

¿EL OTOLITO DE PEJERREY (*Odontesthes bonariensis*), REFLEJA EL ESTRÉS AMBIENTAL?

E. Avigliano^{1,2}, A. Tombari³ y A. Volpedo^{1,2}

1. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua, Facultad de Ciencias Veterinarias, UBA. Av. Chorroarín 280 (C1427CWO), CABA.
2. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
3. Laboratorio de Biodiversidad de Vertebrados Acuáticos, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Intendente Güiraldes 2160, (C1428CWO), CABA.
estebanavigliano@conicet.gov.ar
avolpedo@fvvet.uba.ar

ABSTRACT. It has been proven that otoliths reflect morphology, morphometry and chemical composition of the environment that fish frequent. However, it has not been established if extreme environmental changes can be reflected by such structure. In this study, we analyze the morphology and morphometry of otolith *sagitta* of silverside (*Odontesthes bonariensis*) living in a setting that shows important environmental changes as Chasicó lake in Buenos Aires province (38°37.380'S- 63°4.735'W). We compared physico-chemical parameters of water (pH, conductivity, ion concentration Ca²⁺, Mg²⁺ y Cl⁻) measured in the lake in 2010 with bibliographic data of 1999, 2003 and 2004 and different morphometric variables of silverside otoliths captured in 1998 and in 2010. The ion concentration of Ca²⁺, Mg²⁺ y Cl⁻ increased between 11% and 90% in the period 1999-2010; the lake reduced its surface 20% in conjunction with a decrease in precipitations. We observed alterations in the distinctive morphological otolith pattern in about 18% of the individuals sampled, like irregular edges and perforations. We found a smaller width-length relation of the otolith for the year 2010 thus, indicating a decrease in its circularity. These morphological variations could be provoked by alterations in calcium carbonate deposition related to an increase in salinity and conductivity due to reduction in the surface of the lake. In conclusion, this study would indicate that morphology and morphometry of otoliths reflect environmental stress.

KEY WORDS: Otolith, *Odontesthes bonariensis*, environmental stress, Chasicó lake.

PALABRAS CLAVE: Otolito, *Odontesthes bonariensis*, estrés ambiental, laguna Chasicó.

INTRODUCCIÓN

Los otolitos de los peces teleósteos son cuerpos policristalinos compuestos principalmente por carbonato de calcio precipitado en forma de aragonita y pequeñas cantidades de otros minerales inmersos dentro de una matriz orgánica (Gauldie, 1993; Campana, 1999). El agregado de calcio es un proceso

extracelular que se encontraría regulado hormonalmente e influenciado por variaciones en la temperatura ambiental (Morales-Nin, 1998). Los otolitos poseen una morfología específica para cada especie (Hecht, 1987; Volpedo & Echeverría, 1997; Tombari *et al.*, 2000; Tuset *et al.*, 2008) y son conservativas, ya que el material que los compone no se reabsorbe ni altera (Casselmann, 1987).

En años recientes se comprobó que los otolitos reflejan en su morfología, morfometría y en algunos casos en su composición química, el ambiente que los peces frecuentan (Lombarte & Cruz, 2007; Ma *et al.*, 2008; Volpedo *et al.*, 2008; Volpedo & Fuchs, 2010). Sin embargo aún no se ha establecido si los cambios ambientales sustanciales (salinidad y superficie del cuerpo de agua por ejemplo) pueden ser reflejados por esta estructura. En este contexto se analizó la morfología y morfometría del otolito *sagitta* del pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) en un medio que presentó cambios ambientales importantes como es la laguna Chasicó en la Provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El cuerpo de agua seleccionado para este estudio es la laguna Chasicó, ya que presenta importantes variaciones de salinidad/conductividad y de superficie relacionadas a las precipitaciones locales y tal vez al fenómeno del niño, aunque esto último no está del todo claro (Kopprio *et al.*, 2010). La laguna está localizada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina), en una zona de transición entre la región Pampeana y la Patagonia ($38^{\circ}37.380'S$ - $63^{\circ}4.735'O$) (Fig. 1). Es el cuerpo de agua léntico con menor elevación respecto del nivel del mar (-20 m) de Sudamérica y pertenece a un sistema endorreico con un solo afluente, el arroyo Chasicó. La laguna presenta ciclos de sequías e inundaciones. Kopprio y colaboradores (2010), han señalado que en el año 1963 era prácticamente una salina con 3100 ha y una salinidad cercana a 100 g/L, mientras que en 1980, debido a una gran crecida, incrementó su superficie hasta alcanzar 12000 ha y redujo su salinidad a 20 g/L. En los últimos 2 años, nuestro equipo de trabajo ha observado

