



Santa Fe



Entre Ríos



Chaco



Corrientes

Proyecto “Evaluación biológica y pesquera de especies de interés deportivo y comercial en el Río Paraná. Argentina”

Instituciones Integrantes del Proyecto

Gobierno Nacional

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca
Subsecretaría de Pesca y Acuicultura
Dirección de Pesca Continental (DPC)

Provincia de Santa Fe

Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente
Subsecretaría de Recursos Naturales
Dirección General de Manejo Sustentable de los Recursos Pesqueros

Provincia de Entre Ríos

Ministerio de Producción
Dirección General de Recursos Naturales
Dirección de Gestión de Uso Sustentable de los Recursos Naturales

Provincia de Chaco

Subsecretaría de Recursos Naturales
Dirección de Fauna y Áreas Naturales Protegidas
Departamento de Fauna y Pesca

Provincia de Corrientes

Dirección de Recursos Naturales
Subdirección de Fauna y Flora
Departamento de Fauna Íctica y Silvestre

Este trabajo puede ser citado como sigue:

Llamazares Vegh, S. 2015. Caracterización morfológica del otolito asteriscus y lapillus de *Salminus brasiliensis* y su aplicación en el estudio de poblaciones. Dirección de Pesca Continental, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, MAGyP. Bs. As. Informe Técnico nº 28:1-17.
http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/pesca_continental/index.php

*Caracterización morfológica del otolito asteriscus y lapillus
de Salminus brasiliensis y su aplicación en el estudio de
poblaciones.*

Lic. Sabina Llamazares Vegh: Investigadora de la Dirección de Pesca Continental

Dirección de Pesca Continental

Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca

Introducción

Gran parte de las especies comerciales son recursos transfronterizos ya que poseen amplias distribuciones y realizan extensos desplazamientos, los mismos abarcan diferentes jurisdicciones tanto nacionales como internacionales. En la Cuenca del Plata las especies migratorias como el sábalo (*Prochilodus lineatus*), surubí (*Pseudoplatystoma* spp.) y dorado (*Salminus brasiliensis*) son las que concentran la mayor parte del esfuerzo de pesca comercial y/o deportivo. En particular, el dorado, *S. brasiliensis*, es el characino más grande de la Cuenca del Río de la Plata, con tamaños de hasta 116 cm y 31,6 kg (Morais-Filho y Schubart, 1955) y una amplia distribución en Sudamérica (Lowe-McConnell, 1975; Abell *et al*, 2008). Los adultos de dorado son ictiófagos tope y tienden a alimentarse en aguas rápidas principalmente durante el período crepuscular (Hahn *et al*, 2011). La migración para desove de los dorados en la Cuenca del Río Paraná está relacionada con el régimen de inundaciones de un año particular (Agostinho *et al*, 2003), con la mayoría de los dorados iniciando la actividad de desove después de que el nivel hidrométrico asciende (Godoy, 1975). En la baja Cuenca del Plata migra desde el Paraná hacia el Río de la Plata y el río Uruguay inferior en primavera, y regresa hacia el río Paraná a comienzos del otoño. Se han registrado desplazamientos aguas arriba de ejemplares marcados de hasta 1500 km. Esta especie es objetivo de pesca deportiva, comercial y de subsistencia debido a su excelente sabor y facilidad de captura (Hahn, 2000).

Desde el descubrimiento de los incrementos diarios de crecimiento (Pannella, 1971), los otolitos son considerados como una útil herramienta para el estudio de los diferentes eventos que caracterizan el ciclo de vida de los peces (Campana, 1999; Lecomte-Finiger, 1999; Newman y Dunk, 2002; Pothin *et al*, 2004). Estas estructuras poseen una morfología característica para cada especie (L'Abe'e-Lund, 1988; Campana y Casselman, 1993; Aguirre y Lombarte, 1999; Parmentier *et al*, 2001). En particular, los otolitos son estructuras conservativas ya que el material que los compone no se reabsorbe ni altera (Casselman, 1987; Campana, 1999). Dentro de una especie, la forma de los otolitos puede variar de acuerdo al tamaño del pez, sitio geográfico, profundidad y/u otros factores ambientales (Hoff y Fuiman, 1993; Lombarte y Leonart, 1993; Begg *et al*, 2001; De Vries *et al*, 2002; Cardinale *et al*, 2004). Varios estudios han demostrado que el análisis de la forma, por lo tanto, permite discriminar las poblaciones de peces locales de acuerdo con los factores ecológicos (Reddin *et al*, 1988; Smith 1992; Campana y Casselman 1993; Friedland y Reddin 1994; Begg y Brown 2000; Bolles y Begg 2000; Cardinale *et al*, 2004; Pothin *et al*, 2006; Tracey *et al*, 2006). La hipótesis "enlace ecomorfológico" de la forma de los otolitos se destacó en relación con los rasgos de historia de vida, biológicos y de comportamiento característicos de las especies de peces (Volpedo y Echeverría, 2003) o incluso el tipo de actividad de natación (Nolf 1985, 1993; Lychakov y Rebane, 2000).

Las estrategias orientadas para garantizar la eficiencia en el manejo y ordenamiento sustentable de las pesquerías necesitan información bioecológica base de los peces. En particular las especies migradoras, como el dorado, presentan un desafío aun mayor, ya que la identificación de stocks es un componente básico e integral en la ciencia y manejo de las pesquerías (Cushing, 1968; Begg *et al*, 1999). Las características morfométricas y de historia de vida de las poblaciones se encuentran íntimamente ligadas al concepto de stock fenotípico o ambiental. Bajo esta definición, aunque dos grupos de peces pueden no ser considerados diferentes genéticamente, es decir que existe un distinguible flujo génico entre ellos, ambos pueden adaptarse separadamente a sus respectivos ambientes y conformar un stock (Coyle, 1997). La identificación de stocks fenotípicos mediante nuevas técnicas de morfometría geométrica basadas en análisis de imágenes digitalizadas ha sido una herramienta exitosa en los últimos años (Cadrin y Friedland, 1999; Cadrin, 2000).

En el marco del Proyecto Evaluación del Recurso Sábalo en el río Paraná, actualmente nombrado "Evaluación biológica y pesquera de las especies de interés deportivo y comercial del río Paraná, Argentina" (EBIPES) se realizan muestreos estacionales en varias lagunas del valle aluvial del río Paraná en distintas localidades de la provincia de Entre Ríos y Santa Fe. En particular, se cuenta con datos merísticos y muestras de otolitos de dorado desde el año 2005 hasta la fecha.

Objetivo del presente informe

En el informe se comunican los resultados de la caracterización morfológica de las estructuras óseas (otolitos) de *S. brasiliensis* provenientes del río Paraná mediante la digitalización de imágenes. A su vez, se analizan las diferencias morfológicas en relación a las diferentes tallas de peces capturados en el año 2009-2010. Se presentan además las lecturas de marcas en los otolitos lapillus de dorados para los ejemplares capturados en el año 2015. Se discute la utilización de técnicas para la determinación de edades, y a su vez la potencialidad del análisis de contorno para la determinación de stocks en la especie estudiada.

Hipótesis de trabajo

La morfología del otolito lapillus de *S. brasiliensis* varía según la talla del pez.

Objetivos específicos

Describir la morfología del otolito astericus y lapillus de *S. brasiliensis*.

Determinar la relación largo del pez - peso del otolito.

Analizar las relaciones entre la morfología del otolito lapillus y el rango de tallas del pez.

Analizar las marcas de aposición en el otolito lapillus de *S. brasiliensis*.

Analizar las frecuencias de tallas de los individuos en la zona baja del río Paraná.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Las localidades de muestreo pertenecen a la denominada Cuenca del Río Paraná. Esta cuenca representa aproximadamente la mitad del área de la Cuenca del Plata. Normalmente es dividida en tres subcuencas: Paraná Alto, Medio y Bajo. La mayor parte del caudal proviene de las secciones: alta y media, con un aporte menor de la sección baja. Altos flujos del Paraná Medio producen grandes inundaciones sobre extensas áreas del Paraná Bajo, incluso sin una contribución local significativa (Berbery y Barros, 2002). La formación de lagunas, producto de las inundaciones de la planicie aluvial, son de vital importancia en la biología de diversas especies (Junk *et al*, 1989) incluidos los peces (Junk *et al*, 1989; Welcome, 1979) y ha sido extensamente reportado en la bibliografía.

Las capturas se realizaron en lagunas de la planicie de inundación ubicadas en tres localidades de la provincia de Santa Fe (Reconquista, Cayastá y Helvecia) y en dos de la provincia de Entre Ríos (Victoria y Diamante) (Fig. 1). Estas lagunas corresponden a las subcuencas media y baja del Paraná. Con excepción de Reconquista, en estas localidades se lleva a cabo una intensa actividad pesquera comercial a lo largo de casi todo el año.

