



NOTE

Morfología de los otolitos *sagitta*, *lapillus* y *asteriscus* de *Genidens barbatus* de distribución patagónica

MARÍA C. GONZÁLEZ DUBOX^{1,*}, SOFÍA CÓRDOBA GIRONDE¹, LAURA S. LÓPEZ GRECO² y ANDREA D. TOMBARI¹

¹Laboratorio de Contaminación Ambiental (CIT Río Negro-CONICET), Sede Atlántica, Universidad Nacional de Río Negro, Rotonda Cooperación y RP N° 1, 8500 - Viedma, Argentina. ²Instituto de Biodiversidad y Biología Experimental y Aplicada (IBBEA) (UBA-CONICET) - Laboratorio de Biología de la Reproducción y el Crecimiento de Crustáceos Decápodos, Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires (UBA), Ciudad Universitaria, C1428EGA - Buenos Aires, Argentina. ORCID *María D. González Dubox*  <https://orcid.org/0000-0002-8347-5911>, *Laura S. López Greco*  <https://orcid.org/0000-0003-2921-497X>



RESUMEN. Los otolitos son estructuras de carbonato de calcio, depositado en forma de aragonita, ubicados en el oído interno de peces óseos. En los últimos años se han convertido en una herramienta útil para la determinación de especies ícticas, estudios de edad, contenidos tróficos, identificación de *stocks* pesqueros. El objetivo del presente trabajo fue describir la morfología de los tres pares de otolitos del bagre marino *Genidens barbatus* de distribución patagónica. Se analizaron los otolitos de ejemplares obtenidos en cuatro puntos de muestreo en el Río Negro. Se observó que los otolitos presentan el patrón morfológico general propuesto para Siluriformes, donde los *lapilli* son los más grandes y robustos de los tres. El *lapillus* presentó forma redondeada, elevación pronunciada en posición central, sulcus delimitado, pero poco evidente, sin evidencia de sulcus menor. La *sagitta* es claviforme, con región posterior cónica alargada, alas dorsales que se continúan como expansiones laterales denominadas alas basales y presencia de fisura. El *asteriscus* tiene forma auricular, abertura mediana, rostro corto aguzado, antirrostró poco desarrollado y fosa acústica poco curva. En este trabajo se describen por primera vez los otolitos *sagitta* y *asteriscus* para la especie *G. barbatus*, completando así la descripción de los tres pares.

Palabras clave: Bagre marino, *stock*, Siluriformes, migración.



Morphology of *sagitta*, *lapillus* and *asteriscus* of Patagonian *Genidens barbatus*

*Correspondence:
mcgonzalezdubox@unrn.edu.ar

Received: 14 September 2022
Accepted: 24 November 2022

ISSN 2683-7595 (print)
ISSN 2683-7951 (online)

<https://ojs.inidep.edu.ar>

Journal of the Instituto Nacional de
Investigación y Desarrollo Pesquero
(INIDEP)



This work is licensed under a Creative
Commons Attribution-
NonCommercial-ShareAlike 4.0
International License

ABSTRACT. Otoliths are calcium carbonate structures, deposited as aragonite, located in the inner ear of bony fish. In recent years, they have become a useful tool for the determination of fish species, trophic content, age studies, and the identification of fish stocks. The objective of this work was to describe the morphology of the three pairs of otoliths of the marine catfish *Genidens barbatus* of Patagonian distribution. Otoliths of specimens obtained at four sampling points in the Negro River were analyzed. It was observed that otoliths presented the general morphological pattern proposed for Siluriformes, where *lapilli* are the largest and most robust of the three. *Lapillus* presented a rounded shape, a pronounced elevation in the central position, a delimited sulcus, but not very evident, without evidence of a minor sulcus. The *sagitta* is claviform, with an elongated conical posterior region, dorsal wings that continue as lateral expansions called basal wings, and the presence of a fissure. The *asteriscus* has an ear shape, a median opening, a short pointed rostrum, a poorly developed anti-rostrum and a slightly curved acoustic fossa. In this work, *sagitta* and *asteriscus* otoliths were described for the first time for the species *G. barbatus*, thus completing the description of the three pairs.

