Biblioteca Digital
F C E N - U B A

BIBLIOTECA CENTRAL LUIS F LELOIR
BIBLIOTECA CENTRAL LELOIR
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES UBA

Tesis Doctoral

Los otolitos y su aplicación en la determinación de stocks pesqueros de peces comerciales rioplatenses y de la costa Atlántica de Sudamérica

Avigliano, Esteban

2014-10-14

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en digital.bl.fcen.uba.ar. Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in digital.bl.fcen.uba.ar. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:
Avigliano, Esteban. (2014-10-14). Los otolitos y su aplicación en la determinación de stocks pesqueros de peces comerciales rioplatenses y de la costa Atlántica de Sudamérica. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Cita tipo Chicago:
Avigliano, Esteban. "Los otolitos y su aplicación en la determinación de stocks pesqueros de peces comerciales rioplatenses y de la costa Atlántica de Sudamérica". Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2014-10-14.

EXACTAS UBA
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

UBA
Universidad de Buenos Aires

Dirección: Biblioteca Central Dr. Luis F. Leloir, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Intendente Güiraldes 2160 - C1428EGA - Tel. (++54 +11) 4789-9293

Contacto: digital@bl.fcen.uba.ar

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Los otolitos y su aplicación en la determinación de stocks pesqueros de peces comerciales rioplatenses y de la costa atlántica de Sudamérica.

Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires en el área de Ciencias Biológicas

Lic. Esteban Avigliano

Director de tesis: Dra. Alejandra V. Volpedo

Consejero de estudios: Dra. Laura López Greco

Lugar de trabajo:
Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA-UBA-CONICET) y Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA-UBA), Facultad de Ciencias Veterinarias, UBA.

Buenos Aires, 2014.

Los otolitos y su aplicación en la determinación de stocks pesqueros de peces comerciales rioplatenses y de la costa atlántica de Sudamérica.

Resumen

En las últimas décadas, más del 25% de las pesquerías del mundo han colapsado. Las estrategias orientadas para garantizar la eficiencia en el manejo sustentable de las pesquerías se basan en la identificación de los stocks (unidad poblacional con integridad genética sobre la cual se realiza algún tipo particular de manejo). En los últimos años, la utilización de la morfometría y composición química de los otolitos (cuerpos policristalinos compuestos principalmente por carbonato de calcio alojados en el aparato vestibular) ha permitido la identificación de stocks y el estudio de las historias de vida de diferentes especies comerciales. En este sentido, el objetivo de esta tesis fue evaluar el uso de la morfometría y microquímica del otolito como una potencial herramienta para la determinación de stocks pesqueros y el estudio de la historia de vida de peces de importancia comercial del la Cuenca Baja del Plata y de la costa Atlántica de Sudamérica y Mar Caribe como el pejerrey (Odontesthes bonariensis), el bagre de mar (Genidens barbus), el pez palo (Percophis brasiliensis) y la lisa (Mugil curema).

Los resultados obtenidos permitieron describir por primera vez la ruta migratoria del pejerrey utilizando la relación Sr:Ca del otolito, el cual permanece en los meses cálidos en aguas estuarinas y en los meses invernales migra hacia aguas de menor salinidad (Delta del Paraná). El uso simultáneo de la microquímica (relaciones Sr:Ca y Ba:Ca) y la morfometría del otolito de pejerrey sugirió la existencia de dos grupos de pejerrey, uno de los mismos se encontraría asociado a zonas de mayor salinidad (zona estuarina) y el otro a una región de menor salinidad (agua dulce-estuario).

En el caso del bagre de mar (Genidens barbus) se analizaron las relaciones Sr:Ca, Ba:Ca y Mg:Ca por anillos de crecimiento en otolitos de esta especie procedente de Lagoa dos Patos (Brasil) y del estuario de Río de la Plata. Los resultados hallados permitieron sugerir la existencia de al menos dos zonas de cría y de dos stocks pesqueros diferentes en la región de estudio. Además, se pudo corroborar mediante el análisis de la microquímica del otolito que esta especie cambia de uso de hábitat a lo largo de su vida.

En cuanto al pez palo (Percophis brasiliensis), la relación Sr:Ca no resultó un buen indicador de hábitat y no permitió distinguir entre diferentes stocks pesqueros. Sin embargo, la relación Zn:Ca permitió distinguir la presencia de dos stocks, uno correspondiente a la Zona Común de Pesca Argentina-Uruguaya y otro al área de El Rincón-Golfo San Matías, corroborando los resultados de otras metodologías de identificación de stocks aplicadas a esta especie.

Por último, se estudió por primera vez la relación Sr:Ca y Ba:Ca del agua y otolitos de la lisa Mugil curema en estuarios y costas del Sudeste del Mar Caribe (estado de Nueva Esparta, Venezuela). Se encontraron diferencias significativas entre las muestras colectadas al norte y sur del estado de Nueva Esparta, sugiriendo la presencia de al menos dos stocks pesqueros de lisas.

Por otro lado, con los resultados hallados se plantearon recomendaciones específicas para el manejo pesquero de estos recursos comerciales.

En conclusión, los resultados de este trabajo permiten evidenciar que la morfometría y la microquímica de los otolitos son una herramienta útil para la determinación de stocks pesqueros de especies que poseen diferentes estrategias de vida, desplazándose entre ambientes con distintas características.

Palabras claves: otolito, stocks pesqueros, historia de vida, morfometría, microquímica, pesquería.

Otolith and its application to determine commercial fish stocks from de la Plata River and the South Atlantic coast

Abstract

In the last decades more than 25% of world fisheries have collapsed. Strategies orientated on guaranteeing the efficiency of fisheries sustainable management are based on the identification of fish stocks (unit of population with genetic integrity to which some kind of particular effort is applied). In the last years, the use of morphometry and chemical composition of otoliths (policrystalline structures formed mainly of calcium carbonate located in the vestibular system) has allow the identification of fish stocks and life history of diverse commercial species. In this sense, the aim of this thesis was to evaluate the morphometry and microchemistry of the otolith as a potential tool for the determination of fish stocks and the study of life history of commercially important fish of the Cuenca Baja del Plata and the Atlantic coast of South America and Caribbean Sea, such as the silverside (Odontesthes bonariensis), the sea catfish (Genidens barbus), the brazilian flathead (Percophis brasiliensis) and the silver mullet (Mugil curema).

The results obtained allowed for the first description of the migratory path of the silverside using otolith Sr:Ca ratios; this species stays during warm months in estuarine waters and in the cold season migrates towards waters with lower salinity (Delta del Parana). The simultaneous use of otolith microchemistry (Sr:Ca and Ba:Ca ratios) and morphometry suggest the existence of two groups of silverside, one associated to high salinity areas (estuarine area) and the other to a region of lower salinity (freshwater-estuarine). For sea catfish (Genidens barbus) Sr:Ca, Ba:Ca and Mg:Ca ratios were analyzed by growth rings in otoliths of fish from Lagoa dos Patos (Brazil) and Rio de la Plata estuary. Results obtained suggest the existence of at least two different breeding zones and two fish stocks in the study region. Furthermore, through the otolith microchemical analysis it could be corroborated that this species changes its habitat use during its lifetime. In regards to

brazilian flathead (Percophis brasiliensis), Sr:Ca ratios were not good habitat indicators and did not allow to identify different fish stocks. However, Zn:Ca ratios allowed to differenciate two fish stocks, one from the Zona Común de Pesca Argentina-Uruguaya, and the other from the area El Rincón-Golfo San Matías, corroborating the results of other stock identification techniques applied to this species. Last, Sr:Ca and Ba:Ca ratios were studied for the first time in water and otoliths from silver mullet Mugil curema in estuaries and coasts of southeast Caribbean Sea (Nueva Esparta State, Venezuela). Significative differences were found among study areas from north and south of Nueva Sparta State, suggesting the presence of at least two silver mullet stocks.

On the other hand, with all the results of this thesis, specific recommendations were proposed for the proper fish management of these commercial resourses. In conclusion, the results of this study allow demonstrating that otolith morphometry and microchemistry are a useful tool for the determination of fish stocks of species with diverse life strategies, that move among habitats with different characteristics.

Keywords: otolith, fish stocks, life history, morphometry, microchemistry, fishery.

AGRADECIMIENTOS

Para realizar este trabajo se realizaron una serie de campañas científicas a diversos lugares de Argentina y otros países de Sudamérica como Uruguay, Brasil y Venezuela. En total, se realizaron 39 campañas repartidas en 232 días (alrededor de 8 meses no consecutivos). Durante estas 232 jornadas se recorrieron por tierra, aire y agua más de 90.000 km, lo que equivale más de dos veces la circunferencia de la Tierra. Fueron muchas las horas invertidas para la programación y gestión de estas campañas pero son infinitas las anécdotas e historias de viajes ganadas. Claro está que todo esto no se hace sólo. Es por ello que se agradece a todas las personas que participaron significativamente en las campañas de muestreo: Nahuel Schenone, Guy Comte, Roberta Callicó Fortuato, Alejandra V. Volpedo, Ricardo Barassi, Nicolás Ghibaudi, Sergio Avigliano, Gonzalo Velasco, Ezequiel Mabragaña, Franco del Rosso, Bruno Barrionuevo, J. M. Guaiquirian y C. Salazar.

Este trabajo fue posible también a la participación de otras personas que me han apoyado tanto desde el aspecto profesional o afectivo.

En primer lugar a mis padres y mi hermana que siempre están a mi lado.

A Juliana García Barbera por la compañía y apoyo durante el desarrollo de la tesis.

A mis amigos y compañeros.

A la Dra. Alejandra V. Volpedo por la dirección, por la confianza y por darme la libertad para desarrollar mis iniciativas.

Al Dr. Gonzalo Velasco de la FURG por su apoyo en Brasil para trabajar con G. barbus.

En memoria y agradecimeinto de Joquín Buitrago y J. M. Guaiquirian por el apoyo en Isla Margarita (EDIMAR -Fundación Lasalle), Venezuela, para trabajar con M. curema.

Al Dr. Martin Rada, C. Salazar y todo el equipo del instituto EDIMAR (Fundación Lasalle) por el apoyo en los muestreos realizados en Isla Margarita.

A la Dra. Rita Rico y a la Dra. Margarita Saez del INIDEP por colaborar con muestras de P. brasiliensis.

A la Dra. Andrea Tombari y Lic. Paola Villatarco por colaborar con muestras.

A Juan J. Troncoso por colaborar en las primeras mediciones con el ICP-OES.

Al Complejo Chapalco Ray (Laguna Chasicó) por el apoyo en las investigaciones.

A los Guías Marcelo Domínguez (Concepción del Uruguay) y Sebastian González (Berisso) y al Complejo Keidel (Zarate) por la colaboración en la toma de muestras.

A los Complejos La Rinconada (Punta Indio) y Prefectura Guazú-Guazucito (Delta) por el apoyo en las campañas.

A los pescadores artesanales de Paraná Guazú y Arroyo Naranjo por la colaboración.

A los pescadores Alberto Babasz y Aldo Alfaro.

A la Dirección Provincial de Pesca y Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires por los permisos de pesca otorgados.

A la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Universidad de Buenos Aires (UBA) por darme la posibilidad de desarrollar la carrera de doctorado.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por otorgarme las becas doctorales Tipo I y Tipo II que me permitieron desarrollar el doctorado.

A la Dra. Alicia Fernandez Cirelli del Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA-UBA) e Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA-CONICET-UBA), de la Facultad de Ciencias Veterinarias, UBA, por permitirme trabjar en estas instituciones.

DEDICATORIA

En forma inconsciente, la idea primordial de este trabajo, tal vez fue gestada incluso antes de ingresar a la carrera universitaria, al menos en parte…. El fondo de esta tesis va más allá de obtener un titulo de posgrado o publicar "papers". El objetivo real es conocer lo que nos rodea, lo que nos identifica, lo que me identifica. A mi me identifica el Delta, el río, la isla, el agua, con todo lo que eso conlleva, algo que no se puede explicar en un breve texto. Habiendo adquirido determinadas herramientas académicas a lo largo de estos años, siento la responsabilidad de estudiar estos ambientes con el fin de general conocimiento e intentar así "dejar algo", aunque este nuevo conocimiento represente apenas un pequeño aporte (el famoso granito de arena), con la ilusión de que con el tiempo podamos hacer un uso racional y responsable de los recursos naturales y hacer así mi pequeño aporte.

Es por ello que esta tesis no se la voy a dedicar a ninguna persona o institución como se acostumbra, sino a un lugar que muy pocos estudian, entienden y muchos menos cuidan…..

Paraná Guazú y Arroyo Naranjo

Al Paraná y su Delta…

ÍNDICE

Índice de tablas……..…13
Índice de figuras.…….……..……..…15

1. Capítulo 1: Introducción general
   1.1 Introducción general ……..……..…19
      1.1.1 Hipótesis…….…….23
      1.1.2 Objetivo general…….……...….23
      1.1.3 Objetivos específicos…….…….24
      1.1.4 Estructura de la tesis ……..……..…24
   1.2 Materiales y métodos, generalidades. ……..……..…26
      1.2.1 Muestra biológica……...……26
      1.2.2 Colecta de muestras…….....……..…31
      1.2.3 Morfometría de otolitos……..…31
      1.2.4 Microquímica de otolitos……..……..….32
      1.2.5 Conductividad y elementos traza en agua…….……..….33

2. Capítulo 2: Desplazamientos estacionales del pejerrey Odontesthes bonariensis en la Cuenca baja del Plata (Argentina)

   2.1 Introducción……...……..34
   2.2 Materiales y métodos……..……...……36
      2.2.1 Área de estudio……...……...…36
      2.2.2 Colecta de muestras……...……38
      2.2.3 Determinación de Sr y Ca en agua……...…….39
      2.2.4 Determinación de Sr y Ca en otolitos……...……39
      2.2.5 Curva de calibración.……...…….....40
   2.3 Resultados……...…41
      2.3.1 Relación Sr:Ca de los otolitos del Delta del Paraná……..……41
      2.3.2 Curva de calibración...……..……...……..…42
      2.3.3 Relación Sr:Ca del agua.……...……42
      2.3.4 Relación Sr:Ca del agua de la cuenca baja del Plata vs. conductivida….43
   2.4 Discusión……...……45

3. Capítulo 3: Identificación de stocks pesqueros del pejerrey Odontesthes bonariensis en la Cuenca baja del Plata (Argentina)

   3.1 Introducción…….…..……48
   3.2 Materiales y métodos……..……...…49
      3.2.1 Área de estudio…….……..…...…49
      3.2.2 Colecta de muestras…….……..…49
      3.2.3 Morfometría del otolito…….……50
      3.2.4 Determinación de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca del otolito.……..……51
      3.2.5 Conductividad y relación Sr:Ca en agua……...……51
      3.2.6 Análisis estadístico……...……52

3.3 Resultados……..……...52
3.3.1 Morfometría del otolito……...……52
3.3.2 Relaciones Sr:Ca y Ba:Ca del otolito…...……54
3.3.3 Conductividad y relación Sr:Ca en agua……...……55
3.4 Discusión……...……56

4. Capítulo 4: Identificación de zonas de cría y stocks pesqueros de Genidens barbus en el atlántico sudoccidental.

4.1 Introducción…….……..……59
4.2 Materiales y métodos…….……..……60
4.2.1 Área de estudio…….……..……60
4.2.2 Colecta de muestras…….……..……61
4.2.3 Determinación de la edad…….…..……62
4.2.4 Microquímica del otolito…….……..……63
4.2.5 Análisis estadístico…….……..……64
4.3 Resultados…….……..……65
4.3.1 Relaciones Sr:Ca, Ba:Ca y Mg:Ca……...……65
4.3.2 Asociaciones entre las relaciones Sr:Ca, Ba:Ca y Mg:Ca…….……66
4.3.3 Análisis discriminante…….……..……67
4.4 Discusión……...……67

5. Capítulo 5: Identificación de stocks pesqueros de pez palo (Percophis brasiliensis) en el océano atlántico sudoccidental.

5.1 Introducción……..……71
5.2 Materiales y métodos…….…..……72
5.2.1 Área de estudio……...…..……72
5.2.2 Colecta de muestras……..…..……77
5.2.3 Calculo de la edad……....……78
5.2.4 Determinación de las relaciones Sr:Ca y Zn:Ca ….....79
5.2.5 Análisis estadístico……...…80
5.3 Resultados……..…81
5.3.1 Relaciones Sr:Ca y Zn:Ca del otolito……81
5.3.2 Asociaciones entre las relaciones Sr:Ca, Ba:Ca y Mg:Ca.……82
5.3.3 Variables ambientales y microquímica del otolito..…….……..83
5.4 Discusión……...84

6. Capítulo 6: Identificación de stocks pesqueros de Mugil curema en el sudeste del Mar Caribe (Venezuela)

6.1 Introducción…….……..……87
6.2 Materiales y métodos…….……..……88
6.2.1 Área de estudio…….……....…88
6.2.2 Colecta de muestras…….……..…89
6.2.3 Determinación de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca en otolitos……..……90
6.2.4 Determinación de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca en agua……..……91

6.2.5 Coeficiente de partición……..…..…..……91
6.2.6 Análisis estadístico……92
6.3 Resultados……..……...…92
6.3.1 Relaciones Sr:Ca y Ba:Ca del otolito……..……..…92
6.3.2 Relaciones Sr:Ca y Ba:Ca en agua…….....……94
6.4 Discusión……...95

Capítulo 7: Discusión general, conclusiones y recomendaciones

7.1 Discusión general……..……98
7.2 Recomendaciones de manejo de stocks pesqueros…..……..……..101
7.3 Conclusiones…….……..……110
7.4 Bibliografía…….……111

Capítulo 8: Anexo.

8.1 Publicaciones derivadas de la tesis…….....…127
8.2 Como citar esta Tesis. …….....…131

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2

Tabla 2.1: Relación Sr:Ca y conductividad para los sitios de muestreo ordenados según el gradiente latitudinal (norte-sur).……..……...……43

Tabla 2.2: Valores de Sr:Ca de otolitos de especies estuarinas y dulceacuícolas……...…45

Capítulo 3

Tabla 3.1: Índices morfométricos de los otolitos por sitio de estudio……..……..53

Tabla 3.2: Relación Sr:Ca del agua y conductividad de los sitios de muestreo……...…..…56

Capítulo 4

Tabla 4.1: Relaciones elemento:Ca (mmol/mol) por zona del otolito.……...……65

Tabla 4.2: Matriz de clasificación cruzada del ADC…..……67

Capítulo 5

Tabla 5.1: Número de ejemplares por grupo de edad y sitio de muestreo. ……80

Tabla 5.2: Relaciones Sr:Ca y Zn:Ca por rango de edad para la Zona Común de Pesca Argentina-Uruguaya (ZCPAU), El Rincón (ER) y el Golfo de San Matías (GSM), Argentina…….……....81

Tabla 5.3: Variabilidad explicada por el primer eje canónico (% PEC) y autovectores del análisis discriminante de la microquímica otolitos (Figura 5.5, a-d). ……84

Capítulo 6

Tabla 6.1: Media ± desvío estándar de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca (mmol/mol) de Mugil curema por sitio de estudio.……..……...……...93

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1.1: Vista lateral del oído interno de Abudefduf abdominalis. ……...21

Figura 1.2: Ejemplar de Odontesthes bonariensis capturado en el Río de la Plata.…….……..26

Figura 1.3: Distribución de Odontesthes bonariensis en Argentina.……...……..…27

Figura 1.4: Ejemplar de Genidens barbus.….....…28

Figura 1.5: Ejemplar de pez palo (Percophis brasiliensis)…….……...….29

Figura 1.6: Ejemplar de lisa (Mugil curema) capturada en Isla Margarita, Venezuela.…….30

Figura 1.7: Variables morfometricas sobre el otolito sagitta.…….31

Capítulo 2

Figura 2.1: Cuenca baja del Río de la Plata.……...……37

Figura 2.2: Sitios de muestreo en ambientes lénticos. Los puntos indican los sitios de muestreo de agua y peces. ……..……40

Figura 2.3: Relación entre Sr:Ca del otolito y la talla de los peces (n=60) capturados en el Delta del Río Paraná. ……..……41

Capítulo 3

Figura 3.1: Área de estudio. 1-3, sitios donde se colectaron muestras de agua y peces.……...……50

Figura 3.2: Análisis discriminante entre los índices AO:LO, PS:PO, SS:SO por sitio de muestreo.……..…….....53

Figura 3.3: Relaciones Sr:Ca (a) y Ba:Ca (b) de los otolitos por sitio de estudio...……..54

Figura 3.4: Asociación entre las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca de los otolitos por sitio de estudio……..……...55

Capítulo 4

Figura 4.1: Sitios de muestreo de Genidens barbus.……...61

Figura 4.2: Otolitos lapilli de Genidens barbus……..……62

Figura 4.3: Sección transversal del otolito lapilli de un ejemplar de Genidens barbus colectado en el Delta del Río Paraná…….……..……62

Figura 4.4: Secuencia esquematizada del pulido diferencial de las secciones transversales del otolito.…….……63

Figura 4.5: Asociaciones entre las relaciones elemento:Ca (mmol/mol). ……...……...66

Capítulo 5

Figura 5.1. Región bonaerense de la plataforma continental argentina.……..75

Figura 5.2: Sitios de colecta de Percophis brasiliensis en la Zona común de pesca Argentina-Uruguaya (ZCPAU), El Rincón (ER) y Golfo San Matías (GSM).…….……..…77

Figura 5.3. Detalle del par de otolitos sagittae de pez palo. …..……..……..…...…79

Figura 5.4: Relaciones Sr:Ca y Zn:Ca (mmol/mol) de otolitos de Percophis brasiliensis entre los sitios de estudio. ……..……..…...……84

Figura 5.5: Análisis discriminante basado en las relaciones Sr:Ca y Zn:Ca de los otolitos...83

Capítulo 6

Figura 6.1: Sitios de muestreo de Mugil curema en el estado de Nueva Esparta, Venezuela…….……...89

Figura 6.2: Otolitos Sagittae de Mugil curema.. ……...…..…90

Figura 6.3: Análisis discriminante entre las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca de los otolitos de Mugil curema para los sitios de muestreo en el estado de Nueva Esparta. ……..……..…94

Figura 6.4: Relación Sr:Ca del agua (mmol/mol) por sitio de muestreo.…..……..…..……..…95

Figura 6.5: Coeficientes de partición de Sr por sitio de estudio.……...…….96

Capítulo 7

Figura 7.1: Pescadores y escenario de la 12° edición de la Fiesta Provincial del Pejerrey en Berisso, Buenos Aires. ……..……...……101

Figura 7.2: Ganchera con los ejemplares de mayor peso capturados en la "2da edición de la Fiesta de bagre de mar en Berisso, Buenos Aires. ……...……104

Figura 7.3: Interior del ovulo izquierdo de un ejemplar de bagre de mar de 8 años de edad capturado en el Paraná Guazú.……..…..……..……104

CAPITULO 1

1.1. Introducción General

La captura extractiva pesquera a nivel global se ha incrementado hacia fines del siglo XX y permanece a un nivel relativamente constante de más 90 millones de toneladas de peces anuales capturados en la última década FAO (2012).

En Argentina, las capturas marítimas extractivas están disminuyendo en los últimos años (Minagri, 2013). En 2008 se capturaron unas 573.028 toneladas de teleósteos marinos, de las cuales, aproximadamente el 67% corresponden a especies costeras y en 2013 alrededor de 500.000 toneladas (Minagri, 2013). Desde el primero de enero hasta marzo de 2014, se capturaron en total 35.000 toneladas de peces teleósteos marinos. Según los datos más recientes en relación a las exportaciones de peces continentales (Minagri, 2012), las mismas oscilan entre 17.000 y 22.000 toneladas (período 2011-2012). Entre las principales especies capturadas se encuentra el sábalo, Prochilodus lineatus (15.000 toneladas), y el pejerrey, Odontesthes bonariensis (440 toneladas) (Minagri, 2011; 2012).

Desde 1950 el 25% de las pesquerías del mundo han colapsado (Mullon et al., 2005). Las estrategias orientadas para garantizar la eficiencia en el manejo y ordenamiento sustentable de las pesquerías se basan en la identificación de los stocks y en la regulación del esfuerzo pesquero. Para ello, se propicia que las reservas pesqueras no disminuyan hasta niveles irreversibles que comprometan la continuidad de la pesquería o conlleven a problemas socioeconómicos del sector productivo pesquero.

El concepto de stock pesquero describe principalmente las características de una unidad poblacional con integridad genética, y sobre la cual se realiza algún tipo particular de manejo (Begg et al., 1999). Existen diferentes métodos para la identificación de stocks pesqueros tales como captura-recaptura, parámetros poblacionales, estructura de tallas, caracteres morfométricos y merísticos, identificación genética, entre otros (entre otros, Park y Moran,

1994). Estos métodos presentan diferentes grados de complejidad y eficiencia. Los métodos tradicionales (estructura de tallas, variaciones fenotípicas, recuento de caracteres merísticos y medición de caracteres morfométricos), necesitan para su aplicación una gran cantidad de muestras, capturadas con artes de pesca de baja selectividad por talla. Los recursos humanos, económicos y el esfuerzo implicados en estos métodos son muy altos. Esto mismo ocurre con el método genético de caracterización por aloenzimas. Sin embargo, a diferencia de los primeros, este último puede no ser útil en el caso que exista una alta homogeneidad y flujo genético entre los stocks (Volpedo et al., 2007).

En los últimos años, la utilización de la morfometría y composición química de los otolitos, también ha permitido la identificación de stocks e historias de vida de diferentes especies comerciales (Abaunza et al., 2008; Schuchert et al., 2010, Tabouret et al., 2010; Ranaldi y Gillanders, 2011; Avigliano y Volpedo, 2013).

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 matríz 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 (Figura 1.1). 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).

El agregado de calcio es un proceso extracelular que se encontraría regulado hormonalmente e influenciado por variaciones en la temperatura ambiental (Morales-Nin, 1998). Estas estructuras poseen una morfología específica para cada especie (Volpedo y Echeverría, 1997; 2000; 2001; Tombari et al., 2000; Tuset et al., 2008) y son conservativas ya que el material que los compone no se reabsorbe ni altera (Casselman, 1987). Los elementos químicos más utilizados para la identificación de stocks pesqueros y estudios de historia de

vida de los peces son el estroncio (Sr), el bario (Ba), el zinc (Zn) y el magnesio (Mg) en relación al elemento mayoritario del otolito, el calcio (Ca) (Brown y Severin, 2009; Sturrock et al., 2012). La concentración de Sr:Ca en los otolitos varía en función la composición química del agua que frecuenta el pez y en menor medida a la temperatura del ambiente (Wells et al., 2003; Kraus y Secor, 2004; Brown y Severin, 2009; Sturrock et al., 2012). Kraus y Secor (2003) determinaron una asociación positiva entre la relación Sr:Ca de otolito

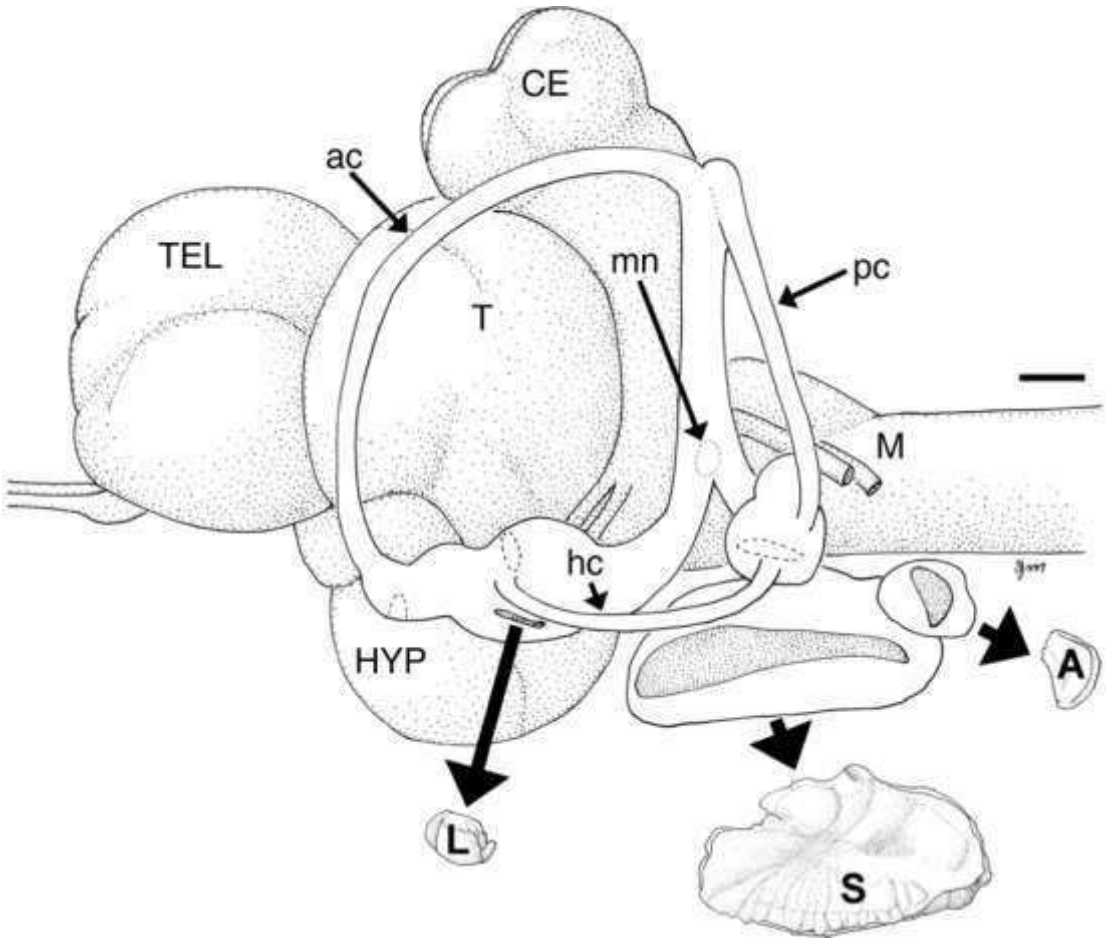

Figura 1.1: Vista lateral del oído interno de Abudefduf abdominalis. El sáculo y la lagena se posicionan en el plano dorso-ventral a lo largo del eje primario. La posición de la mácula sensorial se describe y sombreado dentro de cada ampolla mientras que los otolitos que corresponden a cada ampolla son señalados con las flechas grandes. A, otolito asteriscus de la lagena; ac, canal anterior; CE, cerebelo; hc, canal horizontal; HYP, el hipotálamo; L, otolito lapíllus del utrículo, M, médula; pc, canal posterior, S otolito sagitta de sáculo, T, tectum; TEL, telencéfalo. La barra de escala, 1 mm. Tomado de Maruska K. P. et al. (2007).

con la salinidad del agua. Por otro lado, la concentración de Ba:Ca en los otolitos está asociada negativamente a la salinidad del agua (Miller, 2011). El uso simultáneo de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca de los otolitos fue recientemente estudiado por Tabouret et al. (2010) en la migración de una especie catádroma (Anguilla anguilla) de un ambiente fluvio-marino del hemisferio norte. A diferencia del Sr y Ba, la incorporación de Zn en los otolitos estaría más asociada a la dieta, que a la calidad del agua por lo que, este elemento podría ser utilizado como potencial marcador de hábitat (Ranaldi y Gagnon, 2008). Por otro lado, la relación Mg:Ca se ha utilizado en conjunto con las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca para la identificación de stocks pesqueros (Schuchert et al., 2010; Ferguson et al., 2011) y está asociada positivamente con la temperatura en algunas especies (e.g. Oncorhynchus tshawytscha) pero es independiente de la salinidad del agua (Martin y Thorrold, 2005; Martin y Wuenschel, 2006; Miller, 2011).