una disminución de la superficie del cuerpo de agua a menos de 7000 ha y una salinidad aproximada de 27 g/L. Este cuerpo de agua posee una importante población de pejerreyes, la cual habría ingresado a la laguna posiblemente durante una de las grandes crecidas a través de su único afluente, el arroyo Chasicó (Tsuzuki *et al.*, 2000; Kopprio *et al.*, 2010). Esta población de peces se sustenta por la importante oferta alimenticia de zooplancton presente que le permite mantener biomásas superiores a 27 kg/ha y un potencial extraíble (longitud mayor a 245 mm) de 36 toneladas anuales o 4,95 kg/ha/año (Berasain *et al.*, 2007).

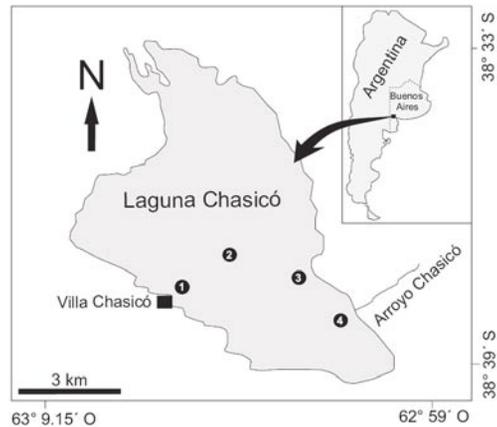


Figura 1. Ubicación geográfica de la laguna Chasicó. Los números indican los sitios donde se colectaron las muestras de agua y se capturaron los peces en el año 2010.

Morfología y morfometría de los otolitos

Se capturaron 46 ejemplares en agosto de 2010 mediante pesca embarcada con caña de acuerdo a la normativa vigente. Se registró la longitud total (LT) en mm de los ejemplares.

Los otolitos se extrajeron, ilustraron y fotografiaron. Se registraron los siguientes caracteres morfométricos sobre las imágenes de los otolitos *sagittae* derechos, ya que no existen diferencias morfométricas significativas entre el par (Tombari, 2008): largo de otolito (LO),

ancho del otolito (AO), área del *sulcus* (AS) y área del otolito (AT) con un microscopio estereoscópico con error menor a 0,01 mm, y con un programa de análisis de imágenes (ImagenPro®). Se calcularon los siguientes índices: largo del otolito/talla del pez (LO/LT), ancho del otolito/talla (AO/LT), ancho/largo del otolito (AO/LO), que determina la tendencia a la circularidad en la forma del otolito (Volpedo *et al.*, 2008) y área del *sulcus*/área total (AS/AT), que representa la superficie relativa del *sulcus* (estructura asociada a la superficie de contacto de la mácula nerviosa).

Las relaciones morfométricas entre las dimensiones del otolito y la talla del pez obtenidas para los ejemplares capturados en 2010 se compararon mediante ANCOVA (Zar, 1999) con relaciones calculadas para otolitos de pejerreyes de la laguna Chasicó capturados en agosto de 1998 (N=21), que se encuentran depositados en la colección de otolitos de la Universidad de Buenos Aires (COLV-UBA). Se verificaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad respectivamente (Sokal & Rohlf, 1995; Zar, 1999).

