart, J. B.; Prodohl, P. A.; McMeel, O.; Thompson, C.; Stone, C.; McGinnity, P.; Hynes, R.A. 1995. The application of molecular markers to the study and conservation of fish populations, with special reference to *Salmo*. *Journal of Fish Biology*, 47: 103-126.
- García-Dávila, C.; Querouil, S.; Chota-Macuyama, W.; Castro-Ruiz, D.; García, J.; Chu-Koo, F.; Duponchelle, F.; Nuñez, J.; Renno, J.-F. 2011. Avances en el estudio de variabilidad genética de cinco poblaciones naturales de paiche *Arapaima gigas* en la amazonia peruana In: E. Agudelo, F. Duponchelle (Eds.), Agua, Biodiversidad, manejo de recursos icticos y Piscicultura sostenible en la Amazonía. 127-135 p.
- García-Dávila, C.; Castro-Ruiz, D.; Trigoso, D.; Chota-Macuyama, W.; García, J.; Renno, J.-F. 2012. Lineamientos generales para el replamamiento de peces amazónicos en ambientes naturales. *Folia Amazónica*, 21(1-2), 157-160.
- Goulding, M. 1980. Fishes and the Forest. University of California press, Los Angeles, CA, Oakland, 280pp.
- Leuzzi, M.S.P.; Almeida, F.S.; Orsi, M.L.; Sodré, M.L.K. 2004. Analysis by RAPD of the genetic structure of *Astyanax altiparanae* (Pisces, Characiformes) in reservoirs of the River Paranapanema. *Genetics and Molecular Biology*, 27:355-362.
- Lopera-Barrero, N.M.; Pereira-Ribeiro, R.; Povh, J.A.; Gomes, P.C.; Vargas, L.; Nogueira de Oliveira S. 2008. Caracterización genética de lotes de peces usados en programas de replamamiento y su importancia en la conservación genética en la piscicultura.

- Zootecnia Trop.*, 26(4): 515-522.
- Melo, D.C.; Oliveira, D.A.A.; Ribeiro, L.P.; Teixeira, C.S.; Souza, A.B.; Coelho, E.G.A.; Crepaldi, D.V.; Teixeira, E.A. 2006. Caracterização genética de seis plantéis comerciais de tilápia (*Oreochromis*) utilizando marcadores microssatélites. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 58(1): 87-93.
- Menezes, R.S. 1951 Notas biológicas e econômicas sobre o pirarucu *Arapaima gigas* (Cuvier) (Actinopterygii, Arapaimidae). Serviço de Informação Agrícola / Ministério da Agricultura. *Serie estudos técnicos*, 3: 9-39.
- Nelson, J. S. 1994 *Fishes of the World*, 3rd edition. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 624 pp.
- Veríssimo, J. 1895 *A Pesca na Amazônia*. Livraria Clássica, de Alves & C., Rio de Janeiro, Brazil, 130 pp.
- Povh, J.A.; Lopera-Barrero, N.M.; Ribeiro, R.P.; Lupchinski Jr, E.; Gomes, P.C.; López, T.S. 2008. Monitoreo genético en programas de repoblamiento de peces mediante marcadores moleculares. *Cien. Inv. Agr.*, 35(1): 5-15.
- Sønstebo, J.H.; Borgstrøm, R.; Heun, M. 2007. Genetic structure of brown trout (*Salmo trutta* L.) from the Hardangervidda mountain plateau (Norway) analyzed by microsatellite DNA: a basis for conservation guidelines. *Conserv. Genet.*, 8(1): 33-44.

Recibido: 5 de Setiembre del 2016

Aceptado para publicación: 28 de Octubre del 2016