

Research Article

Identificación de stocks pesqueros de la corvina de río (*Plagioscion ternetzi*) de los ríos Paraguay y Paraná, mediante el análisis morfométrico de sus otolitos

Esteban Avigliano¹, Guy Comte¹, Juan José Rosso², Ezequiel Mabragaña², Paola Della Rosa³ Sebastian Sanchez³, Alejandra Volpedo¹, Franco del Rosso⁴ & Nahuel Federico Schenone¹

¹Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA-CONICET-UBA)

Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires

Av. Chorroarín 280 (C1427CWO), Buenos Aires, Argentina

²Grupo de Biotaxonomía Morfológica y Molecular de Peces (BIMOPE), IIMyC-CONICET

Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, Argentina

³Instituto de Ictiología del Nordeste, Facultad de Ciencias Veterinarias

Universidad Nacional del Nordeste, Santiago Cabral 2139 (3400), Corrientes, Argentina

⁴Programa Biodiversidad, Áreas Protegidas y Cambio Climático del Ministerio de la Producción y Ambiente de la Provincia de Formosa, Argentina

Autor correspondiente: Esteban Avigliano (estebanavigliano@conicet.gov.ar)

RESUMEN. La identificación de stocks pesqueros es un requisito básico para el manejo y la gestión de la pesca. El objetivo de este trabajo fue describir por primera vez los otolitos de la corvina de río *P. ternetzi* y evaluar la existencia de diferentes stocks pesqueros entre dos áreas de la Cuenca del Plata, cuenca baja del río Paraguay y el río Paraná medio. Con este fin, cinco índices morfométricos aplicados sobre los otolitos *sagittae* (rectangularidad, circularidad AO/LO, SS/SO y PS/PO) fueron comparados entre los sitios de estudio. Los otolitos *sagittae* son semicirculares y presentan bordes lisos. El *sulcus acusticus* es de tipo heterosulcoide y curvo, con abertura pseudoostio-caudal. Se observaron diferencias significativas para circularidad, rectangularidad, SS/SO y PS/PO (t-test, $P < 0,05$). El análisis multiparamétrico T^2 de Hotelling mostró diferencias significativas entre los sitios de estudio ($P < 0,006$) mientras que el análisis canónico discriminante mostró un alto porcentaje de clasificación de los individuos (>69%). Los resultados obtenidos sugieren que las poblaciones de esta especie de los ríos Paraguay y Paraná estarían parcialmente separadas, aunque mantendrían flujo de individuos entre las mismas.

Palabras clave: *Plagioscion ternetzi*, morfometría, otolito, stocks pesquero, Río Paraná, Río Paraguay.

Identification of fish stocks of river crocker (*Plagioscion ternetzi*) in Paraná and Paraguay rivers by using otolith morphometric analysis

ABSTRACT. The identification of fish stocks is a basic requirement for fishing management. The objective of this research was to describe for the first time otoliths of river crocker (*Plagioscion ternetzi*) and to evaluate the existence of different fish stocks in the Paraguay River lower basin and the middle Paraná River (northeast Argentinean region and southeast Paraguayan region). For this purpose, five morphometric indexes applied on *sagitta* otolith (rectangularity, circularity AO/SO, SS/SO and PS/PO) were compared between the study sites. The *sagittae* otoliths are semicircular and with smooth edges. *Sulcus acusticus* is heterosulcoid and curved, with an ostium open widely in the anterior margin of the otolith. Significant differences were observed for circularity, rectangularity, SS/SO and PS/PO (t-test, $P < 0.05$). The T^2 Hotelling multiparametric analysis showed significant differences between the study sites ($P < 0.006$), while the canonical discriminant showed a high classification percentage of the individuals (>69%). The results indicate that the stocks populations would be partially separated, with a considerable flow of individuals between these rivers.

Keywords: *Plagioscion ternetzi*, morphometry, otolith, fish stocks, Paraná River, Paraguay River.

INTRODUCCIÓN

El género *Plagioscion* (Gill, 1861) es endémico de las aguas dulces de América del Sur, donde sus miembros se distribuyen en los ríos Magdalena (Colombia), Amazonas (Brasil, Perú y Colombia), Orinoco (Venezuela), Paraguay y Paraná (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay) y diferentes cuencas de las Guayanas (Casatti, 2003, 2005). Algunas especies como *P. squamosissimus* han sido introducidas en el alto Río Paraná, en el Río São Francisco y diferentes embalses artificiales del noreste de Brasil (Cassati, 2005).