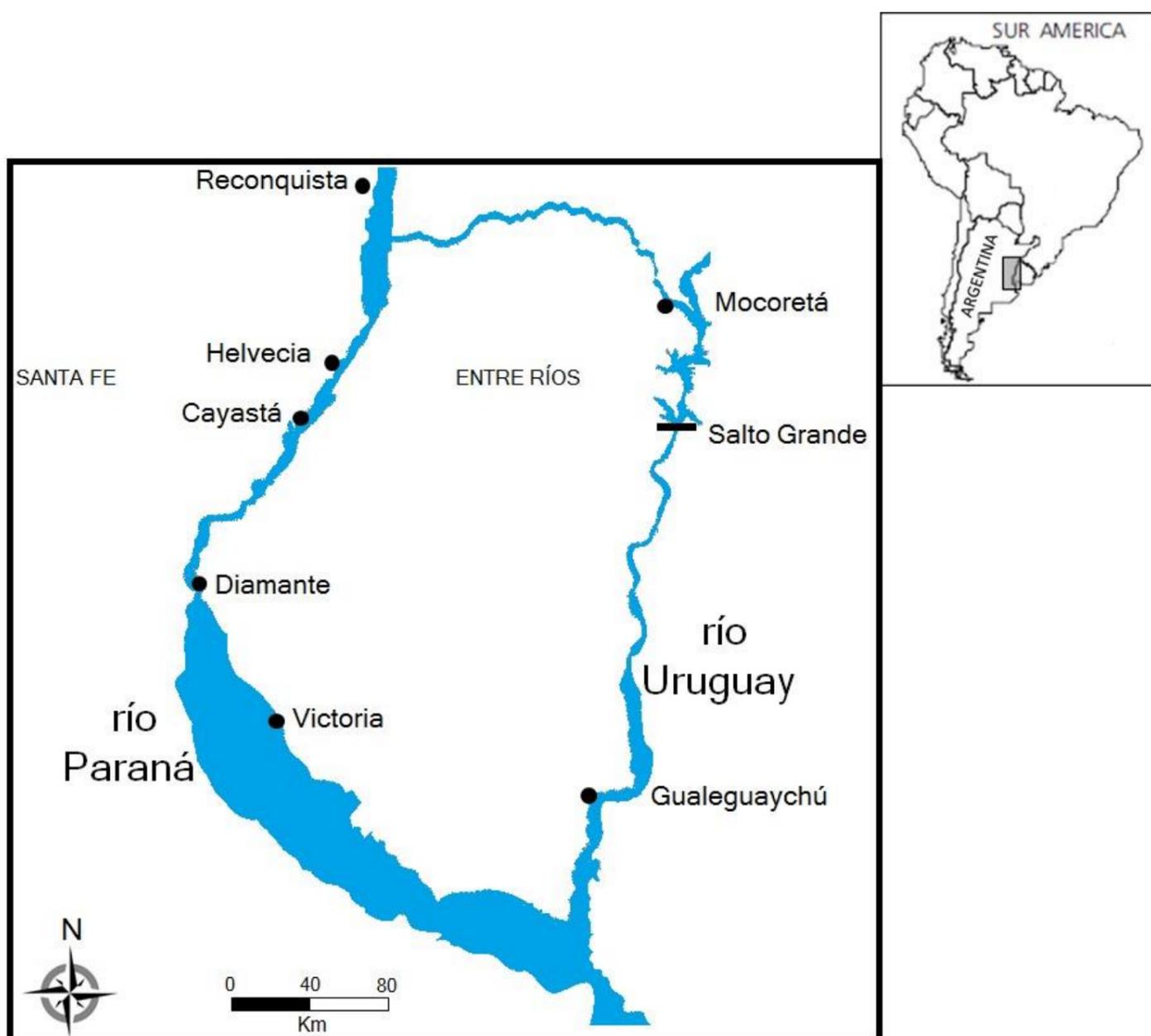


Fig. 1. Mapa mostrando la ubicación de las localidades de muestreo sobre el río Paraná.

La metodología de captura y artes de pesca puede ser consultada en los informes biológicos del Proyecto que se encuentran disponibles en el siguiente link:

http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/pesca_continental.

En cada individuo se registró la longitud total estándar (cm), definida por la distancia entre el extremo anterior del rostro y el pedúnculo caudal. A su vez, se registró el sexo y se extrajo el par de otolito lapillus, en los casos que fue posible también se extrajeron el par de otolito asteriscus.

A partir de un previo análisis de la base de datos, se decidió trabajar sólo con los ejemplares capturados en los años 2009 y 2010, ya que dichos años acumulaban un total de 585 ejemplares, distribuidos en las diferentes tallas. Vale resaltar que, en general, las capturas de dorado durante las campañas son relativamente bajas (ver Lozano *et al*, 2014). Por ello, consideramos relevante seleccionar aquellos años con mayor número de ejemplares y con alta representatividad de tallas.

Otolitos

Los otolitos de los peces teleósteos son complejos 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 (Campana, 1999) y están alojados en el aparato vestibular. El aparato vestibular es un órgano de equilibrio y está suspendido en la cápsula ótica y contiene los canales semicirculares y tres ampollas denominadas sáculo, lagena y utrículo (Fig. 2). Dentro de cada ampolla se encuentra un otolito, sagitta, asteriscus y lapillus, respectivamente. Los tres pares de otolitos están relacionados con funciones de equilibrio y audición (Popper y Fay, 1993).

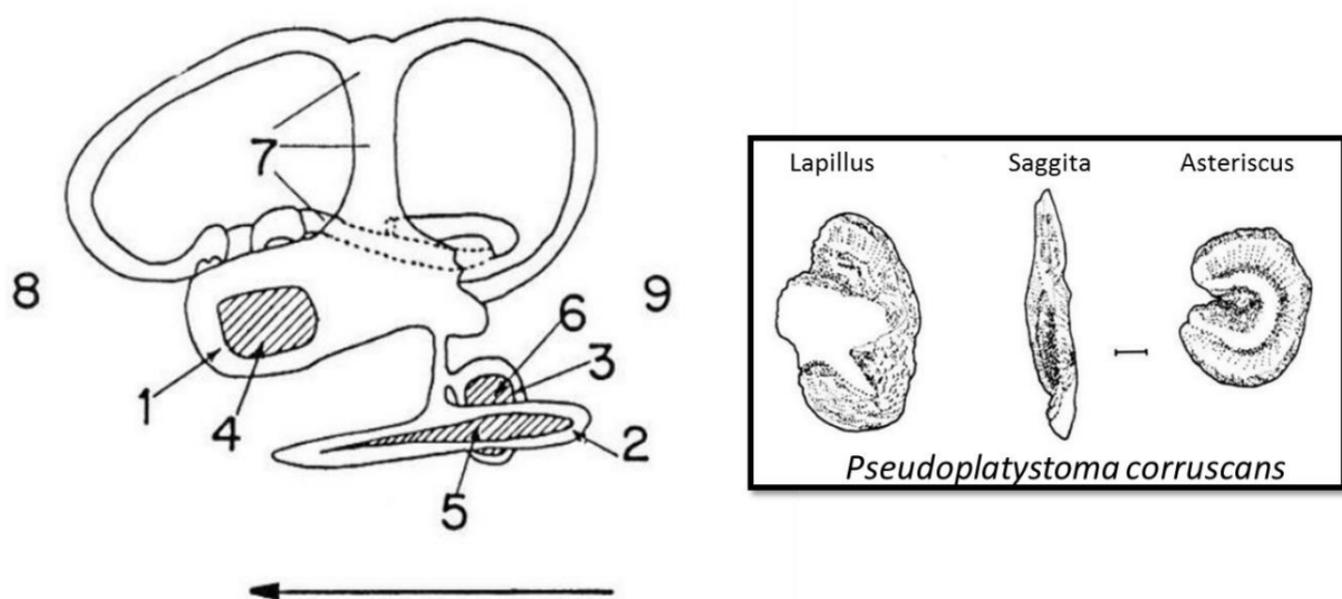


Fig. 2. Oído interno de los peces siluriformes (Según Lagler *et al*, 1977). Ubicación de los otolitos en sus respectivas cavidades y canales semicirculares. Cavidades: 1. Utrículo. 2. Sáculo. 3. Lagena. Otolitos: 4. Lapillus. 5. Sagitta. 6. Asteriscus. 7. Canales Semicirculares. El sentido de la flecha indica el extremo anterior del pez. A la derecha se muestra una serie de otolitos de *Pseudoplatystoma corruscans*. La escala indica 1 mm (Según Martínez y Gonzo, 2005).

Regresión largo del pez- peso del otolito

Los otolitos asteriscus y lapillus utilizados para el análisis fueron limpiados por inmersión en agua destilada un día y secado en estufa 12 horas. Cada otolito fue pesado con una balanza Ohaus, Pioneer, con precisión de 0,0001 g. Para el estudio de la relación Peso total del otolito (Po) y Longitud estándar del pez (LE) se empleó el modelo de regresión lineal en datos transformados log-log: $\text{Log Po} = \text{Log } a + b \text{ los LE}$, siendo a y b los coeficientes de regresión de las variables consideradas (Le Cren, 1951; Froese, 2006).

Descripción morfológica del otolito Asteriscus y Lapillus

La descripción de los otolitos de *S. brasilienses*, se realizó siguiendo una uniformidad de denominaciones, utilizados en la descripción de asteriscus y lapillus en base a la compilación y revisión de las definiciones aplicada por otros autores en trabajos similares

(Echeverría *et al*, 2000; Frost, 1925; Assis, 2005; Assis, 2010; Fuchs, 2008; Bremm y Schulz, 2014; Viera, 2011). Las descripciones se centraron sólo en las características principales de los otolitos de manera que se pudieron utilizar más fácilmente en la identificación de la especie.

Forma del otolito: los otolitos tiene diversos esquemas de forma con considerable variación inter e intraespecífico. Este carácter es muy subjetivo ya que no existe una clasificación estándar de la forma y la asignación depende de los investigadores. Se definirán diferentes formas como prototipos. Sin embargo, dado que la forma del otolito no siempre se puede acoplar exactamente a formas típicas definidas, o cuando existe una variación dentro de la muestra de una especie particular, se llegó a la forma más representativa.

