

Otolith and vertebral morphology of marine atherinid species (Atheriniformes, Atherinopsidae) coexisting in the southwestern Atlantic Ocean

Morfología de los otolitos y las vértebras de especies de aterínidos marinos (Atheriniformes, Atherinopsidae) que coexisten en el Océano Atlántico sudoccidental

AD Tombari¹, A Gosztonyi², DD Echeverría¹, AV Volpedo³

¹ Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Intendente Güiraldes, Pabellón II, Ciudad de Buenos Aires, CP 1428, Argentina.

² Centro Nacional Patagónico (CENPAT–CONICET), Blvd. Brown 2915 U9120ACD, Puerto Madryn, Argentina.

³ Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA), Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires, Av. Chorroarín 280, Ciudad de Buenos Aires, CP 1427, Argentina.
E-mail: avolpedo@fvet.uba.ar

ABSTRACT. Studies on marine ecosystems rely on the identification of fish prey species of piscivores (fish, aquatic mammals, and aquatic birds) based on their bones and otoliths. The stomach contents of piscivores show predation on marine atherinids of commercial value; however, their identification is difficult due to the coexistence of these species. The objective of the present study is to propose the use of hard structures (otolith, caudal vertebrae) as a tool for the identification of marine atherinid fishes occurring in the southwestern Atlantic Ocean. Sagittae (200 pairs) were removed from the otic capsules for further examination and measurement. The vertebral column of individuals from each species was also removed for examination. The morphological pattern of the sagitta otoliths of five marine species belonging to the genus *Odontesthes* was consistent with that of the subfamily Atherinopsinae, with these patterns being species specific. In *Odontesthes argentinensis*, *O. platensis*, and *O. smitti*, the caudal vertebrae present an expansion of the haemal arch walls forming a haemal funnel with distinctive morphology, while this characteristic is absent in *O. incisa* and *O. nigricans*. The hard structures used in this study proved to be a useful tool for the correct identification of the atherinids found in the diet of piscivorous species from the southwestern Atlantic Ocean. A key based on the major morphological features of sagittae and hemal arches is provided.

Key words: sagitta, caudal vertebrae, haemal funnel, *Odontesthes*, Atherinopsidae.

RESUMEN. Los estudios de ecosistemas marinos dependen de la identificación de las especies de peces presa de ictiófagos (peces, mamíferos acuáticos y aves acuáticas) por medio de sus huesos y otolitos. El contenido estomacal de los ictiófagos evidencia la presencia de aterínidos marinos de valor comercial como presas; sin embargo, su identificación es difícil por la coexistencia de estas especies. El objetivo del presente estudio es proponer el uso de estructuras duras (otolitos y vértebra caudal) como una herramienta para la identificación de peces aterínidos marinos del Océano Atlántico sudoccidental. Se extrajeron 200 pares de otolitos sagita de las cápsulas óticas para su posterior descripción y medición. La columna vertebral de ejemplares de cada especie también fue extraída para su descripción. El patrón morfológico de los otolitos sagita de las cinco especies marinas de pejerrey pertenecientes al género *Odontesthes* fue consistente con la de la subfamilia Atherinopsinae, aunque cada una posee un patrón específico. En el pejerrey *Odontesthes argentinensis*, *O. platensis* y *O. smitti*, las vértebras caudales presentan una expansión de las paredes de los arcos hemales formando un embudo hemal con morfología distintiva, mientras que esta característica está ausente en *O. incisa* y *O. nigricans*. Las estructuras duras utilizadas en este estudio demostraron servir como herramientas útiles para la identificación correcta de aterínidos presentes en la dieta de ictiófagos del Océano Atlántico sudoccidental. Se presenta una clave basada en las principales características morfológicas de los otolitos sagita y los arcos hemales.

Palabras clave: sagita, vértebra caudal, embudo hemal, *Odontesthes*, Atherinopsidae.

INTRODUCTION

Studies on trophic ecology provide relevant information to formulate hypotheses about regulatory mechanisms in natural communities and are useful for improving the management of species under heavy fishing pressure

INTRODUCCIÓN

Los estudios de ecología trófica generan información relevante para la elaboración de hipótesis sobre los mecanismos regulatorios de las comunidades naturales y resultan de gran valor para el manejo de especies bajo una fuerte

(Koen-Alonso *et al.* 1999). Studies of marine ecosystems rely on the identification of prey species of piscivores based on their bones and otoliths (Hecht 1987, Gosztanyi and Kuba 1996, Volpedo and Echeverría 2000). Otoliths are particularly valuable because they do not undergo calcium resorption (Casselman 1990, Bordino *et al.* 1999, Koen-Alonso *et al.* 1999) and their morphology is species specific (Volpedo and Echeverría 2000).

Analyses of the stomach contents of piscivores such as *Larus dominicanus* and *Phalacrocorax olivaceus* (Silva-Rodríguez *et al.* 2005), pinnipeds, and *Cephalorhynchus commersonii* (Koen-Alonso *et al.* 1999), have revealed different species of *Odontesthes* from the southwestern Atlantic coast. This is the most representative genus of the family Atherinopsidae, comprising 19 species of which 5 are marine: *Odontesthes argentinensis* (Valenciennes 1835), *O. incisa* (Jenyns 1841), *O. nigricans* (Richardson 1848), *O. platensis* (Berg 1895), and *O. smitti* (Lahille 1929). These neritic species are distributed throughout the southwestern Atlantic Ocean, being able to vary their distribution and habitat in the water column (Menni 1984). The distribution of *O. argentinensis* extends from southern Brazil to Rawson, in Chubut, Argentina (García 1987); that of *O. incisa* from the mouth of Patos Lagoon, Brazil, to Golfo Nuevo, Argentina (Cousseau and Perrota 2000); that of *O. nigricans* from Orense, Buenos Aires, to Cape Horn and the Malvinas Islands (Dyer 2000); that of *O. platensis* from the mouth of La Plata River to Golfo Nuevo; and that of *O. smitti* from Mar del Plata, Buenos Aires, to the Beagle Channel and the Malvinas Islands, and in Chile from Tierra del Fuego to Última Esperanza Bay (Dyer 2000).

These economically important species, in particular *O. argentinensis* and *O. incisa*, are targeted by the sport and commercial fishing fleets. Their morphological features have been described in detail based on fresh and complete specimens (García 1987, Piacentino and Torno 1987, Piacentino 1990, Dyer 2000, Cousseau *et al.* 2004). The information provided in these studies, however, cannot be used to identify atherinid prey in the stomach contents of piscivorous predators since only hard structures remain undigested.

Studies on the use of otoliths and vertebrae as tools for identifying silverside species from the southwestern Atlantic Ocean are scarce. The morphological features of *O. incisa* sagittae were analyzed by Mollo (1974) and those of *O. smitti* and *O. argentinensis* by Tombari *et al.* (2000, 2005) and Tombari (2008). In silversides belonging to the tribe Sorgentinini, White (1985) and Dyer (1997) observed that the haemal arches of the caudal vertebrae show lateral expansions forming a haemal funnel. This feature is only found in this tribe.