Son escasos los estudios que determinan stocks pesqueros en el Océano Atlántico Sudoccidental utilizando otolitos. Los primeros trabajos de identificación de stocks usando morfometría y microquímica de los otolitos sagitta se aplicaron a especies comerciales costeras, como la corvina rubia (Micropogonias furnieri) y la pescadilla (Cynoscion guatucupa) (Volpedo y Fernández Cirelli, 2006). Más recientemente Schuchert et al. (2010) utilizando la microquímica de los otolitos de la merluza de cola (Macruronus magellanicus) separaron los stocks del Océano Pacifico y del Océano Atlántico de esta especie.

Para muchas de las especies de peces comerciales dulceacuícolas y marino-costeras de nuestro país, no existen hasta el momento estudios sobre la identificación de sus stocks pesqueros y/o sus desplazamientos a lo largo de la historia de vida, algunas de las cuales además son recursos pesqueros transfronterizos compartidos con otros países de la región como Uruguay y Brasil.

Por ejemplo, el pejerrey de agua dulce, Odontesthes bonariensis, especies eurihalinas como el bagre marino, Genidens barbus o bien la especie marino-costera pez palo, Percophis

brasiliensis, son recursos explotados comercialmente, no sólo por Argentina (Minagri, 2014) sino también por los países limítrofes (DINARA, 2014; Ministerio de Pesca do Brasil, 2014), y sus rutas migratorias y stocks pesqueros aun no han sido claramente identificados. Esta escasa información sobre la bioecología de especies comerciales también se puede extender a otras regiones marinas de Sudamérica como el Mar Caribe donde la lisa (Mugil curema) presenta estos mismos vacios de información siendo un recurso pesquero fundamental (Marin et al., 2003).

Esto revela que para muchas de las especies comerciales de la región no contamos con estudios que permitan garantizar el manejo pesquero sustentable de las mismas. En este sentido, esta tesis se propone aportar elementos que contribuyan con la determinación de stocks pesqueros de especies comerciales sudamericanas transfronterizas.

Considerando los antecedentes previamente mencionados, se plantean los siguientes objetivos:

1.1.1. **En este contexto se plantea la siguiente hipótesis**

El uso de la morfometría y microquímica del otolito es una buena herramienta para la determinación de stocks pesqueros y el estudio de la historia de vida de peces de importancia comercial del la Cuenca Baja del Plata y de la costa Atlántica de Sudamérica y Mar Caribe como el pejerrey (Odontesthes bonariensis), el bagre de mar (Genidens barbus), el pez palo (Percophis brasiliensis) y la lisa (Mugil curema).

1.1.2. **Objetivo general**

Evaluar el uso de la morfometría y microquímica del otolito como una potencial herramienta para la determinación de stocks pesqueros y el estudio de la historia de vida de

peces de importancia comercial del la Cuenca Baja del Plata y de la costa Atlántica de Sudamérica y Mar Caribe como el pejerrey (Odontesthes bonariensis), el bagre de mar (Genidens barbus), el pez palo (Percophis brasiliensis) y la lisa (Mugil curema).

1.1.3. **Objetivos específicos**

a. Determinar la composición química y la morfometría de los otolitos de especies comerciales (Odontesthes bonariensis, Genidens barbus, Percophis brasiliensis y Mugil curema) rioplatenses y de la costa Atlántica de Sudamérica y Mar Caribe.
b. Asociar la composición química del otolito con la concentración de elementos traza y características físico-químicas del agua que habita el pez.
c. Identificar los potenciales stocks pesqueros de las especies propuestas (Odontesthes bonariensis, Percophis brasiliensis, Mugil curema y Genidens barbus).
d. Realizar recomendaciones de manejo de stocks pesqueros a las autoridades nacionales y provinciales.

1.1.3. **Estructura de la tesis**

La Tesis se encuentra organizada de la siguiente manera:

Capitulo 1: Introducción general: presenta la introducción general de la temática, hipótesis y objetivos, estructura de la tesis y métodos generales.

Capitulo 2: Desplazamientos estacionales del pejerrey Odontesthes bonariensis en la cuenca baja del Plata (Argentina): En este capítulo se describen los desplazamientos estacionales del pejerrey utilizando la microquímica del otolito y conductividad del agua.

Capitulo 3: Identificación de stocks pesqueros del pejerrey Odontesthes bonariensis en la Cuenca baja del Plata (Argentina). Se identifican 2 stocks pesqueros de pejerrey utilizando el uso simultáneo de la morfometría y microquímica del otolito.

Capitulo 4: Identificación de zonas de cría y stocks pesqueros de Genidens barbus en el atlántico sudoccidental. En este capítulo se identifican 2 zonas de cría y dos stocks pesqueros (uno perteneciente a Brasil y otro a Argentina) mediante una nueva metodología de pulido parcial del otolito y posterior análisis de elementos traza por porciones del otolito.

Capitulo 5: Identificación de stocks pesqueros de pez palo (Percophis brasiliensis) en el océano atlántico sudoccidental. Se evalúa las relaciones Sr:Ca y Zn:Ca del otolito como herramienta para la identificación de stocks pesqueros del pez palo.

Capitulo 6: Identificación de stocks pesqueros de Mugil curema en el sudeste del Mar Caribe (Venezuela). En este capítulo se comparan las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca de otolitos de lisas provenientes del sudeste del Mar Caribe entre distintos puntos de muestreo con el fin de identificar posibles stocks.

Capitulo 7: Discusión general, conclusiones y recomendaciones: en esta sección se discuten los resultados de los capítulos anteriores en forma integral y se plantean recomendaciones a fin de colaborar con el ordenamiento pesquero.

Figuras y Tablas: Para facilitar la ubicación de tablas y figuras dentro de la tesis se utilizó un sistema binomial para la numeración de las mismas en la cual el primer número indica el capítulo en la cual se encuentra la tabla o figura y el segundo indica la posición dentro del capítulo, por ejemplo: Figura 6.5, indica que es la figura número 5 del capítulo 6.

1.2. Materiales y métodos, generalidades.

1.2.1. Muestra biológica

Las especies estudiadas fueron el pejerrey (Odontesthes bonariensis)(Valenciennes, 1835), el pez palo (Percophis brasiliensis) (Quoy et Gaimard, 1824), la lisa (Mugil curema) (Valenciennes, 1836) y el bagre de mar (Genidens barbus) (Lacépède, 1803).

Una breve reseña de los aspectos bioecológicos más relevantes de las especies mencionadas de detalla seguidamente:

Odontesthes bonariensis

Distribución: El pejerrey, Odontesthes bonariensis (Figura 1.2), se distribuye en cuerpos de agua dulce, salobres y estuarios de Sudamerica (Tombari y Volpedo, 2008). La localidad tipo es Montevideo (Uruguay) y su distribución original está asociada a los sistemas acuáticos lenticos y lóticos (Avigliano y Volpedo, 2013). En Argentina está distribuido en cuerpos de agua lénticos de la provincias de Córdoba, La Pampa, Santa Fe, Santiago del Estero, Misiones, Entre Ríos, Tucumán, Corrientes, Salta, San Luis y Buenos Aires (Liotta, 2005), Delta del Paraná y Estuario del Río de la Plata (Avigliano y Volpedo, 2013).

Recientemente Avigliano y Volpedo (2013) describieron la presencia de O. bonariensis en y 7 nuevas localidades incluyendo 11 ríos en la Cuenca baja del Plata extendiéndose su distribución conocida más de 250 km (Figura 1.3).

Figura 1.2: Ejemplar de Odontesthes bonariensis capturado en el Río de la Plata. Barra=10mm.

Alimentación: El pejerrey es una especie principalmente zooplanctófaga, sin embargo, cuando el zooplancton es escaso, puede cambiar su comportamiento alimenticio buscando otro tipo de organismos como peces y moluscos (Escalante, 2001). Si bien la composición de la dieta del pejerrey varia significativamente entre los diferentes cuerpos de agua lenticos de Argentina, en líneas generales, en los estadios larvales y juveniles lo pejerreyes se alimentan principalmente de plancton, mientras que los adultos suelen incorporar otros organismos como moluscos gasterópodos, crustáceos y otros peces e incluso se ha observado el canibalismo (Escalante, 2001). En cuerpos de agua loticos donde el plancton es relativamente escaso como en el estuario del Río de la Plata, la dieta del pejerrey tiene como ítem presa importante a moluscos gasterópodos (Escalante, 2001) y peces (obs. pers.).

Reproducción: La diferenciación sexual del pejerrey es termo-dependiente. Existen

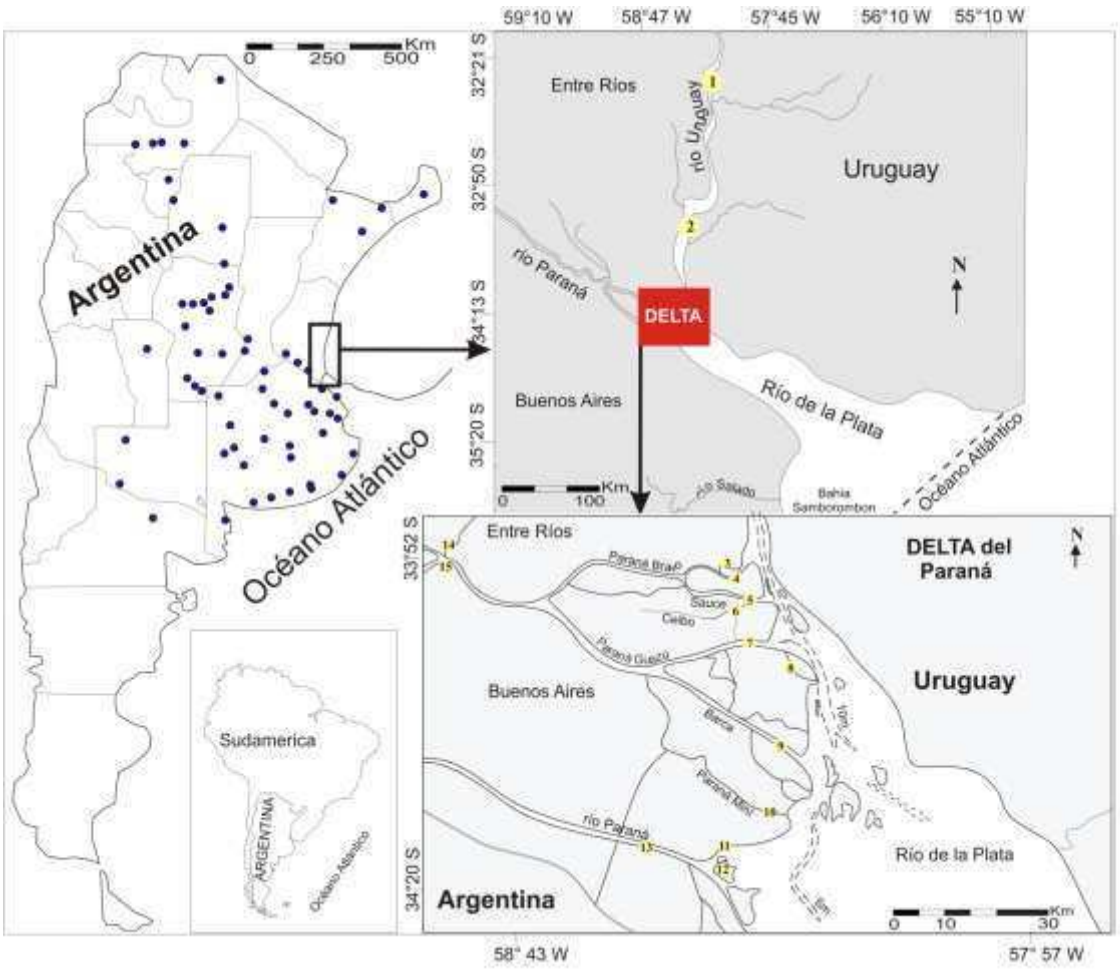

Figura 1.3: Distribución de Odontesthes bonariensis en Argentina. Tomado de Avigliano y Volpedo (2013).

normalmente dos periodos de desove, uno correspondiente a marzo-abril y otro comprendido entre Agosto y Noviembre (Barco, 1984). Alcanza su primera madurez sexual entre el primer y segundo año de vida (talla total de 140 mm aprox.), siendo esto muy variable entre las diferentes regiones (Barco, 1984).

Genidens barbus

Distribución: El bagre marino, Genidens barbus (Figura 1.4), se distribuye en estuarios, en la zona costera y en la plataforma marítima desde Bahía en Brasil hasta San Blás, Argentina (17°00'S-40°32'S) (López y Bellisio, 1965).

Figura 1.4: Ejemplar de Genidens barbus. Tomado de FishBase (http://fishbase.sinica.edu.tw).

Alimentación: La dieta de G. barbus varía con la ontogenia, donde los individuos de menos de 100 mm de longitud total se alimentan principalmente de copépodos y secundariamente de gasterópodos, bivalvos, ostrácodos y poliquetos, mientras que los individuos de entre 100 y 200 mm de longitud total se alimentan preferentemente de otros peces (Carranza y Vieira, 2009; Denadai et al., 2012). La literatura sobre la dieta de ejemplares adultos es escasa, sin embargo, no se observa contenido estomacal en los estómagos de los ejemplares capturados durante la migración reproductiva, aunque ocasionalmente son capturados con moluscos y peces como cebo.

Reproducción: Es un pez anádromo que realiza migraciones reproductivas entre los meses de septiembre a diciembre (Reis, 1986; ver página 59). La edad de primera maduración sexual es de 7 años (Velasco, 1998). Presenta cuidados parentales por parte de los machos que transportan los huevos en la cavidad bucal desde el agua dulce hasta el estuario (Velasco y Reis, 2004).

Percophis brasiliensis

Distribución: El pez palo, Percophis brasiliensis (Figura 1.5), es una especie demersal costera, cuya distribución en el Atlántico Sudoccidental abarca desde Río de Janeiro (Brasil, 23°S) hasta el Norte de la Provincia de Chubut (Argentina, 44ºS) y, hasta aproximadamente los 200 de profundidad.

Figura 1.5: Ejemplar de pez palo (Percophis brasiliensis). Barra=10 cm

Alimentación: Es frecuentador de fondo y se alimenta principalmente de calamares y peces pelágicos o del pelagial inferior (Cousseau y Perrota, 1998).

Reproducción: La mayor actividad reproductiva del pez palo se observa en el periodo de primavera-verano, con la mayor concentración de individuos maduros en el área de El Rincón (Militelli y Macchi, 2001). Se observaron diferencias significativas entre sexos para las tallas de primera maduración sexual (290 mm para los machos y 380 mm para las hembras) (Militelli y Macchi, 2001).

Mugil curema

Distribución: En la costa oriental de América, M. curema (Figura 1.6) está distribuida desde Nueva Escocia, Canadá, hasta Brasil y sobre la costa occidental desde California, Estados Unidos, hasta Chile, existiendo también poblaciones en el continente africano (Alvarez-Lajonchere, 1976; Nirchio et al., 2005).

Figura 1.6: Ejemplar de lisa (Mugil curema) capturada en Isla Margarita, Venezuela. Barra=7 cm.

Alimentacion: M. curema es un consumidor primario en la cadena alimenticia. Tanto los juveniles como los adultos son de hábitos alimenticios herbívoro-detritívoros, alimentándose principalmente de diatomeas bentónicas, dinoflagelados, restos orgánicos (detritos y restos vegetales) y sedimentos inorgánicos (Franco y Bashirullah, 1992).

Reproducción: La edad de primera madurez sexual es de un año y desova tanto en aguas estuarínas como en mar abierto (Ibañez et al., 2012). En el Golfo de México el desove transcurre entre febrero y mayo, con máxima actividad en abril (Ibañez et al., 2012), de julio a septiembre en el sudeste del Mar Caribe (Baumar et al., 2003) y entre Abril y Agosto en las costas de Florida y Carolina (USA) (Baumar et al., 2003).

1.2.2. Colecta de muestras

Los peces se capturaron en diferentes cuerpos de agua rioplatenses y en zonas de la costa atlántica marina centro-sudamericana, en especial el litoral bonaerense y costa nordpatagónica (ver capítulos subsiguientes). Los peces fueron capturados de acuerdo a la normativa vigente con los correspondientes permisos otorgados por las autoridades competentes. Se registró la longitud total (LT) en mm de los ejemplares y se extrajeron los otolitos.

1.2.3. Morfometría de otolitos

Para la identificación de stocks pesqueros mediante la utilización de la morfometría de los otolitos se registraron los siguientes caracteres morfométricos con un microscopio estereoscopio con error menor a 0.01 mm (Leica® EZ4-HD) y un procesador de imágenes (Image ProPlus 4.5®): largo de otolito (LO) en mm, ancho del otolito (AO) en mm, superficie del otolito (SO) en mm^2, perímetro del otolito (PO) en mm, perímetro del sulcus (PS) en mm y superficie del sulcus (SS) en mm^2 (Figura 1.7). Posteriormente se calcularon

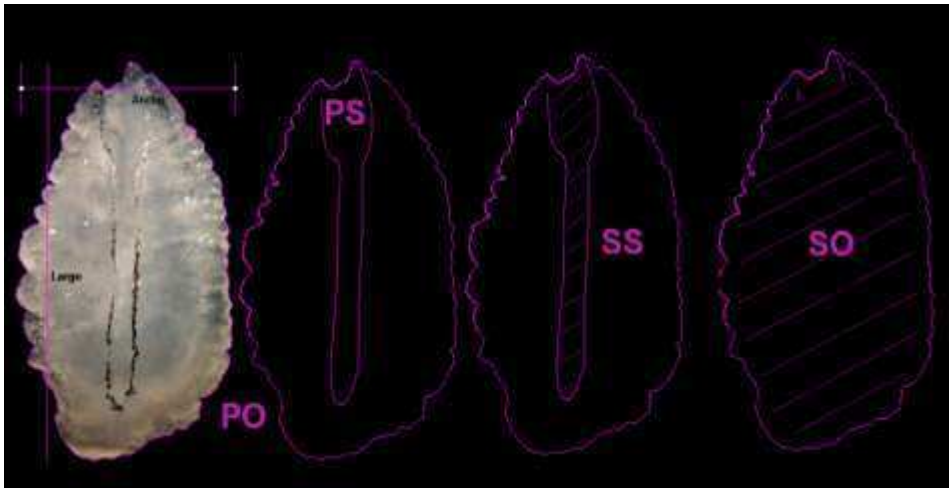

Figura 1.7: Variables morfometricas sobre el otolito sagitta. SO, superficie del otolito; SS, superficie del sulcus; PO, perímetro del otolito; PS, perímetro del sulcus.

los siguientes índices morfométricos AO/LO, SS/SO y PS/PO. El índice AO/LO muestra la tendencia a la circularidad del otolito y fue propuesto Volpedo y Echeverria (2003). El índice SS/SO determina que porcentaje de la superficie del otolito está ocupada por el sulcus que a su vez es la superficie ocupa la mácula nerviosa que transmite al cerebro información. El índice PS/PO indica la regularidad de los bordes del sulcus en relación a la regularidad de los bordes del otolito.

1.2.4. Microquímica de otolitos

Para el estudio de microquímica, los otolitos fueron digeridos en ácido nitrico y se determinó la concentración de Sr (407.771 nm), Ba (233.527 nm), Ca (317.933 nm), Mg (285.213 nm) y Zn (206.200 nm) mediante espectrometría de emisión atómica por acoplamiento de plasma (ICP-OES, Perkin-Elmer® Optima 2000 DV optical emissionspectrometer, Überlingen, Germany) (método EPA 200.7, 2004) equipado con un nebulizador de flujo cruzado, camara scot y antorcha de cuarzo. Se utilizó un eje de visión radial atenuado para el Sr y axial para el Ba, Ca, Mg y Zn. Las muestras fueron introducidas al equípo por medio de un Autosampler Perkin-Elmer® AS-90 Plus. En todos los casos se realizaron calibraciones externa uttilizando QCS 21 (Quality Control Standard), Perkin-Elmer® Pure (USA). Los límites de detección fueron: Sr: 12 µg/L; Ba: 8 µg/L; Ca: 10 µg/L; Mg: 10 µg/L; Zn: 10 µg/L. Cuando la concentración de calcio en solución fue superior a 40 mg/L se utilizó el método volumétrico de titulación con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) (método APHA, 1993). Posteriormente, se realizaron la relaciones elemento:Ca.

1.2.5. Conductividad y elementos traza en agua

En cada sitio de estudio se registró in situ conductividad del agua (HANNA® HI9142). Se colectaron muestras de agua en envases de polietileno de 500 ml apropiadamente preparados[1]. Las muestras se preservaron con el agregado de 2 ml de ácido nítrico por litro de muestra (APHA, 1993; método 3010 B) y fueron llevadas a una temperatura de 4°C hasta su determinación. Para el análisis de elementos traza las muestras de agua se filtraron para garantizar la ausencia de sólidos en suspensión y determino la concentración de Sr (y cuando fue posible la de Ba) por ICP-OES (ver especificaciones del instrumento en el texto anterior). La concentración de calcio se determinó por el método volumétrico de titulación con EDTA (método APHA, 1993).

Se compararon y correlacionaron la morfometría y composición química de los otolitos de las diferentes especies mencionadas en relación a condiciones ambientales de la zona de procedencia de la muestra. Se plantearon asociaciones entre los diferentes características morfológicas, morfométricas y de composición química de los otolitos con los aspectos bioecológicos de la especie (historia de vida, hábitos, ambiente, aspectos reproductivos), con el fin de determinar stocks pesqueros. Se analizaron los resultados obtenidos a través de la aplicación de metodología estadística paramétrica y no paramétrica según corresponda (Sokal y Rohlf , 1995; Zar, 1996).

[1] Este recipiente será previamente lavado con detergente y agua corriente, enjuagado con agua destilada, secado a temperatura ambiente e inmerso durante 24 hs en ácido nítrico al 10%, posteriormente se lo enjuagará con agua destilada y agua Milli Q y secado a temperatura ambiente

CAPÍTULO 2

Desplazamientos estacionales del pejerrey Odontesthes bonariensis en la Cuenca baja del Plata (Argentina)

2.1. Introducción

El estuario del Río de la Plata posee una alta biodiversidad de peces, 19 especies de condrictios y 243 especies de teleósteos, 170 de agua dulce y 73 marinos (García et al., 2003). Algunas de estas especies integran importantes pesquerías como las del sábalo (Prochilodus lineatus), la corvina rubia (Micropogonias furnieri) y el pejerrey (Odontesthes bonariensis). Estas pesquerías presentan diferentes problemáticas en su manejo. La captura de la corvina y el sábalo están reguladas por diferentes normativas, sin embargo en el caso del pejerrey, no existen normativas de manejo en los grandes ríos de la Cuenca del Plata. Es por ello que es fundamental generar herramientas que contribuyan al manejo sustentable de los stocks pesqueros.

En la zona inferior de la Cuenca del Plata (Delta del Paraná, Río de la Plata interno y medio), el pejerrey está presente aproximadamente entre abril a septiembre (periodo que puede variar ligeramente según las condiciones climatológicas de la zona, obs. personal). En este período el pejerrey realiza migraciones reproductivas y se practica la captura comercial y deportiva (Avigliano y Volpedo, 2013). No existen registros oficiales y representativos de capturas de la especie en los meses estivales (de noviembre a marzo), desconociéndose su distribución en dicha época.

En la última década, se han desarrollado estudios que permiten relacionar parámetros de calidad del agua (presencia de elementos traza y salinidad) con la composición química de los otolitos de los peces, permitiendo identificar rutas migratorias y desplazamientos (por ejemplo, Secor et al., 1995; Zlokovitz et al., 2003; Tabouret et al., 2010). La relación estroncio:calcio (Sr:Ca) de los otolitos de los peces se ha aplicado en reconstrucciones de rutas migratorias o desplazamientos de los stocks entre ambientes de agua dulce, estuarinos y

marinos, con la premisa de que los hábitat con baja concentración salina tienden a reducir los valores de Sr:Ca de los otolitos y los de elevada salinidad tienden a incrementar dicha relación (Secor et al., 1995; Kraus y Secor, 2004; Zlokovitz et al., 2003; Schuchert et al., 2009; Tabouret et al., 2010). Kraus y Secor (2004), demostraron que existe una asociación directa y positiva entre la relación Sr:Ca del otolito y del agua. Además también se halló que existe una relación positiva entre la salinidad y la Sr:Ca de los otolitos (Kraus y Secor, 2004).

La aplicación de la relación Sr:Ca del otolito para el estudio de desplazamientos de peces es un método válido sólo si las concentraciones de estos elementos son relativamente estables a través del tiempo para garantizar que la incorporación en la matríz del otolito refleje las características de las masas de agua. Los hábitos de vida de los peces son otro factor a considerar a fin de no elaborar falsas conclusiones, ya que si por ejemplo, sólo se analiza la zona periférica del otolito, reflejaría la salinidad en la que el pez fue capturado. En algunas especies que se desplazan entre ambientes de diferente salinidad (mesohalinas, oligohalinas o polihalinas) en periodos cortos, una semana por ejemplo, estos desplazamientos no se reflejarían en los otolitos (Secor et al., 1995).

En resumen, relación Sr:Ca de los otolitos, está íntimamente relacionada con el gradiente de salinidad presente en ambientes fluvio-marinos, por lo cual, dicha relación pude ser utilizada para la reconstrucción de rutas migratorias en este ambiente que presenta grandes variaciones espaciales de salinidad.

En este contexto, el objetivo de este capítulo fue evaluar la conductividad y la relación Sr:Ca del agua en un ambiente fluvio-marino (Delta del Paraná, Cuenca baja del Río Uruguay y estuario del Río de la Plata) y la relación Sr:Ca del otolito del pejerrey, con el fin de contribuir al conocimiento sobre los desplazamientos estacionales y su posible ubicación en el periodo estival en el Río de la Plata.

2.2. Materiales y Métodos

2.2.1. Área de estudio

El estuario del Río de la Plata es un ambiente fluvio-marítimo que recibe las aguas de la extensa Cuenca del Plata (la cuarta más grande del mundo, con 3.170.000 km^2). Este cuerpo de agua descarga un promedio de 23.000 m^3/s al mar y su superficie es 30.362 km^2 (Piola et al., 2003). Debido a su condición fluvio-marina puede ser dividido en tres zonas: interno, medio o de transicion y externo (Figura 2.1), con diferentes caracteristicas (calidad de agua, geomorfología y ecología; FREPLATA, 2005). La zona interna o dulceacuícola, posee una salinidad menor a 0,2 g/L y en ella se depositan los sedimentos más gruesos, mientras que la zona media o de transición posee un rango de salinidad de 0,4-10 g/L y posee sedimentos finos (Urien, 1966; 1967; Piola et al., 2003).

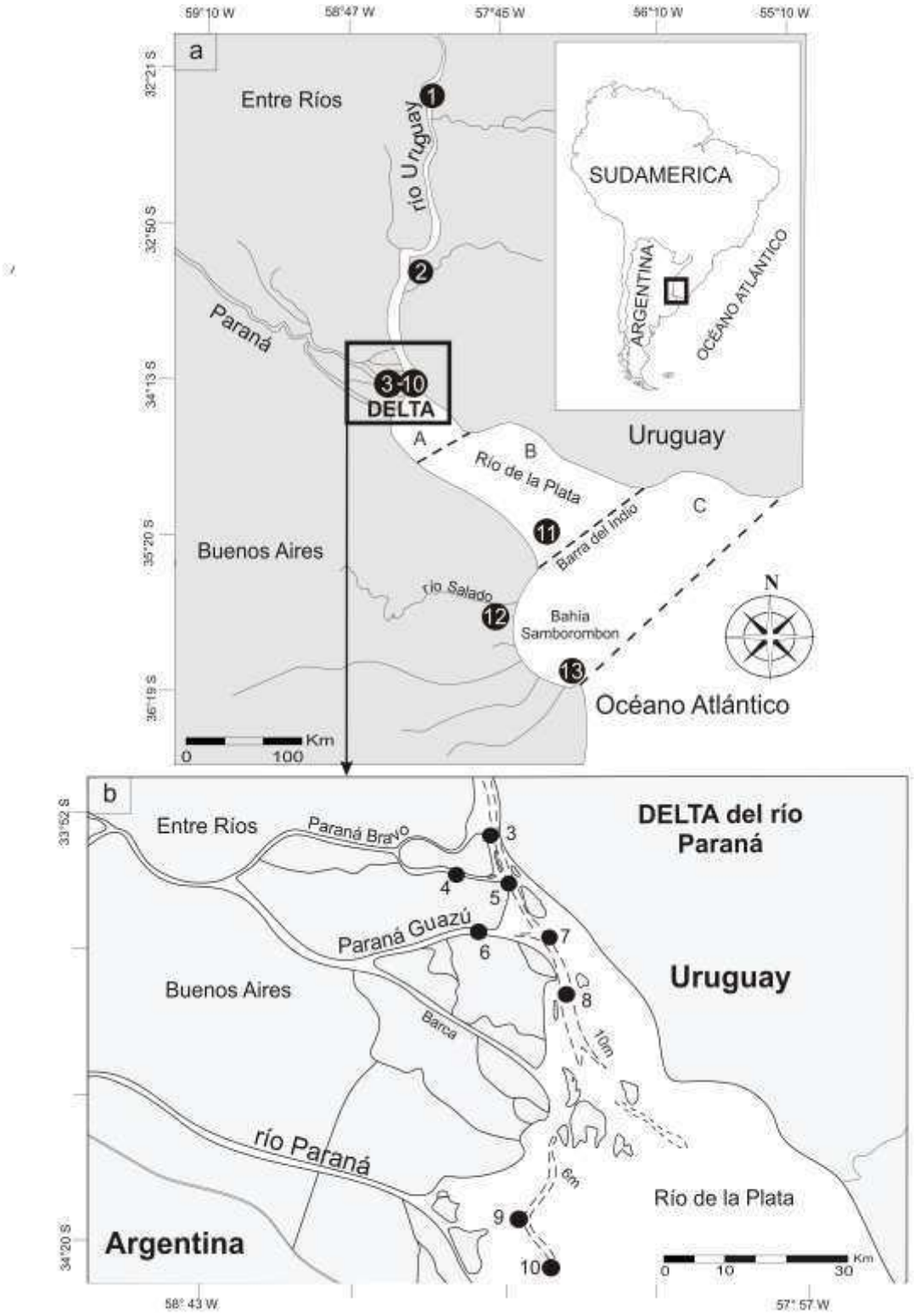

Figura 2.1: Cuenca baja del Río de la Plata. 1-13, sitios donde se colectaron muestras de agua. 3-10, sitios donde se colectaron ejemplares de Odontesthes bonariensis. a) A, zona interna; B, zona media; C, zona externa del Río dela Plata. b) Detalle de los sitios de muestreo 3-10.

La zona externa presenta un rango de salinidad entre 5-25 g/L y se caracteriza por un arco de sedimentos pelíticos limitando un importante cuerpo arenoso (Urien, 1966; 1967; Piola et al., 2003). La región externa del Río de la Plata abarca desde la costa del continente hasta la isobata de los 50 metros e incluye la cuña salina (agua marina que penetra debajo de la masa de agua dulce ubicándose próxima al fondo). La máxima penetración de la cuña salina se da hasta la Barra del Indio, línea comprendida entre Punta Piedras (Argentina) y Montevideo (Uruguay) y tiene una extensión aproximada de 100 km de longitud (Figura 2.1a). La ubicación de la cuña salina está determinada principalmente por la batimetría, aunque se han observado variaciones a causa de los incrementos en el caudal del río (Rico, 2000). Los intensos vientos del sudeste son los forzantes más importantes en el sistema ya que homogenizan la columna de agua (Guerrero et al., 1997).

