

Tesis Doctoral

Aplicación de los otolitos en el estudio de la interconectividad de stocks pesqueros de mugílidos de zonas costeras de la provincia de Buenos Aires, Argentina y de la costa valenciana, España

Callicó Fortunato, Roberta Glenda

2017-02-20

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:

Callicó Fortunato, Roberta Glenda. (2017-02-20). Aplicación de los otolitos en el estudio de la interconectividad de stocks pesqueros de mugílidos de zonas costeras de la provincia de Buenos Aires, Argentina y de la costa valenciana, España. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Cita tipo Chicago:

Callicó Fortunato, Roberta Glenda. "Aplicación de los otolitos en el estudio de la interconectividad de stocks pesqueros de mugílidos de zonas costeras de la provincia de Buenos Aires, Argentina y de la costa valenciana, España". Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2017-02-20.

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental

Aplicación de los otolitos en el estudio de la interconectividad de stocks pesqueros de mugílidos de zonas costeras de la provincia de Buenos Aires, Argentina y de la costa Valenciana, España.

Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires en el área: **CIENCIAS BIOLÓGICAS**

Lic. Roberta Callicó Fortunato

Directores de tesis: Dra. Alejandra Volpedo

Dr. Vicent Benedito Durà

Consejero de estudios: Javier Lopez de Casenave

Lugar de trabajo: Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA-UBA-CONICET)

Buenos Aires, 2017

Fecha de defensa: 20 de febrero 2017



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Aplicación de los otolitos en el estudio de la interconectividad de stocks pesqueros de mugílidos de zonas costeras de la provincia de Buenos Aires, Argentina y de la costa Valenciana, España.

Lic. Roberta Callicó Fortunato

Directores de tesis: Dra. Alejandra Volpedo
Dr. Vicent Benedito Durà
Consejero de estudios: Javier Lopez de Casenave

Lugar de trabajo:
Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA-UBA-CONICET)
Laboratorio de Ecología - Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (UPV)

Buenos Aires, 2017

Aplicación de los otolitos en el estudio de la interconectividad de stocks pesqueros de mugílidos de zonas costeras de la provincia de Buenos Aires, Argentina y de la costa Valenciana, España.

Resumen

El objetivo de esta tesis fue determinar los stocks de mugílidos presentes en la costa Atlántica sudoccidental (25°30'S - 40°32'S) y en la costa Mediterránea de la Comunidad Valenciana (38°08'N - 40°38'N) y su interconectividad, utilizando la morfología, morfometría y composición química de los otolitos *sagittae* (cuerpos policristalinos compuestos por carbonato de calcio alojados en el oído interno del pez). Se analizó la morfología del *sagitta* de 9 especies de mugílidos, lo que permitió diferenciarlos y generar una clave de identificación específica. Asimismo, se propusieron patrones morfológicos del otolito a nivel de familia y géneros. Dado que los otolitos varían a lo largo del desarrollo de los peces, se identificaron patrones ontogenéticos en relación al crecimiento del pez para *Mugil liza*, *Mugil cephalus* y *Liza ramada*, pudiendo describirse las relaciones biométricas (longitud estándar vs largo-ancho del otolito). En relación a la identificación de stocks pesqueros, mediante el uso de índices morfométricos (circularidad, rectangularidad, aspecto de radio, porcentaje del otolito ocupado por el *sulcus*, elipticidad y factor de forma) y la microquímica del otolito (relaciones Sr/Ca y Ba/Ca) se identificaron diferentes patrones de comportamiento y de uso de hábitats de *M. liza* y *M. cephalus*. Para *M. cephalus* fue posible identificar cuatro patrones comportamentales con uso diferencial de ambientes marinos, estuarinos y de agua dulce, mientras que para *M. liza* se identificaron solo tres. *M. cephalus* presentó al menos dos stocks pesqueros en la costa Mediterránea Valenciana, mientras que *M. liza* no presentó diferencias en la microquímica que permita reconocer más de un stock en costa del Océano Atlántico sudoccidental. En este contexto, los otolitos resultaron ser una herramienta complementaria importante para el estudio de la biología y ecología de los mugílidos, para el reconocimiento de sus desplazamientos, uso de hábitat e identificación de stocks pesqueros; permitiendo así contar con elementos para realizar un manejo apropiado de las especies y las áreas que utilizan.

Palabras clave: Mugilidae, desplazamientos, stocks pesqueros, otolito *sagitta*, morfología, índices morfométricos, relaciones microquímicas.

Otolith use in the study of fish stock connectivity of mugilids in coastal areas of Buenos Aires province, Argentina, and of Valencia, Spain.

Abstract

The aim of this thesis was to identify mugilid stocks in the Southwestern Atlantic coast (25°30'S - 40°32'S) and in the Mediterranean coast of the Valencia Community (38°08'N - 40°38'N), and their connectivity using the morphology, morphometry and chemical composition of *sagittae* otoliths (complex carbonate structures located in the inner ear of the fish). Morphology of sagittal for 9 Mugilidae species was analyzed; thus, being able to differentiate them and generating an identification key for the species. Moreover, morphological patterns for family and genera were proposed. Given that otoliths vary along fish growth, ontogenetic patterns were identified for *Mugil liza*, *Mugil cephalus* and *Liza ramada*, describing, also, their biometric relations (standard fish length vs length-width of the otolith). In regard to the identification of fish stocks, by means of morphometrical indices (circularity, rectangularity, aspect ratio, percentage occupied by the *sulcus*, ellipticity and form factor) and otolith microchemistry (Sr/Ca and Ba/Ca ratios), different behavioral patterns related to habitat use of *Mugil liza* and *Mugil cephalus* we identified. For *M. cephalus* four behavioral patterns could be identified with differential use of marine, estuarine and freshwater environments; while for *M. liza* only three could be recognized. *M. cephalus* showed at least two fish stocks in the Valencian Mediterranean coast, whereas *M. liza* did not show microchemical differences that allowed recognizing more than one fish stock in the Southwestern Atlantic coast. In this context, otoliths turned out to be an important complementary tool to study the biology and ecology of mugilids, recognizing movements, habitat use and stock identification; allowing to generate proper management strategies for the species and the preferred used areas.

Keywords: Mugilidae, movements, fish stocks, *sagitta* otolith, morphology, morphometrical indices, microchemical ratios.

Aplicació dels otòlits a l'estudi de la interconnectivitat d'estocs pesquers de mugílids de zones costaneres de la província de Buenos Aires, Argentina i de la costa Valenciana, Espanya.

Resum

L'objectiu d'aquesta tesi va ser determinar els estocs de mugílids presents en la costa Atlàntica sud-occidental ($25^{\circ}30'S - 40^{\circ}32'S$) i en la costa Mediterrània de la Comunitat Valenciana ($38^{\circ}08'N - 40^{\circ}38'N$) i la seua interconnectivitat, utilitzant la morfologia, morfometria i composició química dels otòlits *sagitta* (cossos policristal·lins compostos per carbonat de calci allotjats a l'oida interna del peix). Es va analitzar la morfologia del sagita de 9 espècies de mugílids, la qual cosa va permetre diferenciar-los i generar una clau d'identificació específica. Així mateix, es van proposar patrons morfològics de l'otòlit a nivell de família i gènere. Atès que els otòlits varien durant el desenvolupament dels peixos, es van identificar patrons ontogenètics en relació amb el creixement del peix, per a *Mugil liza*, *Mugil cephalus* i *Liza ramada*, podent descriure's les relacions biomètriques (longitud estàndard front a llarg-ample de l'otòlit). En relació amb la identificació d'estocs pesquers mitjançant l'ús d'índexs morfomètrics (circularitat, rectangularitat, aspecte de radi, percentatge de l'otòlit ocupat pel sulcus, el·lipticitat i factor de forma), i la microquímica de l'otòlit (relacions Sr:Ca i Ba:Ca) es van identificar diversos patrons de comportament i d'ús de l'hàbitat de *M. liza* i *M. cephalus*. Per a aquesta última espècie va ser possible identificar quatre patrons comportamentals amb ús diferencial d'ambients marins, estuarins i d'aigua dolça, mentre que per a *M. liza* es van identificar solament tres. L'espècie *M. cephalus* va presentar almenys dos estocs pesquers en la costa Mediterrània Valenciana, mentre que *M. liza* no va presentar diferències en la microquímica que permeten reconèixer més d'un estoc en la costa de l'Oceà Atlàntic sud-occidental. En aquest context, els otòlits van resultar ser una eina complementària important per a l'estudi de la biologia i ecologia dels mugílids, per al reconeixement dels seus desplaçaments, i ús d'hàbitat, així com per la identificació d'estocs pesquers; permetent així comptar amb elements per a realitzar un maneig apropiat de les espècies, i les àrees que utilitzen.

Paraules clau: Mugilidae, desplaçaments, estocs pesquers, otòlit *sagitta*, morfologia, índexs morfomètrics, relacions microquímiques.

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer a todas aquellas personas sin las cuales esta tesis no hubiera sido posible. Todos los que me ayudaron en las campañas, ya sea por proporcionar muestras o por acompañarme en las mismas: Esteban Avigliano, Cecilia Kunert, Nahuel Schenonne, Lourdes Cullen, Daniela de Tommaso, Omar Califa, Maxi San Blas, Mariano González-Castro, Barbara Maichak de Carvalho, Alejandro Ferrin, Gustavo Thompson, Raul Mereñuk, Griselda Fortunato, Vicent Benedito, y Carolina García Suikkanen. A aquellos que me ayudaron con el procesado de las muestras, Esteban Avigliano, Juan José Troncoso, Martín Mascardi, Inma y Carmen (DIMM), Aida Reguera Galán, Vicente Genovés Gómez, Carolina Massa, gracias por colaborar en esta etapa de la tesis. A Agustín Pastor, Enrique Giménez Torres, Nacho García Alonso por facilitarme equipamiento para el procesado de muestras. A Nidia Fabrè, Fabiana Lo Nostro, Alicia Fabrizio de Iorio y Mirta García por sus valiosos aportes para mejorar el manuscrito.

A mis compañeros de labo, viejos y nuevos (Roger, Lau, Juli, Guy, Cba y Sabi), con quienes compartí estos años de idas y venidas, y con los que un buen mate y una buena charla alcanzaba para despejar el día, gracias por bancar y hacerme reír, por el apoyo. A Esteban por ser guía y compañero.