Parámetros físico-químicos del agua

En agosto de 2010 se colectaron 4 muestras de agua de la laguna y se registró *in situ*

la temperatura, el pH y la conductividad (CON) mediante equipos Hanna HI9025, Hanna HI9033W y HI9142. Los sólidos totales disueltos (STD) se estimaron mediante la ecuación $STD = CON * 0,7$. La dureza total y los cloruros totales se determinaron utilizando métodos estandarizados (APHA, 1993). Los valores de los parámetros físico-químicos del agua estudiados se compararon con los presentes en la literatura para el mes de agosto de 1999 (Lenicov *et al.*, 1999) y el período 2003-2004 (Torres, 2009).

RESULTADOS

Morfología y morfometría de los otolitos

Se observan alteraciones en el patrón morfológico distintivo de la especie en aproximadamente 18% de los ejemplares. Dichas alteraciones se presentan en la cara interna y externa, diferenciándose del patrón específico de la especie (Fig. 2) para la laguna de Chasicó.

Las alteraciones morfológicas observadas consistieron en la presencia de concreciones calcáreas distribuidas heterogéneamente, particularmente en la cara dorsal del otolito (Fig. 2, a y b). En algunos casos, estas conspicuas concreciones dejan espacios en el oto-

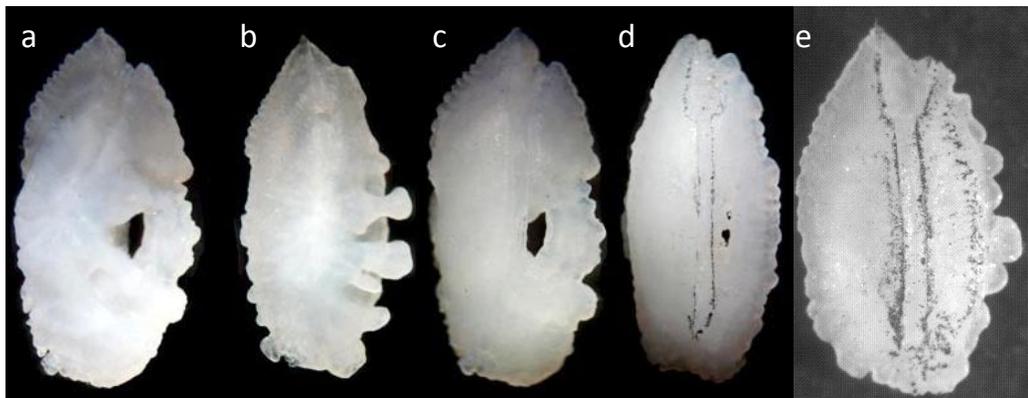


Figura 2. Morfología de otolitos *sagittae* de distintos ejemplares de pejerrey (A = 22X). a-d; otolitos con alteraciones morfológicas de la laguna Chasicó (2010): a y b, cara externa, c y d, cara interna. e; patrón morfológico típico del otolito del pejerrey de Chasicó (1998).

lito formando orificios que conectan la cara externa con la interna (Fig. 2, a y c).

Las variables LO/LT, AO/LT, AO/LO y AS/AT presentaron una relación lineal ($y=ax+b$) significativa ($p<0,0001$) (Fig. 3 y Tabla 1). Se hallaron diferencias significativas entre las pendientes de la relación AO/LO de los ejemplares capturados en 2010 con respecto a los de 1998 (Tabla 1), pero el resto de relaciones estudiadas no presentó diferencias entre las pendientes. Analizando las ordenadas al origen de todas las relaciones se observa que las mismas presentan diferencias significativas (Tabla 1).

Parámetros físico-químicos del agua

Los parámetros que presentaron mayor variación entre los periodos estudiados fueron la conductividad y los sólidos totales disueltos. La concentración del ion Ca^{2+} se incrementó en un 24% en 2005 respecto del año 1999, mientras que en 2010 se observaron valores ligeramente superiores a 1999 (Tabla 2). Sin embargo, se produjo un incremento de la concentración del ion Ca^{2+} del 60% en 2004 respecto del año 2003. Si bien el ion Mg^{2+} se mantuvo relativamente constante en el periodo 2003-2004, en 2010 se incrementó

