

Actividad sobre Identificación Genética de Poblaciones de las Principales Especies de Interés Comercial y Deportivo en la Cuenca del Plata.

Setiembre 2019

Genética de poblaciones de las principales especies de interés comercial y deportivo en los tramos medio y bajo del Río Uruguay y Paraná: Resumen de 10 años de trabajo en el ámbito de la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU)

Dr. Alejandro Márquez, Facultad de Ciencias, UDELAR

MSc. Alfredo Pereira, DINARA, MGAP

Por la importancia social y económica la pesca tanto de tipo comercial, artesanal, de subsistencia como recreativa es un factor relevante en cuanto a su influencia directa sobre la biodiversidad ictica en la Cuenca del Plata, incluyendo los cursos de agua del presente estudio. Es difícil realizar una estimación de las capturas debido a los pocos mecanismos de registro existentes, si bien hay iniciativas muy exitosas sobre registro y estadística pesquera como la desarrollada por CARU, desde hace varios años, pero únicamente corresponden al tramo compartido del río Uruguay. No obstante, muchas de las especies que se registran en esta mencionada estadística, a través de esta iniciativa, corresponde a especies ictícolas migradoras que se extienden ampliamente fuera del ámbito de la CARU. Es por tal razón, que se hace necesario conocer la estructura genética de los recursos pesqueros que escapan al ámbito de la Comisión, con el fin de realizar un manejo sustentable de las poblaciones ictícolas que son sometidas a esfuerzo pesquero de cualquier tipo en toda la Cuenca del Plata.

En especial, en los Estatutos de la Comisión Administradora del Río Uruguay, se consideran de gran importancia la conservación y la preservación de los recursos vivos del Río Uruguay, incluyendo el abordaje de medidas necesarias para regular el manejo pesquero. El objetivo principal de la gestión de las pesquerías es el uso sostenible a largo plazo de los recursos pesqueros y en este sentido el conocimiento de la estructura genética de las poblaciones sometidas a explotación pesquera es imprescindible para realizar un manejo racional del recurso y evitar así la sobrepesca. Las diferencias genéticas son consecuencia del comportamiento reproductivo de los individuos, lo que

se verá reflejado en las variantes genéticas presentes en el área que ocupan. La observación de estas variantes en la naturaleza permite identificar de manera robusta la existencia de unidades de manejo basadas en “stocks genéticos” que considera como integrantes de mismo stock a aquellos individuos que se reproducen mutuamente y están separados genéticamente de otros stocks de la misma especie (Carvalho and Hauser, 1994; Jamieson, 1973; Ovenden, 1990; Waldman, 2005). La ventaja de identificar poblaciones genéticamente diferenciadas y de acuerdo a ellas definir las unidades de manejo, es que de esa forma podemos preservar la mayor cantidad de diversidad biológica, y hacer un uso lo más sustentable del recurso (Larkin, 1992).

Por esta razón, dentro del “Programa de Conservación de la Fauna Íctica y los Recursos Pesqueros del Río Uruguay”, que se ha venido desarrollando desde hace cuarenta años en el ámbito de la Comisión, incorporó en 1998, la Actividad de “Identificación Genética de las Poblaciones de las Principales Especies de Interés Comercial y Deportivo” con el objetivo de identificar unidades de manejo, consideradas como “stocks genéticos”. Dentro de esta Actividad se han desarrollado investigaciones, con diversos abordajes moleculares, en las principales especies de interés comercial en el río Uruguay. Estas investigaciones fueron posibles por los muestreos efectuados a través de una red de colaboradores (pescadores y pobladores ribereños relacionados a la pesca) desde el Tramo Medio en las provincias de Misiones y Corrientes en Argentina, y el Embalse de Salto Grande en costa uruguaya, y del Tramo Inferior, desde Salto Grande hasta la desembocadura. Dadas las grandes migraciones que realizan estas especies, han sido incluidos muestreos en otros ríos de la cuenca como el Río Negro, el Río de la Plata, y el Río Paraná.

Estudios poblacionales en recursos pesqueros

- Sábalo y Boga

El sábalo, (*Prochilodus lineatus*) en el área de las aguas continentales de la región, es de suma importancia como especie forrajera que permite sostener buena parte de la cadena trófica para otras especies, particularmente grandes carnívoros. Esta especie ictícola, es la de mayor importancia pesquera en el Río Uruguay, de acuerdo a los volúmenes capturados, en la pesquería artesanal (comercial) en ambos márgenes del Río Uruguay. Esta especie representa el interés social de cientos de pobladores ribereños desperdigados por la cuenca, que han habitado el río por más de un siglo y en la tarea diaria de pesca, encuentran su modo de subsistencia. Por esta razón, la mayor cantidad de estudios poblacionales abordados por nosotros en estos todos estos años de investigación, fueron centralizados en particular en esta especie.

En las actividades desarrolladas en el Programa se utilizaron diferentes marcadores genéticos para evaluar el grado de estructuración de las poblaciones, con el objetivo de identificar unidades de manejo o stocks sobre las que opera la pesquería. Tanto las alozimas como el ADN mitocondrial, mostraron evidencia de que los sábalo de los tramos inferior y medio del Río Uruguay (al sur y al norte de la represa de Salto Grande, respectivamente) corresponderían a poblaciones diferentes, y que por lo tanto deberían ser considerados como dos stocks diferenciados (Figuras 1, 2 y 3). Los resultados de estos estudios se presentaron en Informes de CARU 2006 al 2016 y en la publicación de Márquez et al. (2019). El panorama de la estructura poblacional del sábalo en el río Uruguay, que implica la presencia de *dos unidades poblacionales para el manejo*, tiene una complicación adicional que viene dada por la posibilidad del pasaje de huevos y larvas viables a través de la Represa Hidroeléctrica de Salto Grande (Fuentes et al., 2012). Esto significa que existe un aporte de individuos desde el tramo medio al tramo inferior, aunque el pasaje de adultos en sentido contrario estaría imposibilitado por la propia Represa (Quirós, 1988). La consecuencia sería la presencia de un stock mixto en el tramo inferior del Río Uruguay conformado por individuos de ambos stocks identificados.