A los Crows - por los LuisCa y las Tabernas, las obras, los cineforums, las noches de Meigas, y las infinitas muestras que cariño que me hacían volver una y otra vez; a La Peña del ISI - Cuyo, Vicente, Aitor, Pau, Yas y Tati - por los almuerzos, los mediodías, los mates, los asados, las meriendas, las clases de LaTeX, los conciertos... por hacerme sentir la menos externa de todo el Instituto y la Petisa más Grande del mundo mundial; a Carol, Matt y Sara - por la música, los viajes, las charlas, las risas, los carnavales... per molts moments més inolvidables! eh...siii o que!?. A todos, por la Gran compañía y el aguante, gracias por ser mi familia Valenciana.

A los amigos de siempre, los infaltables, gracias por estar Siempre, acá, allá o donde toque. A Lourdes por ser mi compañera indiscutida de campañas. A Caro por el aguante traducido en incontables cenas y paseos. A mis “hermanas” y “primos” de la vida, por bancar y ser familia.

Al Dr. Vicent Benedito i Durà, per ser un guia tant en el laboral com en el personal, pel suport incondicional, per la resistència. Però sobretot per mostrar-me altres paisatges, fer-me veure amb altres ulls, i per la música.

A la Dra. Alejandra Volpedo por ayudarme a crecer a lo largo de tantos años. Por introducirme al difícil y maravilloso mundo de las lisas; y por bancar mi loca idea de trabajar en dos lugares a la vez, abriéndome puertas al mundo. Muchas gracias por enseñarme y acompañarme.

Por último, me gustaría agradecer a mi madre, quien ha sido desde siempre, mi guía y sponsor, alentándome para crecer y empujándome para volar!

Y los días se echaron a caminar.
Y ellos, los días, nos hicieron.
Y así fuimos nacidos nosotros,
los hijos de los días,
los averiguadores,
los buscadores de la vida.*

Amb l'emoció del primer dia
amb la gent que t'estima
amb l'esforç compartit
seguirem...**

*Eduardo Galeano - Los hijos de los días
**Orbrint Pas - Seguirem

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	17
1.1. Introducción	18
1.2. Hipótesis de trabajo	21
1.3. Objetivos	22
2. Áreas de estudio	23
2.1. Áreas del Océano Atlántico sudoccidental	24
2.1.1. Complejo Estuarino de Paranaguá (entre 25°16' - 25°34' S y 48°17' - 48°42' O)	24
2.1.2. Bahía Samborombón (entre 35°27' - 36°22' S y 56°45' - 56°35' O)	26
2.1.3. Laguna Costera Mar Chiquita (entre 37°32' - 37°45' S y 57°19' - 57°26' O) .	27
2.1.4. Bahía San Blas (entre 40°20' - 40°59' S y 61°29' - 62°50' O)	28
2.2. Áreas de la costa Mediterránea de la Comunidad Valenciana	30
2.2.1. Parque Natural del Delta del Ebro (40°38' N - 0°44' E)	30
2.2.2. Parque Natural de L'Albufera (39°20' N - 00°21' O)	32
2.2.3. Parque Natural de las Salinas de Santa Pola (38°08' N - 00°37' O)	33
3. Identificación de mugílidos mediante el uso de la morfología del otolito <i>sagitta</i>	35
3.1. Introducción	36
3.2. Materiales y Métodos	37
3.3. Resultados	39
3.3.1. Morfología general del otolito <i>sagitta</i> de Mugilidae	39
3.3.2. Morfología de los otolitos de Mugílidos del Mar Mediterráneo y del Océano Atlántico nororiental	39

3.3.3.	Morfología de los otolitos de Mugílidos del Océano Atlántico sudoccidental. . .	45
3.3.4.	Clave de identificación de lisas del Océano Atlántico nororiental y Mar Me- diterráneo mediante la morfología del otolito <i>sagitta</i>	47
3.4.	Discusión	48
4.	Cambios ontogenéticos en la morfología y morfometría del oto- lito <i>sagitta</i> en relación al crecimiento del pez: los casos de <i>Mugil liza</i>, <i>Mugil cephalus</i> y <i>Liza ramada</i>	54
4.1.	Introducción	55
4.2.	Materiales y Métodos	56
4.2.1.	Colecta de muestras y mediciones	56
4.2.2.	Análisis estadísticos	57
4.3.	Resultados	58
4.3.1.	<i>Mugil liza</i>	58
4.3.2.	<i>Mugil cephalus</i>	61
4.3.3.	<i>Liza ramada</i>	63
4.3.4.	Comparación de las relaciones biométricas del otolito entre las especies estu- diadas	66
4.4.	Discusión	67
5.	Aplicación de los otolitos en la identificación de hábitats de juveniles de <i>Mugil cephalus</i> en la Comunidad Valenciana.	70
5.1.	Introducción	71
5.2.	Materiales y Métodos	71
5.2.1.	Colecta de muestras	71
5.2.2.	Morfometría del otolito	73
5.2.3.	Microquímica del otolito	73
5.2.4.	Análisis estadístico	74
5.3.	Resultados	74
5.4.	Discusión	77

6. Identificación de patrones migratorios y potenciales stocks pesqueros de <i>Mugil cephalus</i> en humedales costeros de la Comunidad Valenciana.	79
6.1. Introducción	80
6.2. Materiales y Métodos	81
6.2.1. Área de estudio y colección de muestras	81
6.2.2. Morfometría del otolito	82
6.2.3. Microquímica del otolito	83
6.3. Resultados	89
6.3.1. Morfometría del otolito	89
6.3.2. Microquímica del otolito	90
6.4. Discusión	93
7. Identificación de patrones migratorios y potenciales stocks pesqueros de <i>Mugil liza</i> en el Océano Atlántico sudoccidental.	99
7.1. Introducción	100
7.2. Materiales y Métodos	101
7.2.1. Área de estudio y colección de muestras biológicas	101
7.2.2. Morfometría del otolito	102
7.2.3. Microquímica del otolito	102
7.3. Resultados	104
7.3.1. Morfometría del otolito	104
7.3.2. Microquímica del otolito	106
7.4. Discusión	109
8. Discusión y conclusiones	113
8.1. Discusión	114
8.2. Conclusiones	117

Índice de figuras

1.1. Ubicación del aparato vestibular y los tres pares de otolitos en peces. Modificado de Tuset <i>et al.</i> (2008) y Assis (2000).	19
2.1. Localización de las áreas de estudio en el Atlántico sudoeste: 1. Complejo Estuarino de Paranaguá, 2. Bahía Samborombón, 3. Laguna Costera Mar Chiquita, 4. Bahía San Blas.	24
2.2. Mapa del Complejo Estuarino de Paranaguá. Modificado de Passos <i>et al.</i> (2012). . .	25
2.3. Mapa de la Bahía Samborombón.	27
2.4. Mapa de la Laguna Costera Mar Chiquita.	28
2.5. Mapa de la Bahía San Blas.	29
2.6. Localización de las áreas de estudio en la costa de la Comunidad Valenciana: Parque Natural del Delta del Ebro, Parque Natural de L'Albufera, Parque Natural de las Salinas de Santa Pola (estrellas). En rojo se delimita el golfo de Valencia.	30
2.7. Mapa del Parque Natural del Delta del Ebro.	31
2.8. Mapa del Parque Natural de L'Albufera. Modificado de Dies <i>et al.</i> (1999).	33
2.9. Mapa del Parque Natural de las Salinas de Santa Pola.	34
2.10. Mapa de la albufera de Elche (comprende el Parque Natural El Hondo y el Parque Natural Salinas de Santa Pola).	34
3.1. Mapa donde se muestran las tres zonas de procedencia de las especies estudiadas: Delta del Ebro en España (estrella amarilla), costa bonaerense Argentina (estrella verde) y Mar Caribe Venezolano (estrella roja).	37
3.2. Clasificación de los diferentes tipos de <i>cauda</i> (modificado de Tuset <i>et al.</i> (2008)). . . .	38
3.3. Esquema de las medidas registradas para calcular el índice de centralidad del <i>sulcus</i> (CS): MS = distancia desde el margen superior de la <i>cauda</i> al margen dorsal del otolito; AO = ancho total del otolito.	38

3.4. Otolito <i>sagitta</i> derecho de <i>Chelon labrosus</i> (43,3 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.	40
3.5. Otolito <i>sagitta</i> derecho de <i>Liza aurata</i> (32,2 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.	41
3.6. Dibujo de la cara interna del otolito <i>sagitta</i> de <i>Liza carinata</i> (N/A LT).	41
3.7. Otolito <i>sagitta</i> derecho de <i>Liza ramada</i> (50,3 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.	42
3.8. Otolito <i>sagitta</i> derecho de <i>Liza saliens</i> (32,1 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.	43
3.9. Otolito <i>sagitta</i> derecho de <i>Mugil cephalus</i> (36,4 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.	44
3.10. Dibujo de la cara interna del otolito <i>sagitta</i> de <i>Oedalechilus labeo</i> (45,3 LT).	45
3.11. Otolito <i>sagitta</i> derecho de <i>Mugil liza</i> (50,7 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.	46
3.12. Otolito <i>sagitta</i> derecho de <i>Mugil curema</i> (34,5 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.	47
3.13. Morfología del otolito <i>sagitta</i> de especies del género <i>Mugil</i> . Vista de cara interna. . .	49
3.14. Morfología del otolito <i>sagitta</i> de especies del género <i>Liza</i> . Vista de cara interna. . .	51
3.15. Morfología del otolito <i>sagitta</i> de especies del género <i>Chelon</i> . Vista de cara interna. .	52
4.1. Esquema con características y variables medidas en el otolito <i>sagitta</i> de mugílidos. LO: longitud máxima; AO: ancho máximo; PO: perímetro del otolito (línea blanca continua); PS: perímetro del <i>sulcus</i> (línea negra continua).	57
4.2. Regresión potencial de la longitud estándar del pez (LS) vs a. largo máximo (LO) y b. ancho máximo (AO) del otolito <i>sagitta</i> para <i>Mugil liza</i>	59
4.3. Grupos morfológicos identificados (I y II) para el otolito <i>sagitta</i> de <i>Mugil liza</i>	60
4.4. Regresión potencial de la longitud estándar del pez (LS) vs a. largo máximo (LO) y b. ancho máximo (AO) del otolito <i>sagitta</i> para <i>Mugil cephalus</i>	61
4.5. Grupos morfológicos identificados (I y II) para el otolito <i>sagitta</i> de <i>Mugil cephalus</i> . .	62
4.6. Regresión potencial de la longitud estándar del pez (LS) vs a. largo máximo (LO) y b. ancho máximo (AO) del otolito <i>sagitta</i> para <i>Liza ramada</i>	64