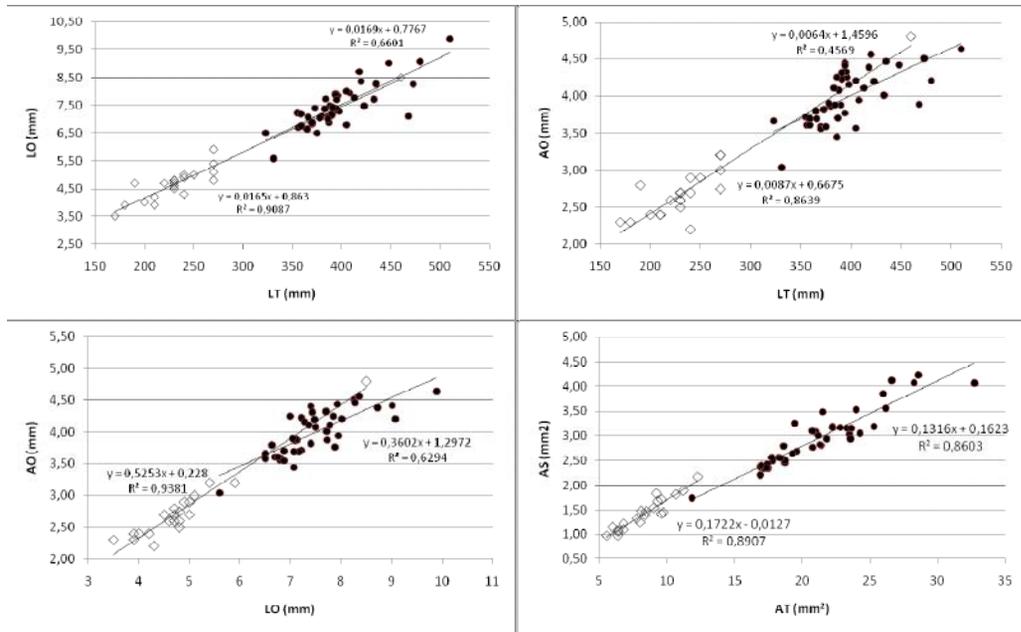


Figura 3. Relaciones lineales entre las variables LO/LT (a), AO/LT (b), AO/LO (c) y AS/AT (d) en los diferentes periodos estudiados ($p<0,0001$), $N_{(1998)}=21$ y $N_{(2010)}=46$.

Tabla 1. Resultados del ANCOVA entre los parámetros de las rectas de regresión de las relaciones morfométricas de los otolitos de 1998 y 2010. a: pendiente, b: ordenada al origen, * diferencias significativas ($p<0,05$).

	a			b		
	1998	2010	p	1998	2010	p
LO/LT	0,160	0,160	0,870	0,860	0,770	<0,001*
AO/LT	0,087	0,063	0,098	0,660	1,450	<0,001*
AO/LO	0,520	0,360	0,006*	0,220	1,290	<0,001*
AS/AT	0,170	0,130	0,090	-0,010	0,160	<0,001*

en un 90% respecto del año 1999. El ion Cl⁻ también se mantuvo relativamente constante en el periodo 2003-2004, pero se incrementó un 30% en 2010 respecto del año 1999.

Por otro lado la superficie de la laguna disminuyó un 20% aproximadamente desde el periodo 2003-2004 al año 2010 (Tabla 2), coincidiendo con la disminución de las precipitaciones, ya que durante el periodo 2003-2004 estuvieron entre 590 a 950 mm y en 2010 en 468 mm según la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional (estación meteorológica N° 221 38°23.011'S - 63°14.838'O, 2000-2010).

teraciones en la deposición de carbonato de calcio que posiblemente estén relacionadas con el estrés causado, al menos en parte, por el importante cambio que sufrió la laguna en la última década, dado principalmente por el incremento de la conductividad (y por ende salinidad) y por la reducción de la superficie del espejo de agua.

Las variaciones morfométricas se reflejan en la relación AO/LO, la cual tuvo un valor menor para el año 2010 comparativamente con la determinada para los otolitos de los ejemplares capturados en 1998, lo que indicaría la disminución en la circularidad

Tabla 2. Comparación de los parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna Chasicó. (1) Extraído de Lenicov et al. (1999) y (2) Extraído de Torres (2009).