Los análisis filogenéticos indican que el género *Plagioscion* en América del Sur es monofilético (Cooke *et al.*, 2012). Las relaciones filogenéticas de las especies del género, el registro fósil, la historia geomorfológica y los datos de distribución sugieren que las incursiones hacia los sistemas acuáticos continentales se habrían producido desde el océano en el oeste de Venezuela, entre finales del Oligoceno y Mioceno temprano (Cooke *et al.*, 2012). Estas incursiones fueron las responsables de la adaptación a los ambientes dulceacuícolas de las especies de *Plagioscion* (Cooke *et al.*, 2012). Actualmente el género posee cinco especies válidas (Casatti, 2005) siendo *Plagioscion ternetzi* (Boulenger, 1895) la que presenta la distribución más meridional.

Particularmente, *P. ternetzi* está distribuida en los ríos Uruguay, Paraguay y Paraná, originalmente hasta el salto Sete Quedas, hoy sumergido por la represa Itaipú (Casatti, 2005; Serra *et al.*, 2012). En la cuenca baja del Río Paraguay y la confluencia con el Río Paraná, esta especie es de gran importancia tanto para las pesquerías artesanales como para la pesca deportiva, siendo además de gran interés cultural para la región. Los mayores volúmenes de captura se producen en las cercanías a la Laguna Herradura, un meandro del Río Paraguay (Formosa, Argentina). En esta área, el periodo de desove se produce en los meses cálidos, de enero a marzo. En este periodo la especie prefiere regiones con poca corriente de agua y ambientes con meandros (Vera *et al.*, 2005). En contraste, actualmente las capturas en el Río Paraná son muy escasas y se realizan en forma no dirigida (accidental) por pescadores artesanales.

A pesar de la importancia de este recurso, poco se sabe sobre el estado de la pesquería. No existen estadísticas sobre los volúmenes de extracción y la estacionalidad de las capturas. Por otro lado, la existencia de diferentes poblaciones o stocks pesqueros y la conectividad entre éstas también es desconocida. Los estudios sobre estas temáticas están dirigidos casi exclusivamente a *P. squamosissimus* (Teixeira *et al.*, 2002; González *et al.*, 2005).

Los otolitos han sido ampliamente utilizados para la determinación de stocks pesqueros debido a que la morfología y morfometría de estas estructuras están fuertemente influenciadas por el ambiente que frecuentan los peces y por el tipo de uso del hábitat (*e.g.*, Longmore *et al.*, 2010; Avigliano *et al.*, 2012, 2014; Cañas *et al.*, 2012; Keating *et al.*, 2014; Vieira *et al.*, 2014; Avigliano *et al.*, 2015b). Los otolitos de los peces teleósteos son cuerpos policristalinos compuestos principalmente por carbonato de calcio precipitado en forma de aragonita, que están alojados en el aparato vestibular (Campana, 1999). El análisis de la morfo-metría de los otolitos permite generar una descripción cuantitativa de la forma y el contorno que puede compararse estadísticamente (Lestrel, 1997). Entre los índices morfométricos más utilizados están la circularidad, rectangularidad, AO/LO y SS/SO (*e.g.*, Longmore *et al.*, 2010; Cañas *et al.*, 2012; Tuset *et al.*, 2013; Avigliano *et al.*, 2015a).

En este contexto, los otolitos *sagittae* de la corvina de río *P. ternetzi* fueron descritos y diferentes índices morfométricos fueron comparados entre los individuos que habitan el bajo Río Paraguay y el Río Paraná medio (noroeste argentino) con el fin de evaluar la existencia de diferentes stocks pesqueros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área abarcada corresponde a la cuenca baja del Río Paraguay y a la cuenca media del Río Paraná. Estas cuencas constituyen un corredor biogeográfico de características atípicas debido a que tiene sus nacientes en ambientes del trópico húmedo y su desembocadura en regiones templadas húmedas (Cabrera & Willink, 1973). El carácter de corredor biogeográfico se manifiesta en el hecho que todos los bosques en galería del sistema fluvial Paraguay-Paraná tienen linaje amazónico (Cabrera & Willink, 1973).

La cuenca baja del Río Paraguay, específicamente la laguna Herradura y la porción del Río Paraguay asociada (región oriental de la Provincia de Formosa), corresponde a la región biogeográfica del Chaco Húmedo e incluye esteros, selvas en galería, pastizales y palmeras (Cabrera & Willink, 1973).

El Río Paraná medio y alto (longitud entre 26° y 28°S) se caracteriza por la presencia de selvas y bosques subtropicales, acompañados por pastizales dominados por gramíneas megatérmicas (Cabrera & Willink, 1973).

La ictiofauna de la región de estudio está constituida por más de 250 especies en el Paraná medio (Menni *et*

al., 1992) y 143 en el Río Paraguay (Menni, 2004) pertenecientes a más de 150 géneros y 41 familias (López *et al.*, 2005). La gran diversidad de ambientes acuáticos como ríos, esteros, meandros y lagunas permiten la presencia de especies migradoras, sedentarias, relacionadas con la vegetación, además de peces anuales, pulmonados y grandes ictiófagos (López *et al.*, 2005).