4.7. Grupos morfológicos identificados (I, II y III) para el otolito <i>sagitta</i> de <i>Liza ramada</i> .	65
4.8. Gráfico de regresión para los tres mugílidos analizados del logaritmo del largo estándar (Log(LS)) vs el logaritmo de la longitud total del otolito (Log(LO)).	66
4.9. Gráfico de regresión para los tres mugílidos analizados del logaritmo del largo estándar (Log(LS)) vs el logaritmo del ancho total del otolito (Log(AO)).	67
5.1. Áreas de muestreo en la comunidad valenciana (estrellas rojas): Parque Natural de l'Albufera de Valencia y Parque Natural Salinas de Santa Pola.	72
5.2. Gráfico de cajas del rango de tallas de los ejemplares colectados en las dos áreas de muestreo: Parque Natural de l'Albufera de Valencia (AV); y Parque Natural Salinas de Santa Pola (SP). Barras indican el desvío estándar.	72
5.3. Relaciones de Sr/Ca (A) y Ba/Ca (B) del otolito para las áreas de muestreo: AV, Parque Natural de l'Albufera de Valencia; y SP, Parque Natural Salinas de Santa Pola. Diferentes letras indican diferencias significativas (test de t: $p < 0,001$). Barras indican desvío estándar.	76
5.4. Análisis de dispersión de las relaciones Sr/Ca y Ba/Ca en otolitos de <i>Mugil cephalus</i> de las áreas estudiadas: Parque Natural de l'Albufera de Valencia y Parque Natural Salinas de Santa Pola.	76
6.1. Localización de las áreas de estudio en la costa Mediterránea de la Comunidad Valenciana: Parque Natural del Delta del Ebro, Parque Natural de L'Albufera, Parque Natural Salinas de Santa Pola.	82
6.2. Inclusión de otolitos <i>sagittae</i> en resina epoxi para la realización de secciones transversales.	84
6.3. Corte transversal del otolito <i>sagitta</i> efectuado mediante la utilización de una sierra Isomet ©Buehler.	84
6.4. Imagen del espectrómetro de masas con fuente de plasma de acomplamiento inductivo (Q-ICP-MS) Agilent 7500ce.	86
6.5. Imagen del sistema de ablación laser CETAC LSX-213, acoplado al equipo Q-ICP-MS.	86
6.6. Imagen tomada por el programa asociado al LA-ICP-MS de un corte transversal de otolito <i>sagitta</i> con la transecta de ablación marcada. El sentido de la ablación es de núcleo a borde.	87

6.7.	Perfiles de las relaciones Sr/Ca del otolito (desde el núcleo al borde) para los cuatro ecotipos de desplazamiento identificados en <i>Mugil cephalus</i> en las tres áreas de estudio. Las letras hacen referencia a los diferentes ecotipos: (a) Tipo I: ecotipo estuarino-residente; (b) Tipo II: ecotipo catátodromo; (c) Tipo III: ecotipo semi-catátodromo; y (d) Tipo IV: ecotipo marino-residente. Los límites para los ambientes relacionados a la salinidad del agua fueron tomados de Chang <i>et al.</i> (2004a) y Wang <i>et al.</i> (2010).	90
6.8.	Análisis de discriminante canónico de las variables microquímicas (relaciones de núcleo y borde de Sr/Ca y Ba/Ca) para los cuatro patrones de movimiento identificados en <i>Mugil cephalus</i> (Tipo I: ecotipo estuarino-residente; Tipo II: ecotipo catátodromo; Tipo III: ecotipo semi-catátodromo; y Tipo IV: ecotipo marino-residente).	91
6.9.	Relaciones de Sr/Ca (a) y Ba/Ca (b) del borde de otolito en las tres áreas de muestreo: Parque Natural Delta de l'Ebro (DT); Parque Natural de l'Alfubera de Valencia (AV); y Parque Natural Salinas de Santa Pola (SP). Las barras indican el desvío estándar y las diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0,01$).	93
6.10.	Esquemas que ejemplifican los cuatro ecotipos de desplazamiento identificados para <i>Mugil cephalus</i> en la costa Mediterránea de la Comunidad Valenciana. Observación: en los ecotipos II y III no se representa el estadio larval ya que su área de reproducción no se encuentra claramente definida.	94
6.11.	Esquema de circulación de la Corriente Superficial del Atlántico. En rojo se muestra el Golfo de Valencia. Modificado de Millot (1999).	97
6.12.	Esquema de circulación de la Corriente Levantina. En rojo se muestra el Golfo de Valencia. Modificado de Millot (1999).	97
6.13.	Esquema de circulación de la Corriente Balear. Líneas continuas representan corriente mas o menos estable y líneas discontinuas representan corriente a meso-escala estacional. En rojo se muestra el Golfo de Valencia. Modificado de Pascual <i>et al.</i> (2002).	98
6.14.	Esquema de circulación de local en la zona del Cap de Sant Antoni. En rojo se muestra parte del Golfo de Valencia. Extraído y modificado de Fomento (2016).	98
7.1.	Localización de las áreas de estudio en el Atlántico sudoeste: 1. Complejo Estuarino de Paranaguá, 2. Bahía Samborombón, 3. Laguna Costera Mar Chiquita, 4. Bahía San Blas.	101

7.2. Análisis de Componentes Principales basado en las variables morfométricas del otolito <i>sagitta</i> . A. Individuos proyectados en los ejes del primer (PC1) y segundo (PC2) componente principal; B. Individuos proyectados en los ejes del tercer (PC3) y cuarto (PC4) componente principal. Índices del otolito: CI: circularidad; RE: rectangularidad; AR: aspecto de radio; SS: porcentaje ocupado por el <i>sulcus</i> ; EL: elipticidad; y FF: factor de forma.	105
7.3. Perfiles de las relaciones Sr/Ca del otolito (desde el núcleo al borde) para los tres ecotipos del desplazamiento identificados en <i>Mugil liza</i> en las cuatro áreas de estudio del Océano Atlántico sudoccidental. Las letras hacen referencia a los diferentes ecotipos: (a) Tipo I: ecotipo estuarino-residente; (b) Tipo II: ecotipo mixto; y (c) Tipo III: ecotipo marino-residente. Los límites para los ambientes relacionados a la salinidad del agua fueron tomados de Chang <i>et al.</i> (2004a), Wang <i>et al.</i> (2010) y Górski <i>et al.</i> (2015).	106
7.4. Análisis de Discriminante Canónico utilizando las variables microquímicas del otolito de individuos de <i>Mugil liza</i> para los tres ecotipos de desplazamiento identificados (Tipo I. estuarino-residente; Tipo II. mixto; Tipo III: marino-residente).	107
7.5. Diagrama de dispersión de las relaciones Sr/Ca-Borde y Ba/Ca-Borde de otolitos de individuos de <i>Mugil liza</i> en todos los sitios de muestreo del Océano Atlántico sudoccidental.	109
7.6. Esquemas que ejemplifican los tres ecotipos de desplazamiento para <i>Mugil liza</i> en el Océano Atlántico sudoccidental. Observación: en el ecotipo II no se representa el estadio larval ya que su área de reproducción no se encuentra claramente definida.	111

Indice de tablas

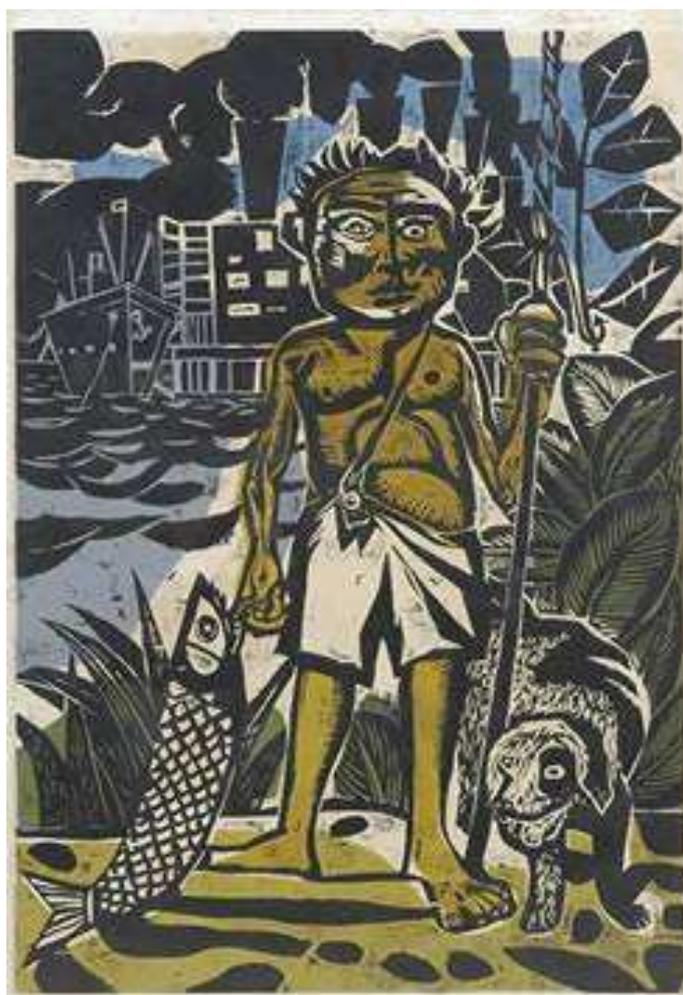
3.1. Resumen de diferencias en los caracteres morfológicos del otolito <i>sagitta</i> para el género <i>Mugil</i> . Extraído de ilustraciones y fotografías de diversos autores: 1. Esta tesis; 2. Assis (2000); 3. Tuset <i>et al.</i> (2008); 4. Smale <i>et al.</i> (1995); 5. Campana (2004); y 6. Volpedo y Echeverría (2000).	49
3.2. Resumen de diferencias en los caracteres morfológicos del otolito <i>sagitta</i> para el género <i>Liza</i> . Extraído de ilustraciones y fotografías de diversos autores: 1. Esta tesis; 2. Assis (2000); 3. Tuset <i>et al.</i> (2008); 4. Smale <i>et al.</i> (1995).	50
3.3. Resumen de diferencias en los caracteres morfológicos del otolito <i>sagitta</i> para el género <i>Chelon</i> . Extraído de ilustraciones y fotografías de diversos autores: 1. Esta tesis; 2. Assis (2000); 3. Tuset <i>et al.</i> (2008).	52
4.1. Características de distribución y especímenes muestreados para <i>Mugil liza</i> , <i>Mugil cephalus</i> y <i>Liza ramada</i>	56
4.2. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados entre grupos identificados durante el desarrollo de <i>Mugil liza</i> (I y II) con sus análisis estadísticos: W = test de U-Mann Whitney y T = test de t. *variables con distribución no-normal. Diferentes letras muestran diferencias significativas.	60
4.3. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados entre etapas del desarrollo de <i>Mugil liza</i> (juveniles-adultos) con sus análisis estadísticos: W = test de U-Mann Whitney y T = test de t. *variables con distribución no-normal.	61
4.4. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados entre grupos identificados durante el desarrollo de <i>Mugil cephalus</i> (I y II) con sus análisis estadísticos: W = test de U-Mann Whitney y T = test de t. *variables con distribución no-normal. Diferentes letras muestran diferencias significativas.	63
4.5. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados entre etapas del desarrollo de <i>Mugil cephalus</i> (juveniles-adultos) con sus análisis estadísticos: W = test de U-Mann Whitney y T = test de t. *variables con distribución no-normal.	63