This paper describes the otolith and vertebral characteristics of five *Odontesthes* species coexisting in the southwestern Atlantic Ocean.

explotación (Koen-Alonso *et al.* 1999). Los estudios de los ecosistemas marinos dependen de la identificación de las especies presa de piscívoros, basada en sus huesos y otolitos (Hecht 1987, Gosztanyi y Kuba 1996, Volpedo y Echeverría 2000). Los otolitos son particularmente valiosos porque no se someten a la reabsorción del calcio (Casselman 1990, Bordino *et al.* 1999, Koen-Alonso *et al.* 1999) y su morfología es característica de cada especie (Volpedo y Echeverría 2000).

El análisis del contenido estomacal de ictiófagos como *Larus dominicanus*, *Phalacrocorax olivaceus* (Silva-Rodríguez *et al.* 2005), pinnípedos y *Cephalorhynchus commersonii* (Koen-Alonso *et al.* 1999) han revelado que predan sobre diferentes especies de *Odontesthes* de la costa del Océano Atlántico sudoccidental. Este género es el más representativo de la familia Atherinopsidae; comprende 19 especies de las cuales 5 son marinas: *Odontesthes argentinensis* (Valenciennes 1835), *O. incisa* (Jenyns 1841), *O. nigricans* (Richardson 1848), *O. platensis* (Berg 1895) y *O. smitti* (Lahille 1929). Estas especies neríticas se distribuyen a lo largo del Océano Atlántico sudoccidental, pudiendo variar su distribución y su hábitat en la columna de agua (Menni 1984). La distribución de *O. argentinensis* se extiende desde el sur de Brasil hasta Rawson, Chubut, Argentina (García 1987). *Odontesthes incisa* se distribuye de la boca de la Laguna de Patos, Brasil, hasta el Golfo Nuevo, en Argentina (Cousseau y Perrota 2000). *Odontesthes nigricans* presenta un ámbito de Orense, Buenos Aires, hasta el Cabo de Hornos y las Islas Malvinas (Dyer 2000). *Odontesthes platensis* se encuentra desde la desembocadura del Río de la Plata hasta el Golfo Nuevo. Por último, la distribución de *O. smitti* se extiende desde Mar del Plata, Buenos Aires, hasta el Canal de Beagle y las Islas Malvinas, y en Chile desde Tierra del Fuego hasta el Seno Última Esperanza (Dyer 2000).

Estas especies son consideradas de importancia económica debido a que son especies blanco de la pesca comercial y deportiva, en especial *O. argentinensis* y *O. incisa*. Sus características morfológicas han sido descritas a detalle con base en especímenes frescos y completos (García 1987, Piacentino y Torno 1987, Piacentino 1990, Dyer 2000, Cousseau *et al.* 2004). Sin embargo, la información generada por estos estudios no resulta útil para identificar atherínidos presa en el contenido estomacal de piscívoros, ya que sólo las estructuras duras son las que se encuentran sin digerir.

Los trabajos que utilizan otolitos y vértebras como herramientas para la identificación de especies de pejerreyes del Océano Atlántico sudoccidental son escasos. Las características morfológicas de los otolitos sagita de *O. incisa* fueron analizados por Mollo (1974) y las de *O. smitti* y *O. argentinensis* por Tombari *et al.* (2000, 2005) y Tombari (2008). La morfología de las vértebras caudales de pejerreyes de la tribu Sorgentinini fue estudiada por White (1985) y Dyer (1997), quienes observaron una expansión de las

MATERIAL AND METHODS

A total of 200 silversides were caught by rod and reel from the shore and by purse seine from boats operating over the Argentine shelf (fig. 1). Sampling data are presented in table 1. The specimens were frozen at -18°C until processing at the laboratory. Silverside species were identified using the keys proposed by García (1987), Dyer (1997), and Cousseau *et al.* (2004).

The total length of each specimen was measured to the nearest millimeter and the sagittae were removed from the otic capsules for further examination and measurement. The inner, outer, and dorsal faces of each right sagitta otolith were photographed with a digital camera attached to a stereomicroscope. The terminology used for the morphological description of the otoliths follows Volpedo and Echeverría (2000) (fig. 2). The maximum length and maximum width of the otolith were measured to the nearest 0.1 mm under a stereomicroscope.

The vertebral column of individuals from each species was removed, cleaned, and stored dry. The total number of vertebrae and the number of vertebrae in each region were recorded for the five species studied. Morphological observations were made on the haemal arches of the first 10–12 caudal vertebrae in lateral view, since these vertebrae can

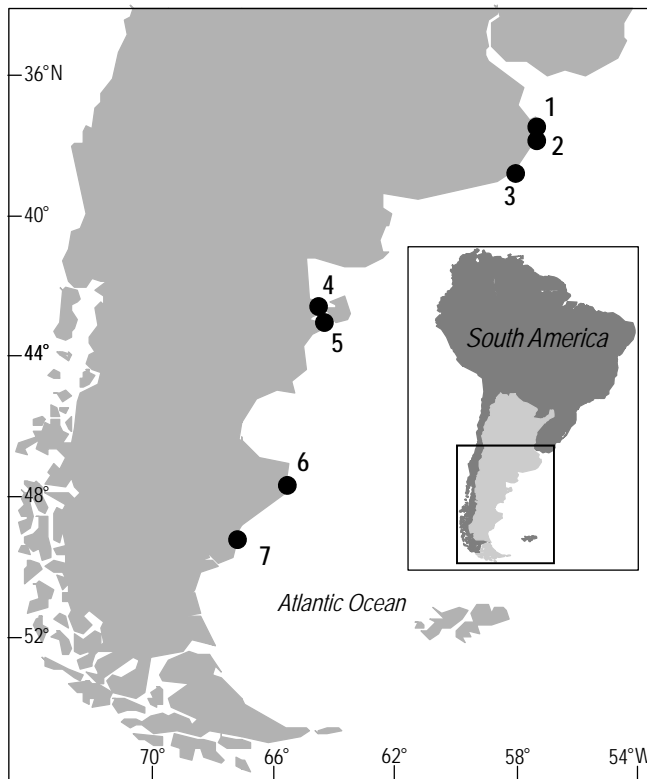


Figure 1. Sampling localities.

Figura 1. Sitios de muestreo.

1. Punta Rasa, 2. Aguas Verdes, 3. Miramar, 4. Puerto Madryn, 5. Playa Unión, 6. Puerto Deseado, 7. Puerto San Julián.

paredes de los arcos hemales formando un embudo hemal, característica exclusiva de esta tribu.