Colecta de muestras

Los sitios de muestreo se indican en la Fig. 1. En el Río Paraguay y la Laguna Herradura (26°32'0.98"S, 58°14'24.27"W) los especímenes se capturaron con anzuelo a profundidades entre 3 y 9 m durante febrero de 2012, 2013 y 2014. En el Río Paraná (27°18'0, 91"S, 57°51'15,70"W y 27°28'36,60"S, 57°2'48, 36"W) se capturaron con redes de tres mallas de multifilamento (malla interna de 3x3 cm y externas de 10x10) en octubre 2013 y febrero 2014. Los rangos de tallas para el Río Paraguay y La Herradura estuvieron entre 20,2 y 35,0 cm ($n = 13$) y en el Río Paraná entre 24,3 y 43 cm ($n = 41$). Los peces fueron trasladados al laboratorio a -4°C donde se registró la longitud total y se extrajeron los otolitos *sagittae*. Los otolitos fueron limpiados con agua destilada y conservados individualmente en seco, en sobres de papel.

Morfometría de los otolitos

Los otolitos *sagittae* de *P. ternetzi* fueron descritos utilizando la nomenclatura propuesta por Tuset *et al.* (2008). Los otolitos derechos se fotografiaron con microscopio estereoscopio (Leica® EZ4-HD) y se registraron las siguientes variables morfométricas sobre las imágenes mediante el procesador de imágenes Image-ProPlus®4.5: longitud del otolito (LO), ancho (AO), perímetro del *sulcus* (PS) y perímetro (PO) en mm y superficie del otolito (SO) y superficie del *sulcus* (SS) en mm². Posteriormente, se calcularon los siguientes índices de forma: circularidad (PO^2/AO), rectangularidad ($SO/[LO*AO]$), AO/LO, SS/SO y PS/PO. La nomenclatura de los índices utilizados fue tomada de Tuset *et al.* (2013) y Volpedo *et al.* (2008). La circularidad da información sobre la complejidad del contorno de los otolitos (Cañas *et al.*, 2012). La rectangularidad da información sobre la aproximación a una forma rectangular o cuadrada siendo igual a 1 un rectángulo o cuadrado perfecto. El índice AO/LO indica la relación entre el ancho y la longitud del otolito, siendo igual a 1 para un círculo o rectángulo perfecto (Avigliano *et al.*, 2014). El índice SS/SO determina que proporción de la superficie del otolito está ocupada por el *sulcus* que a su vez corresponde con la superficie que ocupa la mácula nerviosa que transmite al cerebro información relacionada con la posición relativa del pez en la columna de agua, así como con la captación auditiva (Volpedo *et al.*, 2008). La relación entre el perímetro del *sulcus* y del otolito se

expresa con el índice PS/PO, utilizado por primera vez para *Odontesthes bonariensis* (Avigliano *et al.*, 2014).

Análisis estadístico

Las variables circularidad, SS/SO y PS/PO no se ajustaron a la distribución normal y homogeneidad de la varianza (Shapiro-Wilk, $P < 0,04$ y Levene's, $P > 0,05$); por este motivo fueron transformadas con la función $\log(x+1)$ para SS/SO y PS/PO y $\log(x)$ para circularidad. Luego de comprobar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, el análisis de covarianza fue utilizado de corregir el efecto para la longitud del otolito sobre las variables estudiadas (ANCOVA, $P < 0,01$) (Longmore *et al.*, 2010; Kerr & Campana, 2014). Las constantes utilizadas para la corrección fueron: circularidad, $b = 0,03$; rectangularidad, $b = -0,001$; AO/LO, $b = -0,0032$; SS/SO, $b = 0,0013$; PS/PO $b = 0,00071$.

La prueba *t* de Student fue utilizada para evaluar la existencia de diferencias significativas para cada una de las variables entre los sitios de estudio. La correlación entre las variables fue testeada utilizando el test de correlación de Pearson. Esta metodología es aplicada para evaluar la multicolinealidad entre las variables y evita su uso redundante, que puede llevar a falsas conclusiones en el análisis de función discriminante (Graham, 2003).

Por otro lado, el análisis multivariado de comparaciones de pares T^2 de Hotelling fue aplicado para evaluar las diferencias entre los sitios de estudio considerando simultáneamente todas las variables morfométricas.

El análisis discriminante canónico (ADC) fue realizado utilizando lotes de índices morfométricos para obtener la matriz de clasificación cruzada y determinar la capacidad de estas variables para la identificación del sitio de origen de los peces (*e.g.*, Longmore *et al.*, 2010; Kerr & Campana, 2014). Los coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas (CEFD) se utilizaron para determinar la contribución de cada variable en la discriminación de grupos. El programa InfoStat® se utilizó para todos los análisis estadísticos.