Morfología: Análisis de Contornos

Para el análisis de morfología se utilizó el otolito lapillus derecho, sin embargo de no encontrarse disponible, el izquierdo fue utilizado. Cuando ambos otolitos se encontraban rotos, el ejemplar fue descartado de este análisis. Los otolitos, ubicados con la cara ventral hacia arriba (sulcus expuesto) y la región anterior hacia arriba, fueron fotografiados con una cámara digital acoplada a un microscopio estereoscópico. Cuando se fotografió el otolito izquierdo, la imagen obtenida fue invertida con un editor de imágenes con técnicas convencionales. Mediante el módulo ChainCoder del programa SHAPE v. 1.3a (Iwata y Ukai, 2002) se generó una silueta binaria de la imagen del otolito. Posteriormente se utilizó el algoritmo de “chain coding” para extraer el contorno del otolito, preparándolo así para el análisis de elipses de Fourier. Estas elipses pueden combinarse para reconstruir una aproximación a dicha curva cerrada (Tracey *et al*, 2006). De esta forma, se obtiene una imagen del contorno del otolito parametrizada.

El programa SHAPE v. 1.3a fue utilizado para generar cinco armónicos por cada individuo. La elección del número de armónicos fue determinada como el mínimo número de armónicos que explique el contorno general del otolito. Cada armónico está compuesto por cuatro coeficientes, resultando 20 coeficientes por individuo. Los diferentes contornos fueron normalizados basándose en la elipse del primer armónico, con respecto a la orientación, tamaño y el punto de inicio (Kuhl y Giardina, 1982), resultando tres de los cuatro coeficientes del primer armónico constantes para todos los contornos. Por lo tanto, cada individuo quedó definido por $20-3=17$ coeficientes de los armónicos. Estos coeficientes fueron las variables de forma que se extrajeron de este análisis.

Una vez obtenidos los coeficientes, se llevó a cabo un PCA con el módulo PrinComp del programa SHAPE v. 1.3a. A continuación se realizó un CVA utilizando como criterio de clasificación el grupo de tallas y su significancia mediante el estadístico Wilk's Lambda; y un posterior análisis de clasificación cruzada con el fin de evaluar la correcta asignación de los individuos a cada sitio de muestreo a partir de las variables. Estos últimos análisis se llevaron a cabo con el programa Past v1.99 (Hammer y Harper, 2010).

Los criterios de clasificación según grupo de talla se eligieron mediante la bibliografía disponible, asignando tres grupos: juveniles (LE: 13-25 cm), pre-adultos (LE: 26-40 cm) y adultos (LE: 41-60 cm), las tallas que los agrupan se eligieron según Llamazares *et al* (2014) y Lozano *et al* (2014).

Análisis de marcas en el otolito

Los otolitos fueron preparados según el método de Christiansen, con desgaste y pulido del otolito con discos abrasivos concéntricos utilizados con un torno manual de alta velocidad, y posterior quemado de la superficie en llama de alcohol. El quemado parcial permite distinguir con claridad un patrón de bandas oscuras (traslúcidas en el otolito sin quemar), con mayor contenido de proteínas, que limita las zonas de crecimiento más anchas y de coloración más clara (opacas en el otolito sin quemar). Debido a sus particulares características estructurales, la zona correspondiente a la Meseta (protuberancia macular o “gibbus maculae”) es la que muestra este patrón de bandas de crecimiento con mayor claridad y regularidad (Espinach Ros *et al*, 2008).

Distribución Espacial de Estructura de Tallas

Con el fin de explorar la distribución de tallas de los ejemplares capturados en el 2009 y 2010 se realizaron histogramas con las capturas totales por localidad. Para llevar adelante este análisis, se consideraron todas las localidades muestreadas en el año 2010 y en el 2011. A partir de la distribución de tallas de los dorados capturados se utilizó el software MapInfo Professional Version 10.0 para representar la frecuencia de tallas en cada localidad de ambos años.

Resultados

Regresión largo del pez-peso del otolito

Asteriscus

Se analizaron 71 pares de otolitos, no se encontraron diferencias significativas entre el otolito derecho e izquierdo ($p=0,8786$). El rango de tallas fue de 15-48 cm, y el peso oscilo entre 0,0014-0,0229 g.

Lapillus

Se analizaron 217 pares de otolitos, no se encontraron diferencias significativas entre el otolito derecho e izquierdo ($p=0,8746$). El rango de tallas fue de 13-59 cm, y el peso oscilo entre 0,0008-0,0355 g.

Los parámetros del modelo de regresión lineal se muestran en la tabla 1. El ajuste muestra valores similares en la tallas más pequeñas registradas (LE: 15-23 cm): a partir de los 23 de largo estándar se aprecia una diferencia en la relación largo del pez y el peso del otolito, siendo los asteriscus más robustos, con un aumento en peso más acelerado que el otolito lapillus. No hubo registro de otolitos asteriscus en tallas mayores a 48 cm de largo del pez. Los valores para las tallas entre 23 y de primera maduración (40 cm) son los que presentaron mayor dispersión, tanto para asteriscus como para lapillus (Fig. 3).

Tabla 1. Parámetros del modelo de regresión lineal en datos transformados log-log: $\text{Log Po}=\text{Log a}+\text{b los LE}$, siendo a y b los coeficientes de regresión de las variables consideradas (Le Cren, 1951; Froese, 2006) para *Asteriscus* y *Lapillus* de *Salminus brasiliensis* para el río Paraná.

	n	R ²	Coeficientes		LC inf.95%	LC sup.95%
<i>Asteriscus</i>	120	0,850	a	1,900E-05	1,046E-05	3,451E-05
			b	1,822	1,649	1,996
<i>Lapillus</i>	271	0,931	a	3,483E-05	2,812E-05	4,305E-05
			b	1,576	1,514	1,638

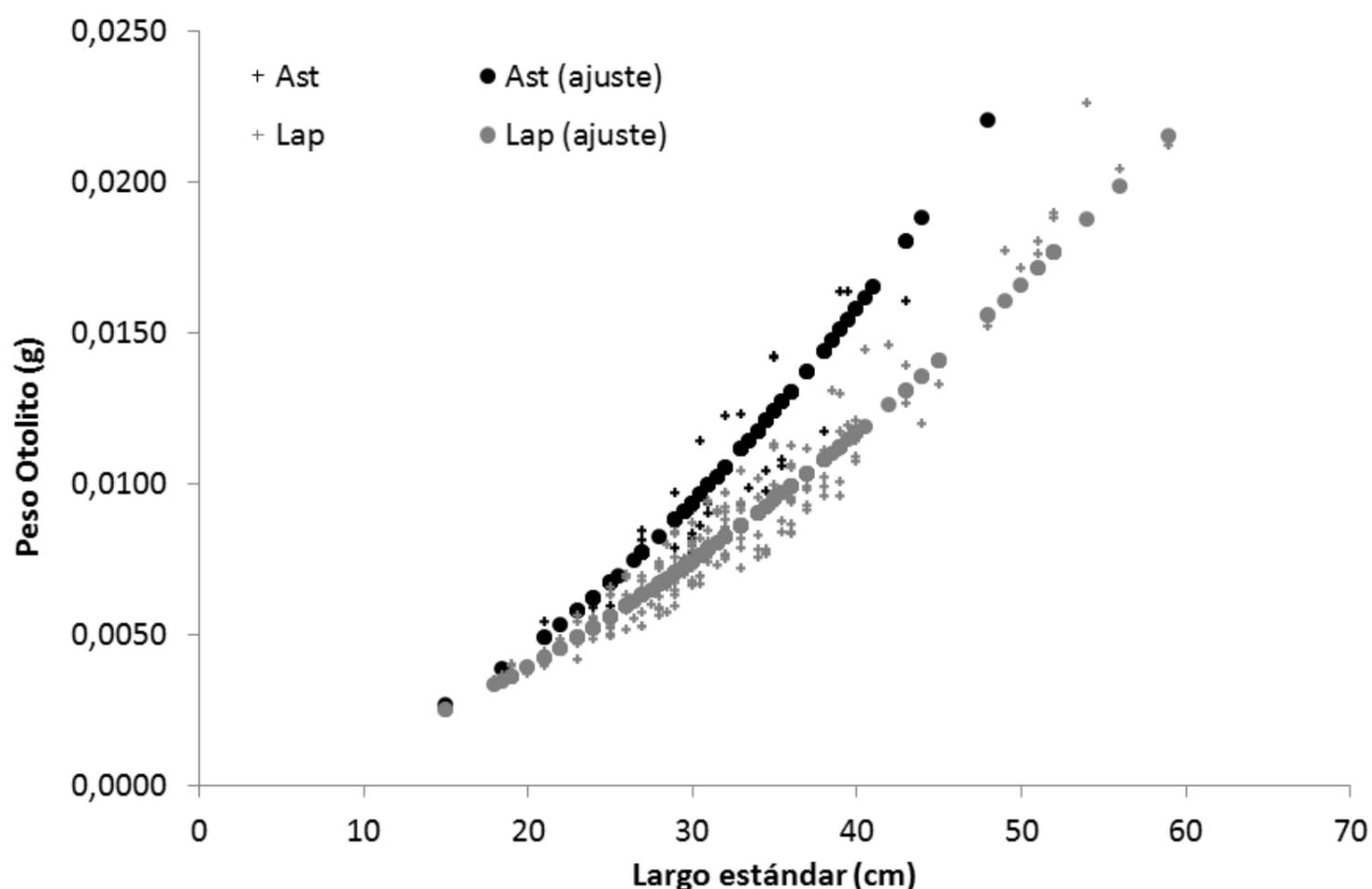


Fig.3. Relación del largo estándar (cm) y el peso del otolito (g), se muestran los datos y los valores ajustados al modelo.

Referencia: Ast.: Asteriscus y Lap.: Lapillus.

Descripción morfológica del otolito

Asteriscus

A menudo constituyen el par de otolitos más frágiles y por lo cual los más difíciles de extraer y limpiar sin romperse. Asociado a esa fragilidad y la inexistencia de una cantidad apreciable de características morfológicas bien marcadas, hacen que sea un tanto difícil el estudio morfológico para la identificación y atribución de las denominaciones de sus partes y estructuras, manteniéndolos, aún en la actualidad, desprovistos de una terminología conveniente.