4.6. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados entre grupos identificados durante el desarrollo de <i>Liza ramada</i> (I, II y III) con sus análisis estadísticos: F = Análisis de la varianza (ANOVA).	65
4.7. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados entre etapas del desarrollo de <i>Liza ramada</i> (juveniles-adultos) con sus análisis estadísticos: T = test de t. Diferentes letras muestran diferencias significativas.	66
5.1. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados en juveniles de <i>Mugil cephalus</i> entre áreas muestreadas con sus análisis estadísticos: W = test de U-Mann Whitney y T = test de t. *variables con distribución no-normal. Diferentes letras muestran diferencias significativas.	75
6.1. Número total de individuos muestreados y rango de tallas (longitud estándar - LS) para cada método utilizado (morfometría del otolito y microquímica) en cada área de estudio.	81
6.2. Parámetros de optimización del acoplamiento del láser de ablación con el Q-ICP-MS.	86
6.3. Parámetros experimentales utilizados en la medida de las variables microquímicas en otolitos mediante LA-ICP-MS.	88
6.4. Media±desvío estándar (D.S.) de las variables morfométricas analizadas para el otolito de <i>Mugil cephalus</i> entre los humedales estudiados: Parque Natural Delta del Ebro (DT), Parque Natural de l'Alfubera de Valencia (AV), Parque Natural Salinas de Santa Pola (SP). Diferentes letras muestran diferencias significativas de la variable entre los sitios.	89
6.5. Matriz de clasificación cruzada del análisis de discriminante canónico de las variables microquímicas del otolito (relaciones de núcleo y borde de Sr/Ca y Ba/Ca) para diferenciar entre patrones migratorios: Tipo I: ecotipo estuarino-residente; Tipo II: ecotipo catátodromo; Tipo III: ecotipo semi-catátodromo; y Tipo IV: ecotipo marino-residente.	91
6.6. Patrones migratorios identificados en especímenes de <i>Mugil cephalus</i> de las tres áreas de estudio (Parque Natural Delta de l'Ebro (DT); Parque Natural de l'Alfubera de Valencia (AV); y Parque Natural Salinas de Santa Pola (SP) en la costa Mediterránea del la Comunidad Valenciana. Tipo I: ecotipo estuarino-residente; Tipo II: ecotipo catátodromo; Tipo III: ecotipo semi-catátodromo; y Tipo IV: ecotipo marino-residente.	92

7.1. Número total de individuos y rango de tallas (longitud estándar) utilizados en cada método (morfometría y microquímica del otolito) en las cuatro áreas de estudio del Océano Atlántico sudoccidental.	101
7.2. Media±desvío estándar de las variables morfométricas del otolito en todas las áreas de estudio del Océano Atlántico sudoccidental.	104
7.3. Matriz de clasificación cruzada del análisis de discriminante canónico (ADC) de las variables morfométricas del otolito de individuos de las cuatro áreas de muestreo. . .	104
7.4. Matriz de clasificación cruzada del análisis de discriminante canónico (ADC) de las variables microquímicas del otolito para diferenciar entre ecotipos de desplazamiento: Tipo I. estuarino-residente; Tipo II. mixto; Tipo III: marino-residente.	107
7.5. Ecotipos de desplazamiento (Tipo I. estuarino-residente; Tipo II. mixto; Tipo III. marino-residente) identificados en individuos de <i>Mugil liza</i> de las áreas estudiadas en el Océano Atlántico sudoccidental.	108
7.6. Medias y desvíos estándar de las variables microquímicas (en mmol/mol) analizadas en el borde del otolito de individuos de las 4 áreas de estudio.	108

Capítulo 1

Introducción



Juanito con pescado (Antonio Berni, 1961)

1.1. Introducción

La captura extractiva pesquera a nivel global se ha incrementado en los últimos 30 años, permaneciendo en un nivel constante de alrededor de 80 millones de toneladas de peces marinos anuales en la última década (FAO, 2016). La producción pesquera varía ampliamente entre especies; sin embargo, gran parte de las pesquerías del mundo no han aumentado su producción, debido a que se encuentran sobre-explotadas (FAO, 2016). Desde los años '50 el 25 % de las pesquerías del mundo han colapsado y no han podido reestablecerse (Mullon *et al.*, 2005). Asimismo, FAO (2016) ha reportado que al año 2013, 31,4 % de los stocks de especies comerciales se encuentran en niveles biológicos no sustentables debido a la sobrepesca.

La pesca costera, ligada a la plataforma continental y al talud, es uno de los sectores económicos más importante para muchos países y regiones. Entre éstas se encuentran el litoral Atlántico sudoccidental y la costa Mediterránea española. En la costa Atlántica Argentina la pesca costera se ha incrementado al doble en los últimos 10 años, alcanzando niveles promedio de 85 mil toneladas de peces (Agroindustria, 2016). En el Mar Mediterráneo en los últimos 5 años se han capturado alrededor de 80 mil toneladas anuales de pescado por la flota española (Managra, 2015).

Algunas de las estrategias orientadas a garantizar la eficiencia en el manejo y ordenamiento pesquero se basan en la identificación de los stocks y en la regulación del esfuerzo pesquero. Para ello, es necesario evitar que las reservas pesqueras disminuyan hasta niveles irreversibles que comprometan su continuidad o conlleven a problemas socioeconómicos en este sector productivo; además de recuperar aquellas pesquerías que han colapsado o se encuentran a punto de agotarse como recursos sustentables (FAO, 2016).

El concepto de stock pesquero se utiliza para describir 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, parásitos, caracterización de estructuras duras (huesos, otolitos), identificación genética, entre otros (Park y Moran, 1994; Sturrock *et al.*, 2012; Avigliano *et al.*, 2014; Clément *et al.*, 2014; Kerr y Campana, 2014). Estos métodos presentan diferente grado de complejidad y eficiencia. Algunos de ellos, como estructura de tallas, variaciones fenotípicas, recuento de caracteres merísticos, medición de caracteres morfométricos y marcado-recaptura con sensores, necesitan para su aplicación y análisis una gran cantidad de muestras. Además, los recursos humanos, económicos y el esfuerzo implicados en estos métodos son muy altos (Volpedo *et al.*, 2007).

En los últimos años, la utilización de características de estructuras calcificadas, como morfología, morfometría y composición química del otolito, ha permitido la identificación de stocks, migraciones e historia de vida de diferentes especies (Secor *et al.*, 1995; Zlokovitz *et al.*, 2003; Kraus y Secor,

2004; Schuchert *et al.*, 2010; Tabouret *et al.*, 2010; Avigliano y Volpedo, 2013; Avigliano *et al.*, 2014), siendo este un método menos “costoso” que muchos de los antes mencionados.

Los otolitos de los teleósteos se encuentran en el aparato vestibular (Figura 1.1) y son complejos cuerpos policristalinos compuestos principalmente por carbonato de calcio precipitado en forma de aragonita y pequeñas cantidades de otros minerales inmersos dentro de una matriz orgánica (Carlström, 1963; Gauldie, 1993; Campana, 1999). El aparato vestibular es un órgano que se encuentra suspendido en la cápsula ótica y contiene los canales semicirculares y tres pares de cámaras denominadas sáculo, lagena y utrículo (Figura 1.1). Dentro de cada cámara 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, influenciado por variaciones en la temperatura ambiental (Morales-Nin, 1998). Estas estructuras poseen una morfología específica para cada especie (Hecht, 1987; Volpedo y Echeverría, 1997; Tombari *et al.*, 2000; Volpedo y Echeverría, 2000; Volpedo y Echeverría, 2001; Tuset *et al.*, 2008) y son conservativas ya que el material que los componen no se reabsorbe ni altera (Casselmann, 1990). Además, Radtke y Shafer (1992) han sugerido que la composición química de los otolitos está regulada por la actividad fisiológica de los peces, que a su vez está influenciada por las condiciones ambientales.