	1999 ¹	2003 ²	2004 ²	2010
pH	8,84	8,64	8,7	8,75
Salinidad (g/L)	-	16,48	18,9	27,16
Conductividad (mS/cm)	30	25,2	27	38,80
Cl ⁻ (meq/L)	296	244,8	248,1	383
Ca ²⁺ (meq/L)	4,2	3,2	5,2	4,68
Mg ²⁺ (meq/L)	26	40	38,1	49,42
Superficie (ha)	-	8500	8000	6820

DISCUSIÓN

Se han observados malformaciones y cambios en la química de los otolitos de otros taxa (Brown & Severin, 1999; Sweeting et al., 2004; Ma et al., 2008). Ma et al. (2008) describen otolitos de *Plecoglossus altivelis* anormales prácticamente translúcidos y con bordes irregulares, lo que asociaron al reemplazo de vaterita por aragonita, causada, en principio, por el estrés que sufren estos peces al migrar del agua salada a la dulce. En la laguna Chasicó, la morfología y morfometría de los otolitos de los pejerreyes, reflejarían los cambios en los parámetros físico-químicos del agua. Dichas variaciones morfológicas podrían ser producidas por al-

del otolito. Dichos cambios podrían estar asociados a las variaciones diferenciales en la precipitación del carbonato de calcio, el cual se depositaría en mayor medida en el eje longitudinal de la *sagitta*. Además, hay que considerar que también puede haber en el presente una población de pejerreyes de origen mixto, producto de la entrada de especímenes desde otros cuerpos de agua por medio del arroyo Chasicó en el periodo de inundaciones (Tsuzuki et al., 2000; Kopprio et al., 2010) y del aporte de ejemplares de la piscicultura local (obs. personal). El crecimiento del otolito, en relación a las otras variables morfométricas estudiadas (LO/LT, AO/LT y AS/AT) no evidenció relevantes diferencias por lo que esta característica estaría

regulada por factores endócrinos propios de la especie que serían conservativos a lo largo del tiempo.

En la última década se redujo la superficie de la laguna de Chasicó sustancialmente, situación que provocó el incremento de la salinidad y de la concentración de los iones Mg^{2+} , Ca^{2+} y Cl^- . Si bien la población de pejerrey no habría disminuido su abundancia (Berasain *et al.*, 2007), se observaron anomalías a nivel de la morfología del otolito *sagitta* (en un valor próximo al 20%) y cambios estadísticamente significativos en cuanto a los índices morfométricos estudiados. Esto parecería indicar que la morfología y morfometría de los otolitos refleja en parte el estrés ambiental. Por este motivo, concluimos que este tipo de estudios contribuye a generar conocimiento que constituye una herramienta potencial en la evaluación del estrés ambiental, con vistas a un manejo sustentable de los recursos pesqueros, en particular, en los futuros escenarios relacionados al cambio climático que se pronostica para la zona de estudio.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Buenos Aires (FVET y FCEN), a CONICET y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por el financiamiento de este trabajo. Al establecimiento Chapalco Ray por el apoyo logístico. A la Vet. L. Puntoriero por la determinación de los iones mayoritarios en las muestras de agua. A los anónimos revisores por sus valiosos comentarios.