Siguiendo la bibliografía se asignó nombre a sus partes y estructuras. En el dorado los asteriscus presentan forma redondeada, translucido, presenta granulaciones en todo el cuerpo del otolito. La excisura es angulosa, poco profunda. El sulcus o “fossa acústica” es descendente y bien marcado. La abertura es mediana; ya que la posición de la misma en el margen anterior del otolito se encuentra entre medio del extremo dorsal y ventral.

Al tener en cuenta la orientación del otolito podemos clasificar al asteriscus de dorado de “Tipo giratorio”, ya que el lobus mayor describe una circunferencia de casi 360° en torno a la región media del otolito y de la fossa acústica, constituyendo la mayor parte del otolito, a su vez el lobus minor está muy reducido o completamente indiferenciado. La fossa acústica posee orientación horizontal con el extremo posterior curvado en sentido ventral y el antirostro ocupa la posición anterior (Fig.4).

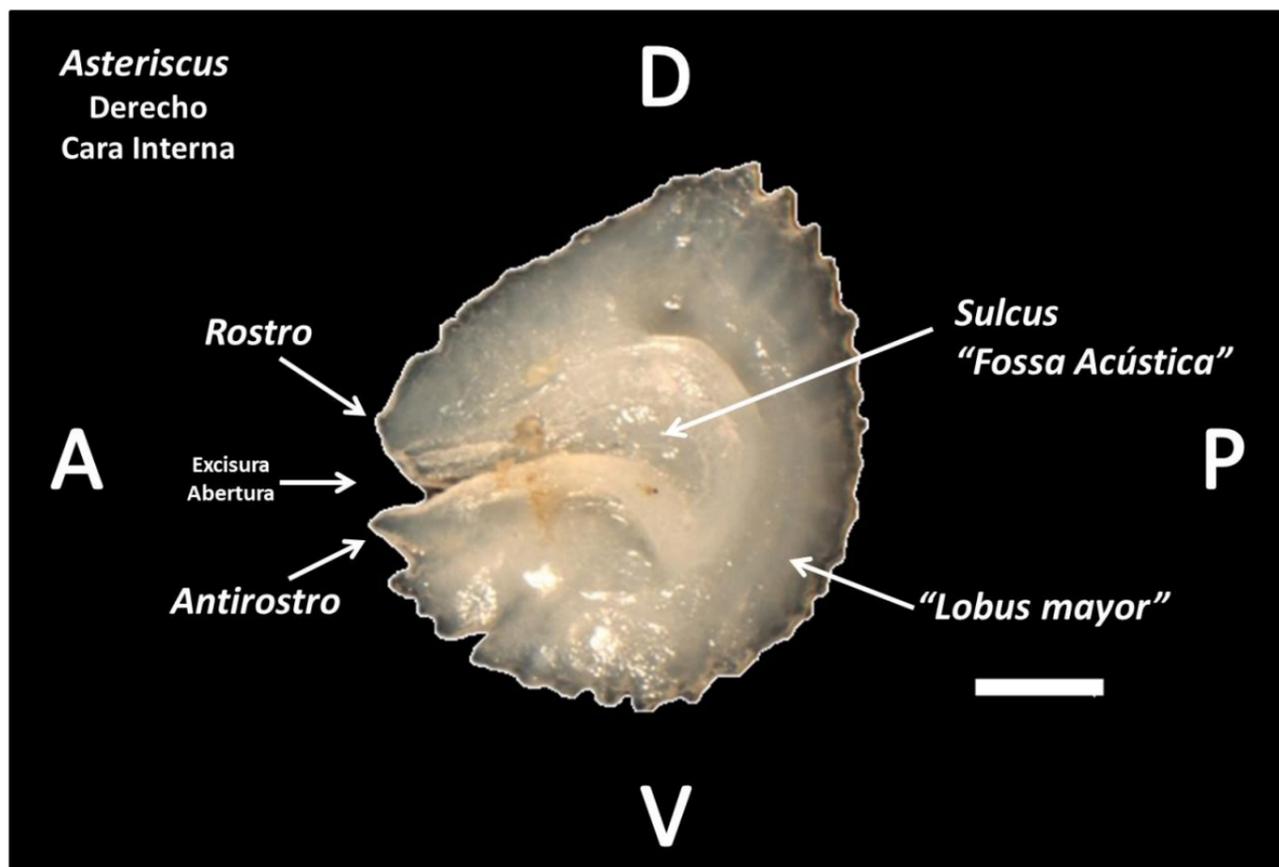


Fig. 4. Imagen de otolito Asteriscus de *S. brasiliensis* perteneciente a un ejemplar de 32 cm de longitud estándar. Referencia: A.anterior; P.posterior; D.dorsal, V.ventral; la escala representa un 1mm.

Lapillus

Por lo general, el lapillus, no presenta dificultades para su extracción, sin embargo durante la extracción es posible que se quiebren partes de esta estructura, debido a la fragilidad de las mismas.

En el dorado el lapillus es alargado en sentido del eje dorsoventral, macizos con márgenes translucidos casi lisos o suavemente ondulados. En la cara ventral de este otolito es de importancia particular las características asociadas a la morfología de la meseta o “gibbus maculae”; la meseta es de posición central y maciza. El sulcus es la línea en la cual se da la confluencia entre la meseta y la región exterior del otolito. Presenta un sulcus ligeramente hundido longitudinal que se curva en sentido posterior llegando a la zona media del otolito (Fig.5).

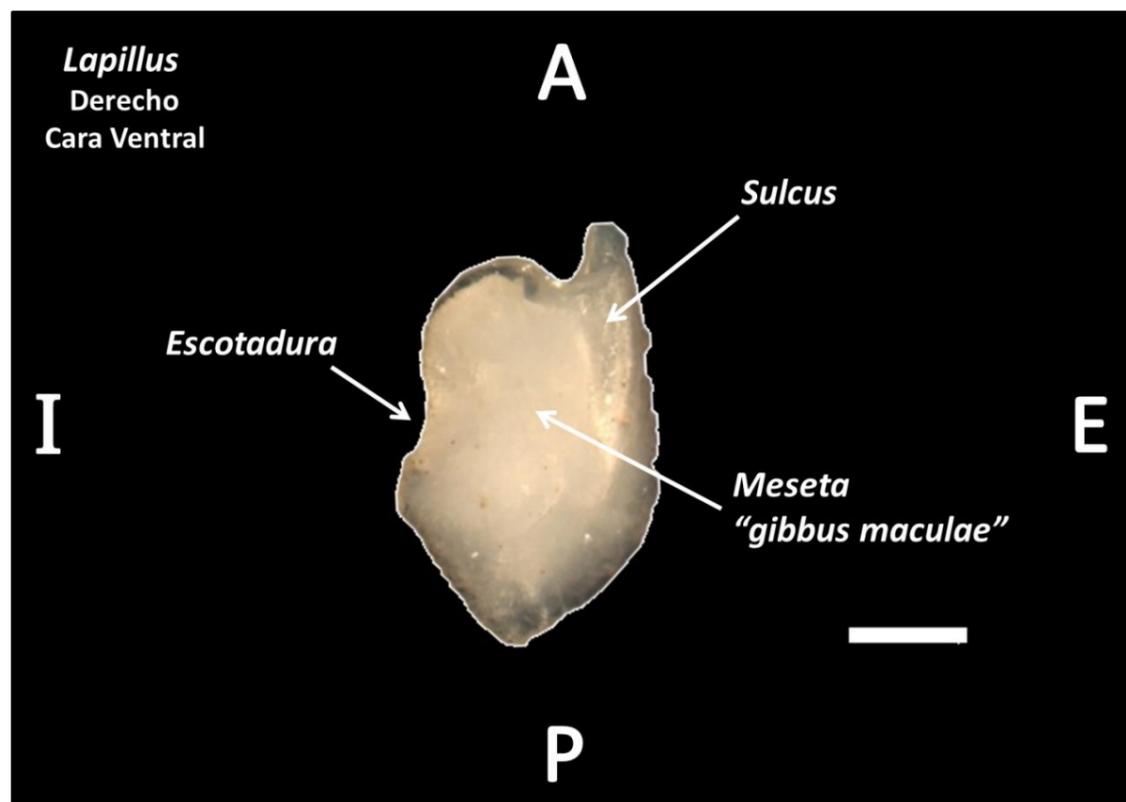


Fig. 5. Imagen de otolito Lapillus de *S. brasiliensis* perteneciente a un ejemplar de 32 cm de longitud estándar. Referencia: A.anterior; P.posterior; I.interior, E.exterior; la escala representa un 1mm.

Morfología: Análisis de Contornos

En total se analizaron 272 imágenes, los dos primeros ejes del PCA explican el 70% de la variación. La interpretación geométrica del PCA 1 ilustra el cambio en la regularidad de la zona anterior del otolito. Mientras que el PCA 2 se asoció con un cambio en la zona posterior del mismo. En ambos casos se observa un gradiente de expansión latitudinal del otolito (sentido interno-externo) (Fig. 6).

Se puso a prueba la existencia de una forma típica para los tres grupos de tallas: juveniles: 13-25 cm; pre-adultos: 26-40 cm y adultos: 41 a 60 cm (Fig. 7). A partir del CVA se clasificaron los tres grupos con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,005$). La asignación de los individuos a los grupos de tallas se clasificó correctamente con porcentajes mayores al 50% (Tabla 2). El grupo pre-adulto es el que presentó mayores valores de asignación cruzada incorrecta, lo cual se corresponda a la gran variación de formas observadas en este grupo.