RESULTADOS

Descripción de los otolitos

Los otolitos *sagittae* de *P. ternetzi* son semicirculares con ambos lados globosos. La cara interna o mesial es cóncava y la externa convexa (Fig. 2). El borde dorsal es más curvo y con mayor profundidad que el ventral. Los márgenes son lisos, aunque el borde ventral y posterior puede presentar notables procesos calcáreos (Fig. 1).



Figura 1. Sitios de muestreo de la corvina de río *Plagioscion ternetzi*. 1. Río Paraguay, Laguna Herradura, 2. Río Paraná.

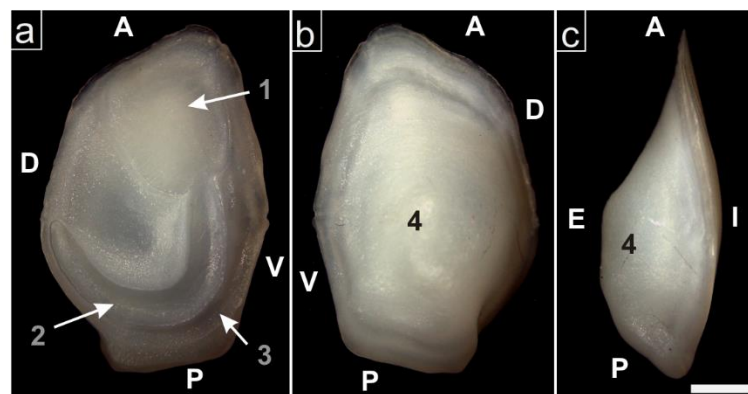


Figura 2. Otolito *sagitta* izquierdo representativo de *Plagioscion ternetzi*. a) cara interna o mesial, b) cara externa, c) vista lateral. 1: ostium, 2: cauda, 3: depresión profunda, 4: meseta, A: anterior; P: posterior; D: dorsal; V: ventral; E: cara externa; I: cara interna. Barra = 3 mm.

El *sulcus acusticus* es de tipo heterosulcoide, en posición supramedia y con abertura pseudo ostio-caudal. El *sulcus* es profundo y claramente delimitado por una cresta que ocupa casi toda la superficie mesial (Fig. 2a). La cauda es tubular alargada y curva, su longitud es aproximadamente el doble que la del *ostium*. Hacia su extremo distal se observa una curvatura hacia la cara ventral adquiriendo una forma de “U” (Fig. 2a). En el extremo distal la cauda se estrecha, presenta una fuerte depresión que forma un canal en el borde ventral y posterior, siguiendo la morfología del *sulcus*. Esta depresión se extiende desde la abertura del ostium hasta los primeros dos tercios de la cauda. La cara externa del otolito presenta una meseta con mayor desarrollo hacia el extremo posterior (Fig. 2b), siendo notable en vista lateral (Fig. 2c).

Morfometría del otolito

Los resultados de las comparaciones de los índices morfométricos de los otolitos (prueba *t* de Student) de los peces provenientes de los diferentes sitios de estudio se muestran en la Tabla 1. Se observaron diferencias significativas para todas las variables, excepto AO/LO. El índice de rectangularidad fue más elevado para los otolitos de las corvinas capturadas en Río Paraná, mientras que la circularidad fue significativamente menor en este sitio. Esto indica una tendencia a la morfometría rectangular. En forma opuesta, la circularidad fue mayor para los peces del Río Paraguay, mientras que la rectangularidad fue significativamente menor, indicando una tendencia a la circularidad de los otolitos. Por otro lado, los índices PS/PO y SS/SO fueron

Tabla 1. Media \pm desviación estándar de los índices morfométricos por sitio de estudio (transformación $\log(x)$) para circularidad y $\log(x+1)$ para SS/SO y PS/PO). Las letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (t de Student, $P < 0,05$).

	Río Paraguay	Río Paraná	T	P
Circularidad	2,30 \pm 0,09 ^a	2,23 \pm 0,08 ^b	-2,9	0,005
Rectangularidad	0,74 \pm 0,01 ^a	0,75 \pm 0,01 ^b	2,39	0,020
AO/LO	0,63 \pm 0,02 ^a	0,62 \pm 0,03 ^a	-1,0	0,332
SS/SO	0,16 \pm 0,01 ^a	0,16 \pm 0,01 ^b	-2,05	0,045
PS/PO	0,32 \pm 0,01 ^a	0,31 \pm 0,01 ^b	-2,2	0,029

mayores en los otolitos de las corvinas del Río Paraguay. Se observó correlación entre el AO/LO y la circularidad ($r = -0,38$, $P = 0,003$) y rectangularidad ($r = 0,37$, $P = 0,01$). Por este motivo la variable AO/LO no fue considerada para los análisis multivariados.