Key words: Marine catfish, *stock*, Siluriformes, migration.

Los otolitos *lapillus*, *asteriscus* y *sagitta* son cuerpos policristalinos compuestos principalmente por carbonato de calcio precipitado en forma de aragonita, ubicados en el aparato vestibular, dentro del oído interno (Campana 1999) en tres vesículas denominadas utrículo, lagena y sáculo, respectivamente (Schulz-Mirbach y Reichenbacher 2006) (Figura 1). Se encuentran asociados a las funciones de audición y equilibrio (Popper y Lu 2000; Popper et al. 2005). Su estructura, composición y morfología están fuertemente influenciadas por el medio ambiente y el hábitat de los peces (Morales Nin et al. 2000; Longmore et al. 2011; Cañas et al. 2012; Avigliano y Volpedo 2013; Avigliano et al. 2014, 2015, 2017; Vieira et al. 2014; Hermann et al. 2021), por lo que son utilizados como indicadores para detectar cambios en las condiciones del hábitat (Campana 1999, 2005), para identificar especies a través de sus características morfológicas y morfométricas (Morales-Nin 1998; Tuset et al. 2008; Fortunato et al. 2017), y para la determinación de *stocks* pesqueros (Campana et al. 2000; Volpedo y Echeverría 2001; Ferguson et al. 2011; James et al. 2014). Adicionalmente, se emplea su potencial morfoespecífico (Adams 1940) en estudios sobre la dieta de depredadores piscívoros y composición de tramas tróficas (Pierce et al. 1991; Tollit et al. 1997; Ruiz et al. 2019; Assis et al. 2020).

En la mayoría de los estudios sobre peces óseos se utiliza con frecuencia el otolito *sagitta* por ser el de mayor tamaño (Panfili et al. 2009). Sin embargo, dentro del Superorden Ostariophysi (Silurophysi), los otolitos *lapilli* son los de mayor tamaño (Assis 2005; Diogo 2014; Maciel et al. 2018).

Actualmente, existe un escaso conocimiento sobre la morfología y morfometría de otolitos de Siluriformes, que se limitan a la descripción del otolito *lapillus* debido a su tamaño (Fuchs 2008; de Carvalho et al. 2014; Volpedo et al. 2017). En menor medida existen trabajos sobre los tres pares de otolitos para las familias Pangasidae,

Doradidae, Pimelodidae, Trichomycteridae, Callichthyidae y Loricariidae (Tilak 1963; Martínez y Monasterio de Gonzo 1991; Sánchez y Martínez 2017). En el caso de la Familia Ariidae, solo se conoce el trabajo de Ore Villalba (2017) en el que describen morfológicamente los tres pares de otolitos para las especies *Galeichthys peruvianus* (Lütken, 1874) y *Bagre panamensis* (Gill, 1863). Ariidae es una familia diversa ampliamente distribuida en aguas cálidas templadas y frías, como es el caso de *Genidens barbatus* (Lacepède, 1803), especie que presenta una de las mayores distribuciones para peces óseos registradas desde Maracaibo, Venezuela (Anonymous 2000) hasta el sur de Chile (Mendonça et al. 2017). Esta especie, eurihalina y migratoria, tiene un alto valor comercial en Brasil, siendo su población muy explotada por la pesca artesanal, constituyendo una categoría de “especie en peligro” (Mendonça et al. 2017). En cambio, esta especie no constituye un recurso económico de gran valor en la Patagonia argentina. A través del análisis químico de los otolitos, se sabe que la población de distribución patagónica representa un *stock* diferente al de Brasil (Avigliano et al. 2020). Por lo expuesto, el objetivo del presente trabajo fue describir por primera vez los caracteres morfológicos de los tres pares de otolitos de *G. barbatus* de distribución patagónica, a los efectos de conocer sus rasgos generales y exclusivos, y aportar al conocimiento de las dietas de sus predadores a partir de su identificación en contenidos estomacales.