2.2.2. Colecta de muestras

Se capturaron pejerreyes (N=183) en la zona inferior de la Cuenca del Plata (Delta del Paraná, Río de la Plata interior, ríos Uruguay, Paraná Guazú y Paraná de las Palmas) entre mayo y septiembre de 2010 (Figura 2.1b). Se registró la longitud total (cm) y se conservaron a -4°C hasta el momento de la extracción de los otolitos. Se colectaron muestras de agua simultáneamente con los muestreos de peces durante 2010 (Figura 2.1). En el mes de agosto de 2011 se colectaron muestras de agua en las localidades de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina), Fray Bentos (Uruguay), Punta Indio (Buenos Aires, Argentina), Río Salado (Bahía de Samborombón, Argentina) y en Punta Rasa (Buenos Aires, Argentina) (Figura 2.1a).

Se registró in situ la conductividad mediante un equipo Hanna HI9033W. Las muestras se preservaron con el agregado de 2 ml de ácido nítrico por litro de muestra (APHA, 1993; método 3010 B) y se llevaron a una temperatura de 4°C hasta su determinación.

2.2.3. Determinación de Sr y Ca en agua

La determinación de Sr en agua se llevó a cabo mediante espectrometría de emisión atómica por acoplamiento de plasma (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 2000 DV optical emissionspectrometer, Überlingen, Germany; method EPA 200.7), previa filtración para garantizar la ausencia de sólidos en suspensión que podrían interferir con la determinación. A intervalos regulares se limpió el equipo con agua Mili-Q (Molipore) y matriz de ácido nítrico 10 % para evitar un efecto memoria entre muestras con altas concentraciones del elemento Sr. La concentración de Ca en agua se determinó utilizando el método volumétrico de titulación con EDTA (APHA, 1993). Todas las mediciones se realizaron por triplicado. Posteriormente, se asoció la relación Sr:Ca con la conductividad de los distintos sitios en los que se colectaron muestras (Figura 2.1).

2.2.4. Determinación de Sr y Ca en otolitos

Se extrajeron 183 pares de otolitos y fueron limpiados con agua destilada y secados. Los mismos se fotografiaron con microscopio estereoscopio y se determinó el peso con una balanza analítica (error <0.001 mg). Se seleccionaron 60 pares pertenecientes a ejemplares colectados en zonas de muestreo alejadas entre si y se digirieron en ácido nítrico 50% sobre un baño de arena calentado entre 400-450 °C. Para la digestión se realizaron 3 ciclos de evaporación total agregando 10 ml ácido nítrico 50% entre cada uno de ellos. Finalmente, se extrajo la muestra con ácido de análisis y se enrazó a 100 ml con agua Mili-Q en matraces aforados llevando a una concentración final de ácido nítrico 10%. La concentración de Sr se determinó mediante ICP-OES (Método EPA 200.7) y el Ca se determinó utilizando el método de titulación con EDTA (APHA, 1993). Las muestras se determinaron por triplicado.

2.2.5. Curva de calibración

Se construyó una curva de calibración entre la relación Sr:Ca de los otolitos y la relación Sr:Ca de diferentes masas de agua de otros cuerpos de agua, con el fin de estimar en áreas de la zona inferior de la Cuenca del Plata donde se desplazan los pejerreyes en el periodo estival. Dicha curva fue elaborada utilizando cinco cuerpos de agua lénticos aislados y sin interconexiones con grandes ríos o ambientes donde los peces puedan realizar grandes desplazamientos.

Figura 2.2: Sitios de muestreo en ambientes lénticos. Los puntos indican los sitios de muestreo de agua y peces.

Los cuerpos de agua seleccionados para la curva de calibración fueron el Dique Los Alisos (N=16) y el dique Las Maderas (N=15) de la provincia de Jujuy, embalse Cabra Corral (N=15), provincia de Salta y la Laguna Chascomús (N=19) de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 2.2).

En cada uno de estos cuerpos de agua lénticos se capturaron peces y se colectaron muestras de agua con el fin de obtener la relación media de Sr:Ca de los otolitos y de las distintas masas de agua.

Una vez construida la curva Sr:Ca agua vs. Sr:Ca otolito, utilizando el valor medio de la relación Sr:Ca de los otolitos de los pejerreyes capturados en la zona inferior de la Cuenca del Paraná, se estimó la relación Sr:Ca media de la masa de agua en el ambiente estudiado.

2.3. Resultados

2.3.1. Relación Sr:Ca de los otolitos del Delta del Paraná

La composición química de los otolitos de los pejerreyes del Delta del Paraná presentó una relación Sr:Ca muy variable (rango: 1,08-3,2 mmol/mol), hallándose ejemplares de tallas similares con valores de la relación Sr:Ca diferentes (Figura 2.3). El valor medio de la relación Sr:Ca es 1,69 ± 0,36 mmol/mol (media ± DE).

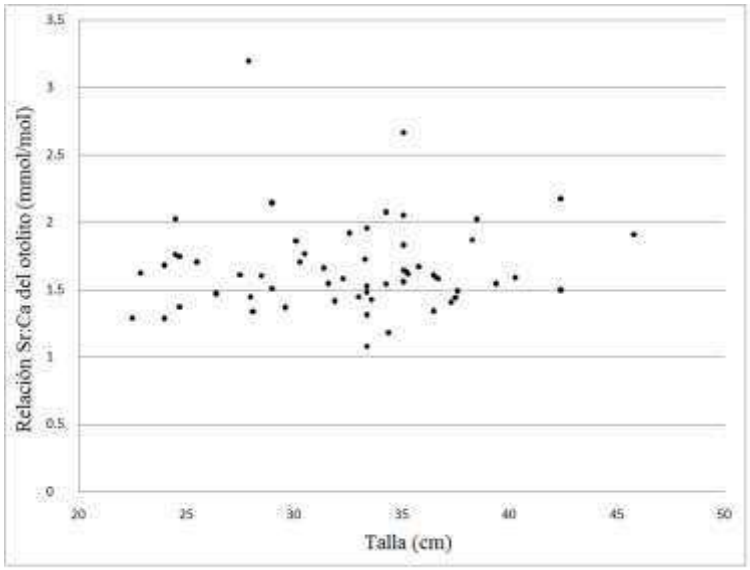

Figura 2.3: Relación entre Sr:Ca del otolito y la talla de los peces (N=60) capturados en el Delta del Río Paraná.

2.3.2. Curva de calibración

En la Figura 2.4 se grafica la ecuación de ajuste de la relación entre Sr:Ca de los otolitos y las masas de agua junto a las bandas de prediccíon del modelo. La relación entre los elementos Sr:Ca de la masa de agua y la relación Sr:Ca de los otolitos de O. bonariensis puede ser expresada por la siguiete ecuación:

$$Y_x = 0{,}509X + 1{,}055 \quad \text{ecuación 1}$$

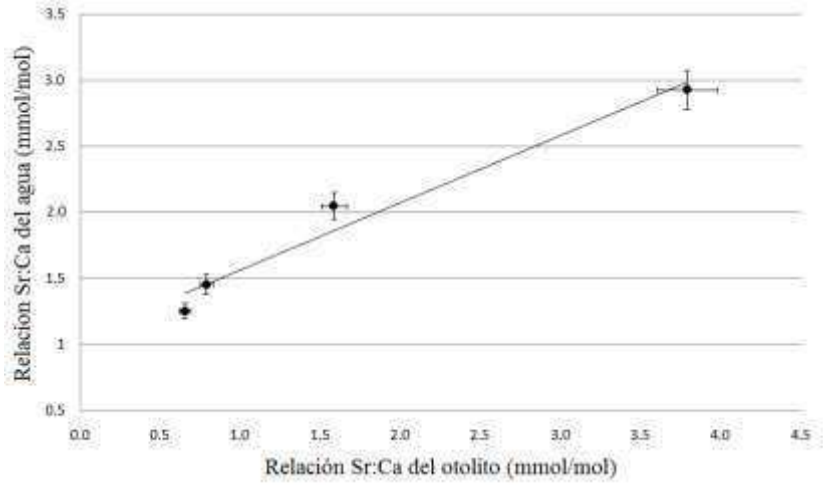

Figura 2.4: Regresión entre la relación Sr:Ca de los otolitos de pejerrey y Sr:Ca del agua de los diferentes cuerpos de agua lénticos (Sitios 1-4, Figura 2.2). p=0.016; R^2=0.97. Todas las mediciones se realizaron por triplicado. Las barras indican el desvió estándar.

2.3.3. Relación Sr:Ca del agua

El valor medio de la relación Sr:Ca del agua del Delta del Paraná y Rio de la Plata superior es 1,18 ± 0,35 mmol/mol (media ± DE; N=8) (Tabla 2.1).

Según la ecuación 1, la predición de la relación Sr:Ca de la masa de agua del Delta del Paraná y Río de la Plata superior correspondiente a la media de la concentración Sr:Ca de los otolitos (1,69 ± 0,36) fue 1,92 mmol:mol, con un intervalo de confianza del 95% de 1,56-2,28 mmol:mol.

2.3.4. Relacion Sr:Ca del agua de la cuenca baja del Plata vs. conductividad

Se observa un incremento en la relación Sr:Ca y conductividad en las muestras de agua colectadas siguiendo un gradiente latitudinal (Norte-Sur), siendo este aumento extremadamente abrupto en el Río de la Plata exterior (Muestras 11, 12 y 13) (Tabla 2.1).

	Sr:Ca (mmol/mol)	Conductividad (mS/cm)
1-Concepcion del Uruguay	0,52	0,056
2-Fray Bentos	0,71	0,067
3-10-DELTA	1,18	0,084
11-Punta Indio	1,66	0,51
12-Canal 15	2,26	17,00
13-Punta Rasa	2,68	30,30

Tabla 2.1: Relación Sr:Ca y conductividad para los sitios de muestreo ordenados segun el gradiente latitudinal (norte-sur).

La relación entre la conductividad y la relación Sr:Ca de las muestras de agua colectadas en los distintos puntos de la zona inferior de la Cuenca Del Plata (Figura 2.1a) pueden describirse mediante la siguiente ecuación cuatratica (Figura 2.5):

$$11.81x^2 - 24,3x + 10,57. \quad \text{Ecuación 2.}$$

Considerando ecuación 2, la conductividad estimada correspondiente al valor estimado de la relación Sr:Ca del agua de la zona inferior de la Cuenca Del Plata (1,92 mmol/mol), es de 7,45 (mS/cm).

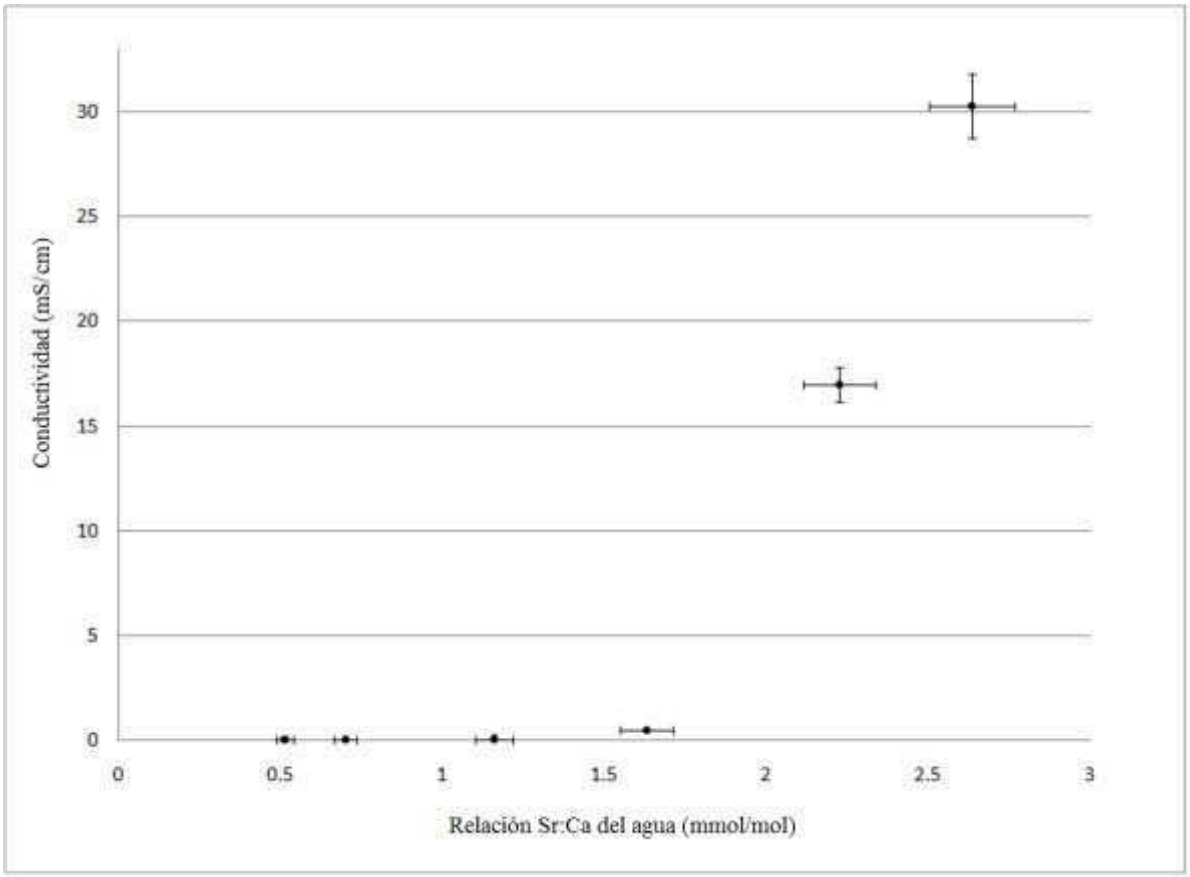

Figura 2.5: Relación cuadrática entre la conductividad y la relación Sr:Ca del agua de los diferentes sitios de muestreo (1-13, Figura 2.1). R^2=0.98. Todas las mediciones se realizaron por triplicado. Las barras indican el desvío estándar.

2.4. Discusión

La relación Sr:Ca de los otolitos de pejerrey en función de la talla de los peces posee diferentes valores, lo cual indicaría que en el Delta del Paraná existirían especímenes provenientes de zonas con diferente salinidad. Los altos valores de la relación Sr:Ca de algunos otolitos serían un indicio de que un grupo de pejerreyes se desplazaría en los meses estivales al sudeste del Río de la Plata (hacia la zona estuarina, donde la salinidad se incrementa gradualmente hasta el Mar Argentino).

	Media	**Sr:Ca**	**Especies**	**Referencia**
Estuario	2,3	ND-4,1	Morone saxatilis	Secor (1992)
	-	4-2,5	Anchoa mitchilli	Secor (1992)
	1.69	1–3,2	Odontesthes bonariensis	Este tesis (Delta)
	0.78	0,34-1,31	Odontesthes bonariensis	Esta tesis (Dique Las Maderas)
Agua dulce	0,3	ND-2,1	Anguilla anguilla	Casselman (1982)
	0,9	ND-l,8	Anguilla rostrata	Casselman (1982)
	-	ND-l,0	Stenobius genivittatus	Radtke et al. (1988)
	0,8	0.4-1,0	Salmo trutta	Kalish (1989)
	1,1	0,3-1,8	Oncorhynchus mykiss	Kalish (1990)
	0,6	ND-2,0	Morone saxatilis	Secor (1992)

Tabla 2.2: Valores de Sr:Ca (mmol:mol) de otolitos de especies estuarinas y dulceacuícolas (Modificado de Secor et al., 1995).

Secor et al. (1995) recopilaron los rangos de la relación Sr:Ca de otolitos de peces de agua dulce, estuarinos y marinos. del hemisferio norte (Tabla 2.2). En este trabajo, el valor medio de Sr:Ca (mmol/mol) de los otolitos de los pejerreyes del Delta (1,69 ± 0,32) está incluido en el rango de valores para peces estuarinos recopilados por Secor et al. (1995) (No detectable - 4,1) y el valor máximo registrado (3,2) esta fuera del rango reportado para peces de agua dulce (No detectable-2,1) (Tabla 2.2).

Se observó una relación directa y positiva entre las relaciones Sr:Ca del otolito y agua (Figura 2.4), la cual ha sido documentada también por diferentes autores (Kraus y Secor, 2004) y es por ello que se utilizó para la estimación de la relación media Sr:Ca del agua.

La relación Sr:Ca del agua calculada para el Delta del Paraná, promediando ocho zonas distintas de muestreo (Figura 2.1b), fue de 1,18 ± 0,35 mmol/mol (media ± DE) y la estimada aplicando la recta de calibración fue de 0<1,92<5,09 mmol/mol. Este último valor estaría reflejando la relación media de estos elementos adquirida durante los desplazamientos estacionales de toda la vida de los peces aquí estudiados. La diferencia entre el valor calculado para el Delta y el estimado con la curva de calibración se debería a que durante el periodo invernal los peces habitan en la cuenca baja o media del Río de la Plata, en masas de agua con baja salinidad y en el periodo estival se desplazarían hacia las aguas estuarinas del sudoeste (Río de la Plata exterior). En este sentido, mientras más tiempo permanezcan cerca o al sudeste de la Barrera del Indio, donde la salinidad supera 1 g/L durante todo el año, la relación Sr:Ca tendería a aumentar y viceversa.

Considerando la relación cuadrática hallada entre la conductividad y la relacion Sr:Ca del agua para la cuenca baja del Río de la Plata, se calculó un valor medio aproximado de conductividad de 7,45 mS/cm, que correspondería al valor estimado de la relación Sr:Ca de la masa de agua en la cual se desplazan los peces (0<1,92<5,09 mmo/mol).

La conductividad estimada corresponde a la zona exterior del Río de la Plata, comprendida entre la barrera del Indio y el limite exterior del Río de la Plata (Figura 2.1a). Dicha zona incluye la Bahía de Samborombón donde existen registros de la precencia de O. bonariensis (Solari et al., 2009) y la salinidad normalmente es menor a 15 g/L (FREPLATA, 2005) y en algunos afluentes de la Bahía, como ser, la Río Ajó y el Río Salado (Solari et al., 2009), donde la salinidad varía considerablemente (0,57-4,3 g/L) en función de la marea (Carol et

al., 2007). Por lo tanto, los pejerreyes no permanecerían en el periodo estival en el Delta del Paraná ni aguas arriba en los principales tributarios del Río de la Plata, sino al sudestede la Barra del Indio (Figura 2.1a).

Guerrero et al. (2003) y Romero y Piola (2003) demostraron que en otoño e invierno, el Río de la Plata descarga la masa de agua principalmente sobre la costa Uruguaya, disminuyendo la salinidad superficial, mientras que en el periodo de primavera y verano lo hace sobre la costa Argentina. En este sentido, los peces podrían desplazarse, sobre la costa Argentina hacia el sur hasta Bahía Samborombón (zona mixohalina), al inicio de la primavera, cuando el Río de la Plata tiene mayor influencia sobre esta área. Hacia principio del otoño, migrarían por la costa Uruguaya hacia el Delta (zona con menor salinidad), en concordancia con la época de mayor influencia del Río de la Plata sobre esta costa. De esta manera, en el invierno el pejerrey se encuentra distribuido en los grandes ríos del Delta, hasta el norte de la provincia de Entre Ríos sobre el Río Uruguay y sobre el Paraná hasta la provincia de Corrientes, donde diversos autores han reportado su presencia como López et al. (2005) y, en el periodo invernal estarían dispersos en las aguas estuarinas al sudeste de la Barrera del Indio.

CAPITULO 3

Identificación de stocks pesqueros del pejerrey Odontesthes bonariensis en la Cuenca baja del Plata (Argentina)

3.1. Introducción

Como se ha mencionado en capítulos previos (páginas 21, 22 y 35), la concentración de Sr en los otolitos está asociada positivamente con la salinidad del agua que frecuenta el pez (entre otros, Kraus y Secor, 2004; Brown y Severin, 2009; Sturrock et al., 2012). Por otro lado, la concentración de Ba en los otolitos está asociada negativamente con la salinidad del agua (Miller, 2011). Por este motivo, recientemente se ha empleado el uso simultáneo de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca de los otolitos como marcador de hábitat para el estudio de migraciones de especies anádromas o catádromas y para la identificación de stocks pesqueros. Por ejemplo, Tabouret et al. (2010), han utilizado simultáneamente las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca para estudiar el patrón de migraciones de la especie catádroma (Anguilla anguilla), mientras que Magath et al. (2013) lo hicieron en la especie anádroma Alosa falla en ambientes fluvio-marinos del hemisferio norte.

Por otro lado, también se han utilizado diferentes variables morfométricas del otolito para la identificación de stocks pesqueros (e.g. Begg et al., 2001; Volpedo et al. 2008; Avigliano et al. 2014). El análisis de la forma de los otolitos permite generar una descripción cuantitativa del contorno que puede compararse estadísticamente. En la última década, se ha incrementado el uso simultaneo de la microquímica y morfometría del otolito para diferenciar stocks y evaluar conectividad (e.g. Longmore et al., 2010; Avigliano et. al., 2014)(ver página 20).

El Delta del Paraná, la Cuenca baja del Río Uruguay y el Río de la Plata, conforman la Cuenca del Plata inferior. Este ambiente posee un marcado gradiente de salinidad (páginas 38 y 43) y una importante riqueza íctica (García et al., 2003). Una de las especies de mayor importancia económica de esta región es el pejerrey Odontesthes bonariensis (página 21). Esta especie posee una gran tolerancia a altas concentraciones de salinidad (Solari et al., 2009; Kopprio et al., 2010) y se ha demostrado mediante la asociación de la relación Sr:Ca del otolito y la conductividad del agua (ver capítulo 2) que realiza migraciones ascendentes

entre abril y septiembre desde el estuario del Río de la Plata hacia las cuencas bajas de los ríos Paraná y Uruguay. Sin embargo, se desconoce la posible existencia de diferentes stocks pesqueros en la cuenca baja del Plata.

En este contexto, el objetivo de este capítulo fue evaluar simultáneamente el uso de la morfometría y la microquímica del otolito sagitta (relaciones Sr:Ca y Ba:Ca) del pejerrey con el fin de contribuir a la posible identificación de sus stocks pesqueros.

3.2. Materiales y Métodos

3.2.1. Área de estudio

El área de estudio comprendió la Cuenca baja del Río Uruguay y el Río de la Plata. El Río Uruguay desemboca en el Río de la Plata, con un caudal promedio de 5500 m^3/seg (Dadon y Matteucci, 2006) y conductividad típicamente inferior a la del Río de la Plata (Avigliano y Volpedo, 2013). El periodo de máximo caudal es entre enero y abril y el de mínimo entre agosto y noviembre. A diferencia de la cuenca del Paraná, el Río Uruguay no presenta una desarrollada planicie de inundación, sino una serie de barrancas y terrazas intercaladas con pequeñas zonas indudables (Dadon y Matteucci, 2006). Al igual que en el Río de la Plata, la dirección e intensidad del viento puede afectar el nivel del río en la región inferior de la Cuenca del Río Uruguay (Dadon y Matteucci, 2006). Las características más destacadas del Río de la Plata ya fueron descriptas en el capítulo 2 (páginas 36-38).

3.2.2. Colecta de muestras

Se capturaron 368 pejerreyes (O. bonariensis) utilizando artes de pesca deportivas, 45 peces en el Río Uruguay (alrededores de la localidad de Concepción del Uruguay, provincia de Entre Ríos), 283 peces en el Delta del Paraná y 40 peces en el estuario del Río de la Plata (en las proximidades de la localidad de Berisso, provincia de Buenos Aires) (Figura 3.1). Se registró la longitud total (LT) de los ejemplares (cm) y se conservaron a -4°C hasta el momento de la extracción de los otolitos.

3.2.3. Morfometría del otolito

Para evitar el posible efecto de la talla sobre la morfología del otolito, se seleccionaron peces con una longitud total de 25 a 35 cm (Río Uruguay, N=45, Delta del Río Paraná, N=72, Río de la Plata, N=33). Los otolitos sagittae derechos se fotografiaron con microscopio estereoscopio. Se registraron las siguientes características morfométricas de los otolitos

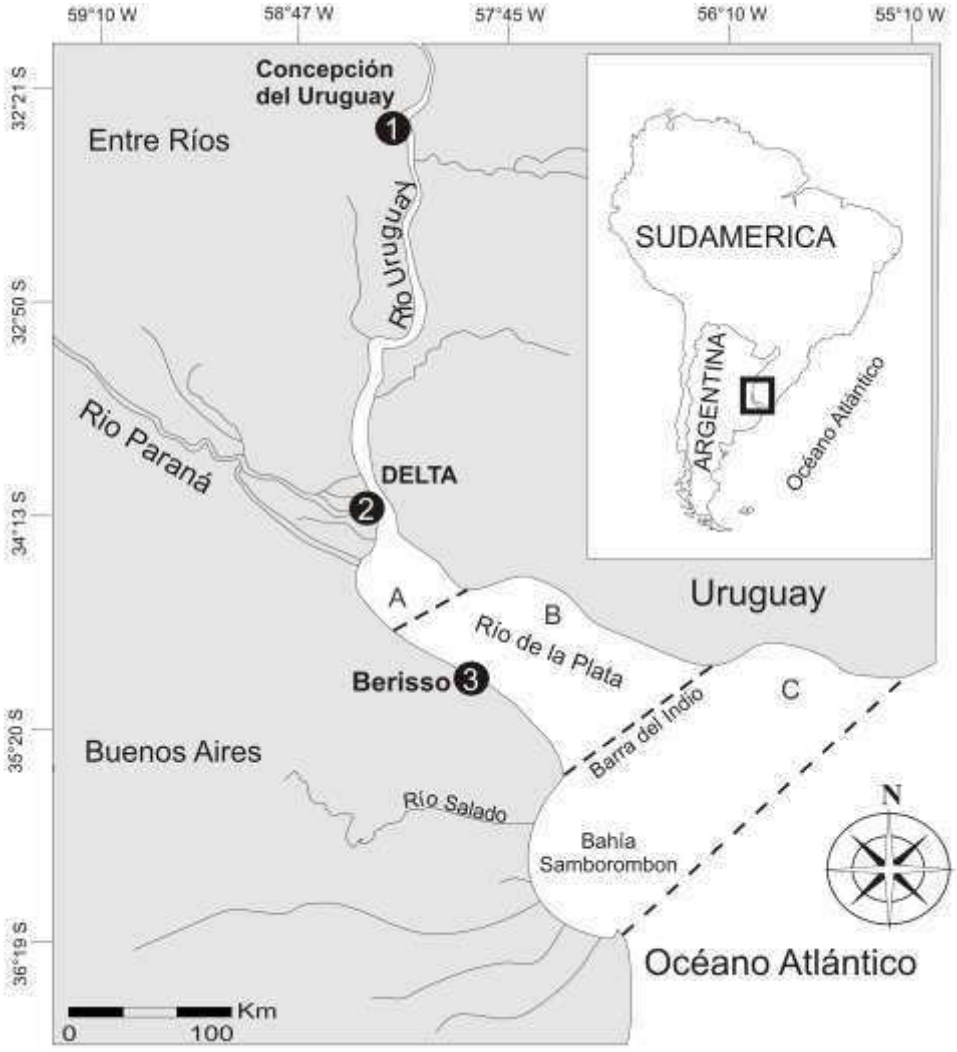

Figura 3.1: Área de estudio. 1-3, sitios donde se colectaron muestras de agua y peces. A, zona interna; B, zona media; C, zona externa del Río dela Plata.

derechos: largo total del otolito (LO), ancho total del otolito (AO), perímetro (PO) y perímetro del sulcus (PS) en mm y superficie (SO) y superficie del sulcus (SS) en mm^2 (ver figura 1.7, página 31), mediante un procesador de imágenes (Image ProPlus 4.5®). Posteriormente se calcularon los siguientes índices morfométricos AO:LO, SS:SO y PS:PO.

El índice AO:LO muestra la tendencia a la circularidad del otolito y fue propuesto Volpedo y Echeverría (2003). El índice SS:SO fue propuesto por Volpedo et al. (2008) y determina que porcentaje de la superficie del otolito está ocupada por el sulcus. El índice PS:PO indica la regularidad de los bordes del sulcus en relación a la regularidad de los bordes del otolito y es propuesto por primera vez en este trabajo (ver páginas 30 y 31 para mayor detalle sobre las medidas morfométricas).

3.2.4. Determinación de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca del otolito

Se seleccionaron al azar 75 otolitos sagittae derechos de pejerreyes cuya longitud total estuvo entre 25-35 cm provenientes del Delta del Paraná (N=25), del estuario del Río de la Plata (N=25) y del Río Uruguay (N=25).

La determinación de Sr y Ca se llevo a cabo empleando el protocolo detallado en la página 39.

3.2.5. Conductividad y relación Sr:Ca en agua

Se colectaron muestras de agua simultáneamente con los muestreos de peces entre abril de 2010 a diciembre de 2011. Los sitios de muestreo se muestran en la Figura 1. Se registró in situ la conductividad mediante un equipo Hanna HI9033W. Las muestras se preservaron con el agregado de 2 ml de ácido nítrico por litro de muestra (APHA, 1993; método 3010 B) y se llevaron a una temperatura de 4°C hasta su análisis. La determinación de Sr y Ba se llevó acabo por ICP-OES (Método EPA 200.7). La concentración de Ca de determinó mediante el método volumétrico por titulación con EDTA (APHA, 1993).

3.2.6. Análisis estadístico

Previa comprobación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza, se utilizó el análisis de covarianza (ANCOVA) para determinar el posible efecto entre los índices morfométricos (OW:OL, SS:OS, SP:OP) y las relaciones microquímicas (Sr:Ca y Ba:Ca). Estas variables correlacionaron positivamente con el peso del otolito y fueron corregidas substrayendo la pendiente común (b) del ANCOVA (Cardinale et al., 2004; Galley et al., 2006; Burke et al., 2008).

Estas variables se compararon entre los sitios de muestreo mediante el análisis de la varianza de un factor (ANOVA), seguido de la prueba de Bonferroni (Sokal y Rholf, 1995).

Un análisis discriminante canónico fue realizado empleando todos los índices morfométricos. Por otro lado, la relación entre las variables microquímicas fue estudiado con diagrama de dispersión. Todos los análisis fueron realizados con el programa estadístico InfoStat ®.

3.3. Resultados

3.3.1. Morfometría del otolito

Se encontraron diferencias significativas entre el índice morfométrico AO:LO de los otolitos del Río de la Plata y Río Uruguay (p=0,0001). Se observó un valor intermedio para el índice AO:LO de los otolitos de los pejerreyes del Delta del Paraná (Tabla 3.1). Para los índices morfométricos SS:SO y PS:PO, no se hallaron diferencias significativas entre los otolitos de los peces del Rio de la Plata y del Delta (p=0,18), pero si entre los otolitos de estos peces con los procedentes del Río Uruguay (p=0,0001) (Tabla 3.1).

	N	AO:LO	SS:SO	PS:PO
Río Uruguay	45	0,58 ± 0,03[a]	0,18 ± 0,01[a]	0,73 ± 0,03[a]
Delta del Paraná	72	0,59 ± 0,02[ab]	0,16 ± 0,01[b]	0,66 ± 0,02[b]
Río de la Plata	33	0,60 ± 0,03[b]	0,16 ± 0,02[b]	0,65 ± 0,03[b]

Tabla 3.1: Índices morfométricos de los otolitos (media ± desvío estándar) por sitio de estudio. LO (largo del otolito), AO (ancho del otolito), PO (perimetro del otolito), PS (perimetro del sulcus), SO superficie del otolito), SS (superficie del sulcus), N (número de muestras). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$).

En el análisis discriminante (Figura 3.2) se puede apreciar que los puntos del Río Uruguay tienden a separarse de los otros sitios de estudio hacia los positivos del primer eje canónico. Mientras que los puntos del Río de la Plata tienden a los valores negativos. Los puntos del Delta del Paraná se ubican entre los demás sitios tendiendo a superponerse con los del Río de la Plata.