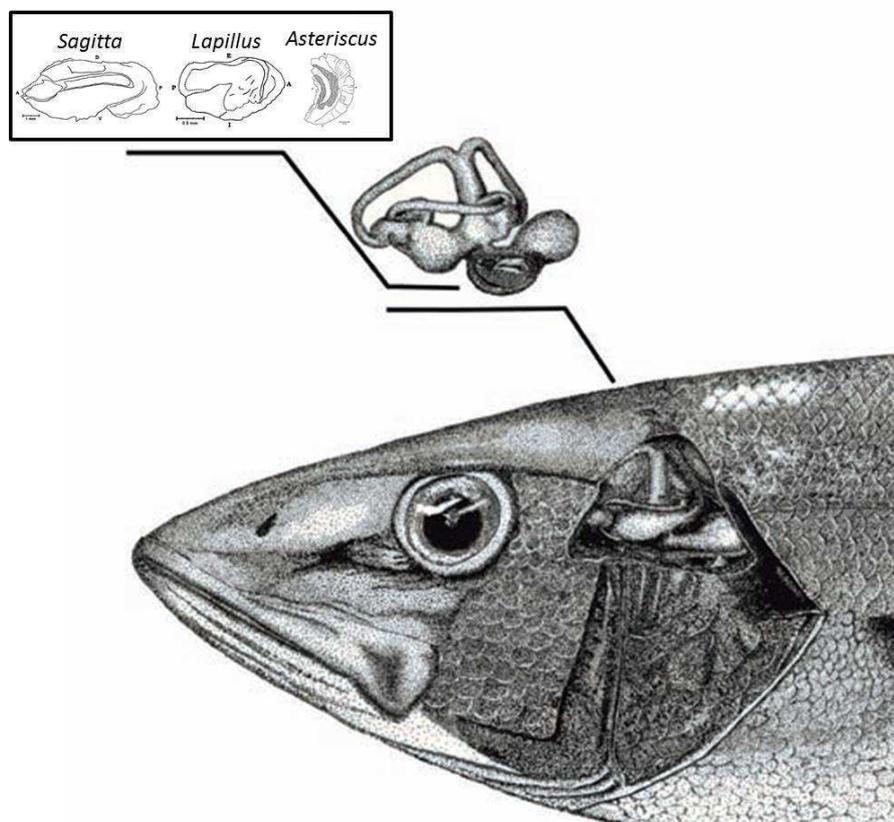


Fig. 1.1. Ubicación del aparato vestibular y los tres pares de otolitos en peces. Modificado de Tuset *et al.* (2008) y Assis (2000).

La morfometría y la microquímica de los otolitos han ayudado a la identificación de stocks de gran número de especies comerciales (Tuset *et al.*, 2003b; Gillanders, 2005; Tracey *et al.*, 2006; Tabouret *et al.*, 2010; Avigliano *et al.*, 2014; Avigliano *et al.*, 2015c; Avigliano *et al.*, 2015e; Sadighzadeh *et al.*, 2014). El estudio de la forma y contorno del otolito ha permitido, también, identificar especies de una misma familia (Tuset *et al.*, 2003a; Lestrel, 2008; Avigliano *et al.*, 2015a). Asimismo, el análisis de las marcas elementales del otolito a lo largo del crecimiento, sirve como un marcador natural y puede ser utilizado para reconstruir el perfil de la historia de vida y el uso de hábitats de cada pez (Campana y Thorrold, 2001; Wells *et al.*, 2003; Dufour *et al.*, 2005; Whitley *et al.*, 2006; Milton *et al.*, 2008; Albuquerque *et al.*, 2012; Ibáñez *et al.*, 2012; Mai *et al.*, 2014a), ya que una vez depositados en el otolito, los metales son metabólicamente inalterables, representando así un registro permanente de las condiciones ambientales experimentadas por el pez en un momento particular (Campana *et al.*, 2000; Campana y Thorrold, 2001; Ruttenberg *et al.*, 2005).

Recientemente, el uso simultáneo de las relaciones Sr/Ca y Ba/Ca de los otolitos se ha profundizado para la identificación de stocks y el análisis de movimientos e historia de vida de los peces (Schuchert *et al.*, 2010; Tabouret *et al.*, 2010; Beer *et al.*, 2011; Avigliano y Volpedo, 2013; Martin *et al.*, 2013; Avigliano *et al.*, 2015c). La concentración de estos elementos varía entre el agua dulce y la marina, resultando útiles para entender el comportamiento ambiental de peces diádromos (Milton *et al.*, 2008; Brown y Severin, 2009; Wang *et al.*, 2010). El Sr correlaciona positivamente con la salinidad, mientras que el Ba lo hace de modo inverso; así, el Sr se encuentra fuertemente asociado a aguas marinas o de alta salinidad, mientras que el Ba se asocia a ambientes de agua dulce (Kraus y Secor, 2004; Tabouret *et al.*, 2010; Miller, 2011). Los otolitos ofrecen una importante y variada cantidad de información, por esto son considerados una herramienta potencial para la gestión y el manejo pesquero.

La familia Mugilidae está conformada por peces de mediano tamaño que se distribuyen en las regiones tropicales, subtropicales y templadas de todos los continentes (Harrison, 2002; Whitfield *et al.*, 2012). La gran mayoría de estas especies son eurihalinas. Pueden habitar costas marinas, lagunas de aguas salobres, estuarios y hasta ingresar en cauces de agua dulce (Thomson, 1997; Harrison, 2002; Heras *et al.*, 2009; González-Castro y Minos, 2016). Utilizan los hábitats estuarinos como sitios de alimentación, crecimiento y maduración gonadal (González-Castro, 2007; González-Castro *et al.*, 2009).

Originalmente se consideraba que esta familia incluía 17 géneros y aproximadamente 72 especies (Harrison, 2002; González-Castro *et al.*, 2008; Heras *et al.*, 2009; Nelson *et al.*, 2016). Sin embargo, en la actualidad, la taxonomía de Mugilidae se encuentra en revisión ya que no existe un consenso general sobre el número de especies y géneros de la misma. Eschmeyer y Fong (2016) han reconocido 20 géneros y 74 especies, mientras Durand (2016), basándose en resultados de filogenética molecular y estudios de genética poblaciones, ha manifestado que la diversidad de esta familia consistía en

más de 91 linajes mitocondriales, que corresponderían a 53 especies morfológicas y 38 especies putativas, formando 25 géneros. Finalmente, González-Castro y Ghasemzadeh (2016) utilizando el sistema de código de barras genético (BIN - Barcode Index Number), obtuvieron ciento doce BINs, sugiriendo la existencia de al menos 112 especies de mugílidos.

En Argentina, la única especie de presencia permanente representante de dicha familia es *Mugil liza* Valenciennes, 1836 (González-Castro *et al.*, 2008), pudiéndose encontrar ocasionalmente la lebrancha, *Mugil curema* Valenciennes, 1836 (González-Castro *et al.*, 2006; Heras *et al.*, 2009). *M. liza* se distribuye desde La Florida (EEUU), pasando por el Mar Caribe, hasta el norte de la Patagonia Argentina (Whitfield *et al.*, 2012; Garbin *et al.*, 2014), siendo el mugílido con distribución más austral en el Océano Atlántico sudoccidental. Es una especie comercial, explotada por la pesca artesanal y la deportiva, formando una parte importante de la dieta y de las tradiciones de los pescadores y sus familias (González-Castro *et al.*, 2009). Es la única especie anfibiótica que realiza ingresos a la Cuenca del Río Salado, y de la cual se posee un conocimiento fragmentado sobre su biología en el área (López *et al.*, 2001).

En la costa del Mar Mediterráneo pueden encontrarse 8 especies de mugílidos, *Liza ramada* (Risso, 1810), *Liza saliens* Risso, 1810), *Liza carinata* (Valenciennes, 1836), *Liza haematocheila* (Temminck and Schelegel, 1845), *Oedalechilus labeo* (Cuvier, 1829), *Chelon labrosus* (Risso, 1827), *Liza aurata* (Risso, 1810) y *Mugil cephalus* Linnaeus, 1758 (Thomson, 1997). Las tres últimas especies poseen un importante valor económico para la región (Cardona, 1994). Todas estas especies son eurihalinas y realizan migraciones en ciertos períodos del año desde el mar hacia áreas salobres y/o de agua dulce de la costa Mediterránea.

En este contexto se propone estudiar la interconectividad de stocks de mugílidos en dos zonas costeras de diferentes latitudes, la costa Atlántica sudoccidental y la costa Mediterránea Valenciana, utilizando como herramienta al otolito *sagitta*.

1.2. Hipótesis de trabajo

- Las variaciones morfológicas, morfométricas y de la composición química del otolito *sagitta* permiten identificar especies y stocks pesqueros, y caracterizar patrones de desplazamiento de mugílidos que habitan diferentes latitudes (costa del Océano Atlántico sudoccidental y costa Valenciana del Mar Mediterráneo).

1.3. Objetivos

Objetivo general

Determinar los patrones de desplazamiento, y los stocks de mugílidos presentes en la costa del Océano Atlántico sudoccidental (desde 25°30' S hasta 40°32' S) y en la costa de la Comunidad Valenciana (desde 38°08' N hasta 40°38' N) y su interconectividad, utilizando la morfología, morfometría y composición química de los otolitos *sagittae*.

Objetivos específicos

- Analizar las características morfológicas del otolito *sagitta* de diferentes mugílidos del Océano Atlántico sudoccidental y nororiental, y del Mar Mediterráneo para contribuir a la identificación específica de la familia.
- Analizar la morfología y morfometría del otolito *sagitta* de tres mugílidos (*Mugil liza*, *Mugil cephalus* y *Liza ramada*) a través de su desarrollo ontogenético.
- Analizar la morfometría y la composición química del otolito *sagitta* de juveniles de *Mugil cephalus* en la Comunidad Valenciana para identificar y caracterizar los hábitats utilizados.
- Analizar la composición química del otolito *sagitta* para identificar patrones migratorios, en relación al uso de hábitat, de *Mugil cephalus* en humedales Mediterráneos de la Comunidad Valenciana, y de *Mugil liza* en humedales costeros del Océano Atlántico sudoccidental.
- Analizar la morfometría y la composición química del otolito *sagitta* para identificar potenciales stocks pesqueros de *Mugil cephalus* en la costa Mediterránea de la Comunidad Valenciana y de *Mugil liza* en la costa del Océano Atlántico sudoccidental.
- Evaluar la conectividad entre los humedales costeros estudiados en la Comunidad Valenciana y en el Océano Atlántico sudoccidental en relación a la presencia y utilización de los mismos por parte de *Mugil cephalus* y *Mugil liza*, respectivamente.

Capítulo 2

Áreas de estudio



Pescadores trabajando en la costa de Xiapu, Provincia de Fujian, China (Tugo Cheng, 2015)

Para cumplir con los objetivos propuestos para esta tesis se seleccionaron diferentes áreas de muestreo en la costa Atlántica suroccidental y en la costa Mediterránea de la Comunidad Valenciana. Las características de cada área y su importancia para este trabajo se detallan a continuación.