Este artículo describe las características de los otolitos y las vértebras de las cinco especies de *Odontesthes* que coexisten en la costa Atlántica sudoccidental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se capturaron 200 ejemplares de pejerreyes marinos con caña en la costa y con redes de cerco que operaban en el litoral Atlántico argentino (fig. 1). Los datos de muestreo de los ejemplares se presentan en la tabla 1. Los especímenes fueron congelados a una temperatura de -18°C hasta el momento de ser examinados en el laboratorio. Las especies de pejerreyes fueron identificadas utilizando las claves propuestas por García (1987), Dyer (1997) y Cousseau *et al.* (2004).

La longitud total de cada espécimen se registró en milímetros y se extrajeron los otolitos sagita de las cápsulas óticas para su posterior observación y medición. Se fotografiaron las caras interna, externa y dorsal de las sagitas derechas con una cámara digital y un microscopio estereoscópico. La terminología utilizada para la descripción morfológica de los otolitos fue aquella propuesta por Volpedo y Echeverría (2000) (fig. 2). La longitud máxima y el ancho máximo del otolito se midieron a la precisión de 0.1 mm bajo un microscopio estereoscópico.

Se extrajeron, limpiaron y disecaron las columnas vertebrales de los especímenes de cada especie. El número total de vértebras y el número de vértebras de cada región se registraron para cada una de las cinco especies estudiadas. Se

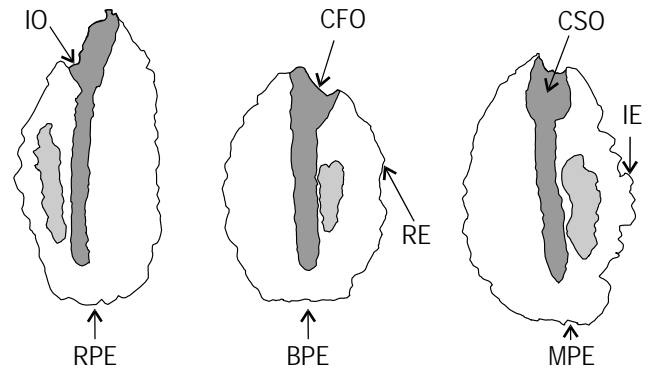


Figure 2. Sagitta terminology (based on Volpedo and Echeverría 2000): BPE = blunt posterior end, CFO = complete funnel-shaped ostium, CSO = cup-shaped ostium, IE = irregular edge, IO = incomplete ostium, MPE = mixed posterior end, RE = regular edge, and RPE = rounded posterior end.

Figura 2. Terminología utilizada para la sagita (basada en Volpedo y Echeverría 2000): BPE = extremo posterior romo, CFO = *ostium* completo en forma de embudo, CSO = *ostium* completo en forma de copa, IE = borde irregular, IO = *ostium* incompleto, MPE = extremo posterior mixto, RE = borde regular y RPE = extremo posterior redondeado.

Table 1. Sampling data for fish collected during the study: *n* = sample size and TL = total length.**Tabla 1.** Datos de muestreo de los ejemplares analizados: *n* = número de ejemplares; TL = longitud total.

Species	Sagittae			Vertebral column		
	TL range (mm)	<i>n</i>	Sampling site	TL range (mm)	<i>n</i>	Sampling site
<i>Odontesthes argentinensis</i>	75–295	66	Punta Rasa (36°18' S, 56°50' W) Miramar (38°16' S, 57°50' W)	290–310	3	Punta Rasa
<i>Odontesthes incisa</i>	58–150	20	Aguas Verdes (36°38' S, 56°41' W)	90–120	10	Aguas Verdes
<i>Odontesthes nigricans</i>	62–136	76	Puerto San Julián (49°17' S, 67°42' W)	90–130	9	Puerto Madryn (42°46' S, 65°02' W)
<i>Odontesthes platensis</i>	133–310	11	Playa Unión (43°19' S, 65°03' W)	120–135	3	Playa Unión
<i>Odontesthes smitti</i>	95–230	27	Puerto Deseado (47°44' S, 65°54' W)	180–220	3	Puerto Madryn

present expansions, and on the haemal arch of the second caudal vertebra in anterior view. The second caudal vertebra was selected to analyze haemal arch morphology because any modifications can easily be observed on this vertebra. The haemal arches were described using the nomenclature proposed by Piacentino and Torno (1987).

Simple linear regression was used to analyze the relationship between the otolith morphometric variables and total length. All data were checked for normality and homoscedasticity using the Lilliefors and Barlett tests, respectively, and log-transformed when necessary (Sokal and Rohlf 1995, Zar 1999).

The sagittae used in this study were deposited in the collection of the Vertebrate Laboratory at the University of Buenos Aires under the nomenclature C.O.L.V.-FCEN-UBA.

RESULTS

The morphological pattern of the sagittae from the five marine species belonging to the genus *Odontesthes* was consistent with that of the subfamily Atherinopsinae (Tombari *et al.* 2005). This pattern is characterized by the following features: inner face with sulcus divided into ostium and cauda; the presence of a depression in the dorsal area in the middle of the dorsal face; and slight undulation of the surface of the outer face, with grooves and folds oriented toward the center.

The total number of vertebrae and the number of both pre-caudal and caudal vertebrae of the five *Odontesthes* species are given in table 2.

In *O. argentinensis*, the sagitta otolith is oblong and elongated, with a smooth and convex inner face, cup-shaped ostium, conspicuous cisure and rostrum, and narrow and

realizaron observaciones morfológicas de los arcos hemales de las primeras 10 a 12 vértebras caudales en vista lateral, ya que estas vértebras pueden presentar expansiones, y del arco hemal de la segunda vértebra caudal en vista frontal. Se seleccionó la segunda vértebra caudal para analizar la morfología del arco hemal por la facilidad de observar las modificaciones presentes en ella. Los arcos hemales fueron descritos utilizando la terminología propuesta por Piacentino and Torno (1987).

Se efectuaron las relaciones funcionales entre las variables morfométricas del otolito y la longitud total mediante regresión lineal simple. Previamente se verificaron los supuestos de normalidad y homoscedasticidad utilizando las pruebas de Lilliefors y Barlett, respectivamente; en el caso de que no se cumplieran, se logaritizaron las variables (Sokal y Rohlf 1995, Zar 1999).

La colección de las sagitas fue depositada en el Laboratorio de Vertebrados de la Universidad de Buenos Aires bajo la denominación C.O.L.V.-FCEN-UBA.

RESULTADOS

El patrón morfológico de las sagitas de las cinco especies marinas pertenecientes al género *Odontesthes* fue consistente con el patrón de la subfamilia Atherinopsinae (Tombari *et al.* 2005). Este patrón se caracteriza por los siguientes rasgos: la cara interna con el sulco dividido en *ostium* y *cauda*, presencia de una depresión areal en la zona media del lado dorsal, superficie de la cara externa ligeramente ondulada, con estrías y pliegues orientados hacia el centro.