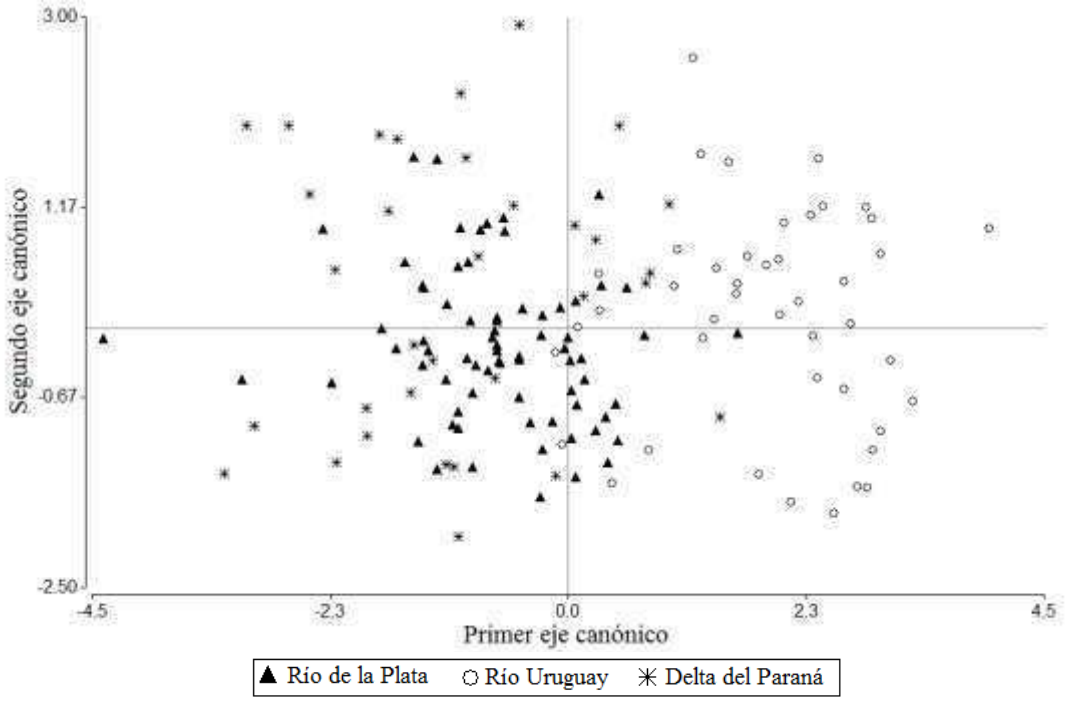

Figura 3.2: Análisis discriminante entre los índices AO:LO, PS:PO, SS:SO por sitio de muestreo. Río Uruguay (N = 45); Delta del Paraná (N = 72); estuario del Río de la Plata (N = 33).

3.3.2. Relaciones Sr:Ca y Ba:Ca del otolito

No se hallaron diferencias significativas en la relación Sr:Ca entre los sitios de estudio. Sin embargo, se encontró una tendencia creciente en la relación Sr:Ca en sentido norte-sur (desde el río Uruguay hacia el estuario del Río de la Plata) (Figura 3.3a).

La realcion Ba:Ca fue significativamente menor en los otolitos de los peces procedentes del estuario del Río de la Plata (p=0,0001), meintras que no se hallaron diferencias significativas entre el río Uruguay y el Delta del Paraná (p>0.05) (Figura 3.3b). Se observó una tendencia

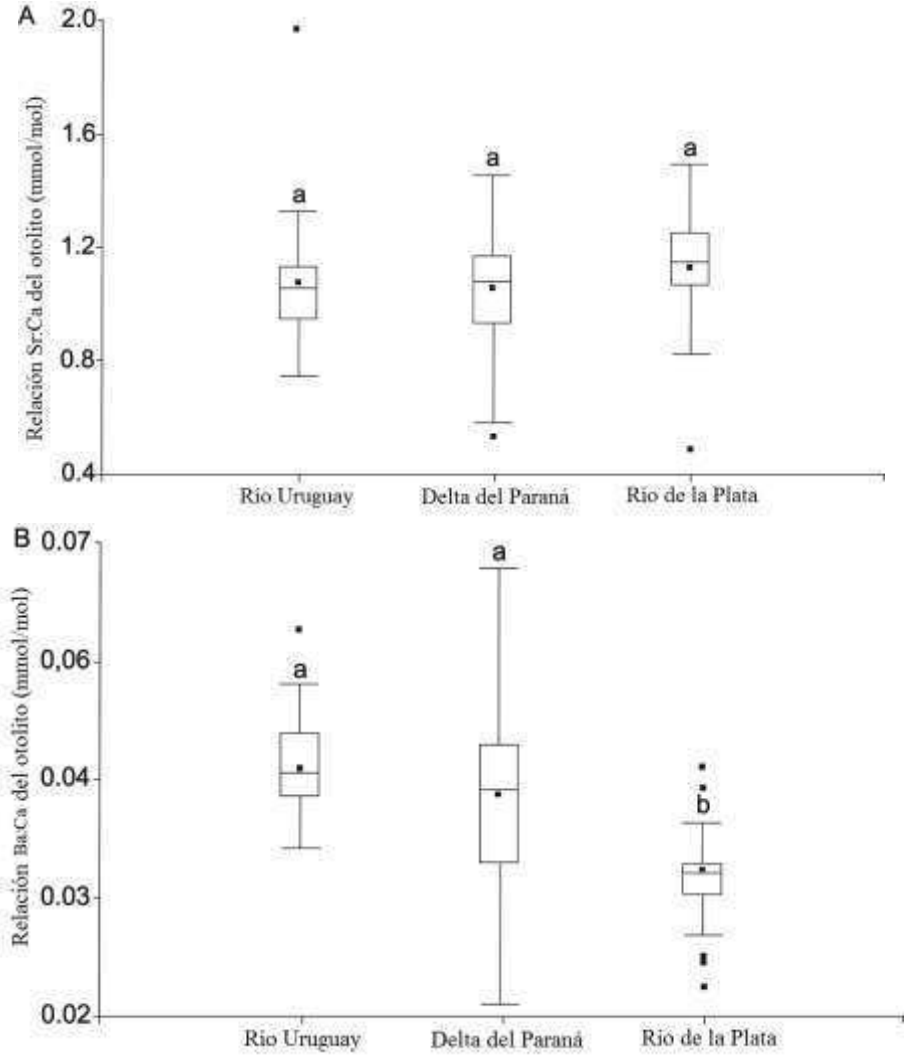

Figura 3.3: Relaciones Sr:Ca (a) y Ba:Ca (b) de los otolitos por sitio de estudio. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (p < 0,05). Las barras indican el desvío estándar.

decreciente en la relación Ba:Ca en sentido norte-sur (Figura 3.3b).

En el gráfico de dispersión se observa un solapamiento general de los valores correspondientes a los tres sitios de estudio. Sin emabrgo, la nube de dispersión del estuario del Río de la Plata se encuentra levemente desplazada hacia los valores más bajos del eje horizontal (Figura 3.4).

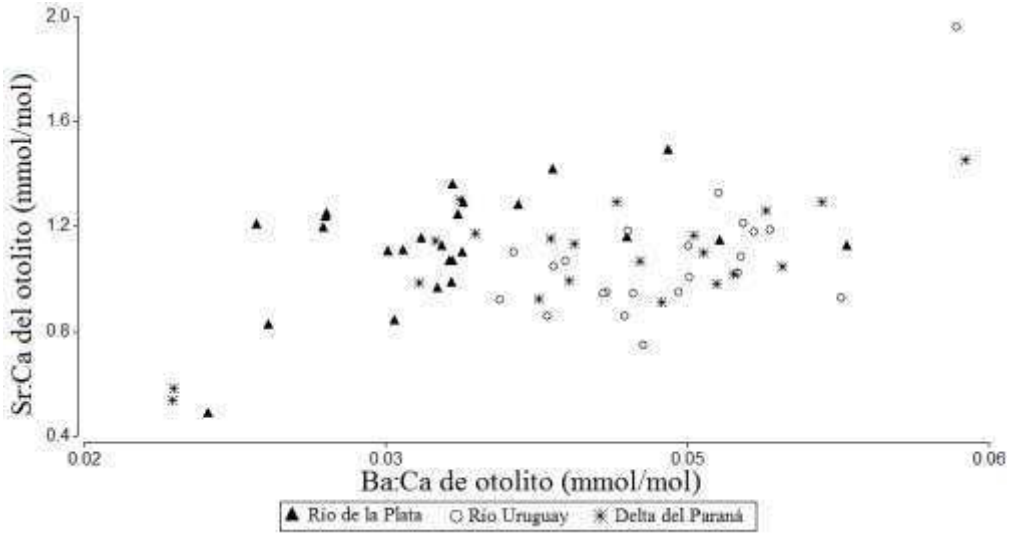

Figura 3.4: Asociación entre las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca de los otolitos por sitio de estudio. Río Uruguay (N = 25), Delta del Paraná (N = 25) y estuario del Río De la Plata (N = 25).

3.3.3. Conductividad y relación Sr:Ca en agua

La relación Sr:Ca y la conductividad del agua del Río Uruguay, Delta del Río Paraná y del estuario del Río de la Plata se presentan en la Tabla 3.2. El elemento Ba se encontró en concentraciones inferiores al límite de detección del equipo utilizado (8 µg/L).

3.4. Discusión

Los otolitos de los pejerreyes muestran diferencias morfométricas. En el caso de los otolitos de los peces del Río Uruguay tienden a ser más largos en el eje antero-posterior, que los del estuario Río de la Plata, los cuales tendieron a la circularidad (mayor índice AO/LO)(Tabla 3.1). La tendencia a la circularidad de los otolitos (mayor índice AO:LO) de O. bonariensis está asociada al aumento de la conductividad del agua o salinidad informado anteriormente por Avigliano et al. (2012).

	Sr:Ca del agua (mmol/mol)			Conductividad (µS/m)		
	Río Uruguay	Delta del Paraná	Estuario del Río de la	Río Uruguay	Delta del	Estuario del Río de
Abril/2010	-	1,01	-	-	106	-
Jun./2010	-	1,42	-	-	94	-
Jul./2010	-	1,02	-	-	40	-
Agos./2010	-	1,37	-	-	127	-
Sept./2010	-	0,66	-	-	165	-
Nov./2010	-	0,7	-	-	173	-
Agos./2011	0,51;0,70*	-	-	56,10;57,11*	-	-
Sept./2011	-	-	1,62	-	-	512
Oct./2011	-	1,41	-	-	116	-
Dic./2011	-	-	1,85	-	-	452
May./2012	-	-	2,85	-	-	331
Media	0,60	1,08	2,11	56,60	117,63	431,67
DE	0,13	0,33	0,65	0,72	44,66	92,20

Tabla 3.2: Relación Sr:Ca del agua y conductividad de los sitios de muestreo. X±DE (media ± desvío estándar).* En este sitio se tomaron dos muestras de agua, una sobre la costa argentina y otra sobre la costa Uruguaya.

Además se hallaron diferencias en los índices morfométricos SS:SO y PS:PO asociados al área y al perímetro del sulcus, los cuales resultaron tener valores mayores en los otolitos de los peces del Río Uruguay (Tabla 3.1). Esto podría explicarse ya que los pejerreyes migrarían cada año con fines reproductivos desde Bahía Samborombón (ambiente estuarino) hacia las zonas de agua dulce (páginas 45-47). En este contexto, los peces del Río Uruguay serían los que migrarían largas distancias y esto coincide con que el sulcus, que se relaciona directamente con la mácula nerviosa (Kaufman et al., 1993), tiene una superficie mayor que los otolitos de pejerreyes de las otras áreas de estudio. Este desarrollo del sulcus le permitiría al pez captar mayor información en sus grandes desplazamientos reproductivos.

Por lo que las diferencias observadas en los índices morfométricos de los peces colectados en el Río Uruguay y en el estuario del Río de la Plata, pueden estar relacionadas con las diferencias en la química del agua y la salinidad de estas áreas, así como con el comportamiento migratorio de la especie.

En cuanto a la microquímica, los resultados obtenidos muestran una tendencia al aumento de la relación Sr:Ca en el agua en función de la conductividad desde el Río Uruguay hacia el estuario del Río de la Plata (Tabla 3.2). La relación Sr:Ca de los otolitos (Figura 3.4a) tendió a seguir el mismo gradiente norte-sur, como se observa para la relación Sr:Ca agua (Tabla 3.2). Por otro lado, los valores de la relación Ba:Ca de los otolitos tendieron a disminuir con el aumento de la salinidad del agua (Figura 3.3). Estas tendencias observadas en las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca son consistentes con las encontradas en los otolitos de peces del hemisferio norte que realizan desplazamiento entre regiones con grandes diferencias de salinidad, como la especie estuarina Morone americana (Kraus y Secor, 2004) y las especie catádroma Anguilla anguilla (Tabouret et al., 2010).

Los elementos traza incorporados dentro de la matriz de los otolitos reflejan las características de las masas de agua cuando la salinidad y las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca en el ambiente se mantienen relativamente constantes, si el tiempo de permanencia de los peces en

una zona determinada es lo suficientemente largo (e.g. 2 semanas, Secor et al, 1995). En el caso de los pejerreyes durante abril-mayo, se desplazan desde Bahía de Samborombón (un ambiente estuarino con altos niveles de salinidad) hacia el Delta del Paraná y el Río Uruguay (ver páginas 45-57). El tiempo de permanencia en las diferentes regiones de la cuenca del Plata parece ser suficiente como para que las características químicas de las masas de agua se reflejen en la microquímica del otolito (relaciones Sr:Ca y Ba:Ca).

Los valores de Sr:Ca y Ba:Ca correspondientes al agua del estuario del Río de la Plata tienden a diferenciarse de los demás sitios de muestreo estudiados, mientras que los valores correspondientes a la Delta del Paraná son más dispersos (Figura 3.4).

Los resultados obtenidos sugieren que la población de pejerrey de la sección inferior de la Cuenca del Plata podría estar conformada por dos grupos: uno de estos permanecería más tiempo en la zona del estuario, mientras que el otro se desplazaría a latitudes más altas (el tiempo suficiente como para observar diferencias morfométricas o tendencias en las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca de los otolitos). Por otra parte, se detectó que algunos otolitos presentaron una relación Sr:Ca y Ba:Ca muy variable (Figura 3.4). Esto podría evidenciar la presencia de pejerreyes procedentes de otras zonas, lo que sugeriría alta conectividad entre las áreas de estudio.

Con los datos aquí presentados no es posible distinguir dos stocks claramente diferenciados. Sin emabrgo, las tendencias y diferencias en las variables microquímicas y morfologicas sugieren la presencia de dos subgrupos. En este sentido, el uso simultáneo de la morfometría y microquímica del otolito podría ser una herramienta útil para el estudio de los desplazamientos y la identificación de stocks pesqueros de peces que toleran grandes variaciones de salinidad como el pejerrey, en un ambiente con un marcado gradiente de salinidad.

CAPÍTULO 4

Identificación de zonas de cría y stocks pesqueros de Genidens barbus en el Océano Atlántico Sudoccidental.

4.1. Introducción

El bagre marino, Genidens barbus, es uno de los recursos pesqueros transfronterizos más importantes para Argentina, Brasil y Uruguay (Reis, 1986; Tavares y Luque, 2004; Velasco et al., 2006; Minagri, 2013). En Brasil es capturado por pescadores artesanales en el estuario de Lagoa dos Patos (Río Grande do Sul), donde en los últimas décadas ha disminuido su captura, de 9.000 toneladas (t) anuales en 1972-1973 a menos de 200 t/año desde 1996 (IBAMA, 1999; Velasco et al., 2006). En Uruguay, entre 2005 y 2007 se capturaron entre 90-150 t/año (DINARA, 2013). En Argentina se lo captura sin ningún tipo de regulación (López, 2005), principalmente en la Cuenca baja del Plata y en la costa bonaerense (Provincia de Buenos Aires), exportándose en la actualidad entre 40-70 t/año (Minagri, 2013).

Los estudios bioecológicos del bagre marino están restringidos a la costa sudeste de Brasil, principalmente a la Lagoa dos Patos (Reis, 1986; Velasco y Reis, 2004; Velasco et al., 2006), mientras que no hay trabajos para Argentina sobre esta especie.

Los desplazamientos que realizan los juveniles y adultos del bagre marino a lo largo de su vida son poco conocidos. Los adultos ingresan a los estuarios de Lagoa dos Patos y del Río de la Plata en los meses de septiembre a diciembre (Reis, 1986; obs. pers.), incluso siendo abundante en octubre-noviembre en grandes ríos de agua dulce del Delta del Paraná (e.g. Paraná Guazú y Rio Uruguay).

En Lagoa dos Patos, los adultos del bagre de mar ingresan a este ambiente con fines reproductivos a partir de los 8 o 9 años de edad (Reis, 1986), luego del desove los machos regresan a la plataforma marina incubando los huevos en su boca durante 8 semanas

aproximadamente (Velasco y Reis, 2004) y luego liberan los juveniles en aguas estuarinas. Los juveniles permanecen en el estuario hasta los 3-4 años de edad (talla de 25 cm) para luego migrar al océano (Velasco, 1998).

Cappato y Yanosky (2009) categorizaron a la especie como en estado vulnerable debido al ciclo reproductivo complejo (baja fecundidad de la especie, incubación bucal), la distribución restringida en agua dulce o estuarina durante el periodo reproductivo, el desconocimiento de los ambientes que frecuentan y el estado crítico de la pesquería de esta especie transfronteriza. Es por ello que el manejo sustentable de este recurso es una necesidad en la región, por lo que resulta imprescindible el estudio de la conectividad de las poblaciones de bagre marino entre las áreas de distribución y las zonas reproductivas en el Océano Atlántico Sudoccidental (estuarios de Lago dos Patos (Brasil) y Cuenca baja del Plata (Argentina)).

En este contexto se plantearon dos objetivos: a) evaluar una nueva metodología de pulido parcial y microquímica del otolito como marcador de hábitat del G. barbus. b) identificar las zonas de cría y stocks pesqueros de G. barbus entre el estuario del Río de la Plata (Argentina) y Lagoa dos Patos (Brasil) utilizando la microquímica de los otolitos lapilli (relaciones Sr:Ca; Ba:Ca y Mg:Ca).

4.2. Materiales y Métodos

4.2.1. Área de Estudio

La Lagoa dos Patos es un sistema lagunar con 10,360 km^2 ubicado en la costa de Río Grande do Sul (Brasil). La region estuarina está restringida a la parte sur de la laguna (10% del área total) y su salinidad media es de apx. 15 g/L (Burns et al., 2006). La profundidad máxima es de 6 metros (Urien, 1967; Guerrero et al., 2010) y está conectada con el Océano Atlántico por un estrecho canal de 4 km de largo y 740 m de ancho (Figura 4.1).

Las características del estuario del Río de la Plata y Delta del Paraná fueron descriptas previamente en las páginas 36 al 38.

4.2.2. Colecta de muestras

En el estuario de la Lagoa dos Patos (Brasil) se capturaron 68 ejemplares adultos de G. barbus con redes de enmalle a profundidades inferiores a 5 metros en cercania a las localidades de Pelotas y San Lorenzo do Sul (Figura 4.1 (2)).

En Cuenca baja del Plata (Argentina) se capturaron 74 ejemplares en distintas áreas (Delta del Paraná, Ríos Sauce y Paraná Guazú y estuario del Río de la Plata) (Figura 4.1 (1)). Los peces fueron colectados mediante palangres fondeados entre 10-33 metros de profundidad.

Figura 4.1: Sitios de muestreo de Genidens barbus. 1, Delta del Río Paraná y Estuario del Río de la Plata (Cuenca baja del Plata-Argentina). 2, Lagoa dos Patos (Brasil): El punto norte señala la localidad de San Lorenzo y el sur la localidad de Pelotas.

Se registro la longitud total de los peces (mm) y se extrajeron los otolitos lapilli (Figura 4.2).

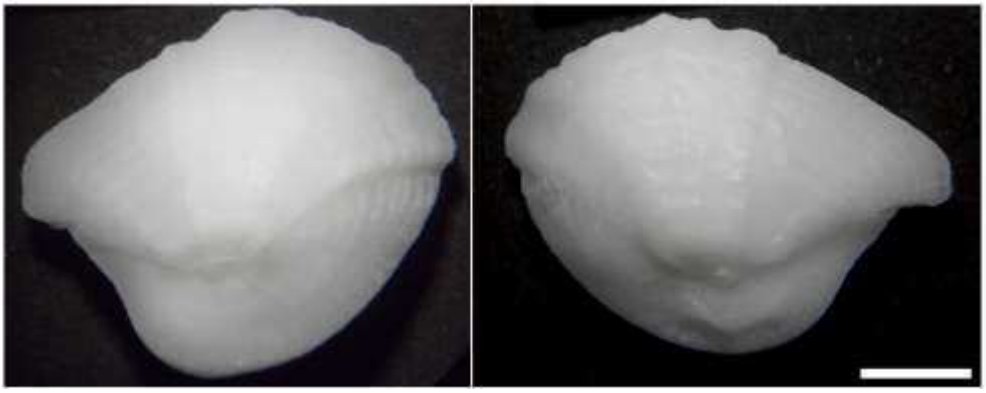

Figura 4.2: Otolitos lapilli de Genidens barbus. Barra=2mm

4.2.3. Determinación de la edad

Los otolitos se limpiaron con agua destilada y fotografiados. El otolito derecho fue incluido en resina epoxi-cristal y se corto una sección de 1 mm de espesor através del núcleo con un minitorno equipado con hoja de corte diamantada (Dremel® 250 y 300) (Figura 4.3). El conteo de anillos se realizó bajo lupa estereoscopica (Leica® EZ4-HD) por dos observadores distintos en forma independiente (A: 40X). La determinación de la edad por conteo de anillos de los otolitos lapilli de G. barbus fue validada por Reis (1986).

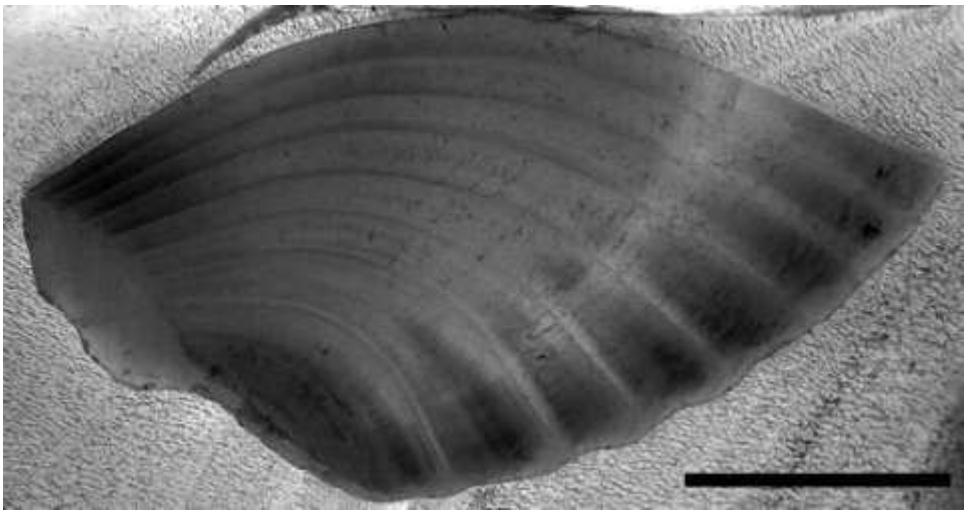

Figura 4.3: Sección transversal del otolito lapilli de un ejemplar de Genidens barbus colectado en el Delta del Río Paraná. Se observan 7 anillos de crecimiento completos. Barra= 3 mm.

4.2.4. Microquímica del otolito

El otolito izquierdo fue incluido en resina epoxi-cristal y se cortaron dos secciones de 940 ± 100 µm através del núcleo con un minitorno equipado con hoja de corte diamantada (Dremel® 250 y 300). Con el fin de evitar el efecto que podría tener la edad de los peces en el análisis, se seleccionaron los otolitos con 7 u 8 anillos (Cuenca baja del Plata, N=22; Lagoa dos Patos, N=22). Para cada sección se verificó bajo lupa (A: 40X) que el número de anillos coincida entre ambos cortes del mismo otolito. En el caso de no coincidir ambos cortes fueron descartados. De una de las secciones se descartó por pulido, utilizando el minitorno y lupa estereoscopica, los últimos 4 anillos externos (Figura 4.4). En el caso de los ejemplares de 7 años se descartaron los 3 últimos anillos externos. De la segunda sección se decartaron los cuatro primeros anillos. Se obtuvo entonces dos secciones de cada otolito, una

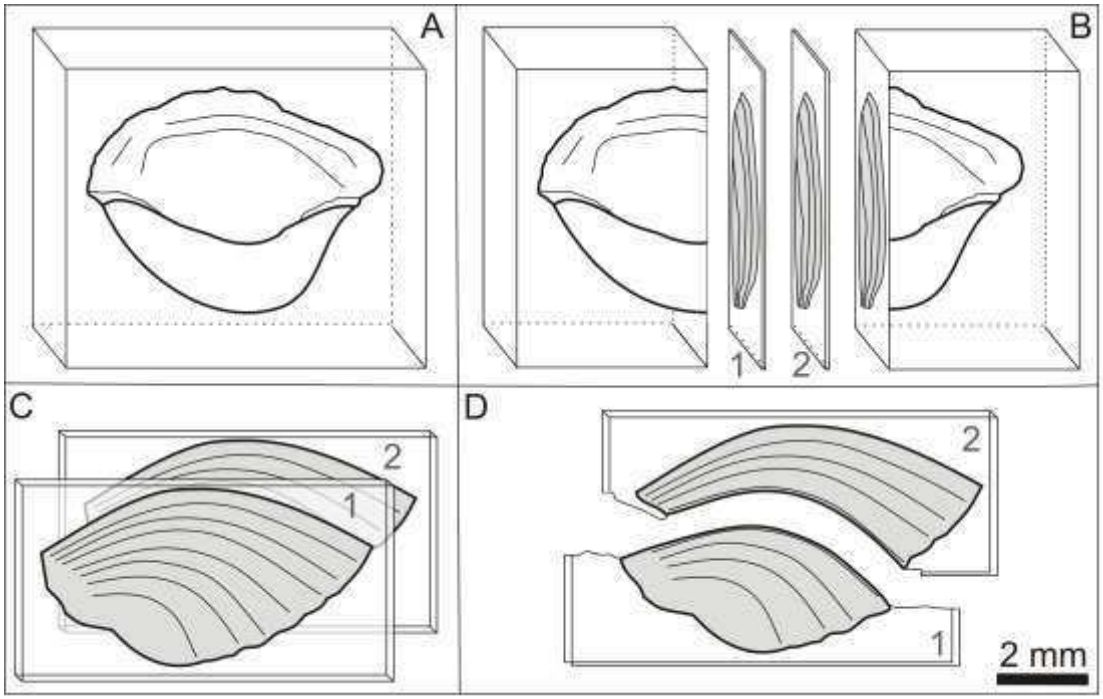

Figura 4.4: Secuencia esquematizada del pulido diferencial de las secciones transversales del otolito. A. otolito lapillus incluido en resina epoxi cristal; B, dos secciones cortadas através del núcleo del otolito; C, Secciones en vista frontal. Se observan los anillos de crecimiento. D, secciones pulidas. 1, zona núcleo (4 años) y 2, zona borde (4-8 años).

sección con los primeros 4 anillos (zona núcleo) y otra sección con los ultimos 3-4 anillos (zona externa) para cada ejemplar de entre 7-8 años respectivamente (Figura 4.4). Ambas zonas fueron extraidas de la resina de inclusión, lavados con agua Mili-Q (Millipore, Sao Paulo, Brazil), pesadas y digeridas con ácido nítrico 10% durante 48 horas.

La determinación de Sr (407.771 nm), Ba (233.527 nm), Mg (285.213 nm) y Ca (317.933 nm) se llevó a cabo mediante espectrometría de emisión atómica por acoplamiento de plasma (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 2000 DV optical emissionspectrometer, Überlingen, Germany; method EPA 200.7)(ver página 32). Posteriormente, se realizaron la relaciones elemento:Ca. La eficiencia del proceso de digestión fue chequeada con el material de referencia FEBS-1 (Otolith Certified Reference Material para elementos traza, National Research Council, Canadá). El porcentaje de recuperación del material de referencia fue bueno, Sr: 93 %; Mg: 105%; Ba 99%, Ca: 114%.

4.4.5. Análisis estadístico

El análisis de covarianza (ANCOVA) fue utilizado para determinar el posible efecto del peso de los otolitos sobre las relaciones Sr:Ca, Mg:Ca y Ba:Ca. Estas variables correlacionaron positivamente con el peso del otolito (zona núcleo y externa) y fueron corregidas substrayendo la pendiente común (b) del ANCOVA (e.g. Burke et al., 2008).

Las relaciones elemento:Ca fueron comparadas entre sitios de estudio y zona del otolito (zona núcleo y externa) mediante el test de Wilcoxon. Se estudio la asociación entre los elementos por área de del otolito y sitio de muestreo mediante diagramas de dispersión. El test T^2 de Hotelling fue realizado para comparar la marca química entre sitios para las áreas núcleo y borde. Los datos fueron sometidos a análisis discriminante (ADC), para las áreas núcleo y borde, con el fin de obtener la matriz de clasificación y evaluar el porcentaje de individuos bien clasificados. Se utilizó el software estadístico InfoStat®.

4.3. Resultados

4.3.1 Relaciónes Sr:Ca, Ba:Ca y Mg:Ca.

Las comparaciones de las relaciones medias Sr:Ca, Mg:Ca y Ba:Ca entre el zona núcleo y la zona externa, por sitio de estudio se muestran en la Tabla 4.1.

La relación Sr:Ca de la zona núcleo y externa del otolito de la Cuenca baja del Plata fue significativamente mayor a la de Lagoa dos Patos, mientras que no se observaron diferencias significativas en la relación Sr:Ca entre la zona núcleo y externa por sitio de estudio (Tabla 4.1). La relación Ba:Ca de la zona núcleo y externa de los otolitos de la Cuenca baja del Plata fue significativamente menor que la observada para Lagoa dos Patos (Tabla 4.1).

Por otro lado, se observó una relación Ba:Ca mayor en la zona núcleo de los otolitos para los dos sitios de estudio. La relación Mg:Ca de la zona núcleo y externa de los otolitos de la Cuenca baja del Plata fue significativamente mayor a los de Lagoa dos patos. En este caso, tambien se observó una relación Mg:Ca mayor en la zona núcleo de los otolitos para los dos sitios de estudio (Tabla 4.1).

		Cuenca baja del Plata	Lagoa dos Patos	p
Sr:Ca	Zona núcleo	4,66 ± 0,44, N=22	3,60 ± 0,84, N=14	0,0001*
	Zona externa	4,76 ± 0,44, N=19	3,65 ± 0,11, N=11	0,001*
	p	0,4	0,3	
Ba:Ca	Zona núcleo	0,12 ± 0,04	0,26 ± 0,11	0,0003*
	Zona externa	0,05 ± 0,02	0,19 ± 0,13	0,006*
	p	0,0001*	0,04*	
Mg:Ca	Zona núcleo	0,72 ± 0,21	0,39 ± 0,23	0,001*
	Zona externa	0,29 ± 0,10	0,15 ± 0,09	0,02*
	p	0,0001*	0,002*	

Tabla 4.1: Relaciones elemento:Ca (mmol/mol) por zona del otolito (media ± desvío estándar), p (p-valor del test de Wilcoxon). N: número de muestras. * diferencias significativas p<0,05.