Los individuos de *G. barbatus* fueron recolectados entre octubre de 2017 y febrero de 2018 en cuatro puntos a lo largo del Río Negro, Río Negro, Argentina: 1) El Cóndor, 41° 1' 36.240" S-62° 47' 24.743" W; 2) RP1 Km 17, 40° 54' 10.141" S-62° 52' 49.375" W; 3) Viedma, 40° 48' 41.976" S-62° 59' 46.805" W y 4) San Javier, 40° 43' 16.151" S-63° 13' 34.226" W (Figura 2). El muestreo fue realizado con cañas de pesca desde la costa y desde embarcaciones. Los ejemplares fueron transportados y procesados de acuerdo con normas internacionales sobre bienestar animal, en cumplimiento

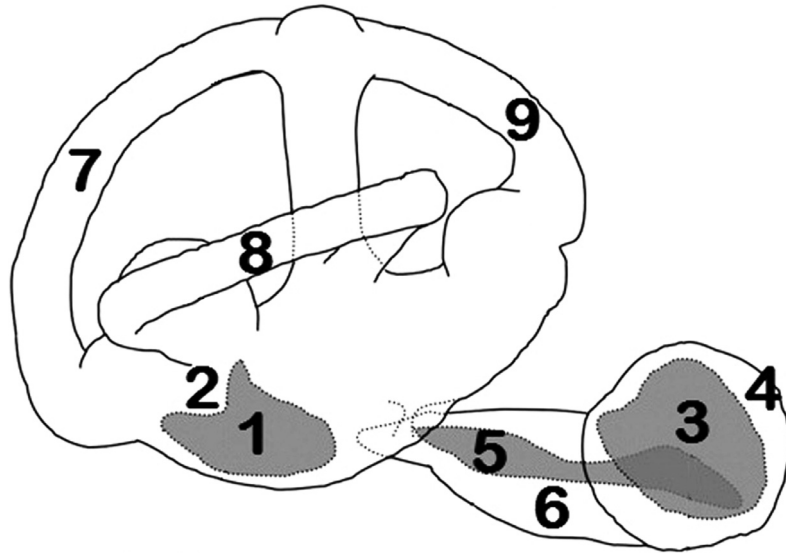


Figura 1. Estructura general de oído interno en Siluriformes. 1: *lapillus*, 2: *utrículo*, 3: *asteriscus*, 4: *lagena*, 5: *sagitta*, 6: *sacculo*, 7: canal antero-vertical, 8: canal horizontal, 9: canal posterior-vertical (extraído de Sánchez y Martínez 2017).

Figure 1. General structure of the inner ear in Siluriformes. 1: *lapillus*, 2: *utricle*, 3: *asteriscus*, 4: *lagena*, 5: *sagitta*, 6: *sacculle*, 7: *antero-vertical canal*, 8: *horizontal canal*, 9: *posterior-vertical canal* (extracted from Sánchez and Martínez 2017).



Figura 2. Sitios de recolección de ejemplares de *Genidens barbatus*.

Figure 2. Collection sites of *Genidens barbatus*.

con los criterios establecidos por la normativa nacional del Comité Nacional de Ética en Ciencia y Tecnología (Argentina). Los ejemplares fueron conservados a -4°C hasta su procesamiento. Los ejemplares se descongelaron al momento de realizar la extracción de los otolitos y se registraron el largo total (LT) y estándar (LST) en mm (error ± 1 mm). Se utilizaron las tallas correspondientes a individuos adultos (entre 430 y 530 mm LT), etapa en que los ejemplares alcanzan su madurez sexual (Mendonça et al 2017) y los otolitos alcanzan su morfología definitiva (Tombari et al. 2005). Posteriormente, se extrajeron y fotografiaron los otolitos derechos de cada uno de los tres pares (Volpedo y Vaz dos Santos 2015). Se utilizó una cámara de alta resolución de 3 MP adosada a una lupa estereoscópica Schönfeld. Para la descripción morfológica, se utilizó la nomenclatura propuesta por Sánchez y Martínez (2017) (Figura 3) y Volpedo et al. (2017). Se describieron la cara interna para *sagitta* y *asteriscus*, y la cara ventral para *lapillus*:

- *Lapillus*: presenta forma oval. El margen superior tiene bordes ligeramente rugosos, mientras que el margen interno es liso. Se observa una proyección en la región antero/ventral que indica el comienzo del sulcus, el cual se encuentra poco desarrollado y limitado a la región anterior del otolito. La elevación (mond) es pronunciada en posición central. Sin evidencia de sulcus menor (Figura 4 A).
- *Asteriscus*: presenta forma auricular, es translúcido y el más pequeño de los tres otolitos. La cara interna está orientada hacia el eje central del cráneo. Presenta una fosa acústica central con un ensanchamiento hacia la región ventro/posterior. En su extremo anterior se observa un antirrostró corto y aguzado, el rostro está poco desarrollado. El margen superior es liso y el inferior es ligeramente rugoso (Figura 4 B).
- *Sagitta*: es claviforme. La región anterior es cónica y la posterior aguzada. Se observan elevaciones centrales correspondientes a las alas

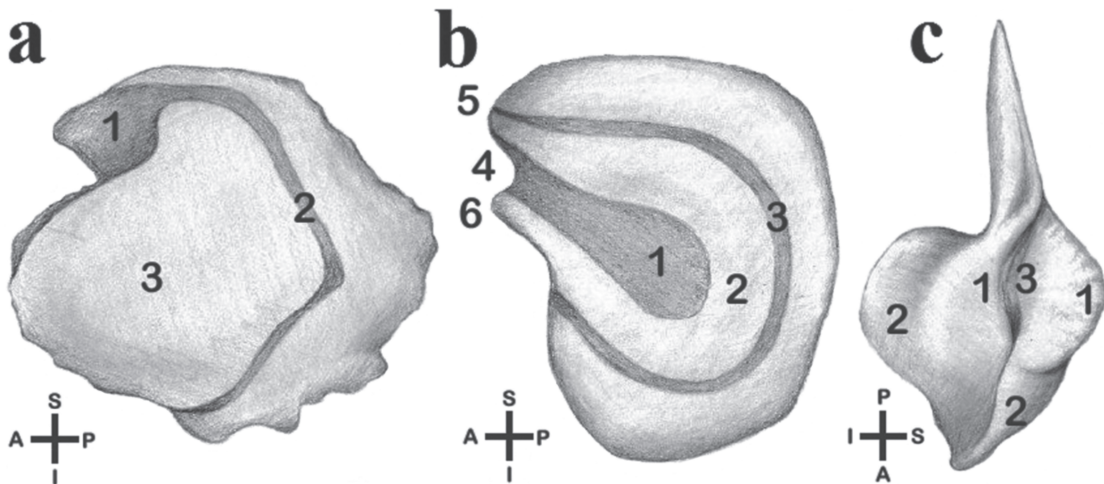


Figura 3. Estructura general y caracteres morfológicos de los tres otolitos de Siluriformes. a) *Lapillus*. 1: sulcus, 2: sulcus menor, 3: elevación. b) *Asteriscus*. 1: fosaacústica, 2: crista, 3: canaliculum, 4: excisión, 5: rostrum, 6: antirrostrum. c) *Sagitta*. 1: ala dorsal, 2: ala basal, 3: fisura. En todos los casos: A: anterior, P: posterior, S: superior, I: inferior. Extraído de de Sánchez y Martínez (2017).

Figure 3. General structure and morphological characters of the three Siluriformes otoliths. a) *Lapillus*. 1: sulcus, 2: minor sulcus, 3: mond. b) *Asteriscus*. 1: fossaacústica, 2: crista, 3: canaliculum, 4: excision, 5: rostrum, 6: antirrostrum. c) *Sagitta*. 1: dorsal wing, 2: basal wing, 3: fissure. In all cases: A: anterior; P: posterior; S: upper; I: lower. Extracted from Sánchez and Martínez (2017).