También se observó que los sábalo de los tramos medios del Paraná y el Uruguay no fueron significativamente diferentes. Fueron más parecidos los sábalo de ríos diferentes, que los sábalo de ambos tramos de un mismo río (Figura 2).

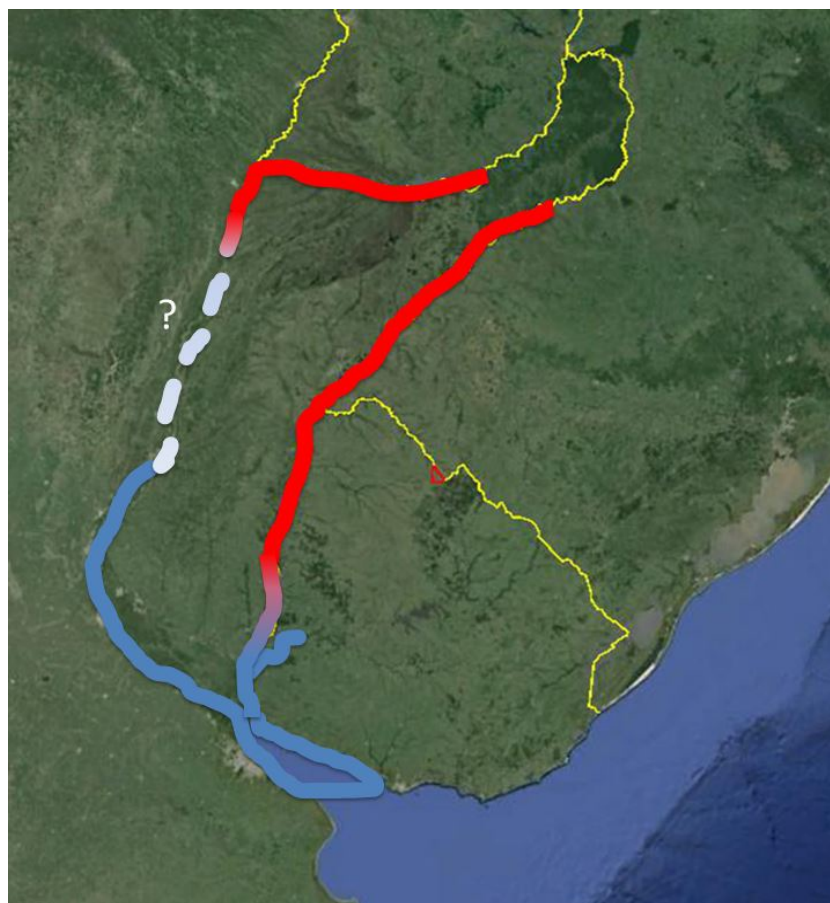


Figura 1. Distribución de las poblaciones o stocks identificados en la cuenca baja y media del Río de la Plata. En azul se muestra la distribución del stock compartido por los tramos inferiores del Río Uruguay y del Río Paraná, y por el Río de la Plata. En rojo se muestran los stocks que no fueron significativamente diferentes de los tramos medios del Río Uruguay y del Río Paraná. En el río Uruguay inferior, probablemente exista un stock mixto de los dos stocks anteriores. En blanco se presentan tramos del Río Paraná indefinidos sobre la identificación de los stocks que utilizan esa área.