4.3.2. Asociaciónes entre las relaciones Sr:Ca, Ba:Ca y Mg:Ca.

Las asociaciónes entre las relaciones Sr:Ca vs Mg:Ca, Sr:Ca vs Ba:Ca y Sr:Ca vs Mg:Ca de la zona núcleo de los otolitos (Figura 4.5: a, b y c) muestran una separación de los valores de Lagoa dos Patos respecto a los de la Cuenca Baja del Plata. Los valores del estuario del Río de la Plata tienden a agruparse con los del Delta del Paraná. Las relaciones entre Sr:Ca vs Ba:Ca y Ba:Ca vs Mg:Ca correspondientes a 4 ejemplares capturados en Lagoa dos Patos tienden a agruparse con los de Cuenca baja del Plata (Figura 4.5: b y c). El mismo comportamiento se observó para la zona externa de los otolitos para todas las relaciones estudiadas (Figura 4.5: d, e y f).

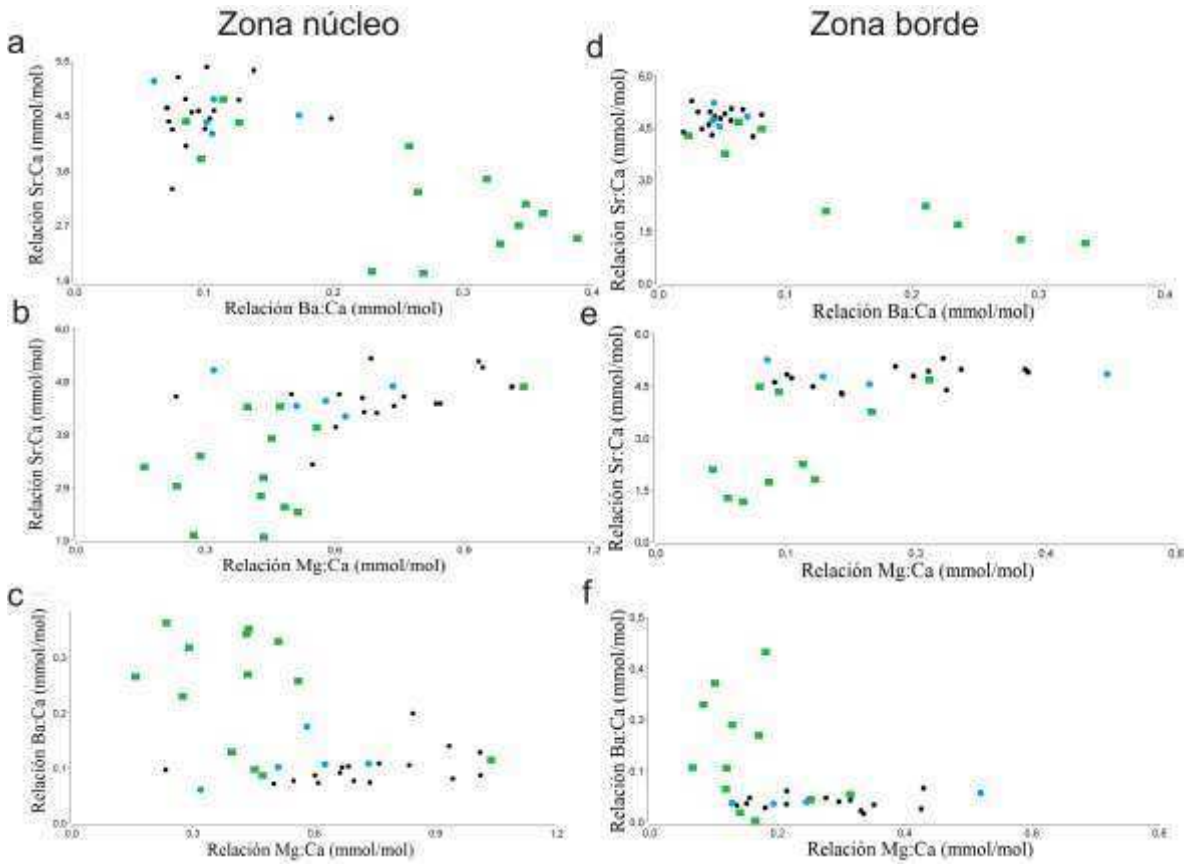

Figura 4.5: Asociaciones entre las relaciones elemento:Ca (mmol/mol). Círculos negros, Delta del Río Paraná; círculos azules, estuario del Río de la Plata (Cuenca baja del Plata-Argentina); cuadrados verdes, Lagoa dos Patos (Brasil). N (numero de muestras): zona núcleo; 22, Cuenca baja del Plata y 14, Lagoa dos Patos; zona externa; 19, Cuenca baja del Plata y 11, Lagoa dos Patos.

4.3.3. Análisis multivariado

Los resultados del test T^2 Hotteling revelaron que existen diferencias significativas en la huella química entre los sitios de muestreo, tanto para el área núcleo ($p < 0,0001$) como para el área externa del otolito ($p < 0,001$). El análisis discriminante canónico muestra una separación de los valores correspondientes a la Cuenca baja del Plata de los de Lagoa dos Patos para el área nuceo del otolito (Tabla 4.2). El porcentaje de clasificaión fue alto para los individuos capturados en Argentina (100%) y fue bueno para los capturados en Brasil (>63%), tanto para el área núcleo como para el área externa (Tabla 4.2). Por otro lado, se observan 4 individuos que fueron capturados en Brasil y fueron clasicicados dentro del grupo de Argentina. Esta última observación corresponde a las dos secciones del otolito estudiadas.

a-Zona núcleo del otolito				b-Zona externa del otolito		
Localidad	Argentina	Brasil	N_{total}	Argentina	Brasil	N_{total}
Argentina	100 (22)	0	22	100 (19)	0	19
Brasil	28,6 (4)	71,4 (10)	14	36,4 (4)	63,6 (7)	11

Tabla 4.2: Matriz de clasificación cruzada del ADC para Genidens barbus de la sección baja de la Cuenca del Plata, Argentina (a) y Lagoa dos Patos, Brasil (b). Los números representan el porcentaje de clasificación para cada grupo, mientras que los valores entre paréntesis representan el porcentaje de clasificación.

4.4. Discusión

Las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca de los otolitos están íntimamente ligadas a la salinidad de la masa de agua que frecuenta el pez. La relación Sr:Ca está relacionada positivamente con la salinidad, mientras que la relación Ba:Ca está asociada negativamente con dicha variable

(e.g. Kraus y Secor 2004; Miller, 2011; Avigliano y Volpedo, 2013). La relación Sr:Ca (sección núcleo y externa) de los otolitos de los peces capturados en la Cuenca baja del Plata (estuario del Río de la Plata y Delta del Paraná) fue significativamente mayor que la de los peces de Lagoa dos Patos, mientras que la relación Ba:Ca fue mayor en Lagoa dos Patos (Tabla 4.1). Esto concuerda con los patrónes de salinidad de dichos cuerpos de agua donde, el estuario del Río de la Plata posee salinidades entre 2-30 g/L (Guerrero et al., 2010) mientras que la Lagoa dos Patos pre senta una salinidad entre 2-20 g/L (Burns et al., 2006).

Se observó una leve tendencia en la relacion Sr:Ca a ser mayor en la zona externa del otolito respecto del núcleo (Tabla 4.1), tanto en los peces capturados en Lagoa dos Patos como en la Cuenca baja del Plata. Además, la relación Ba:Ca fue significativamente menor en la zona externa respecto del núcleo para los dos sitios de estudio (Tabla 4.1).

La relación entre Mg:Ca del otolito con la salinidad y la temperatura del agua varía en distintas especies. En la especie anadroma (salmón chinok Oncorhynchus tshawytscha) está relacionada positivamente con la temperatura y es independiende de la salinidad del agua (Miller, 2011). Por otro lado, Martin y Thorrold (2005) y Martin y Wuenschel (2006) no observaron efectos de la temperatura o salinidad sobre la relacion Mg:Ca en especies eurihalinas (spot Leiostomus xanthurus y gray snapper Lutjanus griseus, respectivamente). Sin embargo, Wells et al. (2003) reportaron una relación negativa entre la relación Mg:Ca de otolitos de la trucha de agua dulce (Oncorhynchus clarkia) y el agua. En este capítulo se observa que la relación Mg:Ca del otolito fue significativamente mayor en los peces del estuario del Río de la Plata y Delta del Paraná (Tabla 4.1).

Los patrónes observados en la relacion Ba:Ca concuerdan con las observaciones realizadas por Velasco (1998) y Velasco y Reis (2004) donde los bagres juveniles (menos de 4 años de vida) habitan ambientes con menor salinidad en relación al periodo de pre-adulto y adulto (más de 4 años de vida) y que luego se desplazarían a la plataforma continental. En cuanto a la relación Sr:Ca, si bien se observaron tendencias que concuerdan con las observaciones de

Velasco (1998) y Velasco y Reis (2004), los resultados aquí presentados para la relación Sr:Ca no son del todo claros, esto podría deberse a diversos motivos: en primer lugar a un activo desplazamiento de los individuos entre zonas de diferente salinidad por cortos periodos de tiempo que dificulta la lectura del Sr, mediante esta metodología o bien a la variabilidad intraespecífica en el comportamiento migratorio. En este sentido, existe la posibilidad de que no todos los ejemplares sigan el patrón de desplazamiento propuesto por Velasco (1998) y Velasco y Reis (2004) para la Lagoa dos Patos, y algunos permanezcan un periodo de tiempo más prolongado en los estuarios o bien en el mar aún cuando pertenzcan a la misma cohorte etaria.

Por otro lado, las diferencias encontradas en las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca entre la zona núcleo con los análisis univariados y multivariados de los otolitos de Cuenca baja del Plata y la Lagoa dos Patos estarían indicando la existencia de al menos dos sitios de cría diferentes de juveniles en el Océano Atlántico Sudoccidental.

Las asociaciones entre las relaciones elemento:Ca (zona núcleo y externa) mostraron dos grupos distintos, uno correspondiente a Lagoa dos Patos se agruparon formando un grupo único y el otro al Delta del Paraná y estuario del Río de la Plata (Figura 4.5). El mismo patrón se observó con la comparación múltiple de Hotelling y con el análisis discriminante (Tabla 4.2). Estos resultados indican la presencia de al menos dos stocks pesqueros en la región de estudio, uno perteneciente a Lagoa dos Patos y otro a la Cuenca baja del Plata y la costa marítima Argentina. Sin embargo, se observaron 4 ejemplares capturados en Lagoa dos Patos cuyas relaciones Sr:Ca vs Ba:Ca y Ba:Ca vs Mg:Ca (Figura 4.6; a, c, d, e) fueron similares a las obtenidas para los otolitos de la Cuenca baja del Plata. Esto estaría indicando la existencia de un posible flujo de ejemplares adultos de G. barbus desde Lagoa dos Patos a la Cuenca baja del Plata.

Los resultados presentados en este capítulo contribuyen con datos biológicos sólidos para estudio de stocks pesqueros en el Océano Atlántico Sudoccidental. La metodología aplicada

(análisis de las relaciones Sr:Ca, Mg:Ca y Ba:Ca de otolitos por zonas, mediante el pulido diferencial) resultó de utilidad para la identificación de stocks pesqueros y el estudio de los patrónes de desplazamiento de G. barbus en la costa atlántica sudoccidental.

CAPÍTULO 5

Identificación de stocks pesqueros de pez palo (Percophis brasiliensis) en el Océano Atlántico Sudoccidental

5.1. Introducción

El pez palo, Percophis brasiliensis, es una de las principales especies costeras comerciales registrando un 8% de la captura total del variado costero, equivalentes a 7.000 t/año (Fernández Aráoz et al., 2010).

En la última década se han realizado estudios sobre distintos aspectos de la biología del pez palo, por ejemplo: alimentación (Echezarreta et al., 2009), distribución, abundancia y estructura poblacional (Rico y Perrotta, 2009; Barretto et al., 2011) y de la pesquería de la especie (análisis de la captura por unidad de esfuerzo, Rico y Perrotta, 2009). En cuanto a la biología reproductiva, se ha determinado que es un desovante parcial con fecundidad anual indeterminada (Militelli y Macchi, 2001), encontrándose las concentraciones más importantes de individuos maduros en la zona de El Rincón (39°-41° 30' S) (Macchi y Acha, 1998).

A partir de la validación de la edad sobre otolitos sagittae de pez palo, se identificaron los períodos de crecimiento anuales: rápido (septiembre a febrero) y lento (marzo a agosto). Barretto et al. (2011) y Rico y Sáez (2010) han determinando que presenta un crecimiento diferencial a partir del primer año de vida, las hembras alcanzan mayores tallas que los machos de la misma edad y las edades máximas registradas fueron 15 años para hembras y 19 años para machos.

Se han identificado stocks pesqueros de pez palo por diferentes métodos. Rico y Sáez, (2010) y Sáez et al. (2011) utilizaron la estimación de los parámetros de crecimiento para

corroborar los grupos de pez palo sugeridos por Perrotta y Fernández Giménez (1996): un grupo al norte (Zona Común de Pesca Argentina-Uruguaya, ZCPAU) y otro grupo al sur en latitudes mayores (El Rincón) del Ecosistema Costero Bonaerense (ECB). Otros métodos fueron aplicados por Braicovich y Timi (2008) quienes utilizaron parásitos como indicadores biológicos, identificado tres stocks de P. brasiliensis. Posteriormente Rodrígues et al. (2010) encontraron diferencias en las frecuencias de tallas y en los parámetros reproductivos entre los peces palo de la ZCPAU, de El Rincón y del Golfo San Matías (GSM).

El objetivo de este capítulo fue evaluar el uso simultáneo de las relaciones Sr:Ca y Zn:Ca del otolito sagitta de pez palo como herramienta para la identificación de stocks. A diferencia de del Sr:Ca, la relación Zn:Ca del otolito no estaría relacionado directamente con salinidad del agua, pero si indirectamente, por medio de la dieta de los peces (página 22). La identificación de diferentes stocks de pez palo es un dato relevante para su incorporación en modelos de evaluación del recurso y fundamental para el manejo pesquero sustentable en el marco del Programa de Pesquerías Demersales Costeras del INIDEP.

5.2. Materiales y Métodos

5.2.1. Área de estudio

Ecosistema Costero Bonaerense (ECB)

La plataforma costera bonaerense posee una plataforma de terraza caracterizada por baja pendiente con un escalón de 50-60 metros la cual la separa del régimen costero de la plataforma continental (Parker et al., 1997). Entre los 38º 30’S (Necochea, Buenos Aires) y los 38º S (Mar del Plata) se presenta un marcado gradiente batimétrico separando un área costera somera, de una amplia meseta con profundidades mayores (Figura 5.1).

La batimetría, conjuntamente con los aportes de agua continental y fuentes locales de alta salinidad, generan en el sector bonaerense un sistema ecológico y oceanográfico complejo.

Tres masas de agua se distinguen sobre dicho sector (Guerrero y Piola (1997): 1) aguas costeras de baja salinidad (S<33 g/L; áreas de las descargas de los Ríos de la Plata, Negro y Colorado, 2) aguas costeras de alta salinidad (33,8 g/L<S<34,0 g/L, Golfo de San Matías; 3) aguas de plataforma media (33,4 g/L<S<33,7 g/L) a lo largo de la plataforma central, cuyas capas superficiales se mezclan con aguas del Río de la Plata.

La estratificación de las aguas de la plataforma bonaerense está controlada por la temperatura, mientras que en el Río de la Plata dicha estratificación está asociada a las diferencias de salinidad (Guerrero y Piola, 1997). La termoclina se sitúa a profundidades entre 25 y 35 m, diferenciándose dos dominios, uno interno (costero) verticalmente homogéneo y con profundidades menores de 30-35m, y otro externo con profundidades mayores de 30-35m que presenta estratificación estacional (en primavera y verano) (Guerrero y Piola, 1997). Además existen sectores cuyas aguas están localmente modificadas por aportes de aguas continentales, que promueven la formación de frentes en el litoral costero, los cuales posee importantes implicancias biológicas.

En el ECB, cuyo límite norte es el Chuy (34 ºS) y su límite sur El Rincón (41º S) y desde la línea de costa hasta una profundidad de 50 metros, se distinguen tres áreas principales:

Área estuarial del Río de la Plata

Esta zona está influenciada por la interacción entre la descarga de aguas continentales de la cuenca del Plata y el mar adyacente. El banco Barra del Indio constituye una barrera geomorfológica que divide al estuario en una parte interna y otra externa. La parte interna corresponde a un régimen fluvial con aguas riverinas verticalmente mezcladas, y la parte externa a un régimen mixohalino donde la intrusión de aguas de plataforma a lo largo del fondo en forma de cuña salina, genera una estructura de dos capas con una fuerte estratificación vertical que va disminuyendo hacia el exterior del Río de la Plata. En esta última región, la salinidad puede variar entre 22-33 g/L (Guerrero et al., 1997). Las

interfaces entre los regímenes mencionados originan dos frentes de salinidad, el de fondo como límite entre el régimen fluvial y el mixohalino, y el de superficie como límite entre el régimen mixohalino y las aguas de plataforma (Guerrero et al., 1997; Mianzán et al., 2001). La importancia de estas estructuras hidrográficas en los procesos biológicos, y en particular en los fenómenos reproductivos de peces, han sido compilados por Mianzán et al. (2001).

Área costera de la Provincia de Buenos Aires

Esta zona está comprendida entre los 37° S y 38º30' S, es una franja estrecha influenciada por aguas de plataforma media. Particularmente, en primavera y verano, se observan frentes térmicos de mareas limitados a la región litoral. Estos frentes separan aguas estratificadas por fuera y aguas más costeras mezcladas verticalmente (Guerrero, com. pers.).

Área estuarial de El Rincón (ER) (entre los 39° y 41° S)

Esta zona está sujeta a dos regímenes, el de aguas de plataforma que se desplazan desde el sur, y el de aguas más costeras y diluidas debido a los aportes continentales de los ríos Negro y Colorado. El contraste entre ambos regímenes genera un frente salino orientado en forma paralela a la línea de costa, de débil estructura vertical. La acción de vientos y mareas sobre las aguas costeras diluidas, sumada a las bajas profundidades, mantienen una estructura vertical homogénea (Guerrero y Piola, 1997). La señal de alta salinidad de las aguas del Golfo San Matías (GSM) se extiende en otoño-invierno hacia el NE, ocupando una franja entre las aguas costeras diluidas de El Rincón y las aguas de plataforma media. El área de El Rincón constituye otro escenario ecológico importante por su rol en los procesos de reproducción y de cría de las distintas especies del conjunto íctico costero (entre otros, Militelli, 1999; Carozza et al., 2004).

Golfo San Matías

El Golfo San Matías, ubicado entre los 40º 42’ y 42º 41’ S y los 63º 45’ y 65º 09’ W, posee una importante producción biológico pesquera (entre otros; Di Giacomo y Perier, 1991; 1992) y es el segundo golfo más extenso de Argentina (18.000 km^2) (Figura 5.1).

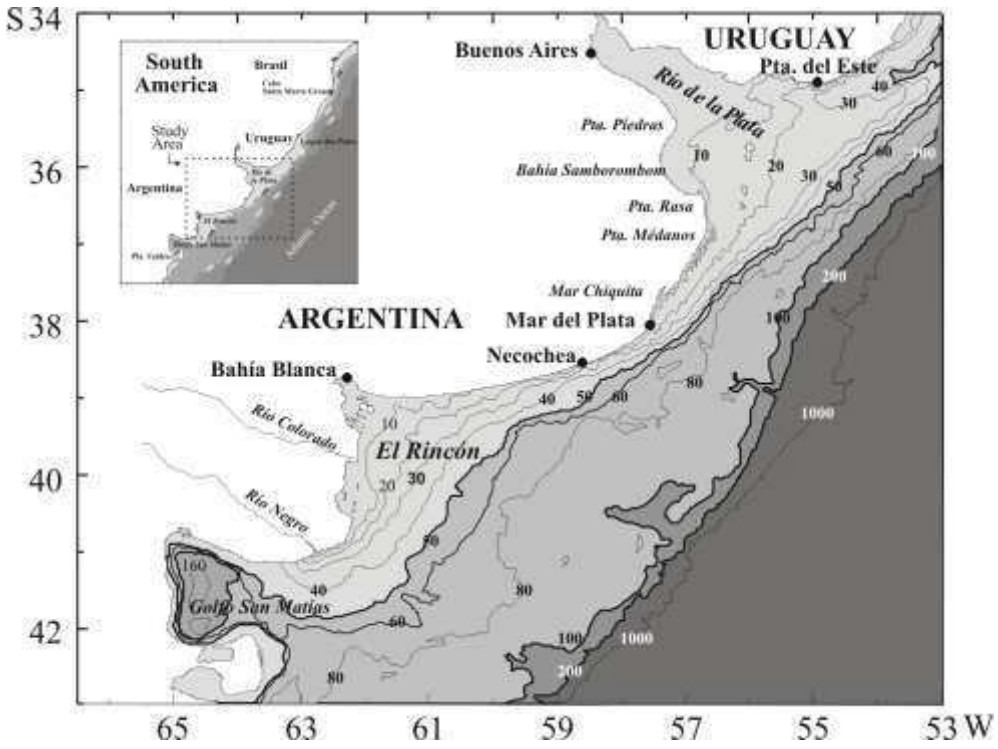

Figura 5.1. Región bonaerense de la plataforma continental argentina (tomado de Lucas et al., 2005).

En su interior se registran profundidades de hasta 200 m y posee una boca de ancho de 100 km de extensión, en cuyo umbral las profundidades alcanzan los 60 m, restringiendo de este modo la comunicación con el mar abierto (Morsan et al., 2010). Esta región está caracterizada por amplitudes de marea excepcionales, fuertes vientos y un intenso intercambio de calor y masa con la atmósfera, lo que genera altos niveles de disipación (Tonini et al., 2006). Por este motivo, sus aguas son durante el verano más saladas y cálidas

que en el mar abierto, perdurando en invierno altos valores de salinidad (Scasso y Piola, 1988). A su vez la alta salinidad de todo el golfo se debería, por lo menos en parte, al exceso de evaporación sobre precipitación y descarga continental (Morsan et al., 2010).

La circulación en el GSM está caracterizada por dos giros, uno ciclónico al norte y otro anticiclónico al sur, que inducen el ingreso de agua más fría y menos salina por el sur y el egreso de agua más cálida y salina por el norte (Piola y Rivas, 1997). El GSM se caracteriza por un frente termo-halino que lo divide en sentido sudoeste - noreste, debido a que durante la primavera y verano éste presenta dos masas de agua netamente diferenciadas: las aguas del norte o propias del golfo (de alta temperatura y salinidad, con una termoclina bien marcada y concentraciones limitantes de nitratos) y las aguas del sur o de origen externo (de baja temperatura y salinidad, ausencia de termoclina y concentraciones altas de nitratos). La existencia de ambas masas de agua genera una zona de transición (Carreto et al., 1974). Asociado a estos sistemas frontales existe una alta tasa de productividad primaria y secundaria, constituyéndose estructuras oceánicas claves para entender la alimentación, reproducción y patrónes migratorios de las poblaciones locales de peces, aves y mamíferos (Acha et al., 2004).

Desde el punto de vista de la biodiversidad, el GSM presenta una rica composición de especies, ya que en estas latitudes del Mar Argentino se verifica la existencia de la zona de transición entre dos Provincias Biogeográficas: la Argentina y la Magallánica (Menni, 1983). Por ello, en aguas del golfo es frecuente la ocurrencia de especies comunes a estos dos grandes complejos faunísticos a nivel de los diferentes grupos zoológicos. Esta riqueza de organismos determina también una variada composición de especies en las capturas, la que más allá de la especificidad de las artes de pesca, determina en general la existencia de un complejo pesquero de carácter multiespecífico.

5.2.2. Colecta de muestras

Se analizaron ejemplares de pez palo provenientes de dos campañas de investigación: una en el área del ECB (EH 200508) y otra en el área del GSM (REDE 2009) (Figura 5.2).

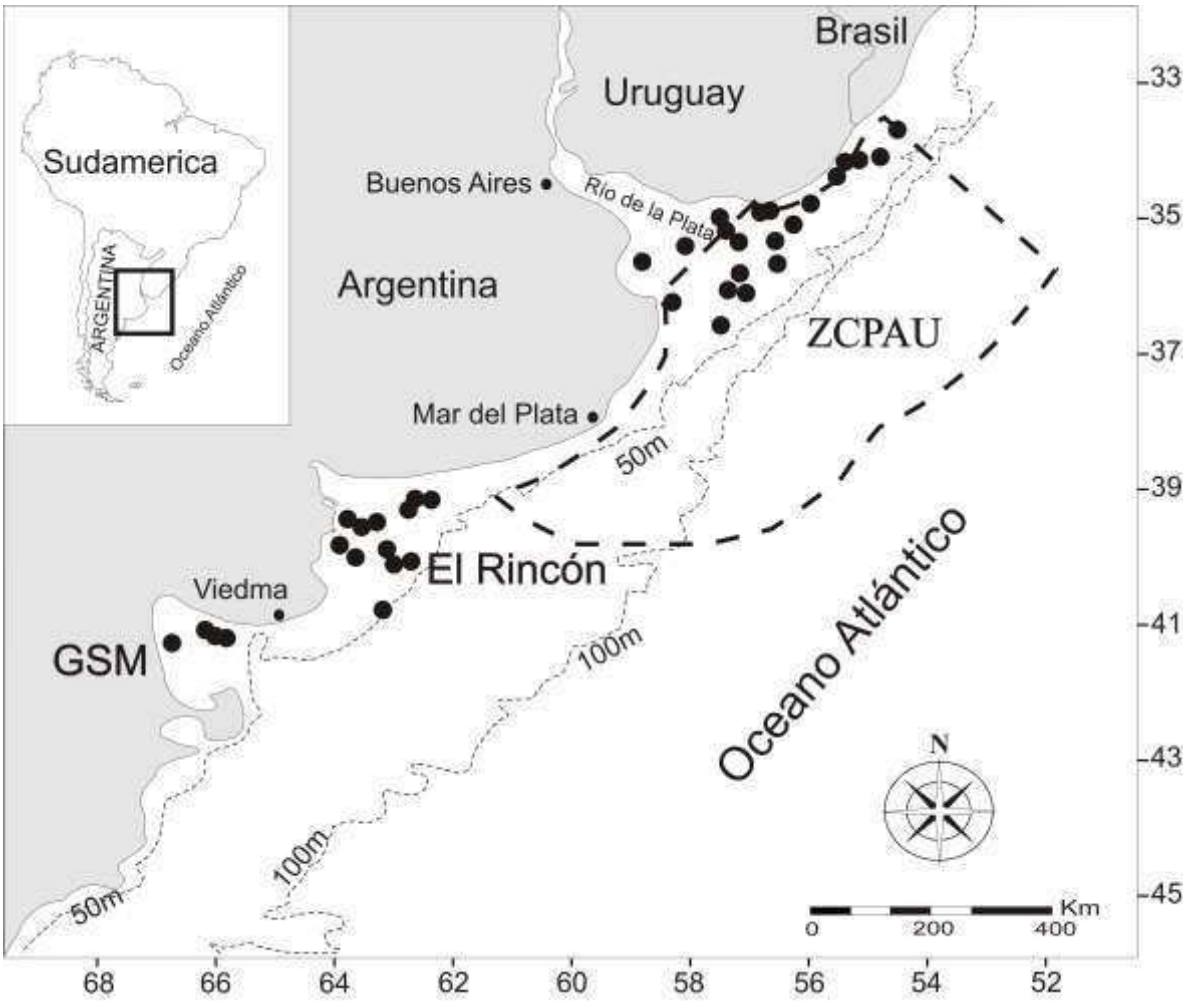

Figura 5.2: Sitios de colecta de Percophis brasiliensis en la Zona común de pesca Argentina-Uruguaya (ZCPAU), El Rincón (ER) y Golfo San Matías (GSM).

La campaña EH 200508, se realizó entre el 13 de noviembre y el 20 de diciembre de 2005 con el BIP Dr. Eduardo L. Holmberg, perteneciente al Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), cuyo objetivo principal fue la evaluación de especies

costeras. El área de trabajo comprendió la Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya (34º-38,5º S) hasta El Rincón (38.5°-42º S) en un rango batimétrico de 5 a 54 m (Figura 5.2). Los datos biológicos fueron obtenidos a partir de 184 lances de pesca con red de arrastre de fondo tipo Engel (200 mm de malla en las alas, 120 mm en el copo, 4 m de abertura vertical y 15 m de abertura horizontal).

La campaña REDE 2009 "Recursos Demersales 2009" de Investigación Pesquera, fue llevada a cabo entre los días 2 y 8 de noviembre de 2009, como parte de las actividades regulares del Instituto de Biología Marina y Pesquera Almirante Storni (IBMPAS) para la evaluación del efectivo pesquero de merluza común y otras especies demersales del GSM. El área de trabajo comprendió las latitudes 40º55´S hasta 41º50´S (Figura 5.2). Durante la campaña de investigación se realizaron 41 lances de pesca a más de 50 m de profundidad distribuidos regularmente a través de la totalidad de la superficie del GSM. Los ejemplares de pez palo fueron extraídos por medio de una red de arrastre de fondo convencional, de 33 m de relinga superior (lima) similar a las utilizadas por el resto de las embarcaciones pesqueras comerciales que operan en el GSM. Para posibilitar la captura de ejemplares juveniles, se utilizó un calcetín de 40 mm de distancia entre nudos colocado en el interior de la manga y bolsa de la red.

En cada uno de los lances de pesca se registró el número de ejemplares de pez palo, el sexo, la longitud total (LT) en cm y el peso total en gramos. Se extrajo el par de otolitos sagittae, uno de los otolitos fue utilizado para determinar la edad y el otro se utilizó para la determinación de las relaciones Sr:Ca y Zn:Ca.

5.2.3. Cálculo de la edad

Los otolitos fueron montados en masilla epoxi opaca y seccionados a través del núcleo con una micro cortadora (Maruto MC-201), generando una sección de 0,5 mm de espesor aproximadamente. La lectura de anillos del otolito se realizó con luz incidente lateral y con

luz transmitida, utilizando una lupa estereoscópica con doble cabezal (Nikon SMZ 10 A) a un aumento de 40X por dos observadores independientes. En el caso de diferir en las lecturas se descartó el otolito (Figura 5.3). La iluminación permitió que los anillos hialinos, indicativos de una etapa de crecimiento lento del pez, se vieran oscuros y los anillos opacos que corresponden a un período de crecimiento rápido se vieran más claros o blanquecinos. A partir del trabajo de Barreto et al. (2011) se validó la periodicidad con que se presentan los anillos de crecimiento, por lo tanto, la determinación de la edad de la especie es precisa y aceptable.

Cara externa Cara interna

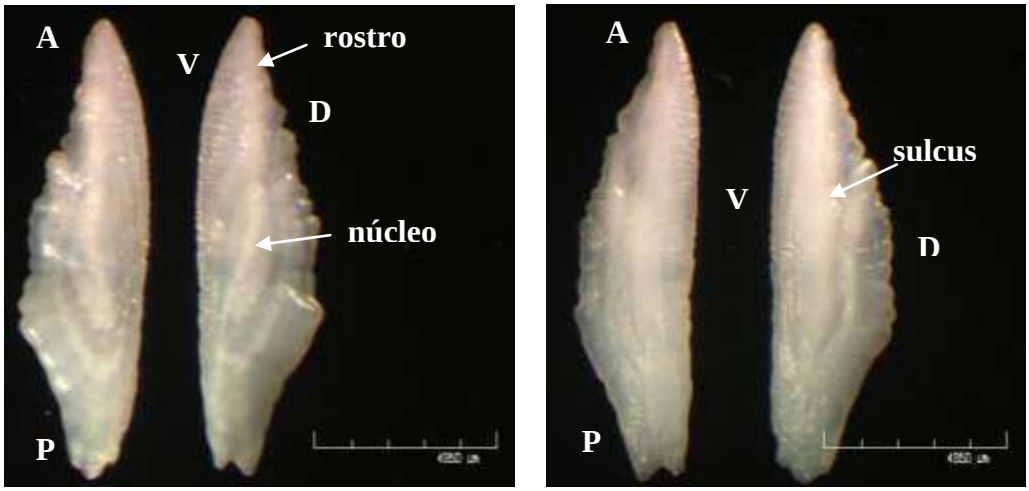

Figura 5.3. Detalle del par de otolitos sagittae de pez palo. A: anterior; P: posterior; D: dorsal; V: ventral.