El número de vértebras totales, precaudales y caudales de las cinco especies del género *Odontesthes* se resume en la tabla 2.

straight cauda. The posterior end is variable in shape and the outer face is concave (fig. 3a). In the lateral view, contiguous haemal arches are in contact as a result of lateral expansions with anteroposterior orientation, forming a conical funnel that delimits the haemal canal. The first haemal arch shows a slight expansion, which increases progressively in the following seven haemal arches and becomes anvil-shaped in the medial region of the last four haemal arches. The remaining haemal arches of the caudal vertebrae show no expansions. When observed in the anterior view, the second haemal arch is as long as wide, adopting a circular shape; its diameter is about 255% that of the vertebral body and the length of the haemal spine is 50% that of the haemal arch (fig. 4a).

In *O. incisa*, the sagitta otolith is subcircular with a smooth and convex inner face, cup-shaped ostium, conspicuous cisure and rostrum, and wide and straight cauda. The posterior end is rounded and the outer face is concave (fig. 3b). No expansions are observed in the lateral and anterior views of the haemal arches. In the anterior view, the second haemal arch is narrow and delimits a piriform haemal funnel; its diameter is 67% that of the vertebral body and the length of the haemal spine is 50% that of the haemal arch (fig. 4b).

In *O. nigricans*, the sagitta otolith is oblong and has a smooth and slightly convex inner face, cup-shaped ostium, conspicuous cisure and rostrum, small and shallow depression in the dorsal area, and wide and straight cauda. The posterior end is rounded and the outer face is flat or slightly

En *O. argentinensis* la sagita es oblonga y alargada, la cara interna es lisa y convexa, el ostium en forma de copa, la cisura muy marcada y rostro muy evidente, y la cauda es recta y angosta. El extremo posterior es variable en forma y la cara externa es cóncava (fig. 3a). La morfología de los arcos hemales, en vista lateral, presenta expansiones en el sentido anteroposterior, lo que origina el contacto entre los mismos y forma un embudo cónico a lo largo del canal hemal. El primer arco hemal está ligeramente expandido, mientras que en los siguientes siete arcos hemales la expansión incrementa, para luego alcanzar una forma de maza en la mitad del arco hemal de las últimas cuatro vértebras. Las vértebras restantes de la región caudal no presentan expansiones en los arcos hemales y, en vista frontal, la morfología del segundo arco hemal es tan ancho como largo, adoptando una forma circular. Su diámetro representa el 255% del cuerpo vertebral y la longitud de la espina hemal representa el 50% de la longitud del arco hemal (fig. 4a).

Odontesthes incisa tiene un otolito sagita subcircular con la cara interna lisa y convexa, el ostium en forma de copa, la cisura y el rostro evidentes, la cauda ancha y recta, el extremo posterior redondeado y la cara externa cóncava (fig. 3b). En vista lateral y frontal, los arcos hemales no presentan expansiones. En vista frontal, el segundo arco hemal es angosto, delimitando un embudo hemal piriforme, y su ancho representa el 67% del cuerpo vertebral. La longitud de la espina hemal representa el 50% de la longitud del arco hemal (fig. 4b).

Table 2. Number of vertebrae, by species and by region, reported in this study and by other authors.

Tabla 2. Número de vértebras por especie y por región de la columna vertebral reportadas en este trabajo y por otros autores.

Species	Region of the vertebral column	Number of vertebrae		
		Piacentino (1990)	Cousseau <i>et al.</i> (2004)	This study
<i>Odontesthes argentinensis</i>	Pre-caudal	–	–	24–25
	Caudal	–	–	23–24
	Total	–	47–1	48
<i>Odontesthes incisa</i>	Pre-caudal	19–21	20–22	24–25
	Caudal	26–28	–	25–27
	Total	46–49	45–48	49–52
<i>Odontesthes nigricans</i>	Pre-caudal	24–28	22–24	21–23
	Caudal	28–30	–	28–30
	Total	54–56	48–53	49–53
<i>Odontesthes platensis</i>	Pre-caudal	–	–	22–25
	Caudal	–	–	26–27
	Total	–	50–52	48–52
<i>Odontesthes smitti</i>	Pre-caudal	26–29	–	21–25
	Caudal	30–35	–	27–29
	Total	56–62	>53	50–52

convex in contrast to the other studied species, whose posterior end has a concave outer face and a conspicuous depression in the dorsal area (fig. 3c). No expansions are observed in the lateral and anterior views of the haemal arches. In the anterior view, the second haemal arch is narrow and delimits a triangular haemal funnel, whose diameter is 64% that of the vertebral body. The haemal spine is short and its length is 35% that of the haemal arch (fig. 4c).

In *O. platensis*, the sagitta otolith is oblong and elongated, with a smooth and convex inner face, long and incomplete funnel-shaped ostium, conspicuous cisure and rostrum, and narrow and straight cauda. The posterior end is blunt and the outer face is concave (fig. 3d). In the lateral view, the contiguous haemal arches from the second to the eighth caudal vertebrae are in contact because of lateral expansions with anteroposterior orientation; the expansions form a conical funnel delimiting the haemal canal. The first haemal arch does not present expansions and the second one is slightly expanded. The following six caudal vertebrae show progressively wider expansions until adopting an anvil shape in the medial region of the hemal arch. The seventh caudal vertebra shows an anterior expansion in the same position as the former ones, while the remaining caudal vertebrae show no expansions. When observed in the anterior view, the second haemal arch shows a piriform shape; its diameter is 155% greater than that of the vertebral body (fig. 4d).

In *O. smitti*, the sagitta otolith is oblong and has a smooth and convex inner face, ostium of variable shape (cup- or funnel-shaped), conspicuous cisure and rostrum, and narrow and straight cauda curved distally toward the ventral rim. The posterior end is variable in shape (blunt, rounded or mixed), and the outer face is concave (fig. 3e). In the lateral view, the first two caudal haemal arches have no expansions. The haemal arches of the third and fourth caudal vertebrae are irregularly expanded, and those between the fifth and seventh caudal vertebrae show progressively wider expansions until adopting an anvil shape in the medial region. The eleventh caudal vertebra shows a slight anterior expansion, while no expansions are observed in the remaining caudal vertebrae. In the anterior view, the second haemal arch is longer than wider, adopting an ovate shape; its diameter is

En *O. nigricans*, el otolito sagita es oblongo, la cara interna es lisa y ligeramente convexa, el *ostium* en forma de copa, cisura y rostro evidentes, la depresión areal es pequeña y poco profunda, la cauda es ancha y recta. El extremo posterior del otolito es redondeado. La cara externa es plana o presenta una ligera convexidad a diferencia de las otras especies estudiadas, las cuales presentan una cara externa cóncava y una depresión areal conspicua (fig. 3c). Los arcos hemales, en vista lateral, no poseen expansiones y en vista frontal tampoco se observan modificaciones. En vista frontal, el segundo arco hemal es angosto, delimitando un embudo hemal triangular, cuyo ancho representa el 64% del cuerpo vertebral. La espina hemal es corta y su longitud representa el 35 % del arco hemal (fig. 4c).