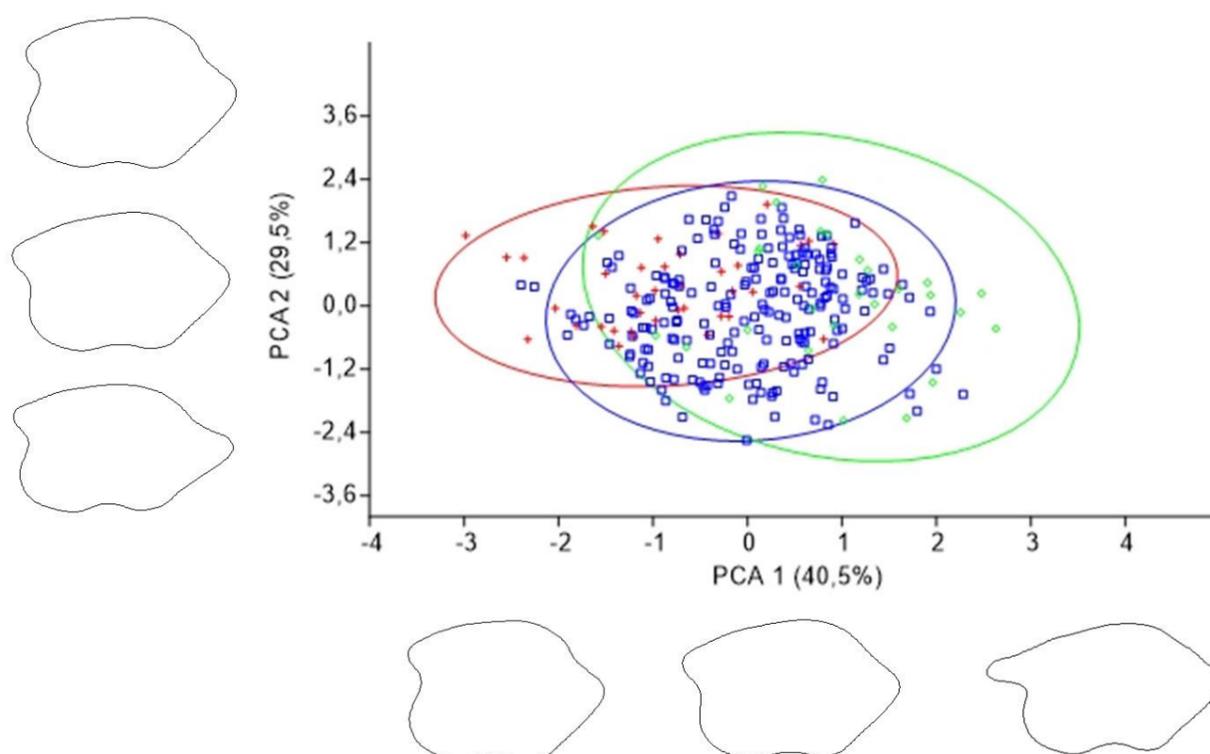


Fig. 6. Análisis de Componente Principales (PCA). Análisis de la variación de contorno del otolito a lo largo de las dos primeras componentes principales con 5 harmónicos. Los puntos rojos, azules y verdes representan los grupos de tallas; juveniles, pre-adultos y adultos respectivamente.

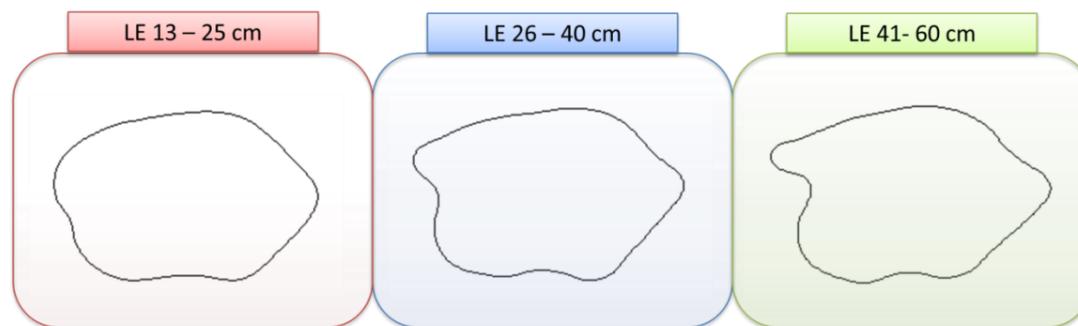


Fig.7. Forma promedio de otolito lapillus de *S. brasiliensis* para cada grupo de talla.

Tabla 2- Tabla de clasificación cruzada en porcentaje basado en la metodología de contornos, utilizando como criterio de clasificación el grupo de tallas.

	Juveniles	Pre-adultos	Adultos
Juveniles	72	29	10
Pre-adultos	21	51	27
Adultos	8	20	63

Análisis de marcas en el otolito

Se procesaron 126 otolitos distribuidos de la siguiente manera: año 2009 (50), año 2010 (45) y año 2015 (31). La frecuencia de tallas de las muestras analizadas se muestra por año en la figura 8. Se registró el número de marcas definidas en el otolito lapillus de cada uno de los ejemplares (Fig.9). Las imágenes permiten ejemplificar como se observa el patrón de marcas a partir de dicha técnica. Si observamos la figura A y B, podemos apreciar la sutileza en la detección de una marca, cuando la misma se encuentra sobre el borde del otolito. En el margen derecho del otolito de la figura A se observa la marca, sin embargo si miramos hacia la izquierda (margen externo del otolito), la continuidad de la marca se diluye. Mientras que en la figura B se observan dos marcas bien definidas. Las imágenes C y D corresponden al mismo otolito de un ejemplar de 32 cm de largo estándar, con tres marcas. Por último, la imagen E presentan un patrón de marcación claramente definido, sin necesidad de ser quemado. En varios casos, se observa que al aumentar el número de marcas fue más fácil la detección de las mismas.

A partir de dichos resultados se realizó un histograma de marcas registradas para cada año. Los ejemplares estudiados correspondieron a 7 clases de marcas, comprendidos entre 0 y 6. En el año 2009 predominaron los ejemplares con 2 y 3 marcas, mientras que en el año 2010 se aprecia un importante número de ejemplares con 0 o 1. Al analizar el 2015 se observaron ejemplares con más número de marcas (5 y 6), y también algunos entre 0 y 1 (Fig. 10). Finalmente se agruparon todos los datos y se clasificó el número de marcas por clase de talla (Tabla 3). El solapamiento entre clases de tallas y número de marcas se da para todos los casos. Sin embargo, las primeras tres clases de marcas (0, 1 y 2) presentan un mayor solapamiento entre tallas, lo cual podría estar asociado al momento en que se produce la marca y la detección de la misma.

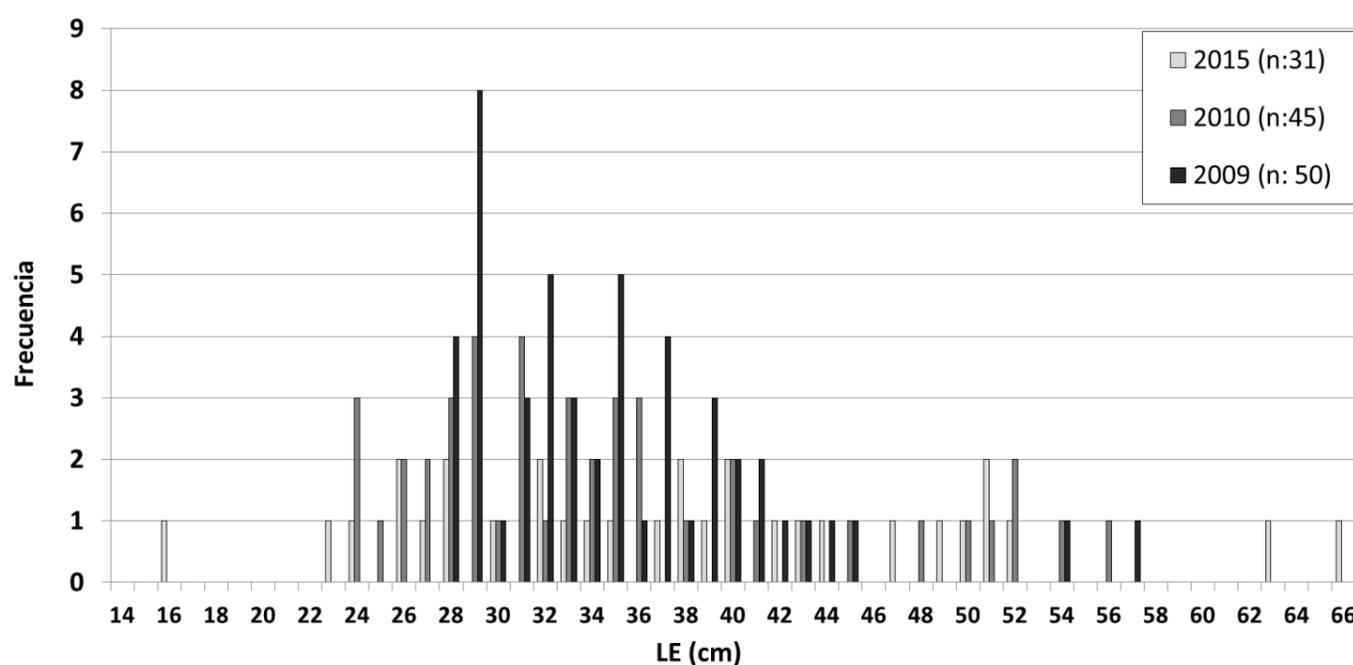


Fig. 8. Distribución de talla de los ejemplares con otolitos procesados por año de captura. Referencia: LE. largo estándar y n. número total de ejemplares.