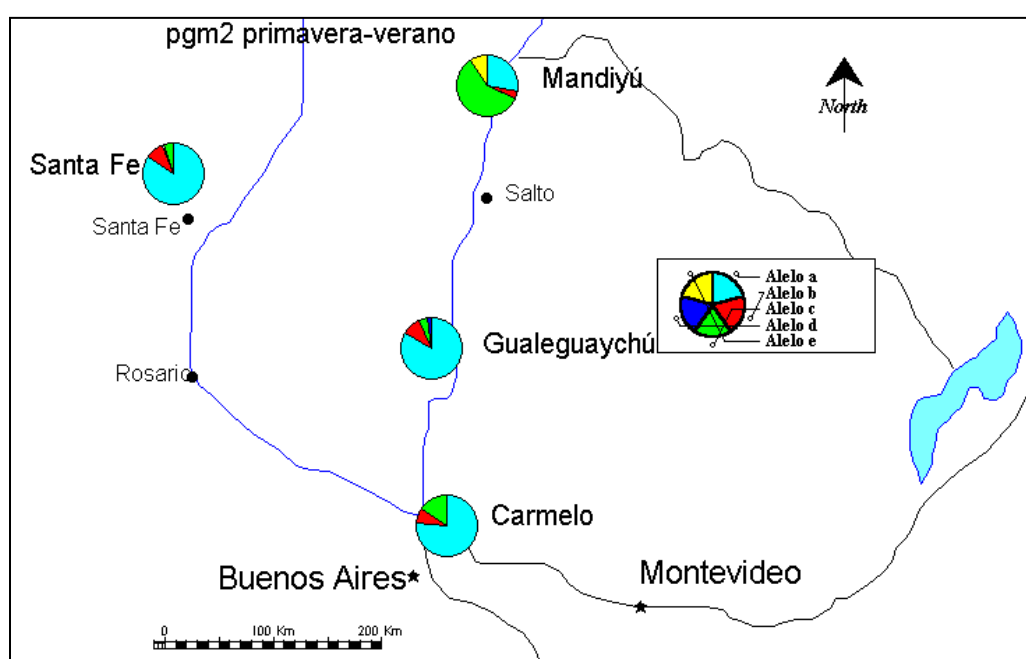


Fig. 2 Frecuencias genicas de los alelos (a, b, c, d, e y f) que codifican para la alozima PGM. Se puede observar la frecuencia alélica en individuos de sábalo de cada una de las regiones donde se realizaron los estudios. Se puede observar la que frecuencia del alelo c es significativa en la poblacion de sábalo en el Embalse de Salto Grande.

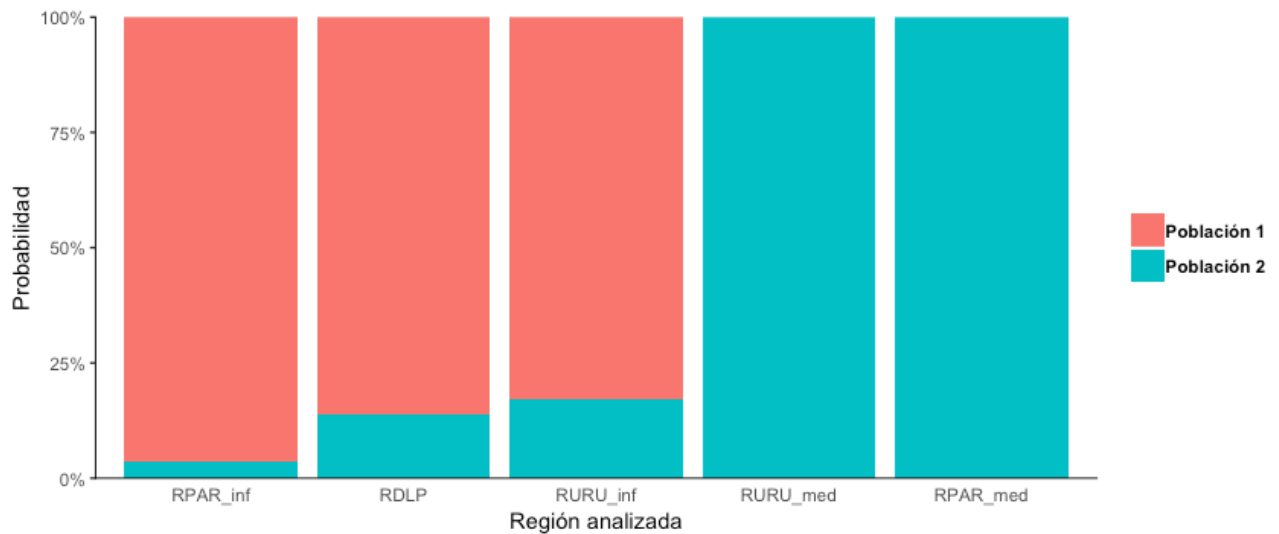


Figura3. Probabilidades de los individuos de sábalos analizados en Márquez et al. (2019) de pertenecer a las poblaciones 1 (rojo) y 2 (celeste) que surgen de análisis con software Geneland. Se observa la similitud de los individuos del Río Uruguay Medio y del Río Paraná Medio. Referencias: RPAR_inf, Río Paraná Inferior; RDLP, Río de la Plata; RURU_inf, Río Uruguay Inferior; RURU_med, Río Uruguay Medio, RPAR_med, Río Paraná Medio.

En el caso de la boga (*Megaleporinus obbtusidens*), en el año 2017 se presenta la tesis de Maestría de la Mareney Rovira, quien encuentra que las bogas tiene un patrón de estructuración concordante con el observado en el sábalo (Rovira, 2017). En este trabajo se utilizaron dos marcadores mitocondrial: región control y citocromo b (Figura 3). También en esta especie se detecta la presencia de poblaciones diferentes a ambos lados de la represa de Salto Grande. La separación de *M. obbtusidens* en dos poblaciones es compatible con la existencia de dos zonas de reproducción: una en el Paraná y otra en el Uruguay Medio como se ha descrito para el sábalo. La diferencia en la estructura poblacional con el sábalo aparece en la distribución de variantes del segmento norte del tramo inferior del río Uruguay, que tiene semejanzas con el tramo medio. Esto podría apoyar la hipótesis de que el tramo inferior está influenciado por la deriva de larvas del tramo medio hacia el inferior. Por otro lado, las bogas del Río Paraná son homogéneas genéticamente.