BIBLIOGRAFÍA

- APHA. 1993. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17^a ed. Edic. Díaz de Santos S. A.
- Berasain, G., F. Argemi y D. Padín. 2007. Campaña de relevamientos limnológicos e ictiológicos. Dirección de Desarrollo Pesquero, Ministerio de Asuntos Agrarios, Provincia de Buenos Aires. Inf. Técnico N° 18, 20 pp.
- Brown, R. y K. Severin. 1999. Elemental distribution within polymorphic inconnu (*Stenodus leucichthys*) otoliths is affected by crystal structure. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 56:1898-903.
- Campana, S. E. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. Marine Ecology Progress Series, 188: 263-297.
- Casselman, J. M. 1987. Growth and relative size of calcified structures of fish. Transactions of the American Fisheries Society, 119: 673-688.
- Gauldie, R. W. 1993. Polymorphic crystalline structure of fish otoliths. Journal of morphology, 218: 1-28.
- Hecht, T. 1987. A guide to the otoliths of Southern Ocean fishes. South African Journal of Antarctic Research, 17(1): 2-86.
- Kopprio, G. A., R. H., Freije, C. A. Strüssmann, G. Kattner, M. S. Hoffmeyer, C. A. Popovich y R. J. Lara. 2010. Vulnerability of pejerrey *Odontesthes bonariensis* populations to climate change in pampean lakes of Argentina. Journal of Fish Biology, 77: 1856-1866
- Lenicov, M. R., G. D. Toffani, N. R. Vanzato, G. Berasain y D. C. Colautti. 1999. Campaña de relevamientos limnológicos e ictiológicos. Dirección de Desarrollo Pesquero, Ministerio de Asuntos Agrarios, Provincia de Buenos Aires. Inf. Técnico N° 21, 18 pp.
- Lombarte, A. y A. Cruz. 2007. Otolith size trends in marine fish communities from different depth strata. Journal of Fish Biology, 71 (1): 53-76.
- Ma, T., M. Kuroki, M. J. Miller, R. Ishida y K. Tsukamoto. 2008. Morphology and microchemistry of abnormal otoliths

- in the ayu, *Plecoglossus altivelis*. Environmental Biology of Fishes, 83: 155-167.
- Morales-Nin, B. Y. O.** 1998. Daily increments in otoliths: endogenous and exogenous growth regulation. 2nd International Symposium on Fish Otolith Research and Application Radisson SAS Royal Bryggen, Bergen, 5 pp.
- Sokal, R. R. y F. J. Rohlf.** 1995. Biometry: The principles and practice of statistics in biological research. 3^o ed., W. H. Freeman and Company, 887 pp.
- Sweeting, R. M., R. J. Beamish y C. M. Neville.** 2004. Crystalline otoliths in teleosts: comparisons between hatchery and wild coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in the Strait of Georgia. Reviews of Fish Biology and Fisheries, 14:361-369.
- Tombari, A.** 2008. Sistemática de Atherinopsidae de la República Argentina, utilizando caracteres morfológicos con énfasis en el otolito *sagitta*. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 152 pp.
- Tombari, A., A. V. Volpedo y D. D. Echeverría.** 2000. Patrones morfológicos en la *sagitta* de peces (Atherinidae: *Odontesthes*) de Argentina. Revista de Ciencias del Mar Thalassas, 16: 11-19.
- Torres, N.** 2009. Evaluación de la calidad del agua de los recursos hídricos superficiales de la cuenca del arroyo Chasicó; Sudoeste bonaerense. Seminario de procesos fundamentales físico-químicos y microbiológicos, especialización y maestría en medio ambiente, laboratorio de química F.R. Bahía Blanca, U.T.N., 18 pp.
- Tsuzuki, M., H. Aikawa, C. Strüssmann y F. Takashima.** 2000. Comparative survival and growth of embryos, larvae, and juveniles of pejerrey *Odontesthes bonariensis* and *O. hatcheri* at different salinities. Journal of Applied Ichthyology, 16: 126-130.
- Tuset, V. M., A. Lombarte y A. C. Assis.** 2008. Otolith atlas for the Western Mediterranean, North and central eastern Atlantic. Scientia Marina, 72(1): 7-198.
- Volpedo, A. V. y D. D. Echeverría.** 1997. Morfología de las *sagittae* de lenguados del Mar Argentino (*Botbidae*, *Paralichthyidae* y *Achiropssettidae*). Revista de Ciencias del Mar Thalassas, 13: 113-126.
- Volpedo, A., A. Tombari y D. D. Echeverría.** 2008. Ecomorphological patterns in otoliths of Antarctic fish. Polar Biology, 31(5): 635-640.
- Volpedo, A. V. y D. V. Fuchs.** 2010. Ecomorphological patterns of the *lapilli* of Paranoplatense Siluriforms (South America). Fisheries Research, 102: 160-165.
- Zar, J. H.** 1999. Biostatistical Analysis. Fourth Edition. Prentice Hall, 929 pp.