5.2.4. Determinación de las relaciones Sr:Ca y Zn:Ca

Se seleccionaron al azar 143 otolitos sagittae, los cuales se limpiaron con agua destilada y secados. Cada uno fue pesado con una balanza analítica con error menor a <0,001g y digerido en ácido nítrico 50% sobre un baño de arena calentado entre 400-450°C. La determinación de los metales traza se llevó a cabo mediante espectrometría de emisión atómica por acoplamiento de Plasma (ICP-OES)(ver página 32). El Ca se determinó

utilizando el método volumétrico de titulación con EDTA (APHA, 1993). Todos los elementos se determinaron por triplicado.

Las relaciones elemento:Ca se expresaron en mmol:mol con el fin de estandarizar las concentraciones de los elementos en relación al Ca. La eficiencia del proceso de digestion fue chequeada con el material de referencia FEBS-1 (Otolith Certified Reference Material, National Research Council, Canadá). El porcentaje de recuperación del material de referencia fue de 93 % para Sr y 110 % para Ca.

5.2.5. Análisis estadístico

Para evitar el efecto que podría tener la edad en la relación elemento:Ca, los ejemplares se agruparon por rangos de edad (Tabla 5.1). Su utilizo análisis de covarianza (ANCOVA) para determinar el posible efecto del peso de los otolitos sobre las relaciones Sr:Ca y Zn:Ca para cada grupo de edad. Estas variables correlacionaron positivamente con el peso del otolito y fueron corregidas substrayendo la pendiente común (b) del ANCOVA (e.g. Burke et al., 2008).

Edad	ZCPAU	ER	GSM
3 - 5	31	21	7
6 - 7	12	8	10
8 - 9	10	9	19
10 - 11	-	6	10

Tabla 5.1: Número de ejemplares por grupo de edad y sitio de muestreo. Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya (ZCPAU), El Rincón (ER), Golfo San Matías (GSM)

Posteriormente, las relaciones elemento:Ca fueron comparadas en cada grupo de edad utilizando análisis de varianza no paramétrica (Test de Kruskal Wallis) (Sokal y Rholf, 1995). La relación entre las variables microquímicas (Sr:Ca y Zn:Ca) fue también estudiada mediante análisis discriminante por grupo de edad y zona de estudio. Los análisis se llevaron a cabo con el Sofware InfoStat®.

5.3. Resultados

5.3.1. Relaciones Sr:Ca y Zn:Ca del otolito

El test no paramétrico de Kruskal Wallis no mostró diferencias significativas entre la media de la relación Sr:Ca entre las regiones de estudio para los rangos de edad (Tabla 5.2). Sin embargo se observaron diferencias significativas en la relación Zn:Ca media entre ZCPAU y las áreas de ER y GSM ($p<0,05$, Tabla 5.2), no hallándose diferencias estadísticamente significativas entre ER y GSM ($p>0,05$, Tabla 5.2).

Sr:Ca (mmol:mol)			
Edad	ZCPAU	El Rincón	GSM
3 - 5	2,16±0,41[a]	2,27±0,28[a]	2,07±0,33[a]
6 - 7	2,39±0,31[a]	2,80±0,40[a]	2,29±0,70[a]
8 - 9	3,07±0,36[a]	3,30±0,96[a]	3,25±1,39[a]
10 - 11	2,78±0,59[a]	2,80±0,29[a]	2,92±0,47[a]
Zn:Ca (mmol:mol)			
3 - 5	0,45±0,38[a]	0,25±0,11[b]	0,27±0,29[b]
6 - 7	0,35±0,18[a]	0,14±0,11[b]	0,18±0,13[b]
8 - 9	0,25±0,09[a]	0,14±0,07[b]	0,13±0,09[b]
10 - 11	-	0,15±0,04[a]	0,11±0,06[a]

Tabla 5.2: Relaciones Sr:Ca y Zn:Ca (media ± desvío estándar) por rango de edad para la Zona Común de Pesca Argentina-Uruguaya (ZCPAU), El Rincón (ER) y el Golfo de San Matías (GSM), Argentina. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$).

5.3.2. Asociación entre las relaciones Sr:Ca y Zn:Ca

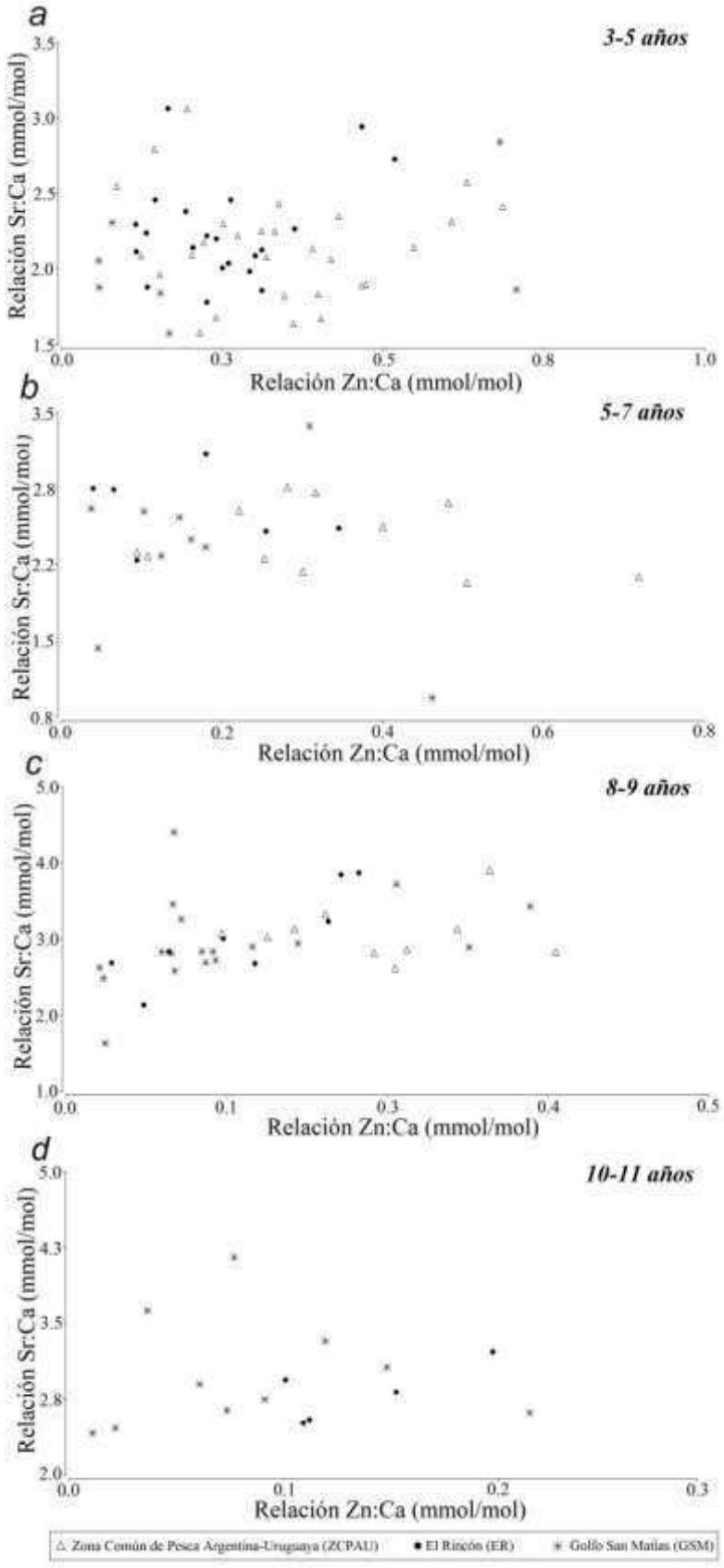

Figura 5.4: Relaciones Sr:Ca y Zn:Ca (mmol/mol) de otolitos de Percophis brasiliensis entre los sitios de estudio.

Se observó una tendencia al agrupamiento de los valores correspondientes al ER y GSM (Figura 5.4; a-d) para todos los rangos de edad hacia los valores más bajos de la relación Zn:Ca. Los valores correspondientes a la ZCPAU tendieron a dispersarse hacia los valores más altos de la relación Zn:Ca (Figura 5.4; a, b y c).

5.3.3. Análisis Discriminante

El análisis discriminante mostró una asociación entre las relaciones Sr:Ca y Zn:Ca entre ER y GSM para los grupos de edad 3-5, 6-7 y 8-9 años (Figura 5.5, a-c). Para todos los casos, el primer eje explica el mayor porcentaje de la variabilidad de los datos, siendo la variable más importante en este eje la relación Zn:Ca (Tabla 5.3). Ningún ejemplar del grupo de edad 10-11 fue capturado para la ZCPAU.

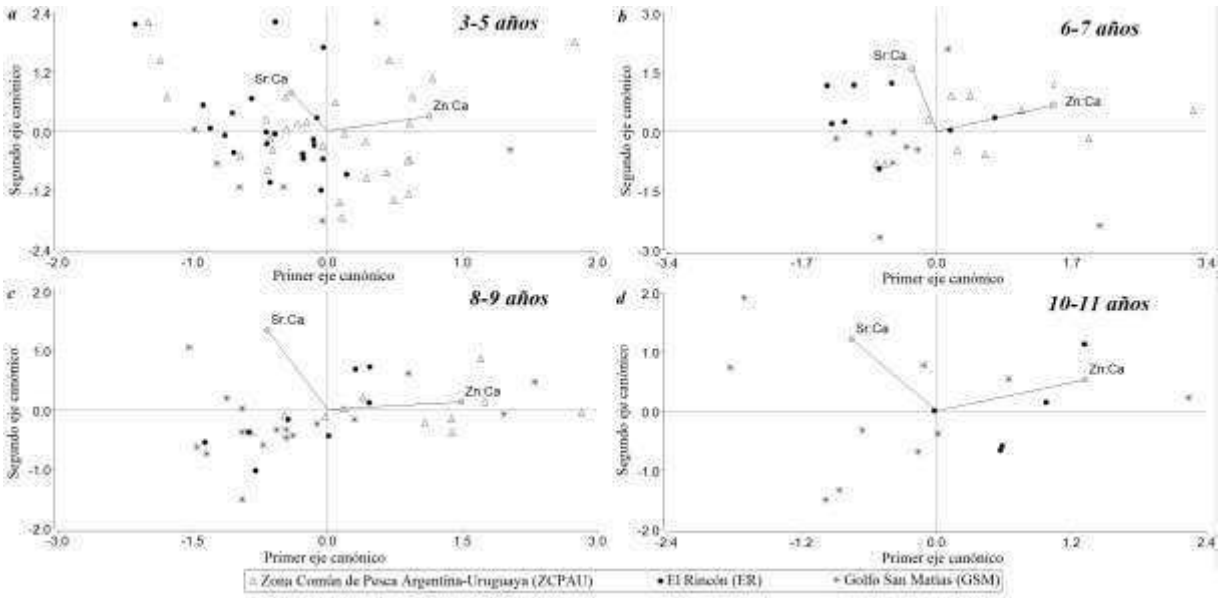

Figura 5.5: Análisis discriminante basado en las relaciones Sr:Ca y Zn:Ca de los otolitos. Se grafican las dos primeras funciones discriminantes para cada grupo de edad (a-d). Los datos de ER y GSM tienden a agruparse, mientras que estos valores se separan de la ZCPAU. Los autovalores y el porcentaje que representan los ejes se muestran en la Tabla 5.5.

	edad (años)			
	3-5 (a)	6-7 (b)	8-9 (c)	10-11 (d)
% PEC	82,78	69,05	98,69	99,99
autovector (Sr:Ca)	-0,94	-0,4	-0,45	-0,53
autovector (Zn:Ca)	3,07	6,24	12,28	0,94

Tabla 5.3: Variabilidad explicada por el primer eje canónico (% PEC) y autovectores del análisis discriminante de la microquímica otolitos (Figura 5.5, a-d). Las letras entre paréntesis indican la referencia en la Figura 5.4 (a-d).

5.4. Discusión

La incorporación de Sr en el otolito está influenciada por la salinidad del agua (ver páginas 21, 22 y 35). En el área de estudio la salinidad varia a largo de un gradiente latitudinal con valores entre 22-34 (Piola y Rivas, 1997; Marrari et al., 2013). La asociación positiva entre la relación Sr:Ca del otolito y el agua para peces diádromos y estuarinos que se desplazan entre ambientes con diferente salinidad parece ser universal, aunque la magnitud puede variar entre las especies (Secor y Rooker, 2000; Brown y Severin, 2012). Brown y Severin (2012) indicaron que la relación Sr:Ca del agua es más homogénea en el medio marino que en el agua dulce o en ambientes salobres. Por lo tanto, en las especies marinas, los factores fisiológicos son más influyentes en la incorporación de Sr en el otolito que la exposición a entornos heterogéneos (Campana, 1999; Brown y Severin, 2012). Los factores fisiológicos no parecen influir en forma significativa en la relación Sr:Ca de los otolitos de peces de agua dulce y especies diádromas (Brown y Severin, 2012). La temperatura también podría tener algún efecto sobre la incorporación de Sr, sin embargo se ha demostrado que es este efecto es especies-específico (Campana, 1999; Brown y Severin, 2009).

El pez palo es una especie marina que habita zonas con diferentes gradiente de salinidad a lo largo de su ciclo de vida. Los juveniles y adultos jóvenes (< 4-7 años) se distribuyen en

aguas con relativa baja salinidad (20-30 g/L), mientras que los adultos (> 5-8 años) se distribuyen en aguas con salinidades más elevadas (Barretto, 2007). En ZCPAU, la salinidad oscila entre el 22 y el 33 g/L debido al flujo de la pluma de agua dulce del Río de la Plata Río (Marrari et al., 2004), que se extiende 70 a 200 kilómetros en el mar abierto, dependiendo del caudal de los ríos (Guerrero et al., 1997). El área de El Rincón está influenciada por la descarga del Río Negro y Río Colorado (Guerrero et al., 1997).

A pesar de la diferencia de salinidad informada para los sitios de estudio (páginas 72-76), la relación Sr:Ca de los otolitos fue similar entre los sitios de muestreo para todos los grupos de edad (Tabla 5.2). Esto podría deberse a diversos factores, por ejemplo: 1) perdida de información debida a la digestión total del otolito, 2) migración a nivel local o a un corto lapso de tiempo de exposición a baja salinidad, 3) a cambios en la tasa de incorporación de Sr debido a los efectos fisiológicos y ontogenéticos. Se requieren estudios específicos sobre la incorporación de Sr en P. brasiliensis para responder estas cuestiones.

El Zn en otolitos fue propuesto como un indicador de hábitat ya que está influenciado por la dieta de los peces (Ranaldi y Gagnon, 2008). Las zonas costeras ofrecen una mayor heterogeneidad química debido a la incorporación de afluentes y efectos antrópicos y son estas regiones las que a menudo contribuyen con el aporte de elementos como el Zn (Sturrock et al., 2012). Se observaron diferencias significativas en la relación Zn:Ca entre la ZCPAU y ER- GSM, los cuales corresponden a los extremos latitudinales de la región de estudio (Tabla 5.2), esto podría estar indicando la existencia de diferentes poblaciones de peces.

Por otra parte, se encontró una asociación entre las relaciones Sr:Ca y Zn:Ca para los grupos de peces de el ER y GSM, separándose de la ZCPAU (Figura 5.4). Esto podría deberse a interacciones entre las poblaciones de ER y GSM.

El análisis discriminante también mostró una separación entre ZCPAU y ER-GSM para los grupos de edad 3-5, 6-7 y 8-9 años. Explicada principalmente por la relación Zn:Ca de los otolitos (Figura 5.5).

Los resultados aquí expuestos permitirían sugerir la existencia de al menos dos stocks de P. brasiliensis en el sudoeste del Océano Atlántico, uno correspondiente al norte de la región de estudio (ZCPAU), mientras que el otro estaría ubicado en el sur de esta región (ER-GSM). Como se mencionó previamente (páginas 71 y 72), la ocurrencia de distintas poblaciones de P. brasiliensis en el suroeste del Océano Atlántico fue sugerida anteriormente por otros autores. Braicovich y Timi (2008) proponen la existencia de tres poblaciones de peces mediante el análisis de la composición de los parásitos, distribuidos en la ZCPAU, ER y GSM. El uso simultáneo de las relaciones Sr:Ca y Zn:Ca de los otolitos no permitió discriminar entre las tres poblaciones identificadas por estos autores. A pesar de estas discrepancias, nuestros resultados apoyan la existencia de dos poblaciones de peces propuesta por Perrotta y Fernández Giménez (1996), Rico y Sáez (2010) y Sáez, et al. (2011) que identificaron mediante diferentes metodologías dos poblaciones correspondientes a la ZCPAU y ER.

Los resultados expuestos en este capítulo demuestran que la microquímica del otolito de P. brasiliensis es una potencial herramienta para la identificación de stocks pesqueros de este importante recurso costero.

CAPÍTULO 6

Identificación de stocks pesqueros de la lisa Mugil curema en el Sudeste del Mar Caribe (Venezuela)

6.1. Introducción

En el Mar Caribe se encuentran 8 especies representantes de la familia Mugilidae, todas de importancia comercial (Rivera Reyes, 2009). Estas especies son de difícil identificación taxonómica, por lo que se han realizado diversos estudios aplicando caracteres diagnósticos y citogenéticos a fin de facilitar su determinación (Nirchio et al., 2005; Rivera Reyes, 2009). Sin embargo no hay estudios sobre identificación de stocks pesqueros de ninguna de las especies de esta familia en el Mar Caribe.

Desde hace dos décadas Venezuela es el país que captura más toneladas de pescado en el Caribe (500.000 toneladas anuales). A pesar que durante el período 1998-2008 se redujeron las capturas en un 35%, en la actualidad las mismas se han comenzado a recuperar (FAO, 2005; 2010). La producción pesquera venezolana está integrada por la pesca artesanal y la industrial, representando la primera el 70% de las capturas totales extractivas (FAO, 2010).

El estado de Nueva Esparta, que abarca las islas Margarita, Coche y Cubagua, es el tercer estado en importancia de producción pesquera de captura (10,17%), luego de los estados de Zulia (12,13%) y Sucre (57,51%). Esto se debe a la gran cantidad de comunidades establecidas en dicho estado que realizan esta actividad (FAO, 2005) y a la presencia de fenómenos de surgencia de aguas ricas en nutrientes (Muller-Karger et al., 1989) que causan alta productividad.

La lisa (Mugil curema) es el segundo recurso íctico de extracción artesanal, sosteniendo a las pequeñas comunidades locales tanto por pesca de captura como por su cultivo en acuicultura

(Marin et al., 2003).

Ibáñez et al. (2012) determinaron mediante un estudio cronológico de la relación Sr:Ca de los otolitos de M. curema del Golfo de México, que esta especie permanece la mayor parte de su vida en aguas salobres o de salinidad variable y permanece cortos periodos de tiempo en mar abierto. Además, la relación de Sr:Ca del núcleo de los otolitos indicó que las lisas desovan tanto en aguas estuarinas como en mar abierto. Estos análisis tienen una especial relevancia para comprender la historia de vida de M. curema. Sin embargo, muchos aspectos de la estructura de la población, como el número de stocks o conectividad entre estos son actualmente desconocidos, especialmente en las costas del sudeste del Mar Caribe. En este sentido, el objetivo del presente capítulo fue evaluar el uso de la microquímica del otolito sagitta (relaciones Sr:Ca y Ba:Ca) como un potencial marcador de hábitat de M. curema en el sudeste del Mar Caribe con el fin de contribuir a una futura identificación de stocks pesqueros de este importante recurso.

6.2. Materiales y Métodos

6.2.1. Área de estudio

El estado de Nueva Esparta está localizado sobre el Mar Caribe al noreste de Venezuela. Está conformado por las islas de Coche, Cubagua y Margarita. Esta última es la mayor de las islas y está formada por dos macizos, uno occidental conocido como Península de Macanao con una elevación máxima de 750 m s.n.m. y otro oriental, Paraguachoa con una elevación de 900 m s.n.m. Ambas penínsulas se encuentran separadas por una albufera, La Restinga (Figura 6.1) (Sanz, 2007). En toda la zona prevalece un clima semidesértico. El promedio anual de precipitación es de 715 mm y la temperatura oscila entre 24 y 32°C, con una media de 27.8°C. La humedad relativa anual fluctúa entre 56 y 97%, con una media de 82%. La zona costera cuenta con una gran cantidad de lagunas someras de nivel variable de acuerdo

con las estaciones del año, con máximos durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, con temperaturas que oscilan entre 24 y 32 °C y oxígeno disuelto entre 2.15 y 6.57 ml/L, y salinidades que fluctúan entre 36 y 44 g/L. El suministro de agua dulce de estas lagunas es a través de las precipitaciones y la vegetación predominante son mangles.

6.2.2. Colecta de muestras

Con el fin contribuir al conocimiento de los stocks pesqueros de lisas del estado de Nueva Esparta, se realizó un relevamiento ictiológico de Mugil curema sobre la región costera del

Figura 6.1: Sitios de muestreo de Mugil curema en el estado de Nueva Esparta, Venezuela.

estado durante el mes de julio de 2011.

Los ejemplares de M. curema fueron capturados con redes de enmalle e identificados utilizando las claves propuestas por Harrison (2002) y Harrison et al. (2007). Se capturaron 110 ejemplares adultos; 21 correspondientes al norte de la Isla Cubagua y los restantes de la zona costera de la Isla Margarita: Laguna Punta de Piedras (N=6), El Guamache (N=22), La Isleta (N=14), Manzanillo (N=16), La Guardia (N=22) y la albufera La Restinga (N=11) (Figura 6.1). En todos los casos se registro la longitud total (LT) en cm de los ejemplares.

6.2.3. Determinación de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca

Figura 6.2: Otolitos Sagittae de Mugil curema. Barra=2mm.

Se seleccionaron los otolitos sagittae derechos de especímenes cuyas longitudes totales estuvieron en el rango de 23-35 cm (Figura 6.2), los mismos provienen de Isla Cubagua (N=20); Laguna Punta de Piedras (N=6); El Guamache (N=21); La Isleta (N=13); Manzanillo (N=15); La Guardia (N=19) y la albufera La Restinga (N=11). Los otolitos fueron pesados en una balanza analítica (error <0,001 g) y digeridos en ácido nítrico 50% durante un lapso de 24 horas.

La determinación de Sr y Ba se llevó a cabo mediante espectrometría de emisión atómica por acoplamiento de plasma (ICP-OES) (ver página 32). Los límites de detección del ICP-OES para los elementos Ba y Sr fueron 10 y 12 µg/L respectivamente. La concentración de Ca se

determinó utilizando el método volumétrico de titulación con EDTA (APHA, 1993). Todas las mediciones se realizaron por triplicado. Las relaciones elemento:Ca se expresaron en mmol:mol con el fin de estandarizar las concentraciones de los elementos en relación al Ca. La eficiencia del proceso de digestion fue chequeada con el material de referencia FEBS-1 (Otolith Certified Reference Material, National Research Council, Canada). El porcentaje de recuperación del material de referencia fue de 90 % para Sr, 99 % para Ba y 115 % para Ca. Posteriormente, se evaluaron las diferencias en las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca de los otolitos entre los 7 sitios de muestreo.

6.2.4. Determinación de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca en agua

Se colectaron muestras de agua simultáneamente con los muestreos de peces. Las muestras se preservaron con el agregado de 2 ml de ácido nítrico por litro de muestra (APHA, 1993; método 3010 B) y se llevaron a una temperatura de 4°C hasta su análisis. La determinación de Sr, Ba y Ca se realizó como fue previamente descripta (ver página 33).

6.2.5. Coeficiente de partición

Con el fin de examinar la relación entre la microquímica del otolito y la química del agua, la relación elemento:calcio de los otolitos (Sr:Ca) y de cada muestra de agua se comparó mediante el coeficiente de partición descrito como:

D_{Sr} = mSr:mCa $_{otolito}$/mSr:mCa $_{agua}$ (D, Coeficiente de partición, m=molaridad)

El coeficiente de partición permite evaluar el grado de incorporación en el otolito de un determinado elementos traza en relación a la presencia del mismo en el medio acuático

(Kraus y Secor 2004; Tabouret et al., 2010; Santos et al., 2013). El coeficiente de partición de Sr se estimó para cada localidad, teniendo en cuenta la relación Sr:Ca correspondiente al otolito de cada ejemplar y la relación Sr:Ca del agua de cada sitio de muestreo donde se capturaron los especímenes.

6.2.6. Análisis estadístico

Se utilizó el análisis de covarianza (ANCOVA) para determinar el posible efecto de la talla (LT) de los peces sobre las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca. Estas variables correlacionaron positivamente con la talla y fueron corregidas substrayendo la pendiente común (b=0,04) del ANCOVA (e.g. Begg et al., 2001; Cardinale et al., 2004; Galley et al., 2006; Burke et al., 2008). Este ajuste eliminó el efecto de la talla de los peces sobre las variables microqímicas. Las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca se compararon entre los sitios de muestreo mediante análisis de varianza no paramétrica (Test de Kruskal Wallis). Finalmente, los coeficientes de partición se compararon entre los sitios de muestreo con el Test de Kruskal Wallis (Sokal y Rholf, 1995).

6.3. Resultados

6.3.1. Relaciones Sr:Ca y Ba:Ca del otolito

El rango de la relación Sr:Ca fue de 2,65-3,64 mmol/mol. El valor más bajo corresponde a las lisas de La Guardia y el más alto de las colectadas en las cercanías de la isla de Cubagua (Tabla 6.1). La comparación de Tukey (Tabla 6.1) muestra 3 grupos que corresponden a La Guardia, las albuferas (La Restinga y Punta de Piedras) y la Isla Cubagua. No se hallaron diferencias significativas entre Guamache y la Isleta. La media de la relación Sr:Ca de estos sitios fue intermedia entre las albuferas y la Guardia. La relación Sr:Ca de Manzanillo

(3,12±0,49) estuvo entre la hallada para las albuferas y la Isla Cuabagua (Tabla 6.1).

	N	Sr:Ca ratio				Ba:Ca ratio				
La Guardia	22	2,65	± 0,38	A		0,009	± 0,003	A		
Guamache	21	2,97	± 0,33	A	B	0,013	± 0,007	A	B	
La Isleta	15	2,86	± 0,74	A	B	0,023	± 0,013	A	B	
La Restinga	11	3,10	± 0,29		B	0,013	± 0,007	A	B	
Punta de Piedras	6	3,12	± 0,17		B	0,013	± 0,005	A	B	
Manzanillo	16	3,12	± 0,36		B	C	0,016	± 0,008	A	B
Isla Cubagua	22	3,64	± 0,49			C	0,024	± 0,010		B

Tabla 6.1: Media ± desvío estándar de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca (mmol/mol) de Mugil curema por sitio de estudio. Letras diferentes indicas diferencias significativas ($p<0,05$). N: tamaño de muestra.

El rango de la relación Ba:Ca fue de 0,009-0,024 mmol/mol. El valor más bajo corresponde a peces de La Guardia y el más alto a los colectados en isla Cubagua (Tabla 6.1). La comparación de tukey (Tabla 6.1) muestra 2 grupos definidos que corresponden a La Guardia y la Isla Cubagua. La relación Sr:Ca de los otros sitios de muestro fue intermedia entre estas localidades, no habiendo diferencias significativas (Tabla 6.1).

En el análisis de dispersión entre las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca de los otolitos (Figura 6.3) se observa una superposición de valores correspondientes a las albuferas y Guamache. Los valores de Manzanillo se superponen con este último grupo pero muestran una mayor dispersión sobre la variable Ba:Ca. La nube de dispersión de los valores de la Isla Cubagua se encuentra desplazada hacia los valores más altos de Sr:Ca y Ba:Ca mientras que los correspondientes a la Isleta se ubican por debajo de Isla Cubagua, con superposición con los demás grupos.

En el análisis discriminante, el primer eje canónico explicó el 86,5% de la variabilidad. La variable de mayor repesentación sobre este eje fue la relación Ba:Ca (autovector=0,73), seguido de la relación Sr:Ca (autovector=0,45). Los valores de la Isla Cubagua se desplazaron hacia los positivos del primer eje canónico mientras que los de La Guardia se desplazaron hacia los negativos (Figura 6.3). Se evidenció un solapamiento de los valores corresponientes a las lagunas y Guamache (Figura 6.3). Los valores de Manzanillo muestran gran dispersión y se solaparon con los de Isla Cubagua pero no con los de la Guardia.

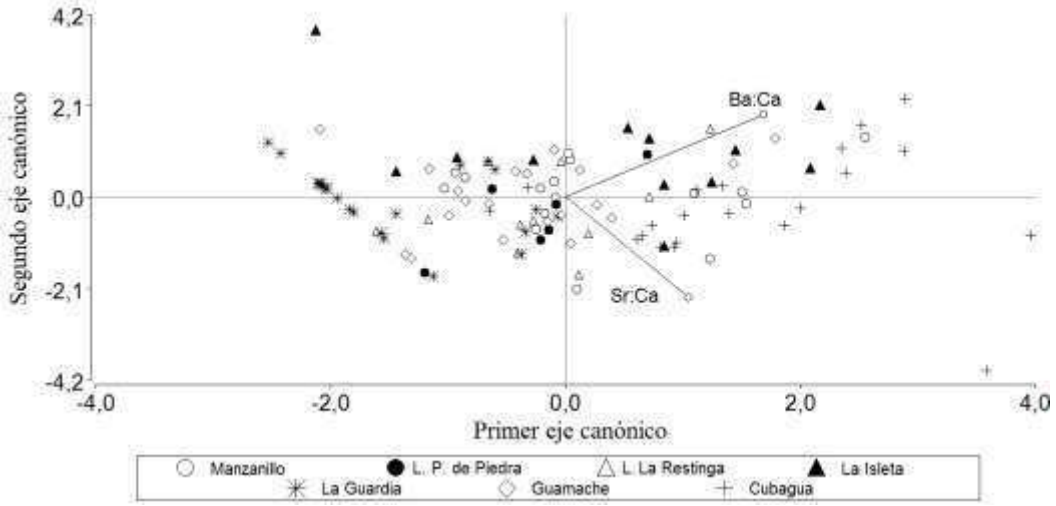

Figura 6.3: Análisis discriminante entre las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca de los otolitos de Mugil curema para los sitios de muestreo en el estado de Nueva Esparta.

6.3.2. Relaciones Sr:Ca y Ba:Ca en agua y coeficiente de partición

El rango de la relación Sr:Ca en agua fue 2,87-3,28 mmol/mol. El valor más alto correspondiente a la localidad de La Guardia y más bajo a Manzanillo (Figura 6.4). Se observaron valores intermedios para el resto de las localidades (Figura 6.4). El análisis de varianza del coeficiente de partición de Sr:Ca mostró valores similares para Isla Cubagua y Manzanillo (Figura 6.4). Estas localidades se diferenciaron significativamente de Guamache, La Isleta y La Guardia, con el menor coeficiente de partición (Figura 6.4). Se observaron

valores intermedios para las lagunas Punta de Piedras y La Restinga (Figura 6.4).