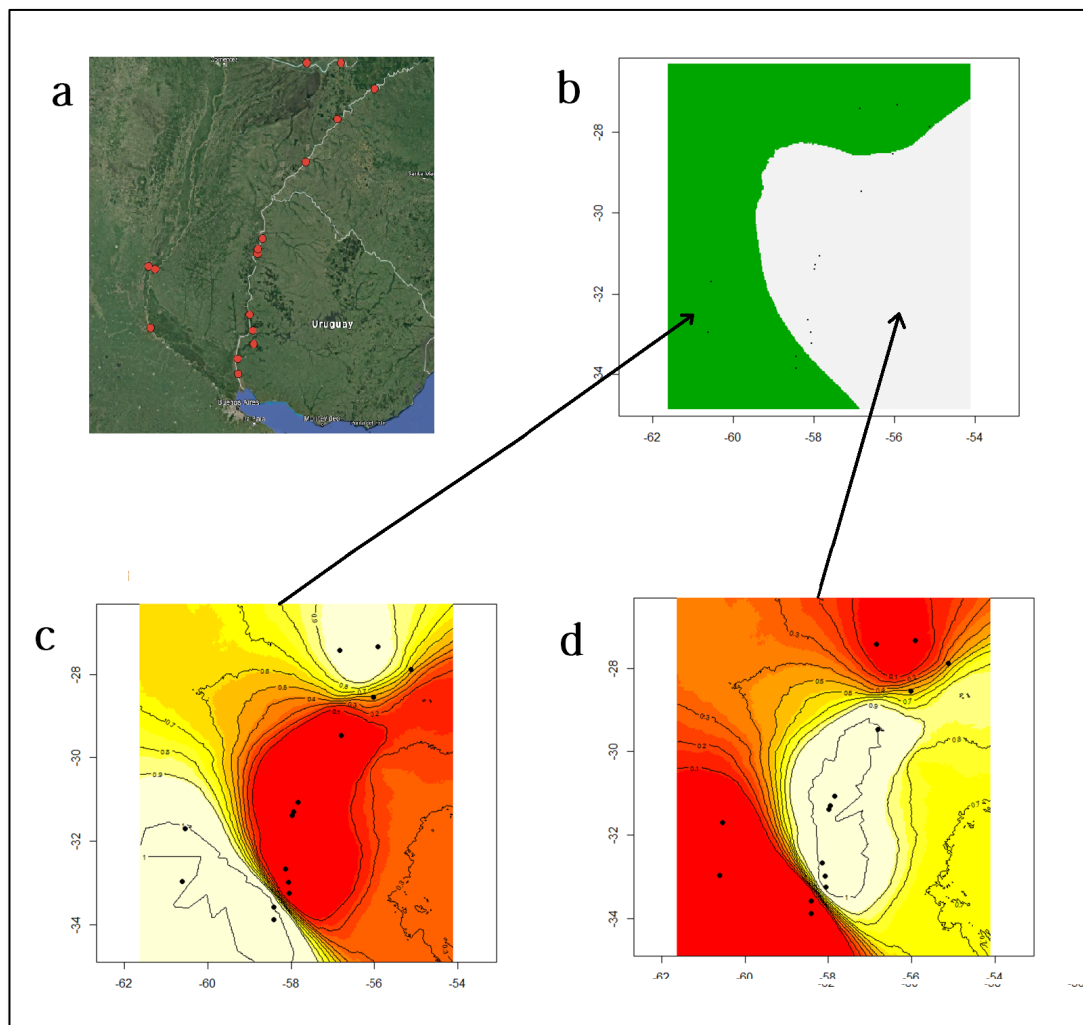


Figura 3. Se muestran las líneas de probabilidad de las localidades muestreadas (a) de pertenecer a la población 1 (c) y a las población 2 (d) de las localidades de muestreo (a) basados en un análisis con el software Geneland. El análisis separa los individuos muestreados en dos poblaciones (b) (Extraído de la tesis de Maestría Mareney Rovira).

En ambas especies (sábalo y boga) los individuos del Río Uruguay Inferior conformarían una población con los individuos del Paraná Inferior y del Río de la Plata, con sitios de reproducción probablemente en el Río Paraná. Por otro lado, las poblaciones de estas especies del tramo medio de Río Uruguay estarían reproduciéndose principalmente en la zona de Misiones y el norte de Corrientes.

El tramo inferior podría estar albergando una mezcla de individuos de estas dos poblaciones en algún momento del año dado que la represa no opera como una barrera total para el paso de larvas aguas abajo (Fuentes et al., 2016), por lo que es altamente probable que algunos individuos recluten aguas abajo y se mantengan en el sector más al norte del tramo inferior.

- Dorado y Surubí

El surubí (*Pseudoplatystoma corruscans*) y el dorado (*Salminus brasiliensis*) son dos especies con una gran presencia en la pesca deportiva, existiendo varios emprendimientos turísticos relacionados a esta actividad.

Al utilizar marcadores mitocondriales para evaluar la estructuración genética de los dorados y los surubíes de ambos tramos del Río Uruguay, mostraron un patrón diferente al observado en sábalo y bogas. Análisis poblacionales desarrollados con dorados de los ríos Uruguay y Paraná no mostraron diferencias significativas en los F_{ST} pareados. El grueso de los muestreos fue focalizado en diferenciar ambos tramos del Río Uruguay, y en ningún caso se detectaron diferencias, ni entre ambos ríos (Paraná y Uruguay), ni entre los sectores medio e inferior del Río Uruguay, como había sido observado en las bogas y los sábalo. En surubíes, al comparar individuos colectados de los tramos medio e inferior del Río Uruguay y del Río Paraná (Corrientes), tampoco se encontraron diferencias significativas. Los muestreos de surubí del tramo inferior incluyeron una parte importante del muestreo realizado en Puerto Yerúa y estos no se diferenciaron de los individuos del tramo medio del Río Uruguay. Estos resultados muestran que el surubí probablemente ocuparía buena parte de la cuenca conformando una única población antes de la creación de la represa de Salto Grande. Además, la deriva de larvas a través de la represa, podría continuar homogeneizando una única población en el Río Uruguay, cuya reproducción en el tramo inferior es mínima, como surge de estudios de huevos y larvas.