Acorde a la prueba de comparaciones de pares T^2 de Hotteling, se hallaron diferencias significativas entre los sitios de estudio ($P < 0,006$). Según los CEFD, los índices que más contribuyeron a la discriminación fueron circularidad (CEFD = 0,65) y PS/PO (CEFD = 0,59), seguidos de rectangularidad (CEFD = -0,47), y SS/SO (CEFD = -0,15). La clasificación cruzada del ACD (Tabla 2) mostró un alto porcentaje de individuos bien clasificados para el Río Paraná (69%) y Río Paraguay (71%).

Tabla 2. Tabla de clasificación cruzada del Análisis Canónico Discriminante (ACD) de los índices morfométricos. Los números entre paréntesis representan el porcentaje de clasificación.

	Río Paraguay	Río Paraná	Total
Río Paraná	4 (31)	9 (69)	13
Río Paraguay	29 (71)	12 (29)	41
Total	33	31	

DISCUSIÓN

Los otolitos *sagittae* de *P. ternetzi* fueron descritos por primera vez en este trabajo. La morfología y morfometría de los otolitos ha sido ampliamente utilizada para diferenciar las especies (*e.g.*, Tuset *et al.*, 2013; Zhuang *et al.*, 2014), describir los patrones ecomorfológicos (*e.g.*, Volpedo & Echeverría, 2003; Volpedo & Fuchs, 2010; Jaramillo *et al.*, 2014), como indicador ambiental (Nelson *et al.*, 1994; Avigliano *et al.*, 2012), para la determinación de especies fosilizadas (*e.g.*, Reichenbacher *et al.*, 2007, 2009; Reichenbacher & Reichard, 2014) y para identificar stocks pesqueros

(*e.g.*, Cadrin & Friedland, 1999; Cañas *et al.*, 2012; Avigliano *et al.*, 2014).

Diferentes autores han utilizado previamente otras variables morfométricas en especies de sciénidos marinos. Por ejemplo, Aguilera & Aguilera (2003) describieron dos especies extintas de sciénidos del género *Plagioscion* en sedimentos marinos del Neogeno en América del Sur, mientras que Monteiro *et al.* (2005) estudiaron la variación de forma alométrica en cinco sciénidos de la costa de Brasil, utilizando diferentes variables morfométricas de los otolitos. Por otro lado, Zhang *et al.* (2014) utilizaron análisis de forma para diferenciar stocks pesqueros del sciénido asiático *Larimichthys polyactis*. A pesar de ello, los estudios de identificación de poblaciones están direccionados a especies marinas o estuarinas (Ward *et al.*, 1994), aún considerando que la existencia de diferentes grados de diferenciación genética (presencia de subpoblaciones), generalmente es mayor en especies de agua dulce en relación a las marinas (Ward *et al.*, 1994). En este sentido, este es uno de los primeros trabajos en Sudamérica que emplea la morfometría de los otolitos para la identificación de stocks en peces de agua dulce.

Los índices morfométricos más utilizados para la identificación de stocks son la rectangularidad, la circularidad, la relación de aspecto y LO/talla del pez (Tuset *et al.*, 2008; Longmore *et al.*, 2010; Cañas *et al.*, 2012; Jaramillo *et al.*, 2014), con un menor número de estudios que utilizan índices en relación al *sulcus* como SS/SO (Jaramillo *et al.*, 2014; Zhuang *et al.*, 2014; Avigliano *et al.*, 2014) o PS/PO (Avigliano *et al.*, 2014).

En este trabajo, los índices morfométricos que explicaron la mayor proporción de variabilidad fueron circularidad, PS/PO y rectangularidad. Los otolitos de las corvinas capturadas en la cuenca del Río Paraguay tendieron a la forma circular, mientras que los del Río Paraná tendieron a la rectangularidad.

Otros investigadores han reportado una relación positiva entre la salinidad y la tendencia a la circu-

laridad o elepticidad en especies de diferentes ambientes como el pejerrey *O. bonariensis* para el lago Chasicó (agua salada) (Avigliano *et al.* 2012, 2015b) y el Río de la Plata con amplio rango de salinidad (Avigliano *et al.* 2014, 2015b). Estas observaciones concuerdan con los resultados presentados en este trabajo, debido a que los sistemas lagunares y arroyos asociados a la región de estudio del Río Paraguay se caracterizan por poseer salinidad relativamente elevada, mientras que los afluentes del Río Paraná se caracterizan por la baja salinidad (Neiff, 2003).