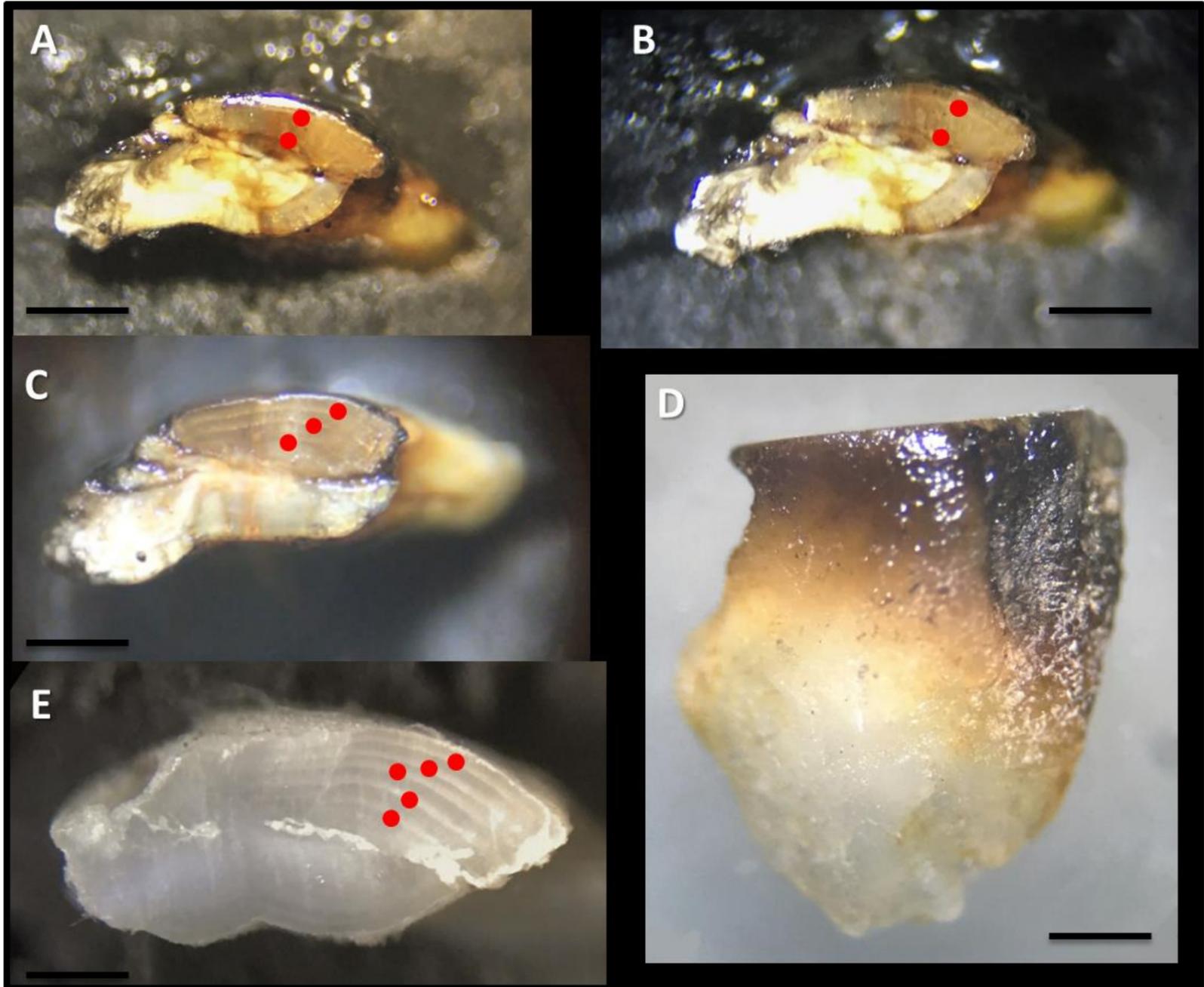


Fig.9. Lectura de marcas en otolitos. Sección transversal del otolito lapillus de *Salminus brasiliensis*, con diferente número de marcas: A: 2, B: 2, C: 3, E: 5. Referencia: A, B, C y E: vista anterior con el borde exterior orientado hacia la derecha; D: vista ventral del otolito C luego de ser procesado; E: otolito sin quemar; escala de 1 mm.

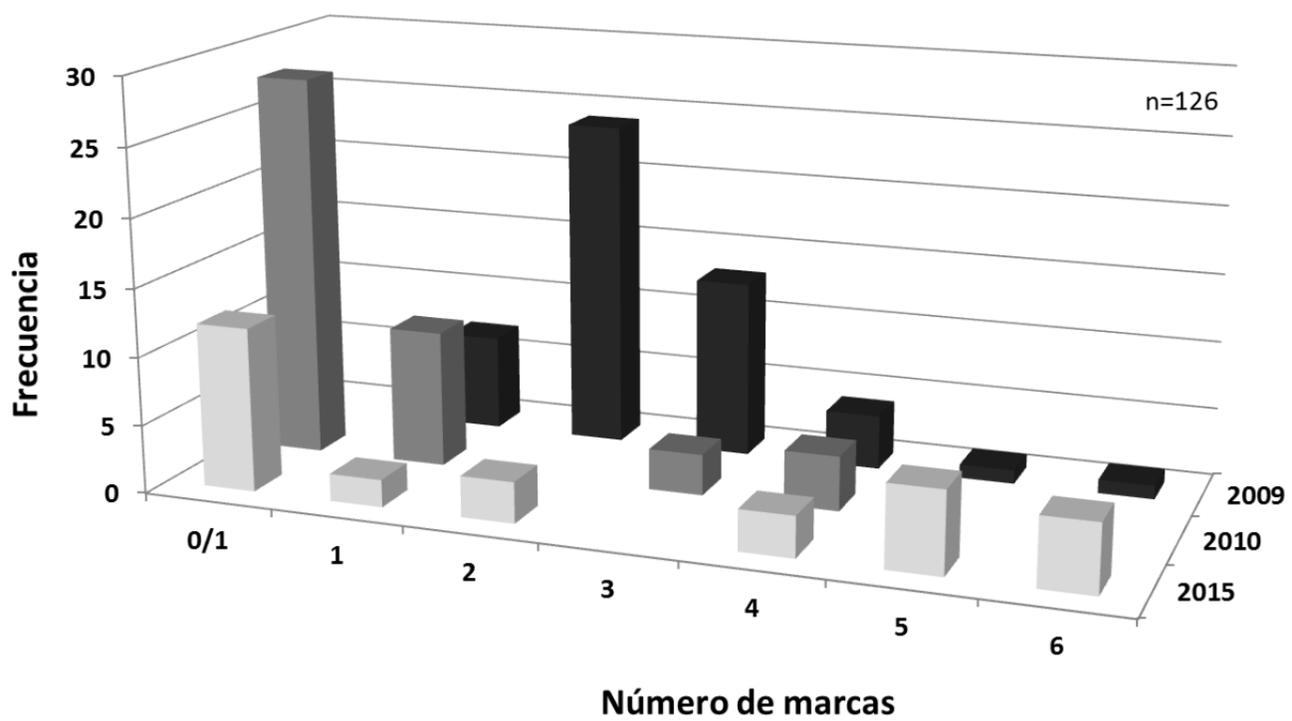


Fig.10. Distribución de frecuencias de número de marcas en los otolitos de ejemplares de dorado capturados en el río Paraná en 2009, 2010 y 2015.

Tabla 3. Distribución de las frecuencias de marcas por clase de talla de dorado para todos los otolitos procesados (año 2009, 2010 y 2015). Referencias: N: número de ejemplares; LE: largo estándar en cm; D.E.: desvío estándar.

LE (cm)	Número de Marcas						
	0	1	2	3	4	5	6
10 a 15							
16 a 20	1						
21 a 25	5						
26 a 30	15	5	8	3			
31 a 35	14	4	10	3	2	2	
36 a 40	5	5	6	4	1	1	
41 a 45	1	2	4	3	1	2	1
46 a 50			1	3	3		1
51 a 55					2	1	2
56 a 60					1		1
61 a 65					1		
66 a 70						1	1
N	41	16	29	16	11	7	6
LE medio	30,6	34,2	39,0	39,1	47,1	44,4	52,6
D.E.	4,8	5,9	4,8	8,2	9,4	11,4	8,5

Distribución Espacial de Estructura de Tallas

El análisis de la distribución espacial permitió identificar patrones diferenciales a lo largo del río. En general, observamos que en Reconquista las capturas son bajas, pero representan los ejemplares de mayor porte (LE promedio 2009: 52,5 cm; LE promedio 2010: 48,8 cm). A medida que descendemos por el río aumenta el número de ejemplares capturados, pero la talla promedio disminuye. En particular, en ambos años la captura en la localidad de Diamante no supera los 3 ejemplares; siendo Cayastá y Victoria las localidades con más representativa de dorados. Para el año 2009 en Cayastá, Victoria y Villa Constitución se observan dos modas en la distribución de tallas con valores similares entre localidades, siendo la primer moda de 12 cm y la segunda de 28 cm. En el 2010 el número de ejemplares fue casi tres veces mayor a la del 2009.

Discusión

El estudio del otolito lapillus de dorado nos permitió caracterizar formas consensos del otolito para tres clases de tallas, lo cual es un primer acercamiento al estudio de poblaciones dentro de los análisis morfológicos. Si bien sólo se trabajó con parte de la gran base de datos y muestras que pertenecen al Proyecto, es necesario determinar y validar el uso de estas estructuras para el estudios de edad, antes de continuar con el análisis de poblaciones, ya que la edad y el crecimiento son los parámetros de historia de vida más comúnmente usados para identificar stocks fenotípicos (Begg *et al*, 2005). Gran parte de la bibliografía disponible de parámetros de crecimiento para esta especie proviene de la zona alta de la Cuenca del Río Paraná (Barbieri *et al*, 2001; Feitosa *et al*, 2004, Godoy, 1975; Britski *et al*. 1999; Morais Filho y Schubart, 1955; Castagnolli, 1971; Cordiviola, 1966). Sin embargo, existen diferencias entre los resultados obtenidos entre autores, ya que la validación de edades mediante escamas presentan dificultades que aún no fueron resueltas (Barbieri *et al*, 2001 y Tos *et al*, 2009). A partir de nuestro análisis pudimos evidenciar el crecimiento diferenciado (talla del pez, y marca del otolito), ya que la dispersión asociada entre marcas y tallas de pez, generaba solapamientos entre diferentes clases de marcas.