Algo parecido podría estar sucediendo con los dorados que se concentran aguas debajo de la represa de Salto Grande, dado que no se distinguen genéticamente de los dorados del tramo medio. En esta especie han sido detectados huevos en la localidad de Benito Legeren (Concordia) por lo que estos individuos estarían contribuyendo con reproducción al aporte de individuos en esa zona. El monitoreo de huevos y larvas en los tramos inferior y medio, y el reclutamiento de dorados en el tramo inferior del río, podría aportar elementos para entender la dinámica poblacional de los individuos del tramo inferior del Río Uruguay.

- Implicancias para el manejo pesquero

La presencia de dos poblaciones o stocks **en el tramo compartido entre Argentina y Uruguay en el ámbito de la CARU**, implica que las decisiones sobre el manejo y los estudios biológicos que se realizan en la especie deban considerar esta situación, dado que representan unidades independientes reproductivamente, con parámetros biológicos diferentes. Como consecuencia, dos consideraciones deben ser realizadas: por un lado, los estudios biológicos y pesqueros deben ser independientes para cada stock, y por otro, las decisiones sobre el manejo podrían requerir algún grado de coordinación a nivel regional dependiendo de la extensión geográfica del stock considerado.

Esto implica que las estadísticas sobre la extracción en ambos sectores del río deberían considerarse de manera independiente y que los *volúmenes de extracción del sábalo de los ríos Paraná inferior, Uruguay inferior, Negro inferior y del Río de la Plata*, sobre el mismo stock deban ser considerados en conjunto al evaluar cual es la presión pesquera que mantiene esta población. Actualmente la estadística pesquera tanto de la Argentina como de Uruguay no está discriminando esta situación identificada con estos estudios genéticos. A su vez, para considerar el volumen total de extracción del stock de sábalos del río Uruguay medio en el tramo compartido jurisdicción de la CARU, debería considerar la extracción de aguas arriba en el tramo compartido entre la Argentina y el Brasil. Para eventuales emprendimiento de acuicultura de sábalo, es aconsejable que se utilicen individuos provenientes de los stocks que habitan las regiones en las cuales están establecidos los emprendimientos. De esta forma, en caso de eventuales escapes, el aporte a la naturaleza sería de individuos con las mismas características biológicas que los individuos silvestres.

Biodiversidad y conservación

- Similitud genética en los tramos medios del Paraná y del Uruguay

Los sábalos de los tramos medios del Paraná y el Uruguay presentaron una similitud llamativa dado que son más parecidos los sábalos de ríos diferentes, que los sábalos de ambos tramos de un mismo río (Figura 2). Una posible explicación para esta similitud puede venir de la posibilidad de que actualmente ambas zonas de los ríos tuvieran algún tipo de conexión, tal vez a través de ríos que drenan desde los Esteros del Iberá. Otra explicación puede venir de una historia común de intercambio entre ambos ríos en un pasado reciente (en términos geológicos). Esta

posibilidad de conexión existió porque ambos ríos estaban comunicados cuando el cauce del río Paraná estuvo más próximo al río Uruguay, hasta hace unos 100.000 años (Iriondo and Krohling, 2008). Si los sábalos del Río Uruguay Medio y el Río Paraná Medio conformaban una única población que fue separada hace alrededor de unos 100.000 años, el marcador genético utilizado para evaluar las diferencias puede no haber sido capaz de detectar diferencias generadas desde esa época al presente. Si la explicación histórica prevalece sobre la explicación de una conexión actual para dar cuenta de esa similitud, debería considerarse que además de los dos stocks mencionados, el tramo medio del río Paraná podría sostener un tercer stock de la especie. Esto abre líneas de investigación sobre los patrones de diversidad genética de otras especies para saber si es un patrón particular o es un fenómeno más general.

- Identificación de híbridos de surubí en la cuenca

Los surubíes, además de ser considerados un recurso pesquero importante, también son objeto de acuicultura, en particular en Brasil, donde se los utilizan, tanto para venta de carne como para emprendimientos de pesca recreativa como “pesca y pague”. En el río Paraná existen además emprendimientos de acuicultura de surubíes en Argentina, en las provincias de Misiones y Santa Fe. En acuicultura, la producción de híbridos es muchas veces preferida, dado el alto valor comercial de los individuos producidos (Porto-Foresti et al., 2013) y la mayor docilidad y vigor híbrido en relación a las generaciones parentales (Lobo et al., 2014). El abordaje genético del surubí en los ríos Uruguay y Paraná se realizó a través de la técnica de PCR Multiplex con la cual se identificaron individuos de las dos especies; *Pseuplatystoma corruscans*, *Pseudoplatystoma reticulatum* y sus híbridos. Los cruzamientos posibles tienen denominación diferente dependiendo del sexo de los parentales. Cuando la madre es *P. corruscans* y el padre es *P. reticulatum*, se denominan “Pintachara” y cuando la madre es *P. reticulatum* y padre *P. corruscans* se denominan “Cachapinta”. Trabajos que analizaron individuos colectados en ríos del estado de Mato Grosso do Sul en Brasil (afluentes de los ríos Paraguay y Paraná), detectaron la presencia de híbridos en la naturaleza, los cuales fueron atribuidos a individuos escapados de criaderos.

Con el objetivo de evaluar el grado de integridad genética de los surubíes de los ríos Paraná y Uruguay, se utilizaron marcadores mitocondriales y nucleares diseñados para la detección de híbridos.