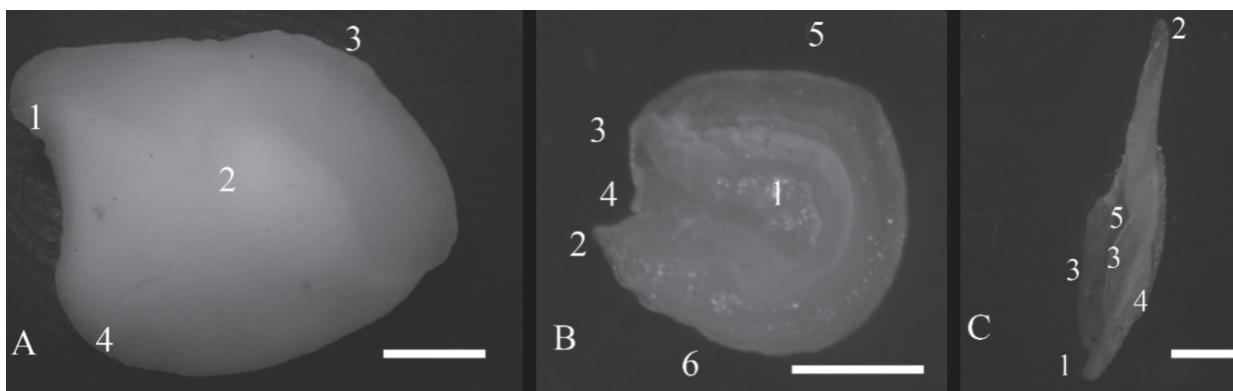


Figura 4. Estructura general y morfología de los tres tipos de otolitos de *Genidens barbatus*. A) *Lapillus* cara ventral, 1: sulcus, 2: elevación, 3: margen superior, 4: margen inferior. B) *Asteriscus* cara interna, 1: fosa acústica, 2: anti-rostrum, 3: rostrum, 4: excisión, 5: borde superior, 6: borde inferior. C) *Sagitta* cara interna, 1: región anterior, 2: región posterior, 3: alas dorsales, 4: ala basal, 5: fisura. Escala: 1,5 mm para *lapillus*, 0,25 mm para *asteriscus* y 0,5 mm para *sagitta* (adaptado de Sánchez y Martínez 2017).

Figure 4. General structure and morphology of the three types of *Genidens barbatus* otoliths. A) *Lapillus* ventral side, 1: sulcus, 2: mond, 3: upper margin, 4: lower margin. B) *Asteriscus* internal face, 1: acoustic fossa, 2: anti-rostrum, 3: face, 4: excision, 5: top edge, 6: bottom edge. C) *Sagitta* internal face, 1: anterior region, 2: posterior region, 3: dorsal wings, 4: basal wing, 5: fissure. Scale: 1.5 mm for *lapillus* (A); 0.25 mm for *asteriscus* (B); and 0.5 mm for *sagitta* (C) (adapted from Sánchez and Martínez 2017).

dorsales. Estas son frágiles, delimitan una fisura bien definida y se continúan como expansiones laterales denominadas alas basales (Figura 4 C).

Se observó la presencia de caracteres comunes para el Orden Siluriformes, como el sulcus en *lapillus*, la fisura en *sagitta* y la fosa acústica en *asteriscus* (Adams 1940; Tilak 1963; Martínez y Monasterio de Gonzo 1991; Volpedo y Fuchs 2010). Asimismo, se identificó una similitud con la morfología general descrita por Sánchez y Martínez (2017) para la Familia Loricariidae, en los cuales puede observarse la *sagitta* claviforme con expansiones laterales que definen una fisura, *asteriscus* auricular y aplanado, y un *lapillus* robusto y de gran tamaño en relación a los otros dos otolitos.