Odontesthes platensis posee una sagita alargada con cara interna lisa y convexa; *ostium* en forma de embudo, alargado e incompleto; cisura y rostro muy pronunciados; cauda recta y angosta. El extremo posterior es romo y la cara externa es cóncava (fig. 3d). En vista lateral, los arcos hemales contiguos de la segunda a la octava vertebra presentan expansiones en sentido anteroposterior, lo que origina el contacto entre las mismas y estas expansiones forman un embudo cónico a lo largo del canal hemal. El primer arco hemal no presenta expansiones, el segundo está ligeramente expandido y en las siguientes seis vértebras caudales la expansión se incrementa hasta alcanzar una forma de maza en la mitad del arco hemal. La séptima vértebra caudal presenta una expansión anterior en la misma posición que las anteriores. Las restantes vértebras de la región caudal no presentan modificaciones y en vista frontal, la morfología del arco hemal presenta una mayor longitud y diámetro, adoptando un aspecto piriforme. Su ancho supera en 155% al del cuerpo vertebral (fig. 4d).

En *O. smitti*, la sagita es oblonga, con cara interna lisa y convexa; *ostium* de forma variable (copa o embudo); cisura y rostro pronunciado; y cauda angosta, recta, y se curva distalmente hacia el borde ventral. El extremo posterior es variable en forma (romo, redondeado o mixto) y la cara externa es cóncava (fig. 3e).

En vista lateral, los dos primeros arcos hemales no presentan expansiones. Los arcos hemales de la tercera y cuarta vértebra caudal están irregularmente expandidos, y

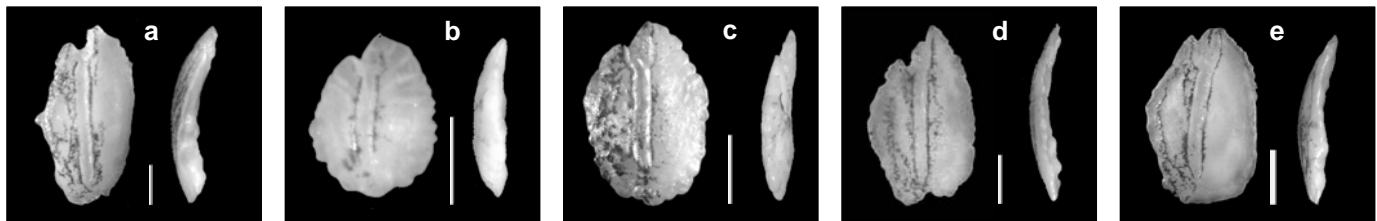


Figure 3. Sagittae of marine silversides: (a) *Odontesthes argentinensis*, (b) *O. incisa*, (c) *O. nigricans*, (d) *O. platensis*, and (e) *O. smitti*. From left to right: internal and dorsal views (scale: 1 mm).

Figura 3. Sagittas de pejerreyes marinos: (a) *Odontesthes argentinensis*, (b) *O. incisa*, (c) *O. nigricans*, (d) *O. platensis* y (e) *O. smitti*. De izquierda a derecha: cara interna y vista dorsal (escala: 1 mm).

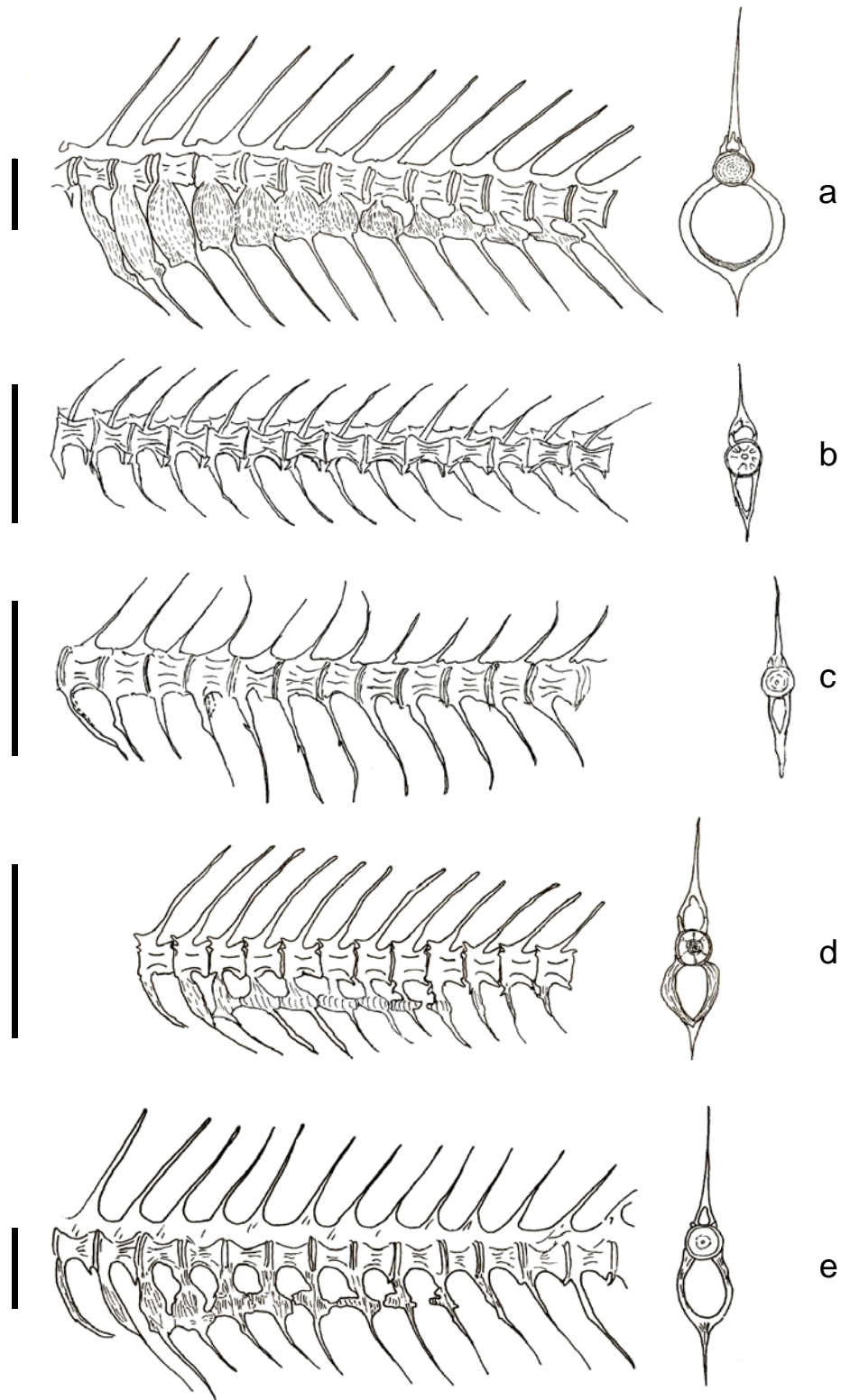


Figure 4. Caudal vertebrae of marine silversides: (a) *Odontesthes argentinensis*, (b) *O. incisa*, (c) *O. nigricans*, (d) *O. platensis*, and (e) *O. smitti*. From left to right: inner and lateral views (scale: 5 mm).