Los resultados mostraron que gran parte de los surubíes colectados en el río Paraná en la ciudad de Corrientes, eran híbridos probablemente escapados de granjas de acuicultura de la región.

En cambio, no se encontraron individuos híbridos entre las muestras colectadas en el río Uruguay, tanto del tramo medio como el tramo inferior (Marquez et al., 2018). En el río Uruguay solo fueron encontrados individuos fenotípicamente surubí pintados, concordantes con la identificación genética (Figura 4). Esto muestra que hasta ahora la acuicultura en el Río Uruguay no han afectado las poblaciones naturales. No tenemos conocimiento sobre emprendimientos de acuicultura de la especie en la cuenca del río Uruguay, pero dado lo observado en el Río Paraná, el uso de híbridos en estos emprendimientos, *no sería una actividad recomendable para el Río Uruguay*.

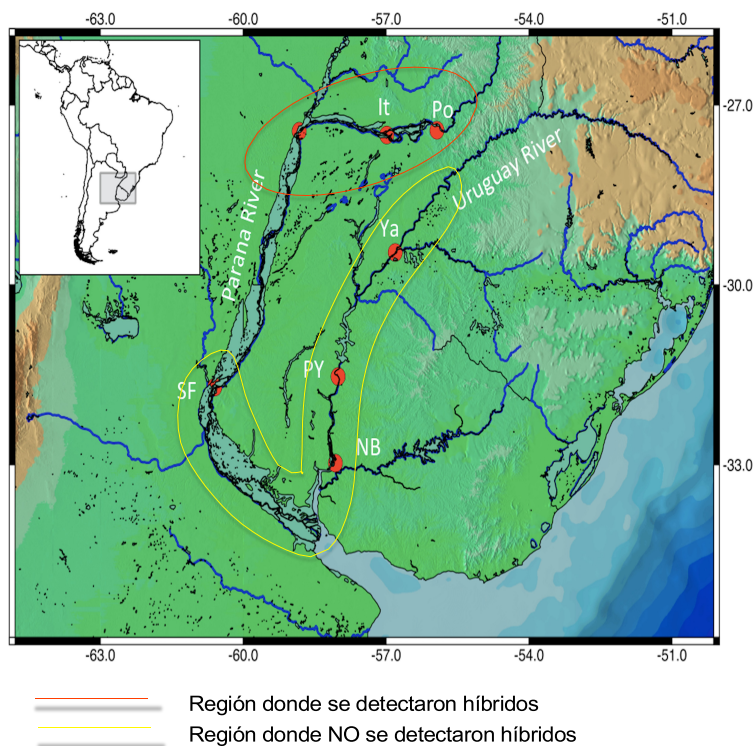


Figura 4. En esta figura se muestran la zona analizada genéticamente en el tramo del Río Uruguay y Paraná para las especies de surubies *Pseuplatystoma corruscans*, *Pseudoplatystoma reticulatum* y sus híbridos.

- Especies de tarariras (*Hoplias* sp.) en el Río Uruguay

Dentro del género *Hoplias*, al cual pertenecen la tarariras, se han descrito tres grupos o complejos de especies: *H. lacerdae*, *H. macrophthalmus* y *H. malabaricus*. Estas especies reúnen una gran importancia en ámbito de pesca deportiva o recreativa y comercial. Esta última actividad en el Río Uruguay no se compara con la que se desarrolla en el Río Negro en la localidad del San

Gregorio de Polanco pero tiene su significación en las capturas. La segunda actividad, nuclea a un número importante de guías de pesca y pescadores independientes que realizan la pesca de esta especie representativa. Para el Río Uruguay se encuentra citada la especie *H. malabaricus*. Sin embargo, datos citogenéticos sugieren que esta última podría ser complejo de especies en el que existen 7 citotipos diferentes basados en el número y morfología de los cromosomas, así como también por la ausencia o presencia de diferentes sistemas en los cromosomas sexuales (Dergam & Bertollo, 1990; Vicari *et al.*, 2006). Esto probablemente se relacione con su amplia distribución en la región Neotropical, por lo que requiere una cuidadosa revisión taxonómica (Vicari *et al.* 2006, Oyawaka y Mattox 2009). Además de *H. malabaricus*, para el Uruguay está citada la especie *H. lacerdae* (Nion *et al.*, 2002).

A diferencia de las principales especies que compone la pesca del Río Uruguay, las cuales son migratorias, *Hoplias* es una especie de hábitos sedentarios. Esta especie no está entre las que presentan los mayores volúmenes de pesca, pero su presencia constante en la pesca artesanal, hace que se requiera de un análisis de la homogeneidad específica para saber si la explotación y las estadísticas de captura están realizándose sobre la misma especie. Además de la pesca comercial a la que está sometida, es una especie codiciada por la pesca deportiva como fue mencionado anteriormente.

Los individuos colectados del río Uruguay estaban conformados principalmente por la especie *Hoplias* aff. *malabaricus*, la cual parece predominar en el Río Uruguay, mientras que la presencia de *H. lacerdae* apareció en los muestreo donde los pescadores dijeron haberlas colectados en arroyos o tajamares. Un muestreo más amplio que incluía muestras de las lagunas costeras del este de Uruguay mostró que probablemente los individuos actualmente identificados como *H. malabaricus*, conformen más de una especie. Esta especie tiene una doble importancia tanto comercial como deportiva, lo cual hace necesario conocer en mayor profundidad su biología ante la compleja estructuración taxonómica observada.