Este tipo de estudio puede aplicarse a otras especies ya que el estudio de los otolitos de una especie brinda mucha información sobre la misma, y para ello es necesario conocer las características generales de su estructura para luego realizar un estudio más detallado del mismo. La amplia aplicación de los otolitos en el estudio y obtención de información biológica de los peces, hace que sea de suma importancia la caracterización de las estructuras del otolito de las especies emblemáticas del río Paraná.

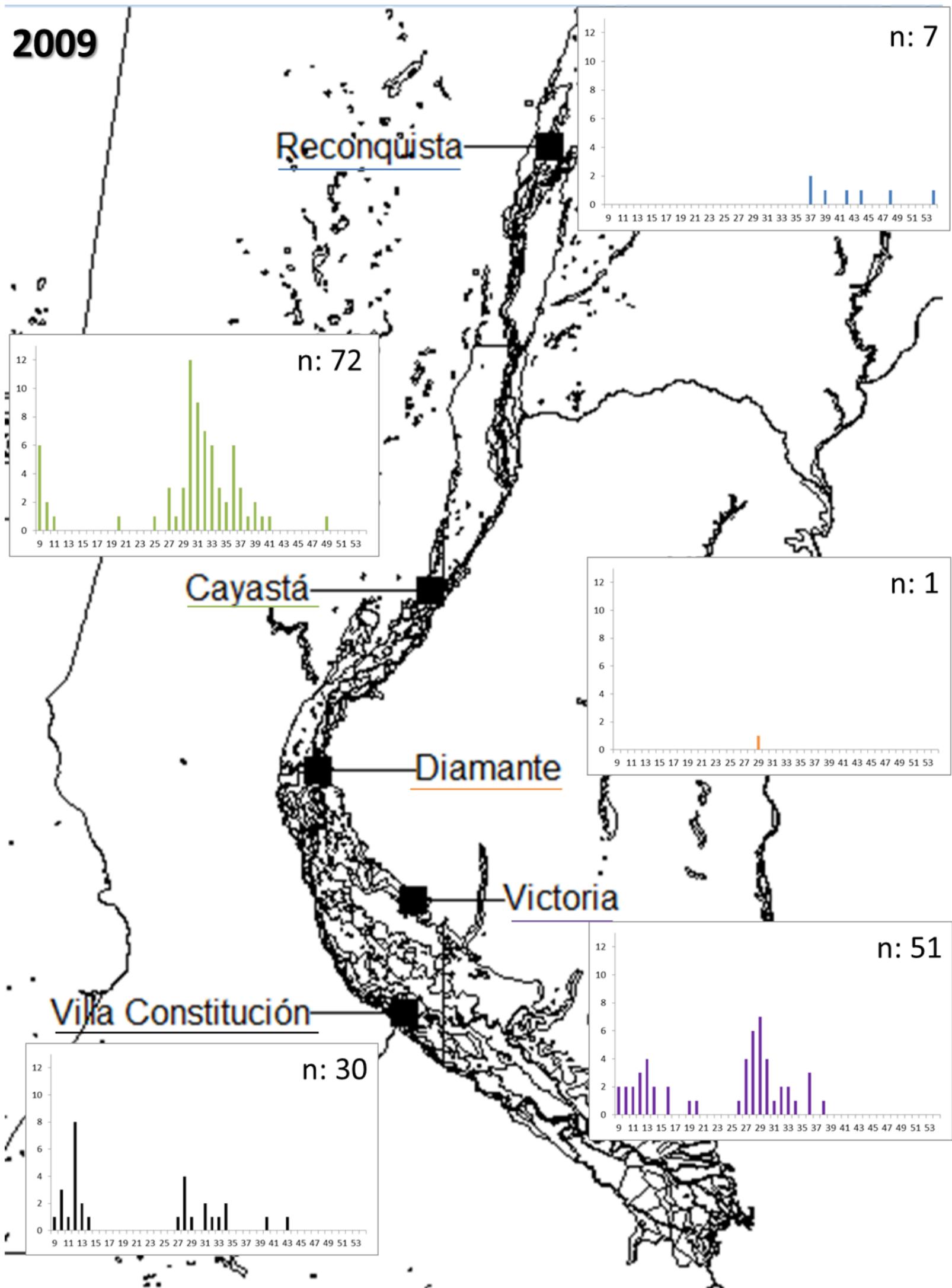


Fig.11. Distribuciones de frecuencias de longitud (LE) a lo largo del río Paraná en las localidades muestreadas en el marco del Proyecto EBIPES en el año 2009. Referencia: LE en cm, n: número total de ejemplares capturados en la localidad.

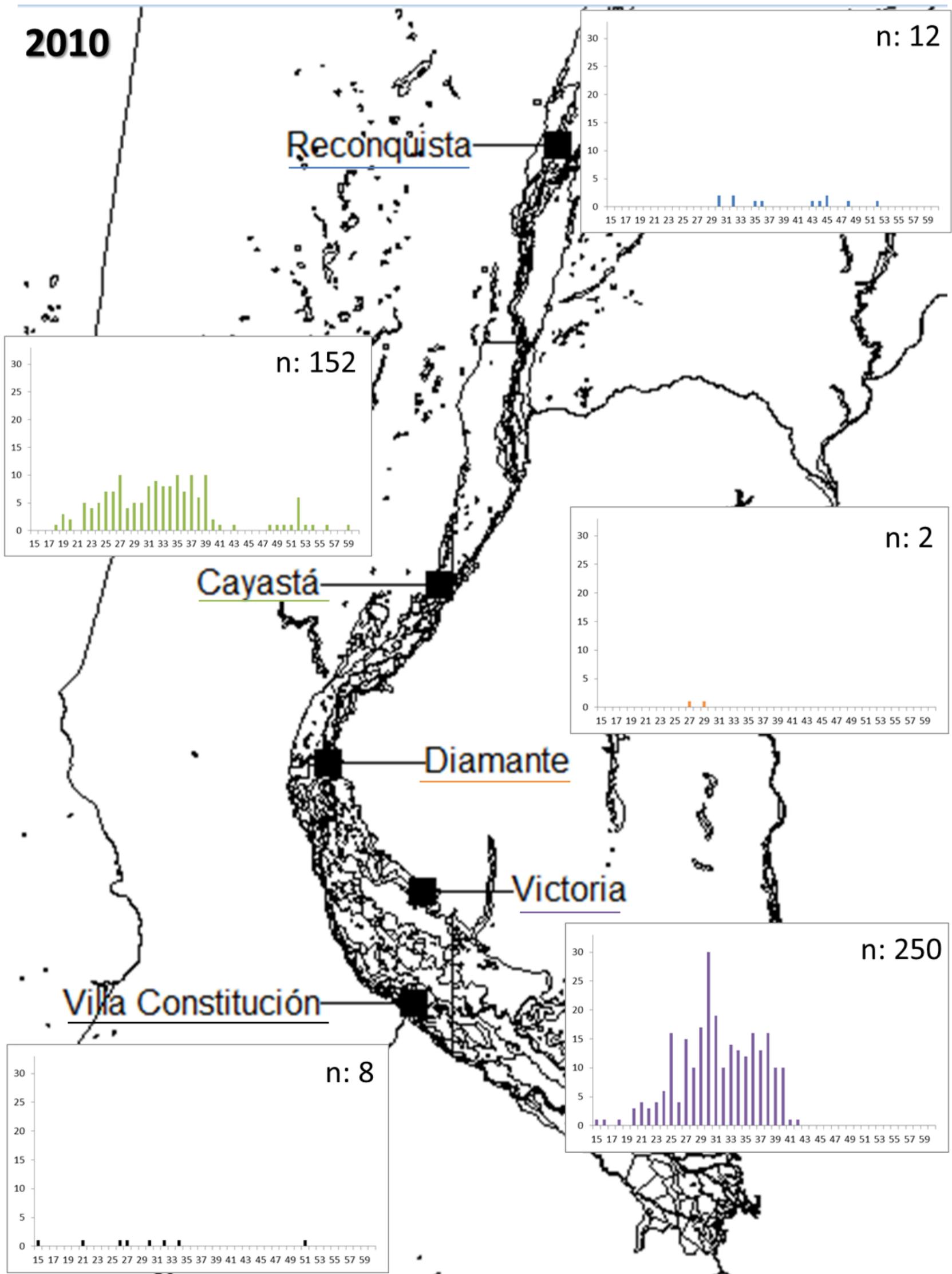


Fig.12. Distribuciones de frecuencias de longitud (LE) a lo largo del río Paraná en las localidades muestreadas en el marco del Proyecto EBIPES en el año 2010. Referencia: LE en cm, n: número total de ejemplares capturados en la localidad.

Agradecimientos

Quiero agradecer a todos aquellos integrantes que colaboran y/o colaboraron con el Proyecto Evaluación del Recurso Sábalo en el río Paraná, actualmente nombrado “Evaluación biológica y pesquera de las especies de interés deportivo y comercial del río Paraná, Argentina” (EBIPES). A Bibiana Giussi por colaborar y trabajar conmigo durante el procesamiento de las muestras en el laboratorio.