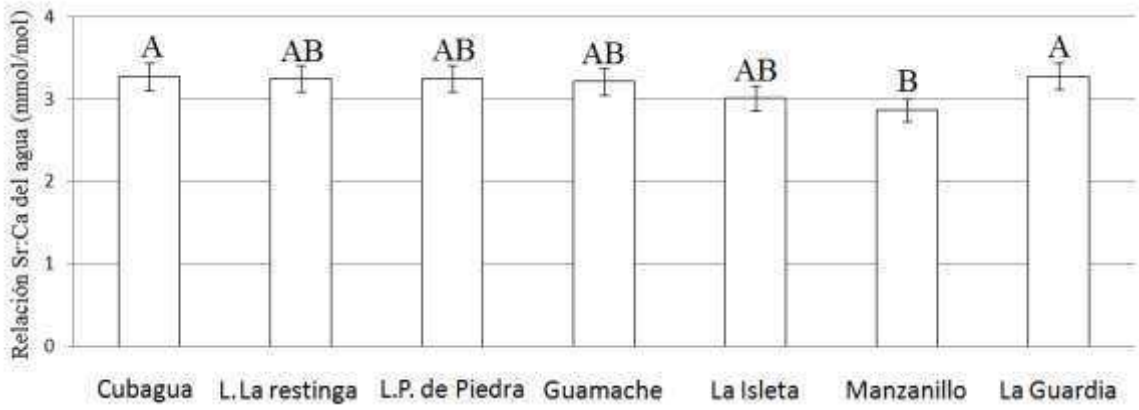

Figura 6.4: Relación Sr:Ca del agua (mmol/mol) por sitio de muestreo. Las barras de error representan el desvío estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$).

6.4. Discusión

Hasta el momento, no existen trabajos que apliquen la microquímica del otolito (relaciones Sr:Ca y Ba:Ca) para la identificación de stocks pesqueros de mugilidos en el Sudeste del Mar Caribe. En este capítulo, el valor más elevado para las relaciones Sr:Ca (3,64 mmol/mol) y Ba:Ca (0,024 mmol/mol) en otolitos fue observado para Isla Cubagua (Tabla 6.1), mientras que los valores más bajos corresponden a La Guardia (2,65 y 0,009 mmol/mol, respectivamente. Esto coincide con la relación de Sr:Ca del agua, donde la más elevada fue registrada en Isla Cubagua (Figura 6.4).

En el análisis discriminante entre las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca también se observó la separación de los valores de Isla Cubagua respecto de La Guardia (Figura 6.3).

El coeficiente de partición es utilizado para describir la relación entre las concentraciones de elementos traza en otolitos y el ambiente acuático (e.g., Tabouret et al., 2010; Santos et al., 2013). A excepción de La Guardia (D_{Sr}= 0,81), todos los coeficientes de partición fueron cercanos a 1 (D_{Sr}=0,92-1,10), lo cual significa que la relación Sr:Ca del otolito es similar a la del agua circundante. Valores de D_{sr} más bajos fueron descriptos por otros autores para

especies marinas (0,28) como De Vries et al. (2005) y agua dulce (0,49) (Tabouret et al., 2010), sin embargo la tasa de incorporación de Sr en el otolito es especie dependiente y en este caso representa el promedio de la historia de vida del pez debido a que se digirió el otolito completo para el análisis.

El coeficiente partición de La Guardia fue relativamente bajo. Esto podría estar reflejando

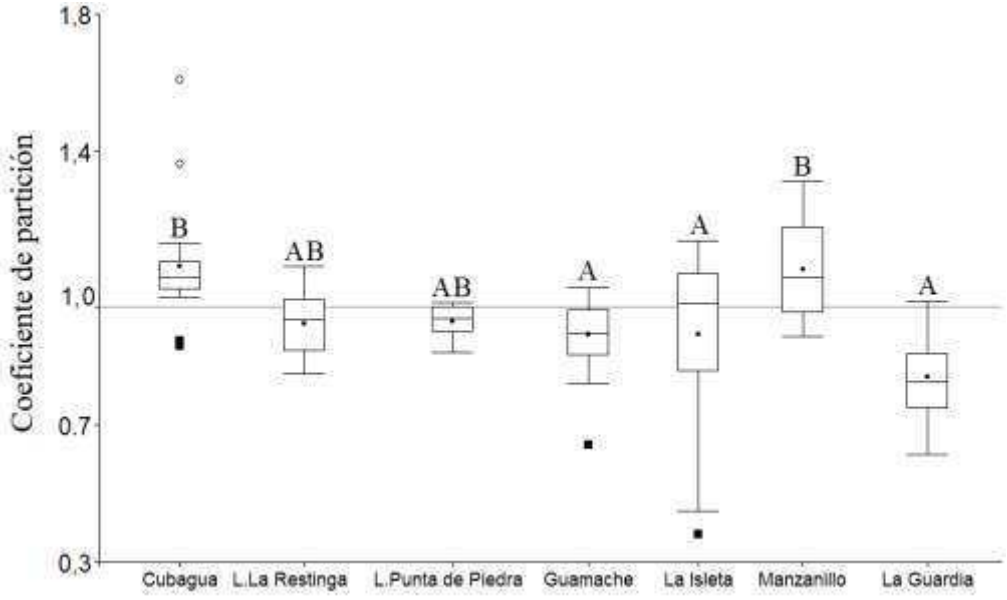

Figura 6.5: Coeficientes de partición de Sr por sitio de estudio. Las barras de error representan el desvío estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$).

grandes desplazamientos, por ejemplo migraciones reproductivas. Las lisas migran desde la principal zona de desove, ubicada en altamar entre la isla La Tortuga e Isla Margarita, en las proximidades a la Fosa de Cariaco, cuya profundidad máxima es superior a 1500 metros hasta la Isla Margarita (Etchevers, 1974). En el período de desove en altamar las capturas costeras de lisa son ocasionales (Moore, 1974). Aproximadamente 14 días luego de la eclosión de los huevos, se produce la metamorfosis (Houde et al., 1976) y las larvas pelágicas son arrastradas por las corriente a profundidades mayores a los 50 metros hasta las zonas estuarinas, como manglares y lagunas costeras, donde permanecen hasta la edad de reclutamiento (Marin et al., 2003). Sin embargo, también se ha documentado que en el Golfo de Cariaco, ubicado en el continente al sur de Nueva Esparta, entre marzo y octubre y en la

laguna La Restinga de julio a septiembre se producen desoves de menor intensidad (Baumar y Quintero, 2003). La permanencia de las poblaciones en las distintas zonas de desove podría explicar las diferencias encontradas en la microquímica de los otolitos de peces de las localidades de la región norte y sur de la isla. Sin embargo, Baumar (2000) y Baumar y Quintero (2003) demostraron que M. curema utiliza las albuferas no sólo como sitio de cría sino como de desove. Estos sistemas se caracterizan por la elevada salinidad (36-45 g/L)(Rocha et al., 2010). Esto concuerda con la alta relación Sr:Ca hallada en los otolitos de los peces de las albuferas.

En resumen, se hallaron diferencias significativas en las relación Sr:Ca y Ba:Ca entre los sitios de estudio. Particularmente diferenciando localidad de La Guardia, ubicada al norte del estado y la Isla Cubagua, lo cual podría estar sugiriendo la presencia de más de un stock pesquero de M. curema. Sin embargo, la única utilización de la microquímica de los otolitos no resultó eficiente para la identificación clara de stocks. Esto podría deberse a la relativa constancia de salinidad y temperatura del agua, proximidad entre sitios de muestreo, movimientos estacionales de la especie y a la pérdida de información debido a la digestión total de los otolitos. Es posible que los peces que frecuentan las aguas de Isla Cubagua, estén relacionados con la costa del continente y el Golfo de Cariaco, ubicado a 50 km al sur (Figura 6.1). Se necesitan más investigaciones para confirmar y obtener una visión más profunda de la interacción entre estas poblaciones de peces sumado a la aplicación de metodologías adicionales que tengan en cuenta las zonas de desove de esta importante especie comercial. A pesar de ello, en este capítulo se asienta una línea de base para la identificación de stocks pesqueros de M. curema en el Sudeste del Mar Caribe.

Capitulo 7

Discusión general, conclusiones y recomendaciones

7.1 Discusión general

Los resultados de esta tesis muestran que la morfometría y la microquímica de los otolitos podrían ser una útil herramienta para la determinación de stocks pesqueros y estudio de historias de vida de especies que poseen diferentes estrategias, desplazándose entre ambientes de distintas características ambientales. Esto se ha cumplido para especies comerciales rioplatenses y de la costa Atlántica de Sudamérica y Mar Caribe con diferentes hábitos: a) dulceacuícolas tolerantes a altas salinidades como O. bonariensis, b) especies marinas como P. brasiliensis y c) especies diadromas como G. barbus y M. curema.

En los ambientes salobres y salinos la concentración de Sr en agua es varias veces mayor que en los ambientes dulceacuícolas, a diferencia de esto, el Ba está en concentraciones mayores en los cuerpos de agua dulce que en los ambientes salobres o marinos (ver la revisión de Brown y Severin, 2009). Químicamente el Sr y Ba son metales alcalinos térreos y poseen un radio atómico similar, por eso sustituyen al calcio precipitando en el otolito (Kalish, 1989; Farrell y Campana, 1996). En este trabajo se demostró la existencia de una relación lineal positiva en la relación Sr:Ca del otolito y Sr:Ca del agua para O. bonariensis. También se encontró una relación creciente entre la relación Sr:Ca del otolito a medida que aumenta la conductividad, teniendo un comportamiento opuesto la relación Ba:Ca en la Cuenca baja del Plata (capítulos 2 y 3, páginas 43, 44, 54 y 55). Esta misma asociación entre las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca del otolito y el agua fue también documentada para otras especies del hemisferio norte por otros autores (e.g. Kraus y Secor 2004; Tabouret et al., 2010).

La relación Sr:Ca permitió diferenciar los stocks de la especie anádroma G. barbus entre Brasil y Argentina, así como la relación Mg:Ca y Ba:Ca. La relación Mg:Ca del otolito es influenciada por la salinidad y/o temperatura en algunas especies (ver página 68 y 69), sin embargo, para G. barbus no se ha probado la relación entre estas variables. Por otro lado, diferencias halladas en la Mg:Ca en G. barbus también podrían deberse a diferencias en la incorporación de Mg en la dieta de los peces.

En el caso de la especie marina P. brasiliensis la relación Sr:Ca del otolito no fue una herramienta útil para la identificación de stocks pesqueros. La relación Sr:Ca en el otolito varia principalmente en función de la salinidad, por lo tanto, esta relación resulta eficiente para el estudio de historias de vida en especies dulceacuícolas y diadromas y no en especies marinas tal como lo sugirieron Brown y Severin (2009). Por otro lado, es posible que la aplicación de la relación Sr:Ca no fuera útil debido al distinto grado de interconectividad en los stocks P. brasiliensis en la región, por lo que debiera profundizarse ese aspecto en futuros estudios. Sin embargo, la relación Zn:Ca del otolito permitió la identificación de dos stocks pesqueros de P. brasiliensis, uno perteneciente a la Zona Común de Pesca Argentina-Uruguaya y otro a El Rincón y Golfo San Matías. El Zn en otolitos fue propuesto como un indicador de hábitat ya que está influenciado por la dieta de los peces (Ranaldi y Gagnon, 2008) (ver capítulo 5 para mayor detalle, página 71).

El uso simultaneo de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca como indicador de hábitat en especies diadromas como M. curema fue empleado previamente por otros autores en Centro América. En este trabajo, si bien se observaron diferencias significativas en las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca asociadas al agua de los diferentes sitios de estudio que permiten sugerir la presencia de dos posibles stocks, los resultados no fueron concluyentes. Esto podría deberse a diferentes factores, por ejemplo a un artefacto de técnica derivado de la metodología empleada sumado a otro factores como al activo comportamiento migratorio de la especie

(ver página 97). Sin embargo, nuestros resultados permiten sugerir que las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca podrían utilizarse como indicador de hábitat.

Otras metodologías como la ablación laser (LA-ICP-MS) podrían emplearse para estudiar en más detalle los desplazamientos de las especies que migran en ambientes con marcado gradiente de salinidad, como el pejerrey, el bagre de mar y la lisa (Campana et al., 1997; Boehler et al., 2012). La LA-ICP-MS permite determinar diferentes elementos del otolito en transectas trazadas desde el núcleo al borde de la estructura. Esto permitiría estudiar diferentes relaciones entre elementos (por ejemplo Sr:Ca y Ba:Ca) a lo largo de la ontogénia de los individuos. Si bien esta tecnología no esta disponible en Argentina, sería de gran interés trabajar en colaboración con otras universidades que cuenten con el equipamiento necesario. Por otro lado, otras metodologías morfométricas como el Análisis Elíptico Fourier podría ser de gran utilidad para las especies estudiadas en esta tesis. El análsisis de Fourier permite comparar la morfología del los contornos de los otolitos (por ejemplo Logmore, 2010) y complementaría la información que brindan los índices de forma empleados en estre trabajo relacionados con el sulcus o el perímetro.

En base a los resultados obtenidos en esta tesis, el estudio de la microquímica y morfometría de los otolitos sagittae y lapilli podrían aplicarse a especies comerciales de la región. Las metodologías detalladas en este trabajo conjuntamente con otras como la ablación laser o Análisis de Fourier podrían derivar en robustas técnicas para el estudio de stocks, desplazamientos e interconectividad, contribuyendo de esta manera al manejo de los recursos.

7.2 Recomendaciones de manejo de stocks pesqueros

Odontesthes bonariensis

En la Cuenca baja del Plata el pejerrey es explotado en forma artesanal y deportiva debido al valor comercial de la carne y a la atracción que genera su pesca. La pesca se realiza casi exclusivamente entre mayo y septiembre, pudiendo variar este periodo en función de la temperatura del agua (obs. personal). La pesca artesanal, que se realiza mediante la utilización de redes de enmalle, como la pesca deportiva en esta área, están parcialmente reguladas por la Ley 24.922 (Régimen Federal de Pesca) y por la Ley Provincial de Pesca 11.477 de la Provincia de Buenos Aires (decreto provincial 3237/95), mientras que la pesca deportiva está normada por el Reglamento de Pesca Deportiva del Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires (2013). Sin embargo, ambos tipos de pesquerías están escasamente fiscalizados y controlados. Debido a la limitada distribución del pejerrey durante su periodo reproductivo y a la existencia de un stock pesquero mixto que se desplazaría desde el Delta del Paraná y de la cuenca baja del Río Uruguay al estuario del Río de la Plata en verano (ver capítulo 2, página 34), resulta fundamental implementar una fiscalización eficiente tanto en la pesca artesanal como la deportiva. La pesca deportiva representa una importante presión sobre el recurso debido a la gran cantidad de embarcaciones que realizan capturas de mayo a septiembre en la Cuenca baja del Plata. En ocasiones pueden observarse más de 20 embarcaciones de menor porte (aproximadamente 15-25 pies) en un radio de 5 km, capturando pejerreyes de diferentes tallas y sin considerar cupo o limite de ejemplares por pescador o embarcación.

Además de la importancia comercial de la especie, el pejerrey tiene un gran valor cultural para la región ya que está asociado a diversos concursos, fiestas, festivales nacionales y

provinciales de pesca (por ejemplo: la Fiesta Nacional del Pejerrey en Berisso, la Fiesta Provincial del Pejerrey del Río de la Plata, la Fiesta del Pejerrey Entrerriano, entre otras).

Figura 7.1: Pescadores y escenario de la 12° edición de la Fiesta Provincial del Pejerrey en Berisso, Buenos Aires.

Por lo que se recomienda para el manejo del stock pesquero de pejerrey en esta área:

- Fomentar el estudios de identificación de stocks pesqueros y de esplazamientos de la especie mediente la utilización de los otolitos. La ablación laser (LA-ICPMs) podría ser de gran utilidad para comprender los desplazamientos de la especie a lo largo de su ontogénia en el estuario del Río de la Plata.
- Fomentar estudios bioecológicos de la especie que permitan evaluar la talla de mínima madurez sexual para la especie en la Cuenca baja del Plata y en el Río de la Plata, estudiar la abundancia de la especie y su biomasa con el fin de calcular el cupo de captura y el tamaño de tallas permitidas extraíbles en el área mediante convenios con instituciones científico-técnicas, dando así soporte científico a las especificaciones de las disposiciones reglamentarias a implementar en el manejo del recurso.
- Elaborar una estrategia de fiscalización y control integral que contemple el trabajo conjunto de diferentes organismos competentes en la Cuenca baja del Plata (como por ejemplo Prefectura Naval Argentina, el cuerpo de guardaparques de la Reserva

de Biosfera del Delta del Paraná, así como las autoridades provinciales y nacionales competentes) y que se articule con las políticas de manejo de la especie de la República Oriental del Uruguay.

- Propiciar el establecimiento de puertos de desembarque de oficiales de baja envergadura en la Cuenca baja del Plata, donde personal técnico entrenado y capacitado pueda registrar datos merísticos y pesqueros de las capturas de la especie a fin de monitorear a la especie y contribuir a generar series históricas de datos accesibles a toda la comunidad.
- Analizar la potencial implementación de áreas acuáticas protegidas que incluyan las diferentes áreas de distribución temporal detalladas en esta tesis, a fin de garantizar la existencia de corredores biológicos entre la Barra del Indio y el Delta del Paraná y la zona inferior del Río Uruguay.
- Implementar estrategias de educación ambiental y comunicacionales a las asociaciones de pescadores y/o ONGs que trabajan en el área, a organizadores de fiestas de pesca del pejerrey, a municipios y la comunidad en general brindando información científicamente sólida sobre el pejerrey a fin de generar un compromiso social en la comunidad para la conservación y el manejo sustentable de la especie.

Genidens barbus

El bagre de mar es explotado comercialmente en el Delta del Paraná, Río de la Plata, Zona Común de Pesca Argentina-Uruguaya (ZCPAU), en la costa bonaerense y en la plataforma marítima de Uruguay y sur Brasil. En el Delta del Paraná la pesca es llevada a cabo exclusivamente con palangres de fondo, mientras que en la plataforma marítima se emplean diferentes artes de pesca, aunque principalmente redes de arrastre. En estuarios del sur de Brasil las capturas actualmente se realizan en forma artesanal, principalmente por medio de redes de enmalle (Lagoa dos Patos) y palangre (Bahía de Paranaguá), dependiendo de la

profundidad media de los canales de navegación. En Argentina, el bagre de mar tiene relativa importancia a nivel deportivo-cultural ya que buscado por pescadores aficionados principalmente sobre los canales de navegación del Río de la Plata y pozones del Delta

Figura 7.2: Ganchera con los ejemplares de mayor peso capturados en la 2da edición de la Fiesta de bagre de mar en Berisso, Buenos Aires.

asociados a los grandes ríos (Río Uruguay, Sauce, Paraná Bravo y Paraná Guazú). Esta especie es el blanco de diferentes concursos de pesca del área como la Fiesta Provincial del bagre de mar (Figura 7.2). Si bien Argentina no cuenta con estadísticas oficiales sobre las capturas en agua dulce, la especie es cada vez más escasa en el Delta del Paraná. Siendo cada vez más raras las capturas de ejemplares de más de 12 años de edad o 4 kg de peso. En esta región, la pesca del bagre de mar se realiza en los meses de octubre y noviembre, capturándose ejemplares en estadio reproductivos avanzados (por ejemplo hembras próximas

Figura 7.3: Cavidad abdominal de un ejemplar de bagre de mar de 8 años de edad capturado en el Paraná Guazú. Se observan en el ovario izquierdo un bajo número de oocitos de gran tamaño.

a ovular) (Figura 7.3).

Los machos son capturados a fin de este periodo estacional en el estuario del Río de la Plata con los huevos, larvas o juveniles en su cavidad bucal. La particular estrategia reproductiva de vida de esta especie anádroma (baja fecundidad, cuidado parental), su restringida distribución en el Atlántico Sudoccidental y las particularidades en relación a la identificación de stocks pesqueros (presencia de la menos dos áreas de cría, desplazamientos estacionales, interconectividad entre stocks) sugieren que deben desarrollarse e implementarse acciones de manejo en forma urgente principalmente en las áreas de reproducción y cría de la especie. Las medidas reglamentarias que tienen incidencia sobre esta especie en el reglamento de pesca deportiva del Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires, no son específicas y sólo la afectan indirectamente (disposición 217/07) ya que incluyen más de una docena de especies marinas de pesca dirigida.

Considerando las particularidades biológicas de esta especie se recomienda:

- La utilización de la microquimíca de los otolitos para la diferenciación de stocks pesqueros del bagre de mar en Sudamérica. La técnica de pulido aplicada en esta tesis podría aplicarse en otras áreas de la región, incluso incorporando una mayor cantidad de elementos químicos para obtener resultados aún más sólidos.
- Se recomienda utilizar la ablación laser (LA-ICPMS) en otolitos para estudiar los desplazamientos de la especie con mayor precisión a lo largo de la ontogenia. Esta metodología podría aplicarse además para determinar una gran cantidad de elementos en sectores específicos de los otolitos, particularmente en núcleo. Esta información de de gran utilidad para identificar diferentes sitios de desove.
- Propiciar recursos para evaluar la morfometría y morfología (Análisis Elíptico de Fourier) de los otolitos como herramienta para identificar stocks. Esta metodología

podría ser una herramienta útil para identificar stocks pesqueros debido a su relativo bajo costo.

- Debido a la conectividad entre los stocks evidenciada en este trabajo, es necesario propiciar estudios científico-técnicos integrados entre equipos de Argentina, Brasil y Uruguay que profundicen los conocimientos sobre la interconectividad de stocks pesqueros de la especie en al región.
- Contribuir a la formación de recursos humanos conjunta entre los países de la región que estudien diferentes aspectos bioecológicos y socioeconómicos asociados a esta especie a lo largo de su zona de distribución.
- Incorporar en la normativa general de pesca especificaciones particulares para esta especie que regulen la pesca en zonas de cría y reproducción aplicando vedas rotativas temporales o durante todo el periodo de migraciones.
- Elaborar estrategias conjuntas con la República Oriental del Uruguay y Brasil a fin de realizar un manejo coordinado de este recurso transfronterizo, particularmente en los periodos de desplazamiento migratorio de la especie, que incluya la generación de un banco de datos accesible de los estudios que realizada cada país, monitoreos conjuntos, protocolos metodológicos comunes, y herramientas legales (normativas) articuladas regionalmente en el marco del MERCOSUR a lo largo del área de distribución de la especie.

Percophis brasiliensis

El pez palo forma parte del "variado costero" y por este motivo es manejado como parte de un conjunto. Sin embargo, como ocurre con la corvina, existen algunas normativas que permiten un manejo propio en algunos sectores de su distribución por tener pesca dirigida (Rodríguez et al., 2007). Estas normativas con frecuencia son vigentes durante ventanas temporarias determinadas en forma arbitraria y no toman en cuenta la presencia de diferentes

stocks (Rodríguez et al., 2007), lo cual dificulta su manejo efectivo. En los últimos años, se han profundizado los estudios bioecológicos sobre el pez palo, ya que la especie está incluida en unos de los Proyectos marco del Instituto Nacional de Investigación Pesquera (INIDEP) "Proyecto de Caracterización Biológico-pesqueras de especies demersales costeras: Evaluación y Manejo". Los estudios realizados en marco del nombrado proyecto estimaron la abundancia del recurso en diferentes áreas de pesca tanto compartidas con otros países de la región (ZCPAU) como propias de nuestro país (El Rincón y Golfo San Matías) utilizando diferentes índices, estadísticas de pesca (desembarques) y campañas de investigación. Los índices de abundancia en conjunto con datos sobre áreas reproductivas, edad de primera maduración, época de reproducción, etc., son utilizados para la aplicación de vedas y declaración de zonas de pesca restringida. Sin embargo, estas medidas habitualmente no son específicas para los stocks pesqueros. Por ejemplo, en 2010 el Consejo Federal Pesquero estableció un Área de Esfuerzo Restringido (AER) sobre la costa bonaerense para la protección de concentraciones reproductivas de especies demersales costeras (Resolución 2/2010). Esta medida fue tomada debido a que, a pesar del establecimiento de áreas de veda desde el año 2004, las principales especies que históricamente son capturadas en esa área presentaban signos de excesiva explotación, y que las capturas y el número de barcos dirigidos al "variado costero" han aumentado en la última década. Se destaca que esta área es fundamental para el desove y cría del pez palo.

En este sentido se recomienda:

- Utilizar la microquimíca de los otolitos para la identificación de stocks pesqueros del pez palo utilizando la relación Zn:Ca e incorporando nuevos elementos como Mn, Mg y Li con el fin de comparar la "firma química" entre diferentes sectores.

- Poner a prueba otras metodologías de relativa fácil aplicación como la morfometría de los otolitos podría ser de utilidad para identificar stocks. Se recomienda aplicar esta metodología en simultáneo con la microquimíca de los otolitos. Al igual que en las especies mencionadas previamente, metodologías como el Análisis Elíptico de Fourier podrían resultar buenas herramientas complementarias a la microquímica y análisis de índices morfométricos.
- Evaluar la posibilidad de generar nuevas normativas específicas para el pez palo y propiciar que las mismas estén basadas en datos científico técnicos sólidos que incluyan diferentes aspectos bioecológicos y pesqueros (como los stocks caracterizados en esta tesis, zonas de cría, abundancia, esfuerzo de pesca, entre otros) y diferentes metodologías. La actualización de estas nuevas normativas deberían ser dinámicas y estar en relación a los últimos conocimientos generados.
- Implementar una fuerte política de fiscalización y control en el cumplimiento de las normativas. Por ejemplo, evitar capturar mayores cantidades de P. brasiliensis que lo recomendado por la Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo del Consejo Federal Pesquero, tal como ocurrió en 1997 (Rodríguez et al., 2007).
- Propiciar el monitoreo continuo y conjunto con Brasil y la República Oriental del Uruguay de las poblaciones de pez palo en el área transfronteriza de distribución de la especie, con el fin de estimar los cupos de capturas máximos permitidos para los diferentes stocks pesqueros particularmente los compartidos.

Mugil curema

Las capturas de peces, camarones y bivalvos en las costas venezolanas ha disminuido en las últimas décadas, por lo que las actividades de pesca fueron reordenadas dentro de las 6 millas náuticas contiguas a la costa. El decreto de la Ley de Pesca y Acuacultura (2001) y su

posterior reforma en 2003, se reserva la explotación pesquera a la pesca artesanal y de subsistencia, prohibiendo a los buques de pesca industrial, incluida la pesca de arrastre pescar en áreas proxiams a la costa (Useche, 2010). En 2009 se hizo efectiva la ley de prohibición definitiva de las actividades de pesca industrial de arrastre dentro del mar territorial y zona económica exclusiva de Venezuela (Useche, 2010) y actualmente, se encuentra el marcha el Plan Nacional Venezolano de "Reconversión de la flota pesquera de arrastre". Este plan consiste en adaptar los barcos dedicados a la pesca industrial a la pesca artesanal, mediante la incorporación de artes de pesca artesanales como las nasas, las redes de media agua, los palangres, las redes de cerco, entre otras. Con esta medidas el gobierno venezolano espera recuperar la biodiversidad marina, restaurar las zonas de cría y reproducción de especies de valor comercial e incrementar las actividades de pesca artesanal, con vistas al desarrollo de la población asociada a los recursos pesqueros (Useche, 2010). Sin embargo, a diferencia de los invertebrados comerciales como bivalvos o camarones, las especies de peces como la lisa han sido escasamente estudiadas en aspectos bioecológicos y pesqueros. Se conocen algunas zonas de cría y reproducción pero no hay información sobre la conectividad de los peces entre estas aéreas ni sobre la existencia de stocks pesqueros de lisa en el mar Caribe, siendo el trabajo desarrollado en esta tesis el primero en este aspecto.

En este marco se recomienda:

-El estudio de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca por ablación laser. Se ha demostrado que la microquímica del otolito de lisa puede aportar valiosa información como indicador de hábitat. En este sentido, el estudio de las relaciones Sr:Ca y Ba:Ca por ablación laser sería de gran utilidad para comprender las rutas de migración. Por otro lado, análisis puntuales en el núcleo del otolito permitirán reconocer zonas de desove.

-Implementar dentro del Plan Nacional Venezolano de "Reconversión de la flota pesquera de arrastre" acciones que incluyan estudios científico-técnicos sobre la

identificación de stocks pesqueros aplicando diferentes metodologías en forma simultánea a fin de validar los mismos, incorporar estudios de conectividad poblacional entre los peces del área insular venezolano y la costa continental e integrar dichos trabajos con otros países de la región del Caribe a fin de garantizar la sustentabilidad del recurso.

7.3 Conclusiones

Sobre la base de las especies estudiadas en este trabajo se puede concluir:

- El uso de la morfometría y microquímica del otolito resultó ser una potencial herramienta para la determinación de stocks pesqueros de peces comerciales de diferentes ambientes y estrategias de vida: a) rioplatenses (Odontesthes bonariensis) y de la costa Atlántica de Sudamérica (Percophis brasiliensis y Genidens barbus) y Mar Caribe (Mugil curema).

- La microquímica de los otolitos sagittae y lapilli reflejon las características físico-químicas del agua que habitan los peces estudiados.

- El uso simultáneo de las relaciones elemento:Ca con variables morfométricas del otolito resultó ser una herramienta útil para la identificación de stocks pesqueros de pejerrey.

- La presencia de stocks mixtos y de alta interconectividad entre las diferentes especies mencionadas debe ser considerado en las medidas de manejo pesquero a nivel local, nacional y regional a fin de garantizar la sustentabilidad de los recursos transfronterizos.

7.4 Bibliografía

Abaunza P., Murta A., Campbell N., Cimmaruta R., Comesaña A., Dahle G., García Santamaría M., Gordo L., Iversen S., MacKenzie K., Magoulas A., Mattiucci S., Molloy J., Nascetti G., Pinto A., Quinta R., Ramos P., Sanjuan A., Santos A., Stransky C., Zimmermann C. 2008. Stock identity of horse mackerel (Trachurus trachurus) in the Northeast Atlantic and Mediterranean Sea: Integrating the results from different stock identification approaches. Fisheries Research, 89: 196-209.

Acha E. M., Mianzán W. H., Guerrero R. A., Favero M., Bava J. 2004. Marine fronts and the continental shelves of Austral South America. Physical and ecological process. Journal of Marine System, 44: 83-105.

Alvarez-Lajonchere, L. 1976. Contribución al estudio de1 ciclo de vida de Mugil curema Valenciennes in Cuvier et Valenciennes, 1836 (Pisces: Mugilidae). Investigaciones Marinas 28: 3-130.

APHA. 1993. Standard methods for the examination of water and wastes. American Public Health Association. Washington. D.C. 1042 pp.

Avigliano E., Tombari A., Volpedo A. V. 2012. ¿Los otolitos reflejan el estrés ambiental?. Biología Acuática, 27: 9-15.

Avigliano E., Volpedo A. 2013. Use of otolith strontium:calcium ratio as indicator of seasonal displacements of the silverside (Odontesthes bonariensis) in a freshwater-marine environment. Marine and Freshwater Research, 64(8): 746−751.

Avigliano E., Volpedo A. V. 2013. Actinopterygii, Atheriniformes, Atherinopsidae, Odontesthes bonariensis Valenciennes, 1835: New records for the Plata Basin, Argentina. CheckList, 9(3): 640-641.

Barco V. 1986. Análisis de la situación actual y perspectivas de desarrollo pesquero en embalses de Colombia. COPESCAL Documento Técnico de la FAO.

Barretto A. C. 2007. Influencia ambiental en la distribución espacial de las clases de edad de pez palo (Percophis brasiliensis) en el Sistema Costero del Atlántico Sudoccidental (34-41 S). Tesis de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires.

Barretto A. C., Sáez M. B., Rico M. R., Jaureguizar A. J. 2011. Age determination, validation, and growth of Brazilian flathead (Percophis brasiliensis) from the southwest Atlantic coastal waters (34º-41ºS). Latin American Journal of Aquatic Research, 39(2): 297-305.

Baumar J., Marin E., Dodson J. 2000. Age, growth and fecundity of the silver mullet, Mugil curema (Pisces: Mugilidae), in coastal areas of Northeastern Venezuela. Revista Biología Tropical, 48(2/3): 389-398.