La relación entre el tamaño del *sulcus* con la movilidad es bien conocida (Lombarte & Popper, 1994; Arellano *et al.*, 1995; Tuset *et al.*, 2003; Avigliano *et al.*, 2014). Por ejemplo, en algunas especies del género *Merluccius*, este índice estaría relacionado con el uso de la columna de agua. Sin embargo, en algunas especies del género *Mullus* estaría asociado a diferencias en el comportamiento de alimentación (Aguirre & Lombarte, 1999). Avigliano *et al.* (2014) han reportado que la superficie del *sulcus* en relación a la superficie del otolito tiende a ser mayor en las poblaciones de *O. bonariensis* que realizan grandes migraciones en el estuario del Río de la Plata. En este trabajo, los índices relacionados con el tamaño del *sulcus* fueron mayores para el Río Paraguay. Presumiblemente, esto estaría relacionado al comportamiento migratorio de la especie en este sitio de estudio. Las corvinas del Río Paraguay realizarían migraciones reproductivas hacia sistemas lénticos asociados al caudal principal (Vera *et al.*, 2005). Además, no existen barreras artificiales que podrían obstaculizar los desplazamientos sobre el Río Paraguay. Por otro lado, sobre el Río Paraná, la migración de la especie podría estar restringida, debido a la presencia de la represa Yacyretá aguas arriba de los sitios de muestreo.

Los análisis multivariados mostraron diferencias significativas entre los sitios de estudio y un porcentaje de clasificación relativamente alto de los individuos según su origen. Esto indica que las poblaciones tenderían a estar parcialmente separadas. Según los porcentajes de clasificación, es posible que el flujo de peces entre ambos sitios de estudio sea considerable. En el futuro, estudios complementarios basados en la genética de los individuos podrían contribuir para determinar el grado de conectividad entre los stocks (Teixeira *et al.*, 2002), descartándose la utilización de métodos de marcado debido a la alta senilidad de la especie, que una vez capturada y luego de la devolución al cuerpo de agua no suele sobrevivir.

La existencia de diferentes poblaciones podría estar relacionada con la formación y evolución geográfica de los ríos Paraná y Paraguay. Estos ríos se unieron durante el Mioceno superior y parte del Plioceno (hace

~4 o 5 millones de años) (Orfeo, 1996; Orfeo & Stevaux, 2002) y es posible que diferentes poblaciones hayan existido en el área antes de la formación de la confluencia. Por otro lado, también es posible que *P. ternetzi* se haya distribuido únicamente en uno de estos ríos, y la población pudo tender a la separación luego de la formación de la confluencia. Debido a la falta de registros paleontológicos, no es posible confirmar estas hipótesis.

Los resultados de este trabajo indican que la morfometría del otolito, en especial los índices de circularidad, rectangularidad y AO/LO, podría ser empleada como un indicador de hábitat en *P. ternetzi*. Hay que considerar que el tamaño de muestra obtenida para el Río Paraná fue relativamente bajo y podría ser poco representativo. Esto se debe al estado actual de la pesquería en esta zona de la cuenca que hizo imposible realizar mayores capturas durante los tres años de muestreo. Sin embargo, la información presentada traza una línea de base para el estudio de la biología y dinámica poblacional de esta especie, aportando conocimiento para la gestión y el manejo de los recursos pesqueros en la cuenca baja del Río Paraguay y en el Río Paraná medio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONICET (PIP 112-20120100543CO), ANPCyT (PIP 2010-1372), a la Universidad de Buenos Aires (UBACYT 20620110 100007) y al Ministerio de la Producción y Ambiente de la provincia de Formosa por el financiamiento. Los autores agradecen a los revisores anónimos por los valiosos comentarios que ayudaron a mejorar la claridad del manuscrito.

REFERENCIAS

- Aguilera, O. & D.R. De Aguilera. 2003. Two new otolith-based sciaenid species of the genus *Plagioscion* from South American neogene marine sediments. *J. Paleontol.*, 77(6): 1133-1138.
- Aguirre, H. & A. Lombarte. 1999. Ecomorphological comparisons of *sagittae* in *Mullus barbatus* and *M. surmuletus*. *J. Fish Biol.*, 55: 105-114.
- Arellano, R.V., O. Hamerlynck, M. Vinex, J. Mees, K. Hostens & W. Gijssels. 1995. Changes in the ratio of the *sulcus acusticus* area to the *Sagitta* area of *Pomatoschistus minutus* and *P. lozanoi* (Pisces, Gobiidae). *Mar. Biol.*, 122: 355-360.
- Avigliano, E., A. Tombari & A.V. Volpedo. 2012. ¿Los otolitos reflejan el estrés ambiental? *Biol. Acuát.*, 27: 9-5.