Figura 4. Vértabras caudales de pejerreyes marinos: (a) *Odontesthes argentinensis*, (b) *O. incisa*, (c) *O. nigricans*, (d) *O. platensis* y (e) *O. smitti*. De izquierda a derecha: vista lateral y frontal (escala: 5 mm).

147% that of the vertebral body and the length of the haemal spine is 45% that of the haemal arch (fig. 4e).

Normality and homocedasticity were verified using the Lilliefors and Bartlett tests, respectively ($P > 0.05$). The linear regressions indicated that both the width and length of the sagitta otoliths increase relative to fish size at the same rate in all the species examined; however, the initial otolith size may depend on the species. The regression parameters and the determination coefficients are shown in table 3.

The following key was elaborated based on the major morphological features of the sagittae and haemal arches of adult specimens of five marine species of the genus *Odontesthes* that coexist in the southwestern Atlantic Ocean.

- 1 Sagitta oblong in shape 2
- 1' Sagitta subcircular in shape *Odontesthes incisa*
- 2 Outer face of sagitta slightly convex to flat. Haemal arches of anterior caudal vertebrae without expansions in haemal arches *Odontesthes nigricans*
- 2' Outer face of sagitta concave. Haemal arches of anterior caudal vertebrae expanded (first 8–12 caudal vertebrae), forming a funnel-shaped structure 3
- 3 Sagitta with incomplete ostium. Haemal arches predominantly anvil-shaped (from 2 to 8 caudal vertebrae) *Odontesthes platensis*
- 3' Sagitta with complete ostium. Haemal arches not anvil-shaped (first 10–12 caudal vertebrae) 4
- 4 Sagitta enlarged with conspicuous rostrum and short, cup-shaped ostium. Haemal arches predominantly globose *Odontesthes argentinensis*
- 4' Sagitta without conspicuous rostrum, ostium of variable shape (cup- or funnel-shaped), cauda curved distally toward ventral rim. Haemal arches with irregular variations *Odontesthes smitti*

DISCUSSION

The morphological features of hard fish remains can be used to identify the species consumed by piscivores. In particular, the main characteristics of the sagitta otoliths from the adult specimens of the five *Odontesthes* species analyzed are the general shape, presence of rostrum, shape or type of ostium, shape of cauda and curvature of the inner face, whereas the main characteristic of the caudal region is the type of variation, if present, in the haemal arches. In addition, the length and width of the sagitta proved to be a useful tool to estimate the length of the preyed silversides.

In the present study, the anterior view of the haemal arch of the second caudal vertebra of the silverside species examined is described and illustrated for the first time.

The morphology of the haemal arches in the studied species agreed with the descriptions provided by Piacentino

entre la quinta y hasta la décima vértebra caudal, muestran una progresiva expansión que alcanza la forma de maza, en la mitad de dicho arco. La décimo primera vértebra caudal muestra una ligera expansión anterior y las restantes vértebras caudales, no presentan modificaciones. En vista frontal, el segundo arco hemal es de mayor longitud, adoptando una forma oval, cuyo diámetro es el 147% del cuerpo vertebral; la longitud de la espina hemal representa el 45% de la longitud del arco hemal (fig. 4e).

La normalidad y homocedasticidad fueron verificadas mediante las pruebas de Lilliefors y Bartlett, respectivamente ($P > 0.05$). Las regresiones lineales efectuadas evidenciaron que el ancho y el largo de los otolitos sagita se incrementan en relación a la talla del pez de todas las especies examinadas a una misma velocidad de crecimiento; sin embargo, el tamaño inicial del otolito puede depender de las especies. Los parámetros de regresión y los coeficientes de determinación se muestran en la tabla 3.

La siguiente clave se elaboró con base en las principales características morfológicas de los otolitos sagita y arcos hemales de especímenes adultos de las cinco especies marinas del género *Odontesthes* que coexisten en el Océano Atlántico sudoccidental:

- 1 Sagita de forma oblonga 2
- 1' Sagita de forma subcircular *Odontesthes incisa*
- 2 Cara externa de la sagita ligeramente convexa a plana. Vértebras caudales anteriores sin expansiones en los arcos hemales *Odontesthes nigricans*
- 2' Cara externa de la sagita cóncava. Vértebras caudales anteriores con arcos hemales expandidos (primeras 8–12 vértebras caudales), formando un embudo 3
- 3 Sagita con *ostium* incompleto. Predominio de arcos hemales en forma de maza (desde la vértebra caudal 2 hasta la 8) *Odontesthes platensis*
- 3' Sagita con *ostium* completo. Los arcos hemales no presentan forma de maza (10–12 primeras vértebras caudales) 4
- 4 Sagita alargada, con rostro prominente, *ostium* corto y en forma de copa. Predominio de arcos hemales globosos *Odontesthes argentinensis*
- 4' Sagita sin rostro prominente, *ostium* de forma variable (copa o embudo), la cauda se curva distalmente hacia el borde ventral. Arcos hemales con modificaciones irregulares *Odontesthes smitti*

DISCUSIÓN

Los caracteres morfológicos de las estructuras duras de los peces pueden ser utilizados para identificar las especies consumidas por ictiófagos. En particular, las principales características del otolito sagita de los especímenes adultos

and Torno (1987); however, the total number of vertebrae and the number of vertebrae in each region differed from data reported by Piacentino (1990) and Cousseau *et al.* (2004). This is probably due to meristic variations, considering the wide latitudinal distribution range of *Odontesthes* species. In fact, the number of vertebrae in these species has been found to increase with increasing latitude (Dyer and Gosztanyi 1999).

The sagitta of *O. argentinensis* resembles that described by Tombari *et al.* (2005). In the anterior view, the second caudal vertebra has the largest haemal arch diameter/vertebral body diameter ratio of the species studied. In *O. argentinensis*, adjacent haemal arches are in contact because of lateral expansions with anteroposterior orientation. This feature was absent in silversides from southern Brazil (Bemvenuti 2005) and off the coast of Buenos Aires, Argentina (Piacentino and Torno 1987).