2.1. Áreas del Océano Atlántico sudoccidental

En la costa del Océano Atlántico sudoccidental se seleccionaron 4 áreas de estudio, una ubicada en la costa brasilera: Complejo Estuarino de Paranaguá (Estado de Paraná) y tres ubicadas en la costa bonaerense Argentina: Bahía Samborombón, Laguna Costera Mar Chiquita y Bahía San Blas (Figura 2.1).

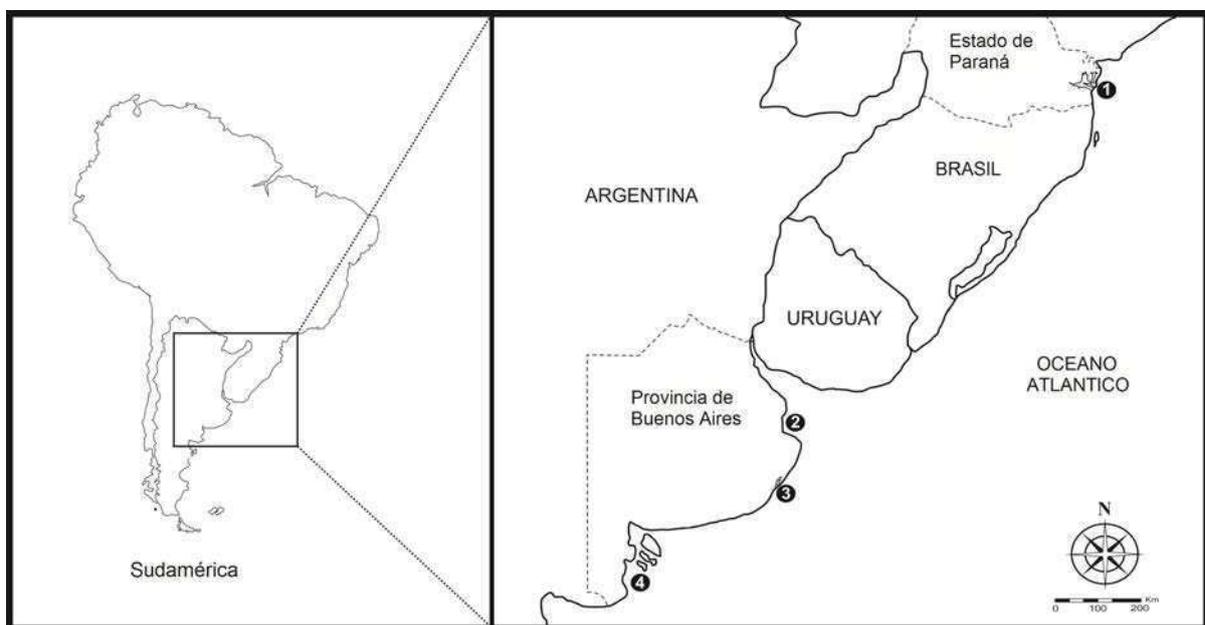


Fig. 2.1. Localización de las áreas de estudio en el Atlántico sudoeste: 1. Complejo Estuarino de Paranaguá, 2. Bahía Samborombón, 3. Laguna Costera Mar Chiquita, 4. Bahía San Blas.

2.1.1. Complejo Estuarino de Paranaguá (entre 25°16' - 25°34' S y 48°17' - 48°42' O)

Se encuentra situado en la costa del Estado de Paraná, Brasil y posee un área de 612 km² (Passos *et al.*, 2012). Se encuentra formado por dos cuerpos de agua principales: las Bahías Paranaguá y Antonina (260 km²), y las Bahías de Laranjeiras y Pinheiros (200 km²). Además, se conecta al mar mediante canales (Lana *et al.*, 2001) (Figura 2.2).

El sistema posee una gran diversidad de hábitats como manglares compuestos por diferentes especies de mangle (*Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*); espartillares salinos (*Spartina alterniflora*); arroyos; ríos; costas rocosas y restingas (Lana *et al.*, 2001). Alrededor de un 19% de los remanentes de Selva Atlántica Brasileira se encuentran

en este complejo (Marone *et al.*, 2005). El clima de la región es tropical de transición con marcada estacionalidad, con temporada de lluvia durante el verano y temporada seca durante el invierno (Passos *et al.*, 2012).

El complejo posee una alta diversidad biológica, considerándose un “hotspot” de biodiversidad por estar localizado en el sector más austral de la Reserva de la Biósfera de la Selva Atlántica Brasileira (Diegues y Diegues, 1995). Más de 300 especies de aves, gran número de mamíferos marinos, como el delfín gris *Sotalia fluviatilis*, y más 200 especies de peces han sido registradas en el área (Lana *et al.*, 2001; Passos *et al.*, 2012).

Muchas especies migratorias visitan el área de forma temporal, como ocurre con la lisa (*Mugil liza*) que utiliza el estuario para reproducción (Lana *et al.*, 2001). Otros mugílidos como la lisa blanca (*Mugil curema*) o la lisa conejo (*Mugil gaimardianus*) ha sido descritos como residentes del complejo (Corréa, 1987). Los mugílidos son el tercer género en importancia en el área, luego de *Anchoa* y *Cynoscion* (Passos *et al.*, 2012).

Las actividades que se desarrollan en el área son la agricultura, la actividad portuaria y pesquera, primordialmente la pesca artesanal (Marone *et al.*, 2005). Existen alrededor de 50 comunidades pesqueras en la zona (Lana *et al.*, 2001). Algunas especies se encuentran sobreexplotadas, como los camarones (*Penaeus schmitti*, *P. paulensis*, *P. brasiliensis* y *Xiphopenaeus kroyeri*) y el cangrejo de manglar (*Ucides cordatus*), pero siguen siendo el recurso pesquero más importante en la región (Lana *et al.*, 2001).

En las últimas décadas se ha intensificado el deterioro ambiental de la zona debido al uso de pesticidas para agricultura, la carga sedimentaria acarreada por deforestación, y los niveles de metales en agua y sedimento del desecho de aguas residuales de las áreas urbanas (Lana *et al.*, 2001; Marone *et al.*, 2005).

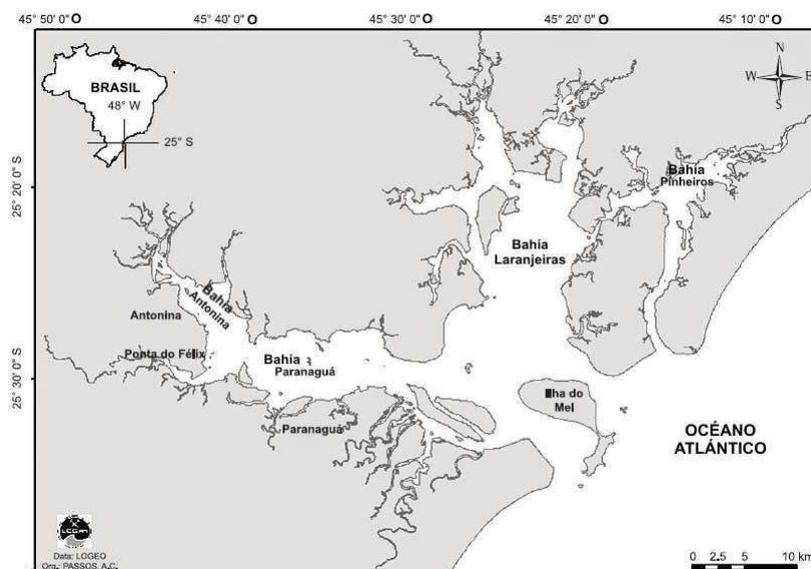


Fig. 2.2. Mapa del Complejo Estuarino de Paranaguá. Modificado de Passos *et al.* (2012).

2.1.2. Bahía Samborombón (entre 35°27' - 36°22' S y 56°45' - 56°35' O)

Este humedal costero está ubicado en el extremo sur de la Cuenca del Plata, es el humedal mixohalino más extenso de Argentina (244000 ha) (Figura 2.3). La Bahía es un ambiente de alta diversidad y baja pendiente a donde drenan sus aguas los ríos Salado y Samborombón y numerosos canales (Aliviador del Salado, 15, 9, A, 1 y 2), luego de atravesar gran parte de la pampa deprimida (Dangavs *et al.*, 1983; Yunes Núñez *et al.*, 2004; Volpedo *et al.*, 2005). Presenta un gradiente latitudinal de ambientes (Norte-Sur) que va desde las últimas estribaciones de la selva marginal o en galería, representada por especies de acacias mansas (*Sesbania punicea* y *Sesbania virgata*), aromos de la costa (*Mimosa bonplandii*) y sauce criollo (*Salix humboldtiana*) en la zona norte de la Bahía, hasta los canales de mareas, rías y cangrejales en la zona sur de la misma (Volpedo *et al.*, 2005). Además, existe un gradiente longitudinal (Oeste-Este) desde ambientes de pastizal pampeano, talaros y pajonales hasta ambientes estuarinos con neta influencia marina (intermareal y submareal) (Bertonatti y Corcuera, 2000; Volpedo *et al.*, 2005).

La diversidad en la bahía es muy amplia, representada por especies residentes y estacionales, tanto en el estuario como en las zonas costeras (Jaureguizar *et al.*, 2003). Numerosas aves migradoras utilizan el área para refugio y alimentación mientras permanecen en el verano austral, como el playerito rabadilla blanca (*Calidris fuscicollis*), la becasa de mar (*Limosa haemastica*), el chorlo pampa (*Pluvialis dominica*) y el playero rojizo (*Calidris canutus*), quien se encuentra clasificado como “En peligro” en la listas rojas de la UICN (Azpiroz *et al.*, 2012). Asimismo, esta extensa bahía alberga otra especie amenazada declarada como “En peligro”, al venado de las pampas (*Ozotocerus bezoarticus celer*) (Díaz y Ojeda, 2000). La ictiofauna está representada por especies estuarinas, marinas y dulceacuícolas (López *et al.*, 2001).

Las especies más abundantes son la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*), la corvina negra (*Pogonias cromis*), el córvalo (*Paralichthys brasiliensis*), la saraca (*Brevoortia aurea*), la lisa (*Mugil liza*) y el pejerrey (*Odontesthes* sp.) (Cousseau y Perrotta, 2000; Jaureguizar *et al.*, 2003; Solari, 2013).