Referencias

- Acuña, A (2011). Características ecomorfológicas de los otolitos Saggita de *Genypterus blacodes* y *Genypterus brasiliensis* provenientes de la zona común de pesca argentino-uruguaya. Tribunal: Alicia Acuña María Inés Lorenzo José Verocai.
- Agostinho, AA, Gomes, LC, Suzuki, HI, Júlio, HF Jr (2003). Migratory fishes of the upper Paraná River Basin, Brazil. In: Carosfeld J, Harvey B, Ross C, Baer A (eds) *Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status*. World Fisheries Trust/World Bank/IDRC, Victoria, p 19–98.
- Aguirre H, Lombarte A (1999) Ecomorphological comparison of sagittae of *Mullus barbatus* and *M. surmulletus*. *Journal of Fish Biology* 55:105–114.
- Araújo, B C, Honji, R M, de Mello, P H, & Moreira, R G (2012). The influence of captive breeding on the fatty acid profiles of *Salminus hilarii* (Characiformes: Characidae) eggs and larvae. *Aquaculture International* 20(6), 1161-1181.
- Assis, CA (2005). The utricular otoliths, lapilli, of teleosts: their morphology and relevance for species identification and systematics studies. *Scientia Marina* 69(2), 259-273.
- Assis, CA (2000). Estudo morfológico dos otólitos sagitta, asteriscus e lapillus de teleósteos (actinopterygii, teleostei) de Portugal Continental (Doctoral dissertation, Universidade de Lisboa).
- Begg, GA, Campana, SE, Fowler, AJ, y Suthers, IM, (2005). Otolith research and application: current directions in innovation and implementation. *Marine Freshwater Research* 56, 477–483.
- Begg GA, Overholtz WJ, Munroe NJ (2001). The use of internal otolith morphometrics for identification of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) stocks on George Bank. *Fish Bull* 99:1–14.
- Berbery, EH y Barros, VR (2002). The hydrologic cycle of the La Plata basin in South America. *Journal of Hydrometeorology* 3(6), 630–645.
- Bremm, CQ, y Schulz, UH (2014). Otolith atlas of fish of the Sinos River. *Brazilian Journal of Biology* 74(2), 274-282.
- Cadrin, SX y Friedland, KD (1999). The utility of image processing techniques for morphometric analysis and stock identification. *Fisheries Research*, 43, 129-139.
- Cadrin, SX (2000). Advances in morphometric identification of fishery stocks. *Review of Fish Biology Fisheries*, 10, 91–112.
- Campana, SE (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series* 188, 263-297.
- Cardinale M, Doering-Arjes P, Kastowsky M, Mosegaard H (2004) Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. *Canadian Journal of Fish Aquatic Sciences* 61:158–167.
- Casselman JM (1987). Determination of age and growth. In: Weatherley AH, Gill HS (eds) *The biology of fish growth*. Academic, Orlando, pp 209–242.
- Cushing, DH (1968). *Fisheries Biology: A Study in Population Dynamics*. Univ. Wisconsin Press, Wisconsin.
- De Vries DA, Grimes CB, Prager MH (2002) Using otolith shape analysis to distinguish eastern Gulf of Mexico and Atlantic Ocean stocks of king mackerel. *Fisheries Research* 57:51–62.
- Echeverría, DD, Tombari, AD, y Volpedo, AV (2000). Patrones morfológicos de la "sagitta" de pejerreyes de la ictiofauna Argentina. *Thalassas: An international journal of marine sciences*, 16(1), 11-19.
- Espinach Ros, A y Sánchez, RP (2007). Proyecto de Evaluación del Recurso Sábalo en el Paraná-Informe de los resultados de la primera etapa 2005-2006 y medidas de manejo recomendadas. In: *Serie Pesca y Acuicultura: Estudios e investigaciones aplicadas*, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Buenos Aires.
- Friedland KD, Reddin DG (1994) Use of otolith morphology in stock discriminations of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fish Aquatic Sciences* 51:91–98

- Frost, GA (1925). XIX.—A comparative study of the otoliths of the Neopterygian fishes. *Journal of Natural History*, 15(85), 152-163.
- Fuchs, DV (2008). *Patrones Ecomorfológicos del otolito en Siluriformes Parano-Platenses* (Doctoral dissertation, Tesis de Licenciatura DBBE, FCEyN, UBA).
- Godoy, MP (1975). *Peixes do Brasil, subordem Characoidei. Bacia do rio Mogi Guassu. Piracicaba, Brasil. Editora Franciscana, São Paulo.*
- Hahn, L, Agostinho, AA, English, KK, Carosfeld, J, Fernando da Câmara, L y Cooke, SJ (2011). Use of radiotelemetry to track threatened dorados *Salminus brasiliensis* in the upper Uruguay River, Brazil. *Endangered Species Research* 15: 103–114
- Hahn, L y Câmara, LF (2000). Ictiofauna do rio Uruguai superior: pesquisas e impactos. *Sociedade Brasileira de Ictiologia* 58: 9–11.
- Hammer, Ø, Harper, DAT y Ryan, PD (2001). Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontology Electronic* 4 (1):9 pp.
- Hoff GR, Fuiman LA (1993) Morphometry and composition of red drum otoliths: changes associated with temperature, somatic growth rate, age. *Comparative Biochemistry and Physiology* 106:209– 219.
- Iwata, H y Ukai, Y (2002). SHAPE: a computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptical fourier descriptors. *Journal of Heredity* 93, 384–385.
- Kuhl, FP y Giardina, CR (1982). Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing* 18, 236-258.
- Lagler, KF, Bardach, JE, Miller, RR y May Passino, DR. (1977). *Ictiología. A.G.T. Editor S.A., 489pp.*
- Lecomte-Finiger R (1999) L'otolithe, la boîte noire des Téléostéens. *Ann Biol* 38:107–122.
- Llamazares Vegh, S, Lozano, I E y Dománico, AA (2014). Length–weight, length–length relationships and length at first maturity of fish species from the Paraná and Uruguay rivers, Argentina. *Journal of Applied Ichthyology*, 30(3): 555-557.
- Lozano, I., Balboni, L., Llamazares Vegh, S., Fuentes, C., Colautti, D. 2014. Informe del Proyecto Evaluación biológica y pesquera de especies de interés deportivo y comercial en el Río Paraná, Argentina, Período 2012-2013, Informe N°13. Dirección de Pesca Continental, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, MAGyP. Bs. As.,: 1-26. http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/pesca_continental/index.php .
- Lombarte A, Leonart J (1993) Otolith size changes related with body growth, habitat depth and temperature. *Environmental Biology Fishes* 37:297–306.
- Lowe-McConnell, R (1975). *Fish communities in tropical freshwaters: their distribution, ecology and evolution.* Longman Press, London.
- Lychakov DV, Rebane YT (2005) Fish otolith mass asymmetry: morphometry and influence on acoustic functionality. *Hearing Research* 201:55–69.
- Martínez, V, y de Gonzo, GM (2005). Clave de identificación de algunos peces siluriformes en base al estudio de sus otolitos. *Natura Neotropicalis*, 2 (22), 95-118.
- Morais-Filho, MB y Schubart, O (1955) Contribuição ao estudo do dorado (*Salminus maxillosus* Val.) do Rio Mogi Guassu (Pisces, Characidae). *Ministério da Agricultura, Divisão de Caça e Pesca, São Paulo.*
- Newman SJ, Dunk IJ (2002) Growth, age validation, mortality, and other population characteristics of the red emperor snapper *Lutjanus sebae* (Cuvier, 1828), off the Kimberley Coast of North-Western Australia. *Estuarine Coast Shelf Sciences* 55:67–80.
- Nolf, D (1985) Otolithi piscium. In: Schultze HP (ed) *Handbook of paleoichthyology.* Fischer Verlag, Stuttgart New York, pp 1–145.
- Pannella G (1971) Fish otolith: daily growth layers and periodical patterns. *Science* 173:1124–1126.
- Parmentier E, Vandewalle P, Lagarde`re F (2001) Morphoanatomy of the otic region in carapid fishes: ecomorphological study of their otoliths. *Journal of Fish Biology* 58:1046–1068.
- Popper, AN y Zhongmin, L (2000). Structure-function relationship in fish otolith organs. *Fish. Res.*, 46, 15-25.
- Pothin K, Letourneur Y, Lecomte-Finiger R (2004) Age, growth and mortality of the tropical grouper *Epinephelus merra* Bloch, 1793 (Pisces, Serranidae) on Reunion Island, SW Indian Ocean. *Vie Milieu* 54:193–202.
- Pothin K, Gonzales-Salas C, Chabanet P, Lecomte-Finiger R (2006) Distinction between *Mulloidichthys flavolineatus* juveniles from Reunion Island and Mauritius Island (south-west Indian Ocean) based on otolith morphometrics. *Journal of Fish Biology* 69:38–53.

Santos, JED, y Godinho, HP (2002). Ontogenic events and swimming behavior of larvae of the characid fish *Salminus brasiliensis* (Cuvier) (Characiformes, Characidae) under laboratory conditions. *Revista Brasileira de Zoologia* 19(1), 163-171.

Tos, CD, Gomes, LC, Agostinho, AA, y Batista, RP (2009). Age, growth, mortality and yield per recruit of the dourado *Salminus brasiliensis*, Corumbá Reservoir, Goiás State, Brazil. *Neotropical Ichthyology* 7(2), 223-230.

Tracey, SR, Lyle, JM y Duhamel, G, (2006). Application of elliptical Fourier analysis of otolith form as a tool for stock identification. *Fisheries Research* 77, 138-147.

Vega-Orellana, OM, Fracalossi, D M, y Sugai, J K (2006). Dourado (*Salminus brasiliensis*) larviculture: weaning and ontogenetic development of digestive proteinases. *Aquaculture* 252(2), 484-493.

Volpedo, AV y Echeverría, DD, (2003). Ecomorphological patterns of the *sagitta* in fish on the continental shelf off Argentina. *Fisheries Research*, 60, 551-560.