Existe poca información sobre la morfología de los tres otolitos para la Familia Ariidae, siendo los más analizados los *lapillus*, por lo que es difícil establecer un patrón para esta familia. Sin embargo, en referencia a *B. panamensis* (Gill,

1863), se observaron en común las siguientes características: para *lapillus* el margen externo liso y margen interno con una proyección antero/posterior (Maldonado-Coyac et al. 2021); los *asteriscus* comparten el antirrostrum marcado y la fosa acústica central; mientras que para la *sagitta* no se encontraron coincidencias debido a la alta variabilidad que presenta este otolito en los Siluriformes (Sánchez y Martínez 2017). Por otro lado, se observa que los *lapilli* de *G. barbatus* presentan un sulcus poco desarrollado, al igual que para las dos especies de Ariidae, *Cathorops spixii* (Spix y Agassiz, 1829) y *Genidens genidens* (Cuvier, 1829) analizadas por de Carvalho et al. (2014). Adicionalmente, Ore Villalba (2017) hace referencia a dos especies de Ariidae: *B. panamensis* y *G. peruvianus*, en los que se observa la misma relación de tamaños entre los tres tipos de otolitos, siendo el *asteriscus* el más pequeño de los ellos.

Resulta necesario continuar estudiando estos patrones morfológicos y sumar información que permita establecer caracteres distintivos dentro de

la familia, con el fin de facilitar los análisis tróficos, especialmente en la gestión de especies amenazadas y/o de valor económico (Hermann et al. 2021).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con los subsidios PICT(2020-0332) y PI (40-C-807) de la Universidad Nacional de Río Negro, Argentina. Agradecemos a la Lic. Romina Baggio por su aporte en el diseño de las figuras y a los pescadores por su aporte desinteresado.

REFERENCIAS

- ADAMS LA. 1940. Some characteristic otoliths of American ostariophysii. *J Morphol.* 66 (3): 497-527.
- ANONYMOUS. 2000. The ichthyological collection of the Zoological Museum Hamburg (ZMH). Division of Ichthyology and Herpetology, Zoological Museum Hamburg (ZMH).
- ASSIS CA. 2005. The utricular otoliths, *lapilli*, of teleosts: their morphology and relevance for species identification and systematics studies. *Sci Mar.* 69 (2): 259-273. DOI: <https://doi.org/10.3989/scimar.2005.69n2259>
- ASSISI O, DA SILVA VE, SOUTO-VIEIRA D, LOZANO P, VOLPEDO AV, FABRÉN. N. 2020. Eco-morphological patterns in otoliths of tropical fishes: assessing trophic groups and depth strata preference by shape. *Environ Biol Fishes.* 103 (4): 349-361.
- AVIGLIANO E, DOMANICO A, SÁNCHEZ S, VOLPEDO AV. 2017. Otolith elemental fingerprint and scale and otolith morphometry in *Prochilodus lineatus* provide identification of natal nurseries. *Fish Res.* 186: 1-10.
- AVIGLIANO E, MARTINEZ CF, VOLPEDO AV. 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 (1): 55-60.
- AVIGLIANO E, MILLER N, DE CARVALHO BM, GIRONDE SC, TOMBARI A, VOLPEDO AV. 2020. Fin spine metals by LA-ICP-MS as a method for fish stock discrimination of *Genidens barbatus* in anthropized estuaries. *Fish Res.* 230: 105625.
- AVIGLIANO E, SCHENONE N F, VOLPEDO AV, GOESSLER W, CIRELLI AF. 2015. Heavy metals and trace elements in muscle of silverside (*Odontesthes bonariensis*) and water from different environments (Argentina): aquatic pollution and consumption effect approach. *Sci Total Environ.* 506: 102-108.
- AVIGLIANO E, VOLPEDO AV. 2013. Use of otolith strontium: calcium ratio as indicator of seasonal displacements of the silverside (*Odontesthes bonariensis*) in a freshwater-marine environment. *Mar Freshw Res.* 64 (8): 1-6.
- CAMPANA SE. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar Ecol Prog Ser.* 188: 263-297.
- CAMPANA SE. 2005. Otolith science entering the 21st century. *Mar Freshwat Res.* 56 (5): 485-495.
- CAMPANA SE, CHOUINARD GA, HANSON JM, FRETCHET A, BRATTEY J. 2000. Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fish Res.* 46 (1-3): 343-357.
- CAÑÁS L, STRANSKY C, SCHLICKEISEN J, SAMPE-DRO MP, FARIÑA AC. 2012. Use of the otolith shape analysis in stock identification of anglerfish (*Lophius piscatorius*) in the Northeast Atlantic. *ICES J Mar Sci.* 69 (2): 250-256. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fss006>
- DE CARVALHO BM, CORRÊA MF, VOLPEDO A. 2014. *Lapillus* otoliths of the *Cathoropspixii* (Spix & Agassiz, 1829) and *Genidens genidens* (Cuvier, 1829) (Actinopterygii-Ari-