The sagitta morphology of *O. incisa* is similar to that reported by Mollo (1974). In the lateral view, no morphological variations were observed in the haemal arches and canal of *O. incisa* and *O. nigricans*, as reported by Dyer (1997) for Chilean silversides. In contrast, Piacentino and Torno (1987) described expansions in the haemal arches of *O. nigricans* from Puerto Deseado. These differences would be consistent with the presence of at least two distinct populations. The diameter of the haemal arch of the second caudal vertebra is two thirds that of the vertebral body (Piacentino and Torno 1987), which is similar to the value obtained for *O. nigricans* in this paper. The similarity of the *O. incisa* and *O. nigricans* characters may be due to their close phylogenetic relationship, since they have been considered sister species (Dyer and Gosztanyi 1999).

The sagitta morphology of *O. platensis* is described for the first time in this study. It exhibits an incomplete ostium, in contrast to the other species examined and to the freshwater silverside *Odontesthes bonariensis* from Argentina (Tombari *et al.* 2005). In *O. platensis*, adjacent haemal arches are in contact because of lateral expansions with anteroposterior orientation. This feature was absent in the specimen examined by Piacentino and Torno (1987), but no explanation can be offered for this difference due to a lack of data regarding location and size.

The sagitta of *O. smitti* resembles that described by Tombari *et al.* (2000). In this species, which has the second largest haemal arch diameter/vertebral body diameter ratio of the species studied, adjacent haemal arches are in contact because of lateral expansions with anteroposterior orientation. Piacentino and Torno (1987) also found these expansions in silversides offshore northern Patagonia, but they were not in contact with one another. Moreover, these authors found no modifications in the haemal arches of silversides offshore southern Patagonia. This difference is possibly due to the presence of two populations in the north and south of Patagonia, as suggested by Tombari (2008).

de las cinco especies de *Odontesthes* estudiadas son la forma general, la presencia de rostro, la forma y tipo de ostium, la forma de la cauda y la curvatura de la cara interna, mientras que la principal característica de la región caudal es la presencia y tipo de modificación del arco hemal. Asimismo, el ancho y largo de la sagita proveen una herramienta útil para estimar el largo total de los pejerreyes predados.

En este trabajo se describe e ilustra por primera vez la vista frontal del arco hemal de la segunda vértebra caudal de las especies de pejerreyes estudiadas.

La morfología de los arcos hemales de las especies estudiadas coincide con las descripciones de Piacentino y Torno (1987). Sin embargo, el número de vértebras totales y el número de vértebras en cada región difiere de lo obtenido por Piacentino (1990) y por Cousseau *et al.* (2004). Esta diferencia estaría explicada por la variabilidad merística debida al amplio ámbito latitudinal de las especies. De hecho, se halló que el número de vértebras en especies de *Odontesthes* aumenta con la latitud (Dyer y Gosztanyi 1999).

La morfología de la sagita de *O. argentinensis* coincide con la hallada por Tombari *et al.* (2005). En vista anterior, la segunda vértebra caudal tiene el mayor diámetro del arco hemal en relación al diámetro del cuerpo vertebral de las especies estudiadas. En *O. argentinensis*, los arcos hemales contiguos están en contacto por medio de las expansiones laterales desarrolladas en el sentido anteroposterior. Esta característica está ausente en pejerreyes del sur de Brasil (Bemvenuti 2005) y en la costa de Buenos Aires, Argentina (Piacentino y Torno 1987).

La morfología de la sagita de *O. incisa* coincide con la hallada por Mollo (1974). En vista lateral, la morfología del arco y del canal hemal de *O. incisa* y *O. nigricans* no presentan modificaciones, lo que coincide con lo propuesto por Dyer (1997) para pejerreyes chilenos. En contraste, Piacentino y Torno (1987) describen expansiones en el arco hemal de *O. nigricans* procedentes de Puerto Deseado. Estas diferencias podrían deberse a la presencia de, por lo menos, dos grupos poblacionales diferentes. El diámetro del arco hemal de la segunda vértebra caudal representa las dos terceras partes del diámetro del cuerpo vertebral (Piacentino y Torno 1987), que es similar al valor obtenido para *O. nigricans* en este trabajo. La similitud de los caracteres de *O. incisa* y *O. nigricans* puede deberse a que estas dos especies están relacionadas filogenéticamente, debido a que son consideradas especies hermanas (Dyer y Gosztanyi 1999).

La morfología de la sagita de *O. platensis* es descrita por primera vez en este trabajo. Esta sagita presenta un ostium incompleto, a diferencia de las otras especies estudiadas y del pejerrey de agua dulce, *Odontesthes bonariensis*, de Argentina (Tombari *et al.* 2005). En *O. platensis*, los arcos hemales adyacentes están en contacto mediante las expansiones orientadas en sentido anteroposterior. Esta característica estuvo ausente en el espécimen estudiado por Piacentino y Torno (1987), pero esta diferencia no puede ser explicada

Table 3. Linear determination coefficients (OL = maximum otolith length, OW = maximum otolith width, a = ordinate, b = slope, r^2 = regression coefficient) of the relations between the otolith morphometric features and the total length (TL) of five marine silverside species.

Tabla 3. Coeficientes de determinación (OL = largo máximo del otolito, OW = ancho máximo del otolito, a = ordenada al origen, b = pendiente, r^2 = coeficiente de regresión) de las relaciones entre los caracteres morfométricos del otolito y el largo total (TL) de cinco especies de pejerreyes marinos.

Species	OL vs TL			OW vs TL			OW vs OL		
	a	b	r^2	a	b	r^2	a	b	r^2
<i>Odontesthes argentinensis</i>	0.12	0.02	0.98	0.18	0.01	0.97	0.11	0.58	0.98
<i>Odontesthes incisa</i>	0.28	0.02	0.96	0.37	0.01	0.97	0.27	0.58	0.95
<i>Odontesthes nigricans</i>	0.27	0.02	0.98	0.29	0.01	0.98	0.15	0.57	0.97
<i>Odontesthes platensis</i>	0.77	0.01	0.99	1.13	0.01	0.95	0.86	0.33	0.97
<i>Odontesthes smitti</i>	0.70	0.01	0.86	0.72	0.01	0.87	0.50	0.51	0.91

In conclusion, the hard structures used in this study proved to be useful tools for the correct identification of the atherinids studied in the diet of piscivorous predators such as *Larus dominicanus* and *Phalacrocorax olivaceus* (Silva-Rodríguez *et al.* 2005), pinnipeds, and *Cephalorhynchus commersonii* (Koen-Alonso *et al.* 1999). Furthermore, the information provided herein regarding their high morphological variability could be valuable to prevent any overestimation of prey items.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the University of Buenos Aires (UBACYT X504 and UBACYT V09) and CONICET (Argentina). We thank P Penchaszadeh and M Brogger (FCEN-UBA) for allowing us to use the stereoscopic microscope equipped with a digital camera; G Piacentino for the bibliographic material; and R Galimany, friends of the sport fishing, and N Ortiz for granting us the *O. argentinensis* and *O. smitti* samples.