- Identificación de huevos y larvas viteladas en el Río Uruguay

La identificación de estadios de desarrollo temprano de los peces, como son los huevos y los embriones, nos permite conocer que especies desovan en el tramo principal del Río Uruguay, conociendo así cuales son las áreas donde se producen los desoves. En particular en las especies migratorias de importancia comercial, la identificación de las áreas de desove resulta fundamental en el manejo de las especies.

El Río Uruguay presenta una represa que divide los tramos medio e inferior. Si bien se han detectado desoves en ambos tramos, existen dudas sobre la importancia relativa de cada tramo para el desove de especies migratorias.

La utilización de técnicas moleculares, puede superar las limitación de identificación de especies con morfologías similares. Esta aproximación ha sido utilizada en la identificación de dietas con contenidos estomacales (Deagle et al., 2009; Harms-Tuohy et al., 2016) o fecas (Deagle et al. 2009), ictioplancton (García-Dávila et al., 2015), identificación de especies en alimentos procesados (Galimberti et al., 2013; Hellberg et al., 2017), o en la detección de especies ríos analizando el ADN presente en muestras de agua (Dejean et al., 2012; Evans et al., 2016; Jerde et al., 2011). En particular, el análisis de secuencias específicas de ADN han sido aplicadas en estudios ecológicos y ambientales (Shokralla et al., 2012).

La aplicación de estas técnicas a la identificación de huevos y larvas viteladas en el Río Uruguay permitió ubicar la presencia principal de los desoves de especies migratorias de importancia comercial y deportivo (sábalos, boga, surubí y dorado) en el tramo medio, en las provincias de Corrientes y Misiones. Este resultado muestra la importancia de esa región para la biodiversidad de peces del Río Uruguay, y sobre las poblaciones de peces migratorios que sostienen pesquerías en el tramo compartido entre Argentina y Uruguay, tanto al norte de la represa de Salto Grande, como (por deriva), también aguas abajo.

Los estudios genéticos: Implicancias en la biodiversidad, la pesquería y la acuicultura

Las especies de sábalo y boga muestran una concordancia en los patrones de estructuración, indicando la existencia de poblaciones diferentes en los tramos inferior y medio del Río Uruguay, y por tanto, la biología pesquera de dichas especies, en ambos tramos, debería considerar la presencia de los dos stocks, y evaluarlos de manera independiente. Los estudios sobre la estructura genética de surubí y dorado por el contrario a las anteriores especies, no sugieren la presencia de más de una población en el Río Uruguay.

Basados en la distribución de poblaciones de sábalo y boga, los resultados sugieren que ambos tramos, inferior y medio del río, deberían considerarse como dos zonas pesqueras diferentes, considerando obligatoriamente la necesidad de obtener estadísticas pesqueras diferentes para ambas regiones.

La identificación de desoves en el tramo medio del Río Uruguay resalta la importancia de la misma en el mantenimiento de los efectivos sobre los que opera la pesquería del tramo compartido entre Argentina y Uruguay por los aportes de esas zonas de reproducción.

Sobre los eventuales emprendimientos de acuicultura, se sugiere se realicen con individuos puros (no híbridos) colectados de la cuenca donde los emprendimientos fueran establecidos. La presencia de híbridos de surubí en el Río Paraná indican que los escapes de individuos híbridos provenientes de la acuicultura pueden ser un peligro para las poblaciones naturales produciendo una degradación genética de la especie.

Perspectivas

Con los conocimientos obtenidos hasta el momento se abren perspectivas de análisis genéticos en aplicación al manejo de los recursos pesqueros del Río Uruguay, incluyendo estudios tendientes a definir el aporte relativo de los stocks del Río Paraná y del Río Uruguay Medio en el Tramo Inferior del Río Uruguay. Esto implicaría la utilización de larvas y adultos. Las primeras servirían para identificar los stocks desovantes, y los adultos para relacionarlos con los stocks desovantes para evaluar el aporte relativo a los efectivos explotados.

Además de las principales especies explotadas comercialmente, es importante conocer la estructura poblacional de otras especies residentes o con migraciones cortas o medias que también son recursos para las poblaciones ribereñas, como las tarariras (*Hoplias* spp.) y varios bagres de la Familia Pimelodidae (ej. *Pimelodus* spp.). El patí es una especie con una presencia importante en la pesca del Río Uruguay y que presenta muchas interrogantes sobre la biología reproductiva y la estructura de sus poblaciones que requeriría estudios genéticos.

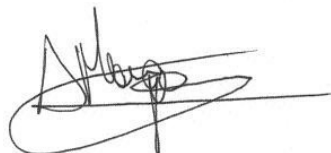
La aplicación de la secuenciación masiva ha mostrado ser una herramienta muy útil a la identificación de huevos y larvas viteladas, y su uso en el monitoreo de muestras de ictioplancton aportaría al monitoreo de la reproducción de especies invasoras en el Río Uruguay, así como a evaluar la importancia de los desoves de especies migradoras como el dorado en el Tramo Inferior del Río Uruguay.