- Avigliano, E., C.F. Riaños-Martínez & A.V. Volpedo. 2014. Combined use of otolith microchemistry and morphometry as indicators of the habitat of the silverside (*Odontesthes bonariensis*) in a freshwater-estuarine environment. *Fish. Res.*, 149: 55-60.
- Avigliano, E., Jaward, L.A. & A.V. Volpedo. 2015a. Assessment of the morphometry of saccular otoliths as a tool to identify triplefin species (Tripterygiidae). *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, doi: HYPERLINK "http://dx.doi.org/10.1017/S0025315415001101" _blank 10.1017/S0025315415001101.
- Avigliano, E., P. Villatarco & A.V. Volpedo. 2015b. Otolith Sr:Ca ratio and morphometry as indicators of habitat of a euryhaline species: the case of silverside *Odontesthes bonariensis*. *Cienc. Mar.*, doi: 10.7773/cm.v41i3.2464.
- Cabrera, A.L. & A. Willink. 1973. Biogeografía de América Latina. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington DC. EEUU. Monografía 13, Serie de Biología, 120 pp.
- Cadrin, S.X. & K.D. Friedland. 1999. The utility of image processing techniques for morphometric analysis and stock identification. *Fish. Res.*, 43(1): 129-139.
- Campana, S.E. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 188: 263-297.
- Cañas, L., C. Stransky, J. Schlickeisen, M.P. Sampedro & A.C. Fariña. 2012. Use of the otolith shape analysis in stock identification of anglerfish (*Lophius piscatorius*) in the Northeast Atlantic. *ICES J. Mar. Sci.*, doi:10.1093/icesjms/fss006.
- Casatti, L. 2003. Sciaenidae (drums or croakers). In: R.E. Reis, S.O. Kullander & C.J. Ferraris Jr. (eds.). Checklist of the freshwater fishes of South and Central America. EDIPUCRS, Porto Alegre, pp. 599-602.
- Casatti, L. 2005. Revision of the South American freshwater genus *Plagioscion* (Teleostei, Perciformes, Sciaenidae). *Zootaxa*, 1080: 39-64.
- Cooke, G.M., N.L. Chao & L.B. Beheregaray. 2012. Marine incursions, cryptic species and ecological diversification in Amazonia: the biogeographic history of the croaker genus *Plagioscion* (Sciaenidae). *J. Biogeogr.*, 39(4): 724-738.
- González, Á., J. Mendoza, F. Arocha & A. Márquez. 2005. Mortalidad y rendimiento por recluta de la curvinata de río, *Plagioscion squamosissimus*, en el Orinoco medio de Venezuela. 23(3): 231-245.
- Graham, M.H. 2003. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*, 84: 2809-2815.
- Jaramillo, A.M., D.A. Tombari, V.B. Dura, M.E. Rodrigo & A.V. Volpedo. 2014. Otolith eco-morphological patterns of benthic fishes from the coast of Valencia (Spain). *Thalassas*, 30(1): 57-66.
- Keating, J.P., D. Brophy, R.A. Officer & E. Mullins. 2014. Otolith shape analysis of blue whiting suggests a complex stock structure at their spawning grounds in the Northeast Atlantic. *Fish. Res.*, 157: 1-6.
- Kerr, L.A. & S.E. Campana. 2014. Chemical composition of fish hard parts as a natural marker of fish stocks. In: S.X. Cadrin, L.A. Kerr & S. Mariani (eds.). Stock identification methods. Academic Press, San Diego, pp. 205-234.
- Lestrel, P.E. 1997. Fourier descriptors and their applications in biology. Cambridge University Press, Cambridge, 466 pp.
- Lombarte, A. & A.N. Popper. 1994. Quantitative analysis of postembryonic hair cell addition in the otolithic endorgans of the inner ear of the European hake, *Merluccius merluccius* (Gadiformes, Teleostei). *J. Comp. Neurol.*, 345: 419-428.
- Longmore, C., K. Fogarty, F. Neat, D. Brophy, C. Trueman, A. Milton & S. Mariani. 2010. A comparison of otolith microchemistry and otolith shape analysis for the study of spatial variation in a deep-sea teleost, *Coryphaenoides rupestris*. *Environ. Biol. Fish.*, 89: 591-605.
- López, H.L., A.M. Miquelarena & J. Ponte Gómez. 2005. Biodiversidad y distribución de la ictiofauna mesopotámica. In: F.G. Aceñolaza (ed.). Temas de la biodiversidad del litoral fluvial argentino II, Tucumán, Argentina, pp. 311-354.
- Menni, R.C. 2004. Peces y ambientes en la Argentina continental. Monografías del Museo Argentino de Ciencias Naturales, 5: 1-316.
- Menni, R.C., A.M. Miquelarena, H.L. López, J.R. Casciotta, A.E. Almiron & L.C. Protogino. 1992. Fish fauna and environments of the Pilcomayo-Paraguay basins in Formosa, Argentina. *Hydrobiologia*, 245(3): 129-146.
- Monteiro, L.R., A.P.M.D. Beneditto, L.H. Guillermo & L.A. Rivera. 2005. Allometric changes and shape differentiation of *sagitta* otoliths in sciaenid fishes. *Fish. Res.*, 74(1): 288-299.
- Neiff, J.J. 2003. Los ambientes acuáticos palustres del Iberá. In: A.S.G. Poi de Neiff (ed.) Limnología del Iberá. Aspectos físicos, químicos y biológicos de las aguas. EUDENE, Corrientes, pp. 3-16.
- Nelson, K., E.S. Hutchinson, G. Li, F.L. Sly & D. Hedgecock. 1994. Variation in life history and morphology in northern anchovies (*Engraulis mordax*). *CalCOFI Rep.*, 35: 108-120.
- Orfeo, O. 1996. Geomorfología del sistema fluvial Paraguay-Paraná en el área de su confluencia. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de