- idae). *Acta Sci Biol Sci.* 36 (3): 343-347.
- DIOGO R. 2014. Morphological evolution, adaptations, homoplasy, constraints, and evolutionary trends. Catfishes as a case study on general phylogeny and macroevolution. Boca Ratón: Science Publishers. 502 p.
- FERGUSON GJ, WARD TM, GILLANDERS BM. 2011. Otolith shape and elemental composition: complementary tools for stock discrimination of mullet (*Argyrosomus japonicus*) in southern Australia. *Fish Res.* 110 (1): 75-83.
- FORTUNATO RC, GONZÁLEZ-CASTRO M, GALÁN AR, ALONSO IG, KUNERT C, DURÀ VB, VOLPEDO A. 2017. Identification of potential fish stocks and lifetime movement patterns of *Mugil liza* Valenciennes 1836 in the Southwestern Atlantic Ocean. *Fish Res.* 193: 164-172.
- FUCHS DV. 2008. Patrones ecomorfológicos del otolito en Siluriformes Parano-Platenses [tesis de licenciatura]. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- HERMANN TW, DUPONCHELLE F, CASTELLO L, LIMBURG KE, PEREIRA LA, HAUSER M. 2021. Harnessing the potential for otolith microchemistry to foster the conservation of Amazonian fishes. *Aquat Conserv: Mar Freshwat Ecosyst.* 31 (5): 1206-1220.
- JAMES PK, DEIRDRE B, RICK A, OFFICER E M. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.03.009>
- LONGMORE C, TRUEMAN CN, NEAT F, O'GORMAN EJ, MILTON JA, MARIANI S. 2011. Otolith geochemistry indicates life-long spatial population structuring in a deep-sea fish, *Coryphaenoides rupestris*. *Mar Ecol Prog Ser.* 435: 209-224.
- MACIEL TR, VAZ-DOS-SANTOS AM, VIANNA M. 2018. Can otoliths of *Genidens genidens* (Cuvier 1829) (Siluriformes: Ariidae) reveal differences in life strategies of males and females? *Environ Biol Fish.* 101: 1589-1598. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10641-018-0804-5>
- MALDONADO-COYAC JA, SÁNCHEZ-CÁRDENAS R, RAMÍREZ-PÉREZ JS, GUEVARA LA, VALDEZ-NÚÑEZ P, PÉREZ-CENTENO A, MALDONADO MD. 2021. Otoliths morphology and age-record in *Bagre panamensis* (Siluriformes: Ariidae) inhabiting at the southeast of Gulf of California. *Lat Am J Aquat Res.* 49 (3): 404-417.
- MARTÍNEZ V, MONASTERIO DE GONZO G. 1991. Clave de identificación de algunos peces siluriformes en base al estudio de sus otolitos. *Rev Asoc Cienc Nat Lit.* 22 (2): 253-263.
- MENDONÇA JT, QUITO L, JANKOWSKY M, BALANIN S, GARRONE-NETO D. 2017. Diagnóstico da pesca do bagre-branco (*Genidens barbuis* e *G. planifrons*) no litoral sudeste-sul do Brasil: subsídios para o ordenamento. *Sér Relat Téc Inst Pesca.* 56: 1-77.
- MORALES-NIN B. 1998. Daily increments in otoliths: endogenous and exogenous growth regulation. 2nd International Symposium on Fish Otolith Research and Application. Bergen.
- MORALES-NIN B. 2000. Review of the growth regulation processes of otolith daily increment formation. *Fish Res.* 46 (1-3): 53-67.
- ORÉ-VILLALBA DO. 2017. Catálogo fotográfico de otolitos de peces marinos y dulceacuícolas del Perú. *Bol Inst Mar Perú.* 32 (2): 136-213.
- PANFILI J, TOMÁS J, MORALES-NIN B. 2009. Otolith microstructure in tropical fish. En: GREEN BS, MAPSTONE BD, CARLOS G, BEGG GA. editores. *Tropical fish otoliths: information for assessment, management and ecology.* Dordrecht: Springer. p. 212-248.
- PIERCE GJ, BOYLE PR, DIACK JSW. 1991. Identification of fish otoliths and bones in feces and digestive tracts of seals. *J Zool.* 224 (2): 320-328.
- POPPER AN, LU Z. 2000. Structure-function relationships in fish otolith organs. *Fish Res.* 46