Referencias

- Carvalho, G.R., Hauser, L., 1994. Molecular genetics and the stock concept in fisheries. *Rev. Fish Biol. Fish.* 4, 326–350.
- Deagle, B.E., Kirkwood, R., Jarman, S.N., 2009. Analysis of Australian fur seal diet by pyrosequencing prey DNA in faeces. *Mol. Ecol.* 18, 2022–2038.
- Dejean, T., Valentini, A., Miquel, C., Taberlet, P., Bellemain, E., Miaud, C., 2012. Improved detection of an alien invasive species through environmental DNA barcoding: The example of the American bullfrog *Lithobates catesbeianus*. *J. Appl. Ecol.* 49, 953–959.
- Evans, N.T., Olds, B.P., Renshaw, M.A., Turner, C.R., Li, Y., Jerde, C.L., Mahon, A.R., Pfrender, M.E., Lamberti, G.A., Lodge, D.M., 2016. Quantification of mesocosm fish and amphibian species diversity via environmental DNA metabarcoding. *Mol. Ecol. Resour.* 16, 29–41.
- Fuentes, C.M., Gómez, M.I., Brown, D.R., Arcelus, A., Espinach Ros, A., 2016. Downstream Passage of Fish Larvae at the Salto Grande Dam on the Uruguay River. *River Res. Appl.* 32, 1879–1889.
- Fuentes, C.M., Gómez, M.I., Salva, J.L., Dománico, A.A., Arcelus, A., Brown, D.R., Espinach Ros, A., 2012. Passage Of Fish Larvae At Salto Grande Dam, Uruguay River, in: 36th Annual Larval Fish Conference.
- Galimberti, A., De Mattia, F., Losa, A., Bruni, I., Federici, S., Casiraghi, M., Martellos, S., Labra, M., 2013. DNA barcoding as a new tool for food traceability. *Food Res. Int.* 50, 55–63.
- García-Dávila, C., Castro-Ruiz, D., Renno, J.F., Chota-Macuyama, W., Carvajal-Vallejos, F.M., Sanchez, H., Angulo, C., Nolorbe, C., Alvarado, J., Estivals, G., Núñez-Rodríguez, J., Duponchelle, F., 2015. Using barcoding of larvae for investigating the breeding seasons of pimelodid catfishes from the Marañón, Napo and Ucayali rivers in the Peruvian Amazon. *J. Appl. Ichthyol.* 31, 40–51.
- Harms-Tuohy, C.A., Schizas, N. V., Appeldoorn, R.S., 2016. Use of DNA metabarcoding for stomach content analysis in the invasive lionfish pterois volitans in Puerto Rico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 558, 181–191.
- Hellberg, R.S., Hernandez, B.C., Hernandez, E.L., 2017. Identification of meat and poultry species in food products using DNA barcoding. *Food Control* 80, 23–28.
- Iriondo, M.H., Krohling, D.M., 2008. Cambios ambientales en la cuenca del río Uruguay. Desde

- dos millones de años hasta el Presente. Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Jamieson, A., 1973. Genetic “tags” for marine fish stocks, in: Sea Fisheries Research. Elek Science, London, pp. 91–99.
- Jerde, C.L., Mahon, A.R., Chadderton, W.L., Lodge, D.M., 2011. “Sight-unseen” detection of rare aquatic species using environmental DNA. *Conserv. Lett.* 4, 150–157.
- Larkin, P.A., 1992. The stock concept and management of Pacific salmon, in: Larkin, R.C.S. and P.A. (Ed.), *The Stock Concept in Pacific Salmon*. H. R. MacMillan Lectures in Fisheries. University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada, pp. 11–15.
- Lobo, C.M.D.O., Porto-Foresti, F., Prado, F.D. Do, Torrezan, R., Furtado, Â.A.L. De, Conte Junior, C.A., Mársico, E.T., 2014. Molecular identification of *Pseudoplatystoma* sp. fish fillets by Multiplex PCR. *Vigilância Sanitária em Debate* 2, 64–70.
- Marquez, A., Stareczek, S., Caraccio, M.N., Carrera, I., Errico, E., Pereira, A.N., 2019. Mitochondrial DNA variation reveals the presence of two management units in the sábalo *Prochilodus lineatus* (Characiformes: Prochilodontidae) from La Plata River basin. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 47.
- Marquez, A., Tourinho, J.L., Errico, E., Pereira, A.N., 2018. Evaluating the presence of interspecific hybrids of the sorubims *Pseudoplatystoma corruscans* and *Pseudoplatystoma reticulatum* in the middle and inferior Paraná and Uruguay rivers using genetic markers. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 1–5.
- Ovenden, J., 1990. Mitochondrial DNA and marine stock assessment: A review. *Mar. Freshw. Res.* 41, 835.
- Porto-Foresti, F., Hashimoto, D.T., Prado, F.D., Senhorini, J. a., Foresti, F., 2013. Genetic markers for the identification of hybrids among catfish species of the family Pimelodidae. *J. Appl. Ichthyol.* 29, 643–647.
- Quirós, R., 1988. Estructuras para asistir a los peces no salmónidos en sus migraciones: América Latina, FAO. ed. Roma.
- Rovira, M., 2017. Análisis filogeográfico de la boga *Leporinus obtusidens* (Characiformes, Anostomidae) a lo largo de su rango de distribución en las cuencas del Río Uruguay y el Río Paraná. Programa de Desarrollo de las Ciencias Basicas.
- Shokralla, S., Spall, J.L., Gibson, J.F., Hajibabaei, M., 2012. Next-generation sequencing technologies for environmental DNA research. *Mol. Ecol.* 21, 1794–1805.
- Waldman, J.R., 2005. Defining of Stocks: An Evolving Concept, in: Cadrin, S.X., Friedland, K.D.,

Waldman, J.R. (Eds.), Stock Identification Methods. Application in Fishery Science. Elsevier Academic Press, pp. 7–16.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alejandro Márquez', with a large, sweeping horizontal stroke underneath.

Dr. Alejandro Márquez
Asesor de Pesca de CARU
Facultad de Ciencias