Diferentes actividades se llevan a cabo en la bahía, como la cría de ganado bovino, la extracción de la conchilla, la caza y la pesca (Yunes Núñez *et al.*, 2004; Volpedo *et al.*, 2005). Esta última es la actividad más importante que se desarrolla en el área, realizándose de diferentes formas como pesca deportiva, recreativa, comercial y pesca de subsistencia (Gervasoni *et al.*, 2003). En este humedal se efectúa la pesca artesanal de *Mugil liza* más importante del país (González-Castro *et al.*, 2009). Juveniles de esta especie ingresan a la bahía durante primavera y verano para utilizarla como sitio de cría (Solari, 2013).

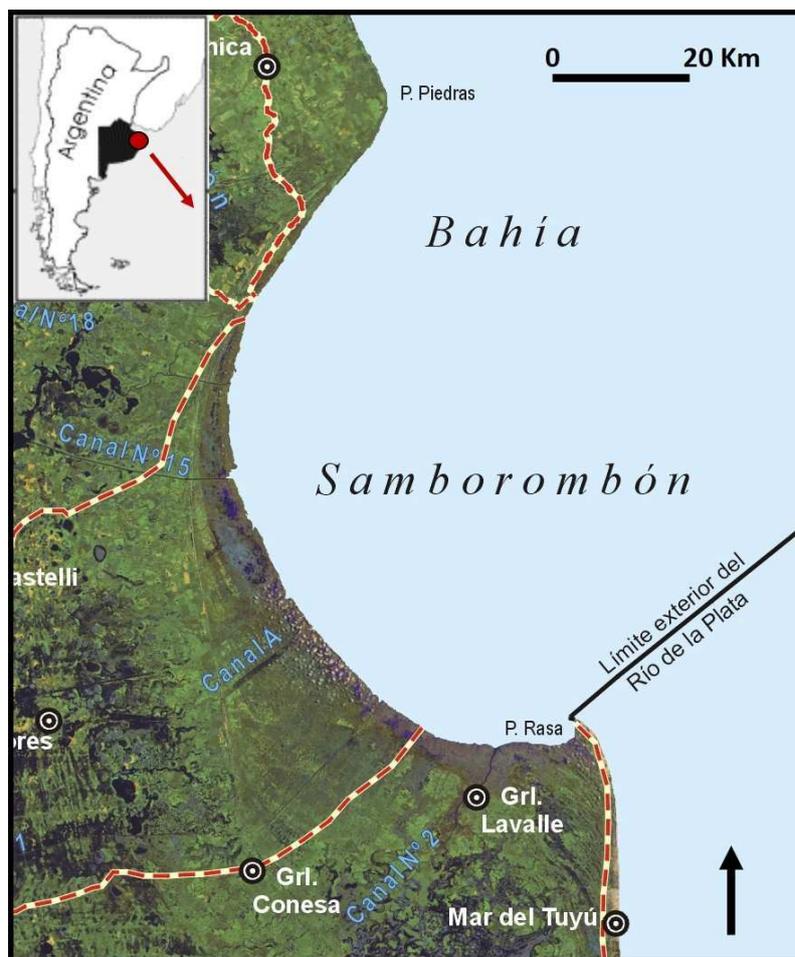


Fig. 2.3. Mapa de la Bahía Samborombón.

2.1.3. Laguna Costera Mar Chiquita (entre $37^{\circ}32'$ - $37^{\circ}45'$ S y $57^{\circ}19'$ - $57^{\circ}26'$ O)

Esta laguna costera se encuentra ubicada al sudoeste de la provincia de Buenos Aires, corresponde a un estuario de aguas poco profundas (0,5 - 3,0 m) (Figura 2.4), y está separada del mar mediante una línea litoral de dunas, y conectada mediante un canal de aprox. 6 km de longitud (Cousseau *et al.*, 2011). Posee un área de alrededor de 60 km², y puede dividirse en tres zonas que representan diferentes ambientes relacionados con un gradiente de salinidad: la Zona I, próxima a la desembocadura de la laguna en el mar (aguas mixo-eurihalinas y con gran influencia de las mareas); la Zona II, en la parte intermedia de la laguna (aguas mixo-mesohalinas); y la zona III, situada en el extremo norte de la misma (gran aporte de agua dulce, aguas mixo-oligohalinas) (González-Castro *et al.*, 2009). Esta laguna costera semiobturada es la más austral de este tipo en América del Sur (Cousseau *et al.*, 2011). Los campos que rodean el cuerpo de agua, se caracterizan por ser bajos e inundables frecuentemente por el desborde de la laguna y, en algunos sectores, conforman típicos ambientes de marisma (Iribarne, 2001).

Es un área con alta diversidad, registrándose más de 80 especies de aves, tanto marinas como costeras, que utilizan el área para reproducción, cría o área de paso (Iribarne, 2001; Mauco y Favero,

2004); además se observaron más de 30 especies ícticas (Cousseau *et al.*, 2011). Las especies de peces más representativas son la saraca (*Brevoortia aurea*), el pejerrey (*Odontesthes argentinensis*) y la lisa (*Mugil liza*), quienes utilizan la laguna para alimentarse, refugiarse y como sitio de cría (Alarcos y Etchegoin, 2010), y su presencia se encuentra estrechamente ligada a variables ambientales como temperatura y salinidad (Cousseau *et al.*, 2011).

La actividad predominante en el área circundante a la laguna es la cría extensiva de ganado y, en menor medida, la agricultura (Iribarne, 2001; Bó *et al.*, 2002). Además, se efectúan actividades recreativas y de pesca deportiva (Iribarne, 2001).

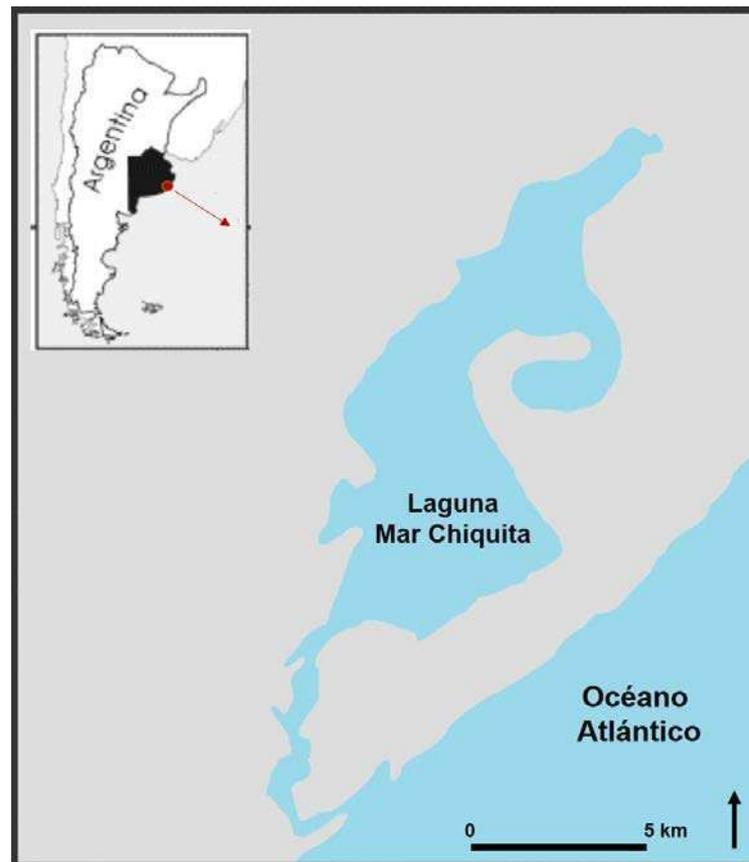


Fig. 2.4. Mapa de la Laguna Costera Mar Chiquita.

2.1.4. Bahía San Blas (entre 40°20' - 40°59' S y 61°29' - 62°50' O)

Esta bahía se ubica al sur de la provincia de Buenos Aires, y junto con la Bahía Anegada forman la Reserva Natural de Uso Múltiple Bahía San Blas de unos 4000 km² de extensión (Fiori y Carbone, 2006). La Bahía San Blas se encuentra al sur de dicha Reserva y comprende la denominada isla Jabalí, limitada por dos canales de marea someros, los llamados arroyos Jabalí y del Guanaco (Cuadrado y Gómez, 2012) (Figura 2.5). La desembocadura del arroyo del Guanaco se encuentra obstruida por cordones de arena (Isla y Espinosa, 2005). Se observan extensas planicies intermareales fangosas, mayormente vegetadas por espartillares (*Spartina alterniflora*), así como depósitos

de rodado calcáreo, y playas arenosas cubiertas en parte por de médanos (Zalba *et al.*, 2008; Cuadrado y Gómez, 2012). Posee características estuariales con intensa acumulación de sedimentos (Llompart, 2011).

Posee un importante valor ecológico, ya que se trata de un área donde habitan gran número de mamíferos marinos, aves y peces tanto óseos como elasmobranqueos. Es el área reproductiva de la Gaviota Cangrejera (*Larus atlanticus*), especie endémica de la costa Atlántica sudoccidental que se encuentra declarada como “Vulnerable” por la IUCN (Petracci y Delhey, 2005; Llompart, 2011); así como sitio de paso o invernada de especies migradoras como la becasa de mar (*Limosa haemastica*) y el playerito rabadilla blanca (*Calidris fuscicollis*). Además, existe en la bahía un apostadero de reproducción del lobo marino de un pelo (*Otaria flavescens*).

A pesar que la zona está muy escasamente poblada y los accesos son limitados, la economía de su población está estrechamente vinculada a la pesca deportiva y artesanal (Chebez, 2005; Llompart, 2011). Los recursos pesqueros más importante son el gatuzo (*Mustelus schmitti*), un pequeño tiburón endémico de las costas del Atlántico Sur, el pejerrey (*Odonsthestes argentinensis*) y la pescadilla de red (*Cynoscion guatucupa*). Muchas especies ícticas utilizan el área de forma permanente, mientras otras se acercan a la costa, en las estaciones cálidas, con fines reproductivos (Llompart, 2011). De esta forma, cambios en la temperatura del agua de mar motivarían la llegada de especies de otras zonas de la plataforma (Llompart, 2011). La lisa (*Mugil liza*) no es una especie de interés pesquero en la zona, sino que se utiliza como carnada para pesca deportiva (Llompart, 2011).