Baumar J., Marin E., Quintero E. 2003. Reproduction and recruitment of white mullet (Mugil curema) to a tropical lagoon (Margarita Island, Venezuela) as revealed by otolith microstructure. Fishery Bulletin, 101(4): 809-821.

Begg G., Overholtz W., Munroe N. 2001. The use of internal otolith morphometrics for identification of haddock (Melanogrammus aeglefinus) stocks on Georges Bank. Fishery Bulletin, 99: 1–14.

Boehler C. T., Jeffrey G., Miner G., Farver J. R., Fryer B. J., 2012. Within-stream release-site fidelity of steelhead trout from Lake Erie hatchery stocks. Journal of Great Lakes Research, 38:251–259.

Braicovich P. E., Timi J. T. 2008. Parasites as biological tags for stock discrimination of the Brazilian flathead in the south-west Atlantic. Journal of Fish Biology, 73: 557-571.

Brown R. J., Severin K. P. 2009. Otolith chemistry analyses indicate that water Sr:Ca is the primary factor influencing otolith Sr:Ca for freshwater and diadromous fish but not for marine fish. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 66: 1790-1808.

Burke N., Brophy, D., King, P. A. 2008. Otolith shape analysis: its application for discriminating between stocks of Irish Sea and Celtic Sea herring (Clupea harengus) in the Irish Sea. ICES Journal of Marine Science, 65(9): 1670-1675.

Burns M. D., Garcia A. M., Vieira J. P., Bemvenuti M. A., Marques D. M., Condini D. M. 2006. Evidence of habitat fragmentation affecting fish movement between the Patos and Mirim coastal lagoons in southern Brazil. Neotropical Ichthyology, 4(1): 69−72.

Campana S. E. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. Marine Ecology Progress Series, 188: 263−297.

Cappato J., Yanosky A. 2009. Uso sostenible de peces en la Cuenca del Plata. Evaluación subregional del estado de amenaza, Argentina y Paraguay. UICN, Gland, Suiza. 54 pp.

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 Fisheries and Aquatic Sciences, 61: 158−167.

Carozza C. R., Hernandez D. R., Perrota R. G. 2004. Evaluación de corvina rubia (Micropogonias furnieri) en el área del Río de la Plata y Zona Común de Pesca argentino-uruguaya por medio de un modelo de dinámica de biomasa. Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero, 16:77-90.

Carreto J. I., Verona C. A., Casal A. B., Laborde M. A. 1974. Fitoplancton, pigmentos y condiciones ecológicas del golfo San Matías III. Instituto de Biología Marina de Mar del Plata, Informe Técnico, 10: 49-76.

Casselman J. M. 1982. Chemical analyses of the optically different zones in eel otoliths. Proc. 1980. North American eel Conference, 74−82.

Casselman J. M. 1987. Growth and relative size of calcified structures of fish. Transactions of the American Fisheries Society, 119: 673-688.

Cousseau M. B., Perrota R. G. 1998. Peces marinos de Argentina. Mar del Plata. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, INIDEP Informe Técnico, 68: 28 pp.

Dadón J. R., Matteucci S. D. 2006. Caracterización de las grandes regiones costeras Argentina. En: Manual de manejo costero para la Provincia de Buenos Aires. Federico I., Lasta Carlos A. (Eds.) Eudem Mar del Plata, 2006.

De Vries D. A., Grimes C. B., Prager M. H. 2002. Using otolith shape analysis to distinguish eastern Gulf of Mexico and Atlantic Ocean stocks of king mackerel. Fisheries Research, 57: 51–62.

Denadai M. R., Bessa E., Santos F. B., Fernandez W. S., Santos F. M., Feijó M. M., Turra A. 2012. Life history of three catfish species (Siluriformes: Ariidae) from southeastern Brazil. Biota Neotropica, 12(4): 74-83.

Di Giácomo E. E. Perier M. R. 1991 Evaluación de la biomasa y explotación comercial del pez gallo (Callorhynchus callorhynchus) en el Golfo San Matías, Argentina. Frente Marítimo, 9: 7-13.

Di Giácomo E. E., Perier M. R. 1992. Abundancia, estructura poblacional y zona de desove de la merluza (Merluccius hubbsi) en el Golfo San Matías, Argentina. Frente Marítimo, 12: 47-52.

DINARA. 2014. La Dirección Nacional de Recursos Acuáticos , Uruguay. http://www.dinara.gub.uy/web_dinara/

Echezarreta A. Ojeda M. Marí N., Milessi A. C. 2009. Ecología trófica del pez palo, Percophis brasiliensis, en el Ecosistema Costero Argentino-Uruguayo. VII Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar, Diciembre de 2009, Bahía Blanca, Buenos Aires.

EPA 1994. Methods for the Determination of Metals in Environmental Samples, Supplement 1, Ohio.

Escalante A., Grosman, F. 2001. Alimentación natural del pejerrey. En: Fundamentos biológicos, económicos y sociales para una correcta gestión del recurso pejerrey. F. Grosman (Ed.). Ed. Astyanax, Azul, Buenos Aires, p. 67-75

Etchevers S. 1974. Fecundidad de la lisa (Mugil curema Valenciennes) en el Oriente de Venezuela. Bol. Científ. Téc. Ser. Recur. Mar. CIC UDO, 19 pp.

FAO. 2005. Fishery Country Profile: La República Bolivariana de Venezuela. http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/es/ven/profile.htm

FAO. 2010. Marco Nacional de Prioridades a Mediano Plazo en la República Bolivariana de Venezuela: Anexo 2: Análisis situacional. Seguridad alimentaria, sector agropecuario, forestal, pesca y recursos naturales. 18 pp.

FAO. 2012. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012. Roma. 231 pp.

Farrell J., Campana S. E. 1996. Regulation of calcium and strontium deposition on the otoliths of juvenile tilapia, Oreochromis niloticus. Comparative Biochemistry and Physiology, 115, 103-109.

Ferguson G., Warda T., Gillanders B. 2011. Otolith shape and elemental composition: Complementary tools for stock discrimination of mulloway (Argyrosomus japonicus) in southern Australia. Fisheries Research, 110: 17-83.

Fernández Aráoz N. C., Lagos N. Carozza C. R. 2010. Asociación íctica costera bonaerense "variado costero". Capturas declaradas por la flota comercial argentina durante el año 2009. INIDEP Informe Técnico 34/05: 26 pp.

Franco L., Bashirullah K. M. 1992. Alimentación de la lisa (Mugil curema) del Golfo de Cariaco-Estado Suche, Venezuela. Zootecnia Tropical, 10 (2): 219-238.

FREPLATA. 2005. Análisis de Diagnóstico Transfronterizo del Río de la Plata y su Frente Marítimo. Proyecto Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats. Technical report. PNUD, Buenos Aires, Argentina.

Galley E. A., Wright P. J., Gibb F. M. 2006. Combined methods of otolith shape analysis improve identification of spawning areas of Atlantic cod. ICES Journal of Marine Science, 63: 1710-1717.

García M. L., Jaureguizar A. J., Protogino, L. G. 2003. Fish assemblages along the riverine-marine environment gradient. Resúmenes de la Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists, Manaus, Brasil.

Guerrero R. A., Acha E. M., Framiñan M. B., Lasta C. A. 1997. Physical oceanography of the Rio de la Plata estuary, Argentina. Continental Shelf Research, 17: 727-742.

Guerrero R. A., Piola A. R. 1997. Masas de agua de la plataforma continental. El mar argentino y sus recursos pesqueros, 1: 107-119.

Guerrero R. A., Piola A. R. Molinari G. Osiroff A. P. 2010. Climatología de temperatura y salinidad en el Río de la Plata y su Frente Marítimo, Argentina-Uruguay. 1° edn. Mar del Plata, Argentina.

Guerrero R., Osiroff A. P., Molinari G., Piola A. R. 2003. Análisis de datos históricos de temperatura y salinidad del Río de la Plata y la plataforma adyacente. Informe Técnico, proyecto Freplata, 4 pp.

Harrison I. 2002. Mugilidae. En: FAO Species Identification Guide for Fisheries Purposes. The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic. Vol. 2. Bony Fishes, part 1 (Acipenseridae to Grammatidae) (Karpenter K., ed.), pp. 1071- 1085. FAO, Roma.

Harrison I., Nirchio M., Oliveira C., Ron E., Gaviria J. 2007. A new species of mullet (Teleostei: Mugilidae) from Venezuela, with a discussion on the taxonomy of Mugil gaimardianus. Journal of Fish Biology, 71: 76-97.

Houde E. D., Berkeley S. A. Klinovsky J., Schekter R. C. 1976. Culture of larvae of the white mullet, Mugil curema Valenciennes. Aquaculture, 8: 365-370.

IBAMA. 1999. Desembarque de pescados no Rio Grande do Sul. Annual Report, Centro de Pesquisa do Rio Grande, RS, Brasil. 40 pp.

Ibáñez A. L., Chang CW, Hsu C. C., Wang C. H., Iizuka Y., Tzeng W. N. 2012. Diversity of migratory environmental history of the mullets Mugil cephalus and M. curema in

Mexican coastal waters as indicated by otolith Sr:Ca ratios. Ciencias Marinas, 38: 73-87.

Kalish J. M. 1989. Otolith microchemistry: validation of the effects of physiology, age and environmenton otolith composition. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 132: 151-178.

Kalish J. M. 1990. Use of otolith microchemistry to distinguish progeny of sympatric anadromous and non-anadromous salmonids. Fisheries Bulletin, 88: 657-666.

Kaufman G., Anderson J., Beitz A. 1993. Otolith-brain stem connectivity: evidence for differential neural activation by vestibular hair cells based on quantification of FOS expression in unilateral labyrinthectomized rats. Journal of Neurophysiology, 70: 117-127.

Kopprio G. A., Freije R. H., Strüssmann C. A., Kattner G., Hoffmeyer M. S., Popovich C. A., Lara R. J. 2010. Vulnerability of pejerrey Odontesthes bonariensis populations to climate change in pampean lakes of Argentina. Journal of Fish Biology, 77: 1856-1866.

Kraus R. T., Secor E. R. 2004. Incorporation of strontium into otoliths of an estuarine fish. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 302: 85-106.

Liotta J. 2005. Distribución geográfica de los peces de aguas continentales de la República Argentina. Probiota, FCNyM, UNLP. 654 pp.

Longmore C., Fogarty K., Neat F., Brophy D., Trueman C., Milton A., Mariani S. 2010. A comparison of otolith microchemistry and otolith shape analysis for the study of spatial variation in a deep-sea teleost, Coryphaenoides rupestris. Environmental Biology of Fishes, 89(3-4): 591-605

López H. L., Miquelarena A. M., Ponte Gómez J. 2005. Biodiversidad y Distribución de la Ictiofauna Mesopotámica. En :Temas de la Biodiversidad del Litoral fluvial argentino II. F. G. Aceñolaza (Ed.) p. 311−354, Tucumán, Argentina.

López R. B., Bellisio N. B. 1965. Contribución al conocimiento del Tachysurus barbus (Lacépède), bagre del mar argentino. (Pisces, Ariidae). Anuario del II Congreso Latinoamericano Zoología, 2: 145–153.

Lucas A. J., Guerrero R. A., Mianzan H., Acha E. M., Lasta C. A. 2005. Coastal oceanographic regimes of northern Argentine Continental Shelf (34°-43° S). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 65 (3): 405-420.

Macchi G. J., Acha M. E. 1998. Aspectos reproductivos de las principales especies de peces en la Zona Común de Pesca Argentino-Uruguaya y en El Rincón. Noviembre 1994. En: Lasta, C.A. (Ed.) Resultados de una campaña de evaluación de recursos demersales costeros de la provincia de Buenos Aires y del Litoral Uruguayo. Noviembre 1994. INIDEP Informe Técnico 21: 67-89.

Magath V., Marohn L., Fietzke J., Frische M., Thiel R., Dierking J. 2013. Migration behaviour of twaite shad Alosa fallax assessed by otolith Sr: Ca and Ba: Ca profiles. Journal of Fish biology, 82(6): 1871-1887.

Marin E., Quintero A., Bussiere D., Dodson J. 2003. Reproduction and recruitment of white mullet (Mugil curema) to a tropical lagoon (Margarita Island, Venezuela) as revealed by otolith microstructure. Fishery Bulletin, 101: 809-821.

Marrari M., Signorini S., McClain C., Pajaro M., Martos P., Viñas M.D., Hansen J., Dimauro R., Cepeda G., Buratti C. 2013. Reproductive success of the Argentine anchovy, Engraulis anchoita, in relation to environmental variability at a midshelf front (Southwestern Atlantic Ocean). Fisheries Oceanography, 22(3): 247-261.

Marrari M., Viñas M. D., Martos P., Hernández D. 2004. Spatial patterns of mesozooplankton distribution in the Southwestern Atlantic Ocean (34°-41°S) during austral spring: relationship with the hydrographic conditions. Journal of Marine Science, 61: 667-679.

Martin G. B., Thorrold S. R. 2005. Temperature and salinity effects on magnesium, manganese, and barium incorporation in otoliths of larval and early juvenile spot Leiostomus xanthurus. Marine Ecology Progress Series, 293: 223-232.

Martin G. B., Wuenschel M. J. 2006. Effect of temperature and salinity on otolithelement incorporation in juvenile gray snapper Lutjanus griseus. Marine Ecology Progress Series, 324: 229–239.

Maruska K. P., Boyle K. S., Dewan L. R., Tricas T. C. 2007. Sound production and spectral hearing sensitivity in the Hawaiian sergeant damselfish, Abudefduf abdominalis. Journal of Experimental Biology, 210(22): 3990-4004.

Mendoza-Carranza M., Vieira J. P. 2009. Ontogenetic niche feeding partitioning in juvenile of white sea catfish Genidens barbus in estuarine environments, southern Brazil. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 89(04): 839-848.

Menni R. C. 1981. Sobre la distribución de los peces marinos de la Argentina. En: Symposia, VI Jornadas Argentinas de Zoología, Ramos Editorial, La Plata. 57-73 pp.

Mianzan H., Lasta C., Acha E., Guerrero R., Macchi G., Bremec C. 2001. The Río de la Plata estuary, Argentina-Uruguay. In Coastal marine ecosystems of Latin America (pp. 185-204). Springer Berlin Heidelberg.

Militelli M. I. 1999. Biología reproductiva del pez palo, Percophis brasiliensis, (Quoy et Gaimard, 1824) del área bonaerense. Tesis de licenciatura. Mar del Plata: Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, 40 pp.

Militelli M. I., Macchi G. J. 2001. Preliminary estimate of spawning frequency and batch fecundity of Brazilian flathead, Percophis brasiliensis, in coastal waters off Buenos Aires Province. Scientia Marina, 65(2): 169-172.

Miller J. 2011. Effects of water temperature and barium concentration on otolith composition along a salinity gradient: Implications for migratory reconstructions. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 40: 42-52.

Moore R. 1974. General ecology, distribution and relative abundance of Mugil cephalus and Mugil curema on the south Texas coast. Contribution Marine Science, 18: 241-255.

Morales-Nin, B. Y. O. 1998. Daily increments in otoliths: endogenous and exogenous growth regulation. 2nd International Symposium on Fih Otolith Research and Application Radisson SAS Royal Bryggen, Bergen, 20-25 june.

Morsan E, Zaidman P., Ocampo-Reinaldo M. Ciocco N. F. 2010. Population structure, distribution and harvesting of southern geoduck, Panopea abbreviata, in San Matías Gulf (Patagonia Argentina). Scientia Marina, 74(4): 763-772.

MPA. 2014. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. http://www.mpa.gov.br/

Muller-Karger F., McClain C., Fisher T., Esaias W., Varela R. 1989. Pigment distribution in the Caribbean Sea: observations from space. Progress in Oceanography, 23: 23-64.

Mullon C., Fréon F., Cury P. 2005. The dynamics of coliapse in world fisheries. Fish and Fisheries, 6: 111-120.

Nirchio M., Cervigón F., Revelo Porto J. I., Pérez J. E., Gómez J. A. Villala J. 2003. Karyotype supporting Mugil curema Valenciennes, 1836 and Mugil gaimardianus Desmarest, 1831 (Mugilidae: Teleostei) as two valid nominal species. Scientia Marina, 67(1): 113-115.

Park L., Moran P. 1994. Developments in molecular genetic techniques in fisheries. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 4: 272-299.

Parker G., Paterlini M. C., Violante R. A. 1997. El fondo marino. En: El mar Argentino y sus recursos recursos pesqueros, Tomo 1. Boschi (Ed.), INIDEP, Mar del Plata.

Perrotta R. G., Fernández Giménez A. V. 1996. Estudio preliminar sobre edad y crecimiento del Pez palo (Percophis brasiliensis, Quoy et Gaimard 1824), INIDEP Informe Técnico 10, 25-36.

Piola A. R., Guerrero R., Osiroff A. P. Molinari G. 2003. Climatología de frentes y estratificación del Río de la Plata. Informe proyecto Freplata. PNUD/GEF/RLA/99/G31.

Piola A. R., Rivas A. L. 1997. Masas de agua en la plataforma continental. En: El Mar Argentino y sus Recursos Pesqueros. Antecedentes históricos de las exploraciones en el mar y las características ambientales, Vol. 1 Boschi E. (Ed.), p. 119–132. Mar del Plata, Argentina.

Popper A. N., Fay R. R. 1993. Sound detection and processing by fish: critical review and major research questions (Part 1 of 2). Brain, behavior and evolution, 41(1): 14-25.

Radtke R. L., Kinzie R. A., Folsom S. D. 1988. Age at recruitment of Hawaiian freshwater gobies. Environmental Biology of Fish, 23: 205−213.

Ranaldi M. M., Gagnon M. M. 2008. Zinc incorporation in the otoliths of juvenile pink snapper (Pagrus auratus Forster): The influence of dietary versus waterborne sources. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 360: 56-62.

Reis E. G. 1986. Age and growth of the marine catfish, Netuma Barba (Siluriformes, Ariidae), in the estuary of the Patos Lagoon (Brasil). Fishery Bulletin, 84(3): 679-686.

Rico M. R. 2000. La salinidad y la distribución espacial de la ictiofauna en el estuario del Río de la Plata. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Mar del Plata.

Rico M. R., Perrotta R. G. 2009. Evolución reciente de la captura por unidad de esfuerzo (1993-2004) y de las tallas medias (1993-2005) del pez palo (Percophis brasiliensis) en el litoral marítimo entre 34°S y 42°S. INIDEP Informe técnico, 73: 1-21.

Rico M. R., Sáez M. B. 2010. Análisis de la estructura de tallas; determinación de la edad, validación y crecimiento de pez palo (Percophis brasiliensis) a partir de muestras del desembarque comercial en el puerto de Mar del Plata. INIDEP Informe técnico, 85: 1–20.

Rivera-Reyes J. 2009. Análisis morfométrico discriminante de cinco especies de peces del género Mugil (Teleostei: Mugilidae). Tesis de grado presentada en la Universidad de Oriente - Núcleo Nueva Esparta, Escuela de Ciencias Aplicadas del Mar, Boca de Río, Isla de Margarita, Nueva Esparta, Venezuela. 61pp.

Rocha R., Guerra-Castro E., Lira C., Pauls S., Hernández I., Pérez A., Sardi A., Pérez J., Herrera C., Carbonini A., Caraballo V., Salazar D., Diaz M., Cruz-Motta J. 2010. Inventory of ascidians (Tunicata, Ascidiacea) from the National Park La Restinga, Isla Margarita, Venezuela. Biota Neotropica, 10(1): 209-218.

Rodrígues K. A., Rico M. R., Militelli M. I., Osovnikar P., Maggioni M. 2010. Parámetros reproductivos y distribución de las hembras de pez palo (Percophis brasiliensis) y lenguado (Paralichthys patagonicus) en el Golfo San Matías. INIDEP Informe técnico 65: 1–20.

Sáez M. B., Rico M. R., Despós J., Casagrande P. 2011. Análisis de la estructura de tallas; determinación de la edad y crecimiento de pez palo (Percophis brasiliensis) a partir de muestras del desembarque comercial durante el año 2008 en el puerto de Mar del Plata. INIDEP Informe Técnico, 20 pp

Minagri. 2011. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/pesca_maritima/02-desembarques/anio.php?anio=2011

Minagri. 2013. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/pesca_maritima/02-desembarques/anio.php?anio=2013

Minagri. 2014. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/pesca_maritima/02-desembarques/index.php

Santos P. R., Tanner E. S., Elsdon T. S., Cabral H. N., Gillanders B. M. 2013. Effects of temperature, salinity and water composition on otolith elemental incorporation of Dicentrarchus labrax. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 446: 245-252.

Sanz V., Riveros M., Gutiérrez M., Moncada R. 2011. Vegetación y uso de la tierra en el estado Nueva Esparta, Venezuela: un análisis desde la ecología del paisaje. Interciencia, 36(12): 881-887.

Scasso M., Piola A. R. 1988. Intercambio neto de agua entre el mar y la atmósfera en el Golfo San Matías. Geoacta, 15(1): 13-31

Schuchert P. C., Alexander I., Arkhipkin E., Koenig A. E. 2010. Traveling around Cape Horn: Otolith chemistry reveals a mixed stock of Patagonian hoki with separate Atlantic and Pacific spawning grounds. Fisheries Research, 102: 80-86.

Secor D. H. 1992. Application of otolith microchemistry analysis to investigate anadromy in Chesapeake Bay striped bass Morone saxatilis. Fisheries Bulletin, 90: 798-806.

Secor D. H., Henderson-Arzapalob A., Piccoli P. M. 1995. Can otolith microchemistry chart patterns of migration and habitat utilization in anadromous fishes? Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 192: 15-33.

Secor D. H., Rooker J. R. 2000. Is otolith strontium a useful scalar of life cycles in estuarine fishes? Fisheries Research, 46: 359-371.

Sokal R., Rohlf F. 1995. Biometry: The principles and practice of statistics in biological research. 3° W. H. Freeman and CIA. 887 pp.

Solari A. L., Mirta L., García L., Jaureguizar A. 2009. Fish fauna from the Ajó river in Campos del Tuyú National Park, province of Buenos Aires, Argentina. Check List, 5 : 807-811.

Sturrock A. M., Trueman C. M., Darnaude A. M., Hunter E. 2012. Can otolith elemental chemistry retrospectively track migrations in fully marine fishes. Journal of Fish Biology, 81: 766-795.

Tabouret H., Bareille G., Clverie F., Pecheyran C., Prouzet P., Donard O.F. 2010. Simultaneous use of strontium:calcium and barium:calcium ratios in otoliths as

markers of habitat: application to the European eel (Anguilla anguilla) in Adour Basin, South West France. Marine Environmental Research, 70: 35-45.

Tavares L. E. R., Luque J. L. 2004. Community ecology of the metazoan parasites of white sea catfish, Netuma barba (Osteichthyes: Ariidae), from the coastal zone of the state of Río de Janeiro, Brazil. Brazilian Journal Biology, 64(1): 169-176.

Tombari A., Volpedo A. V., Echeverría D. D. 2000. Patrones morfológicos en la sagitta de peces (Atherinidae: Odontesthes) de Argentina. Revista de Ciencias del Mar THALASSAS, 16: 11-19.

Tombari A., Volpedo V. A. 2008. Modificaciones en la distribución original de especies por impacto antrópico: el caso de Odontesthes bonariensis (Pisces:Atherinopsidae). En: Efecto de los cambios globales sobre la biodiversidad. Volpedo A. V., Fernández Reyes L. (Eds.) pp, 155-165. Buenos Aires, Argentina.

Tonini M., Palma E. D., Rivas A. 2006. Modelo de alta resolución de los Golfos Patagónicos. En: Mecánica Computacional XXV. Cardona, Nigro, Sonzogni, Storti (Eds). AMCA, Santa Fé, 25:1461-1479.

Tuset V. M., Lombarte A., Assis A. C. 2008. Otolith atlas for the Western Mediterranean, North and central eastern Atlantic. Scientia Marina, 72 (1): 7-198.

Urien C. M. 1967. Los sedimentos modernos del Río de la Plata Exterior. Boletín del Servicio de Hidrografía Naval, 4: 113−313.

Urien, C.M., 1966. Distribución de los sedimentos modernos del Río de la Plata superior. Boletín del Servicio de Hidrografía Naval. 3, 197−203.

Useche S. D. 2010. Reconversión de la Flota Pesquera de Arrastre en Venezuela. Antecedentes, beneficios esperados, realidad y retos para el mercado asegurador. V Congreso Portuario Internacional I Jornadas de Derecho sobre Seguros Marítimos y Portuarios Caracas, Venezuela.

Velasco G. 1998. Crescimento e mortalidade natural de Netuma barba (Lacépède, 1803) (Siluriformes, Ariidae) no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. Tesis de Maestria, Universidad de Río Grande, Rio Grande, Brasil, 65 pp.

Velasco G., Reis E. G.,Vieira J. P. 2006. Calculating growth parameters of Genidens barbus (Siluriformes, Ariidae) using length composition and age data. Journal of Applied Ichthyology, 23: 64–69.

Velasco G., Reis E.G. 2004. Changes in growth seasonality throughout Netuma Barba (Lacépède, 1803) (Siluriformes, Ariidae) Ontogeny. Brazilian Journal of Biology, 64(4): 913–914.

Volpedo A. V., Echeverría D. D. 1997. Morfología de las sagittae de lenguados del Mar Argentino (Bothidae, Paralichthyidae y Achiropsettidae). Thalassas, 13: 113 -126.

Volpedo A. V., Echeverría D. D. 2000. Catálogo y claves de otolitos para la identificación de peces del Mar Argentino. 1. Peces de importancia comercial. Editorial Dunken, 90 pp.

Volpedo A. V., Miretzky P., Fernández Cirelli A. 2007. Stocks pesqueros de Cynoscion guatucupa y Micropogonias furnieri de la costa atlántica de Sudamérica: comparación entre métodos de identificación. Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales, 165: 115-130.

Volpedo A., Fernández Cirelli A. 2006. Otolith chemical composition as a useful tool for sciaenids stock discrimination in Southwestern Atlantic. Scientia Marina, 70(2): 325-334.

Volpedo A.V., Echeverría D. D. 2001. Morfología y morfometría de las sagittae de sciaenidos marinos del norte de Perú. Boletín de la Sociedad de biología de Concepción, 72: 147-154

Volpedo A.V., Echeverría D. D. 2003. Ecomorphological patterns of the sagitta in fish associated with bottom marine shelf in the Mar Argentino. Fisheries Research, 60: 551-560.

Wells B. K., Rieman B. E., Clayton J. L., Horan D. L., Jones C. M. 2003. Relationships between water, otoliths, and scale chemistries of Westslope cutthroat trout from the Coeur d'Alene River, Idaho: the potential application of hard-part chemistry to describe movements in freshwater. Transactions of the American Fisheries Society, 132: 409-424

Zar J. H. 1999. Biostatistical Analysis. Fourth Edition. Prentice Hall, 929 pp.

Zlokovitz E. R., Secor D. H., Piccoli P. M. 2003. Patterns of migration in Hudson River striped bass as determined by otolith microchemistry. Fisheries Research, 63: 245-259.

CAPITULO 8

Anexo

8.1 Publicaciones derivadas de la tesis

Artículos en revistas

1. E. Avigliano, A. Tombari, A. V. Volpedo. 2012. ¿Los otolitos reflejan el estrés ambiental?. Biología Acuática, 27: 9-15.

2. E. Avigliano, A. V. Volpedo. 2013. Actinopterygii, Atheriniformes, Atherinopsidae, Odontesthes bonariensis Valenciennes, 1835: New records for the Plata Basin, Argentina. Check List, 9(3): 640–641

3. E. Avigliano, A. V. Volpedo. 2013. Use of otolith strontium:calcium ratio as indicator of seasonal displacements of the silverside (Odontesthes bonariensis) in the lower section of Río de la Plata Basin, Argentina. Marine and Freshwater Research, 64: 746–751.

4. E. Avigliano, C. F. Riaños Martinez, A. V. Volpedo. 2014. Combined use of otolith microchemistry and morphometry as indicators of the habitat of the silverside (Odontesthes bonariensis) in a freshwater-estuarine environment. Fisheries Research, 149: 55–60.

5. E. Avigliano, M. B Saez, R. Rico, A.V. Volpedo. 2014. Use of otolith strontium:calcium and zinc:calcium ratio as indicator of habitat of Percophis brasiliensis in the southwestern Atlantic Ocean. Neotropical Ichthiology. En prensa. 2014.

6. J. J. Rosso, E. Mabragaña, E. Avigliano, N. Schenone, Juan M. Díaz de Astarloa. 2014. Ichthyological exploration of a subtropical forest mountain stream in Misiones, Argentina. Studies on Neotropical Fauna and Environment, 48 (3) 199–209.

7. N. Schenone, E. Avigliano, W. Goesler, A. Fernández Cirelli. 2014. Toxic metals, trace and major elements by ICPMS in tissues of Parapimelodus valenciennis and Prochilodus lineatus from Chascomus Lake, Argentina. Microchemical Journal, 112: 127–131.

8. R. Callicó Fortunato, E. Avigliano. 2014. Presence of genus Pterois (oken, 1817) (scorpaeniformes, scorpaenidae): extension of invasive range in caribbean sea and first published record for los frailes archipelago. Journal of Fisheries Sciences, 8(2): 88-91.

9. E. Avigliano, M. Saez, R. Rico, A. V. Volpedo. 2015. Use of otolith strontium:calcium and zinc:calcium ratios as an indicator of the habitat of Percophis brasiliensis in the southwestern Atlantic Ocean. Neotropical Ichthyology. In press.

10. E. Avigliano, A. V. Volpedo. 2015. Assessing the use of two southwestern Atlantic estuaries by different life cycle stages of the anadromous catfish Genidens barbus (Lacépède, 1803) as revealed by Sr:Ca and Ba:Ca ratios in otoliths. Journal Applied Ichthyology. In press.

11. E. Avigliano, R. Callicó Fortunato, J. Buitrago, A. V. Volpedo. 2016. Evidence of populations of Mugil curema in Southeastern Caribbean Sea? Otolith microchemistry as a potential method. Brazilian Journal of Fish Biology. In press. 76:2.

Libros y capítulos de libros

12. A. V. Volpedo, E. Avigliano, A. Fernández Cirelli. 2012. Influencia de los cambios ambientales sobre las poblaciones de peces en ecosistemas lénticos de la llanura pampeana (Argentina). En: Evaluación de los cambios de estado en ecosistemas degradados de Iberoamerica. Editores: L. Fernández Reyes y A.V. Volpedo. Red CYTED.

13. E. Avigliano, A. V. Volpedo. 2013. Determinación de stocks de pejerreyes del Bajo Delta del Paraná. pp. 11-14. En: Delta del Paraná: Historia, presente y futuro, UNESCO. Editores: F. Kalesnik, R. Vicardi y L. Iribarren, San Fernando, Argentina.

14. E. Avigliano, N. F. Schenone, A. V. Volpedo, A. Fernández Cirelli and W. Goessler. 2014. "Total arsenic in fish and water in four different aquatic environments in Argentina". P. 434–435. En: One Century of the Discovery of Arsenicosis in Latin America (1914-2014). M. I. Litter, H. B. Nicolli, M. Meichtry, N. Quici, J. Bundschuh, P. Bhattacharya, R. Naidu (Eds). 990 pp. Taylor and Francis Group, London.

15. N. F. Schenone, H. Moscuza, E. Avigliano, J. J. Rosso, E. Mabragaña. 2014. Plan Estandarizado de Agua Superficial. Editorial: Fundación Bosques Nativos. En prensa.

Se han presentado también 25 resúmenes en Congresos Internacionales, Nacionales y Jornadas Científicas con los resultados de la tesis durante el período (04-2010/05-2014).

8.2 Se sugiere citar este trabajo como:

Esteban Avigliano. 2014. Los otolitos y su aplicación en la determinación de stocks pesqueros de peces comerciales rioplatenses y de la costa atlántica de Sudamérica. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. 131 p.