- Exploración de Hidrocarburos. Actas, Buenos Aires, 4: 131-147.
- Orfeo, O. & J.C. Stevaux. 2002. Hydraulic and morphologic characteristics of middle and upper reaches of the Paraná River (Argentina and Brazil). *Geomorphology*, 44: 309-322.
- Reichenbacher, B. & M. Reichard. 2014. Otoliths of five extant species of the annual killifish *Nothobranchius* from the East African Savannah. *PLoS ONE*, 9(11): e112459.
- Reichenbacher, B., E. Kamrani, H.R. Esmaeili & A. Teimori. 2009. The endangered cyprinodont *Aphanius ginaonis* (Holly, 1929) from southern Iran is a valid species: evidence from otolith morphology. *Environ. Biol. Fish.*, 86(4): 507-521.
- Reichenbacher, B., U. Sienknecht, H. Küchenhoff & N. Fenske. 2007. Combined otolith morphology and morphometry for assessing taxonomy and diversity in fossil and extant killifish (*Aphanius*, Prolebias). *J. Morphol.*, 268(10): 898-915.
- Serra, W.S., A. Duarte, M. Zarucki, G. Fabiano & M. Loureiro. 2012. New records and distribution extension of *Potamorhina squamoralevis* (Braga & Azpelicueta, 1983) (Characiformes) and *Plagioscion ternetzi* Boulenger, 1895. *Bol. Soc. Zool.*, 21(1-2): 65-69.
- Teixeira, A.S., A. Jamieson & J.C.P. Raposo. 2002. Transferrin polymorphism in Central Amazon populations of pescada, *Plagioscion squamosissimus*. *Genet. Mol. Res.*, 1: 216-226.
- Tuset, V.M., A. Lombarte & C.A. Assis. 2008. Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Sci. Mar.*, 72(S1): 7-198.
- Tuset, V.M., V. Parisi-Baradad & A. Lombarte. 2013. Application of otolith mass and shape for discriminating scabbardfishes *Aphanopus* spp. in the north-eastern Atlantic Ocean. *J. Fish Biol.*, 82(5): 1746-1752.
- Tuset, V.M., A. Lombarte, J.A. Gonzalez, J.F. Pertusa & M.J. Lorente. 2003. Comparative morphology of the sagittal otolith in *Serranus* spp. *J. Fish Biol.*, 63: 1491-1504.
- Vera, A., N. Venica, I.B. González, D.A. Ibarra & C.E. Pelozo. 2005. Crecimiento de la corvina en el Paraguay, tramo Formosa. *Rev. Cien. Tecnol. Univ. Nac. Formosa*, 3(3): 61-67.
- Vieira, A.R., A. Neves, V. Sequeira, R.B. Paiva & L.S. Gordo. 2014. Otolith shape analysis as a tool for stock discrimination of forkbeard (*Phycis phycis*) in the Northeast Atlantic. *Hydrobiologia*, 728(1): 103-110.
- Volpedo, A.V. & D.D. Echeverría. 2003. Ecomorphological patterns of the *sagitta* in fish associated with bottom marine shelf in the Mar Argentino. *Fish. Res.*, 60: 551-560.
- Volpedo, A.V. & D.V. Fuchs. 2010. Ecomorphological patterns of the *lapilli* of Paranoplatense Siluriforms (South America). *Fish. Res.*, 102(1): 160-165.
- Volpedo, A.V., A.D. Tombari & D.D. Echeverría. 2008. Eco-morphological patterns of the *sagitta* of Antarctic fish. *Polar Biol.*, 31(5): 635-640.
- Ward, R.D., M. Woodwark & D.O.F. Skibinski. 1994. A comparison of genetic diversity levels in marine, freshwater, and anadromous fishes. *J. Fish Biol.*, 44(2): 213-232.
- Zhang, C., Z. Ye, R. Wan, Q. Ma & Z. Li. 2014. Investigating the population structure of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) using internal and external features of otoliths. *Fish. Res.*, 153: 41-47.
- Zhuang, L., Z. Ye & C. Zhang. 2014. Application of otolith shape analysis to species separation in *Sebastes* spp. from the Bohai Sea and the Yellow Sea, northwest Pacific. *Environ. Biol. Fish.*, 1-12. doi: 10.1007/s10641-014-0286-z.

Received: 10 December 2014; Accepted: 16 June 2015