REFERENCES

- Bemvenuti M de A. 2005. Osteología comparada entre as espécies de peixes-rei *Odontesthes* Everman & Kendall (Osteichthyes, Atherinopsidae) do sistema lagunar Patos-Mirim, no extremo sul do Brasil. *Rev. Bras. Zool.* 22: 293–305.
- Bordino P, Thompson GA, Iñiguez M. 1999. Ecology and behavior of the franciscana (*Pontoporia blainvillei*) in Bahía Anegada, Argentina. *J. Cetacean Res. Manage.* 1: 213–222.
- Casselman JM. 1990. Growth and relative size of calcified structures of fish. *Trans. Am. Fish Soc.* 119: 673–688.
- Cousseau, MB, Perrota, RG. 2000. Peces Marinos de Argentina. *Biología, Distribución, Pesca.* 2nd ed. INIDEP, Argentina, 163 pp.
- Cousseau MB, Gosztonyi AE, Elías I, Ré ME. 2004. Estado actual del conocimiento de los peces de la plataforma continental argentina y adyacencias. *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros.* In: *Publicación Especial INIDEP, Tomo 4. Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación, Mar del Plata,* pp. 17–38.

debido a que se desconoce la procedencia y la talla del ejemplar estudiado por estos autores.

La morfología de la sagita de *O. smitti* coincide con la propuesta por Tombari *et al.* (2000). En esta especie, que posee el segundo diámetro más grande del arco hemal en relación al diámetro del cuerpo vertebral de las especies estudiadas, los arcos hemales adyacentes están en contacto por medio de las expansiones orientadas en sentido antero-posterior. Piacentino y Torno (1987) también encontraron estas expansiones en pejerreyes de la costa norte de la Patagonia; sin embargo, estos autores no encontraron el contacto entre los arcos hemales ni modificaciones en los arcos hemales de los pejerreyes del sur de la Patagonia. Probablemente esta diferencia se deba a la presencia de dos poblaciones en el norte y sur de la Patagonia, como lo sugiere Tombari (2008).

En conclusión, las estructuras duras utilizadas en este trabajo son herramientas útiles para la identificación correcta de los atherinidos estudiados en la dieta de especies ictiófagas marinas como *Larus dominicanus*, *Phalacrocorax olivaceus* (Silva-Rodríguez *et al.* 2005), pinnípedos y *Cephalorhynchus commersonii* (Koen-Alonso *et al.* 1999). Además, la información proporcionada en el presente trabajo, debido a la alta variabilidad morfológica hallada, sería valiosa para evitar la sobreestimación de presas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Buenos Aires (UBACYT X504 y UBACYT V09) y CONICET (Argentina) el apoyo financiero; a P Penchaszadeh y M Brogger (FCEN-UBA) por permitirnos el uso del microscopio estereoscópico y cámara digital; a AG Piacentino el material bibliográfico; y R Galimany, amigos de la pesca y N Ortiz las muestras de *O. argentinensis* y *O. smitti*.

- Dyer BS. 1997. Phylogenetic revision of Atherinopsinae (Teleostei, Atherinopsidae), with comments on the systematics of the South

- American freshwater fish genus *Basilichthys* Girard. Misc. Publ. Mus. Zool. Univ. Mich. 185: 1–64.
- Dyer BS. 2000. Revisión sistemática de los pejerreyes de Chile (Teleostei, Atheriniformes). Estud. Oceanol. Fac. Recurs. Mar Univ. Antofagasta 19: 99–127.
- Dyer BS, Gosztonyi AE. 1999. Phylogenetic revision of the South American subgenus *Austromenidia* Hubbs, 1918 (Teleostei, Atherinopsidae, *Odontesthes*) and a study of meristics variation. Rev. Biol. Mar. Oceanogr. 34: 211–232.
- García ML. 1987. Contribución al conocimiento sistemático y biológico de los Atherinidae del Mar Argentino. Ph.D. thesis, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Gosztonyi AE, Kuba L. 1996. Atlas de huesos craneales y de la cintura escapular de peces costeros patagónicos. Plan de Manejo Integral de la Zona Costera Patagónica. Inf. Téc. Fund. Patagonia Nat. (Puerto Madryn) 4: 1–29.
- Hecht T. 1987. A guide to the otoliths of southern ocean fishes. S. Afr. J. Antarct. Res. 17: 1–87.
- Koen-Alonso M, Pedraza S, Schiavini A, Goodal N, Crespo E. 1999. Stomach contents of false killer whales (*Pseudorca crassidens*) stranded on the coasts of the Strait of Magellan, Tierra del Fuego. Mar. Mamm. Sci. 15: 712–724.
- Menni, RC. 1984. Los peces en el medio marino. Editorial Estudio Sigma. Buenos Aires, 359 pp.
- Mollo SM. 1974. Contribución al conocimiento del otolito *sagitta* de los atherínidos argentinos, II. *Austrotherina incisa* (Pisces, Atherinomorpha). Physis A 33: 505–509.
- Piacentino GL. 1990. Descripción del esqueleto axial, caudal e inserciones de las aletas dorsales y anal de *Austromenidia nigricans* Richardson, *A. smitti* Lahille y *Austroatherina incisa* Jenyns (Pisces, Atherinidae). Iheringia, Ser. Zool. 70: 67–80.
- Piacentino GL, Torno AE. 1987. Osteological observations of the vertebral column in some species of South America atherinids (Osteichthyes, Atheriniformes). Stud. Neotrop. Fauna Environ. 22: 93–98.
- Silva-Rodríguez MP, Favero M, Berón MP, Mariano-Jelicich R, Mauco L. 2005. Ecología y conservación de aves marinas que utilizan el litoral bonaerense como área de invernada. Hornero 20: 111–130.
- Sokal RR, Rohlf FJ. 1995. Biometry. 3rd ed. New York, WH Freeman.
- Tombari AD. 2008. Sistemática de Atherinopsidae de la República Argentina utilizando caracteres morfológicos y morfométricos, con énfasis en el otolito *sagitta*. Ph.D. thesis, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Tombari AD, Volpedo AV, Echeverría DD. 2000. Patrones morfológicos de la *sagitta* de pejerreyes de la ictiofauna argentina. Thalassas 16:11–19.
- 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: 623–633.
- Volpedo AV, Echeverría DD. 2000. Catálogo y claves de otolitos para la identificación de peces del Mar Argentino. 1. Peces de importancia comercial. Ed. Dunken, Buenos Aires.
- White BN. 1985. Evolutionary relationships of the Atherinopsinae (Pisces: Atherinidae). Contrib. Sci. Nat. Hist. Mus. Los Angeles Co. 368: 1–20.
- Zar JH. 1999. Biostatistical analysis. 4th ed. Prentice Hall, New Jersey.

Received February 2010;
accepted April 2010.