- (1-3): 15-25.
- POPPER AN, RAMCHARITAR J, CAMPANA SE. 2005. Why otoliths? Insights from inner ear physiology and fisheries biology. *Mar Freshwat Res.* 56: 497-504.
- RUIZ KLN, ESTRELLA AD, LEÓN RKM, ROJAS YT. 2019. Determinación de peces presas consumidos por toninas (*Tursiops truncatus*) que vararon en la Isla del Carmen, Campeche. *Rev Mex Biodivers.* 90 (3): 1-8.
- SÁNCHEZ RO, MARTÍNEZ VH. 2017. Morphological variations of the three otoliths of some species of the family Loricariidae (Ostariophysi: Siluriformes). *Neotrop Ichthyol.* 15 (1): e160058. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20160058>
- SCHULZ-MIRBACH T, REICHENBACHER B. 2006. Reconstruction of Oligocene and Neogene freshwater fish faunas - an actualistic study on cypriniform otoliths. *Acta Palaeontol Pol.* 51 (2): 283-304.
- TILAK R. 1963. Studies on the comparative morphology of the otoliths of Indian Siluroids. *Zool Anz.* 173: 181-201.
- TOLLIT DJ, STEWARD MJ, THOMPSON PM, PIERCE GJ, SANTOS MB, HUGHES S. 1997. Species and size differences in the digestion of otoliths and beaks: implications for estimates of pinniped diet composition. *Can J Fish Aquat Sci.* 54 (1): 105-119.
- TOMBARI AD, VOLPEDO AV, ECHEVERRÍA DD. 2005. Desarrollo de la sagitta en juveniles y adultos de *Odontesthes argentinensis* (Valenciennes, 1835) y *O. bonariensis* (Valenciennes, 1835) de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Teleostei: Atheriniformes). *Rev Chil Hist Nat.* 78 (4): 623-633.
- TUSET VM, LOMBARTE A, ASSIS CA. 2008. Otolith atlas for the western Mediterranean, north and centraleastern Atlantic. *Sci Mar.* 72 (1): 7-198.
- VIEIRA AR, NEVES A, SEQUEIRA V, PAIVA RB, GORDO LS. 2014. Otolith shape analysis as a tool for stock discrimination of forkbeard (*Phycis phycis*) in the Northeast Atlantic. *Hydrobiologia.* 728 (1): 103-110.
- VOLPEDO AV, ECHEVERRÍA DD. 2001. Morfología y morfometría de las sagittae de sciaenidos marinos del norte de Perú. *Bol Soc Biol Concepcion.* 72: 147-154.
- VOLPEDO AV, FUCHS DV. 2010. Ecomorphological patterns of the lapilli of Paranoplatense Siluriforms (South America). *Fish Res.* 102: 160-165.
- VOLPEDO AV, THOMPSON GA, AVIGLIANO E. editores. 2017. Atlas de otolitos de peces de Argentina. Buenos Aires: CAFP-BACAPES. 41 p.
- VOLPEDO AV, VAZ-DOS-SANTOS AM. editores. 2015. Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: INPA, CONICET-UBA. 481 p.