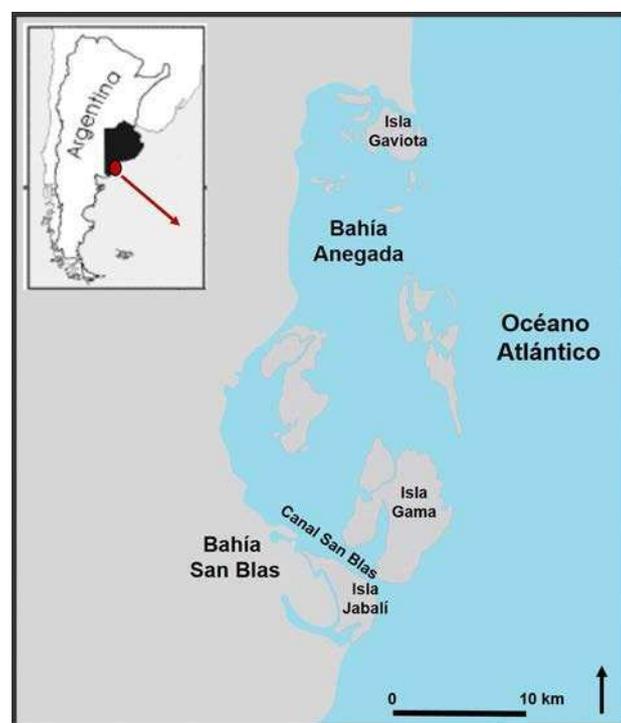


Fig. 2.5. Mapa de la Bahía San Blas.

2.2. Áreas de la costa Mediterránea de la Comunidad Valenciana

En la costa del Mar Mediterráneo se seleccionaron 3 humedales representativos en la Comunidad Valenciana (Figura 2.6).



Fig. 2.6. Localización de las áreas de estudio en la costa de la Comunidad Valenciana: Parque Natural del Delta del Ebro, Parque Natural de L'Albufera, Parque Natural de las Salinas de Santa Pola (estrellas). En rojo se delimita el golfo de Valencia.

2.2.1. Parque Natural del Delta del Ebro (40°38' N - 0°44' E)

Esta área natural se encuentra ubicada en el extremo norte del Golfo de Valencia, que se extiende desde el Delta del Ebro hasta el Cap de Sant Antoni (Figura 2.6). El Parque corresponde a una llanura aluvial de unos 330 km² de extensión que se proyecta a modo de cuña hacia el mar (Figura 2.7), conformando en su tramo final uno de los deltas más extensos del Mediterráneo (Barceló y Petrovic, 2011). Posee un área central de forma triangular en la que se unen, mediante estrechas barras de arena, dos lóbulos, uno en el hemidelta Norte, la Punta del Fangar y otro, bien desarrollado, en el hemidelta Sur, la Punta de la Banyà (Jiménez *et al.*, 1997). Además, a lo largo de la costa es posible encontrar diversas lagunas someras (Mañosa *et al.*, 2001). Cuenta con una superficie terrestre de 7806 ha que incluye 2578 ha de reservas naturales, y una superficie marina de 470 ha. Posee una alta diversidad ecológica con más de 300 especies de aves y más de 500 especies de

plantas (Sanchez-Arcilla *et al.*, 1998). Asimismo, la ictiofauna continental es muy importante, y está representada por alrededor de 50 especies (Curcó y Vidal, 2006; Barceló y Petrovic, 2011). En la zona de estuario pueden encontrarse diversas especies de peces autóctonas y protegidas como el esturión común (*Acipenser sturio*), el sábalo (*Alosa alosa*), el espinoso (*Gasterosteus aculeatus*), y el pez fraile (*Salaria fluviatilis*) endémico del Mar Mediterráneo (Garriga Sala, 2008). Las lagunas y bahías de este parque natural poseen una elevada productividad que ha permitido el desarrollo de una importante explotación pesquera, basada principalmente en la captura de la lubina (*Dicentrarchus labrax*), la dorada (*Sparus aurata*), la carpa común (*Cyprinus carpio*), el pardete (*Mugil cephalus*), el morragute (*Liza ramada*), el lenguado común (*Solea solea*) y la anguila (*Anguilla anguilla*) (Curcó y Vidal, 2006). Las aguas continentales del delta y las bahías tienen una gran importancia como zona de cría y desarrollo para algunas de las especies comerciales (Barceló y Petrovic, 2011).

La actividad más relevante del Parque es el cultivo de arroz que ocupa un 65% de su superficie total (Montes *et al.*, 2007). Los arrozales producen impacto causando problemas en la conservación del área debido a que generan eutrofización y cambios en el régimen hidrológico local. Otras actividades desarrolladas son la caza, la pesca, la acuicultura y el turismo (Montes *et al.*, 2007).

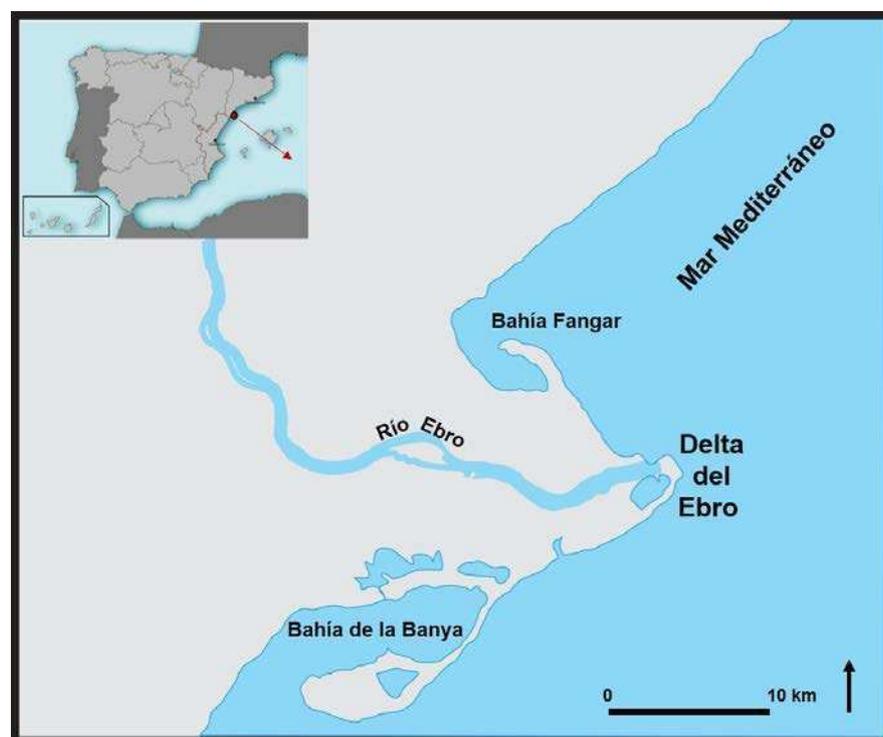


Fig. 2.7. Mapa del Parque Natural del Delta del Ebro.

2.2.2. Parque Natural de L'Albufera (39°20' N - 00°21' O)

El Parque Natural de l'Albufera de Valencia (Figura 2.8) es el segundo humedal en importancia, después del Delta del Ebro, en la costa Mediterránea; y uno de los más relevantes de la Península Ibérica (Benedito Durà *et al.*, 2011). Consta de una superficie de 21120 ha, y está ubicado en la parte suroriental de la plana de Valencia, a 10 km de la ciudad homónima. Se encuentra separado del Mar Mediterráneo por una restinga, que se extiende 30 km, formada a partir de la sedimentación de materiales procedentes de los ríos y ramblas que desembocan al norte la costa (Benedito Durà *et al.*, 2011; García Suikkanen, 2011). Esta área natural cuenta con numerosos hábitats protegidos, entre los que se destacan 4 ambientes principales: la restinga, el marjal, la albufera y el monte. L'albufera presenta un lago oligohalino de una extensión de 2837 ha (el mayor de la península Ibérica); su profundidad varía entre 0,5 y 2 metros (Romo Pérez *et al.*, 2008). El mismo se comunica al Mar Mediterráneo mediante tres canales denominados “golas” (la del Perelló, la del Perellonet y la de Pujol). Estas golas regulan el flujo de agua mediante compuertas (Soria *et al.*, 2002) para la inundación de terrenos limítrofes (aprox. 18000 ha) dedicados al cultivo del arroz (García Suikkanen, 2011).

En el Parque Natural hay registradas unas 33 especies de peces que habitan tanto el lago como los manantiales (“ullals”) y los barrancos. Sólo en la laguna pueden encontrarse 23 especies (Roselló Verger, 1995; Blanco y Romo, 2006). Entre éstas se encuentran el fartet (*Aphanius iberus*), endémico de España, y la anguila (*Anguilla anguilla*), especie de gran importancia comercial. Ambas especies de peces son emblemáticas del área protegida, pero han sufrido durante el siglo XX una disminución poblacional debido a la contaminación proveniente de la industria y los pesticidas, y la sobrepesca (Blanco y Romo, 2006). En la actualidad ambas especies han sido incluidas en las listas rojas de la UICN (fartet - “En peligro”, y anguila - “En peligro crítico”) (Chasco, 2012; Jacoby y Gollock, 2014).

Seis de las siete especies de mugílidos presentes en el Mar Mediterráneo se encuentran en esta área Natural. La lisa *Oedalechilus labeo* es la única que se ha observado sólo en costas marinas, mientras que las restantes especies pueden encontrarse, estacionalmente en el lago, donde ingresan para desarrollarse. La más abundante en el área es *Mugil cephalus* (Blanco y Romo, 2006). En los últimos años los mugílidos han aumentaron significativamente su representación en la Albufera, ya que se trata de especies resistentes a la eutrofización que sufren los cuerpos de agua de este parque y debido a sus hábitos de alimentación omnívora (Blanco *et al.*, 2003).

Los usos tradicionales de Parque Natural se basan en la pesca, desarrollada desde el siglo XIII, y el cultivo de arroz, desarrollado desde el siglo XVIII. Ambas actividades son importantes en tradición y por su aporte económico al sector (Sánchez, 2008).

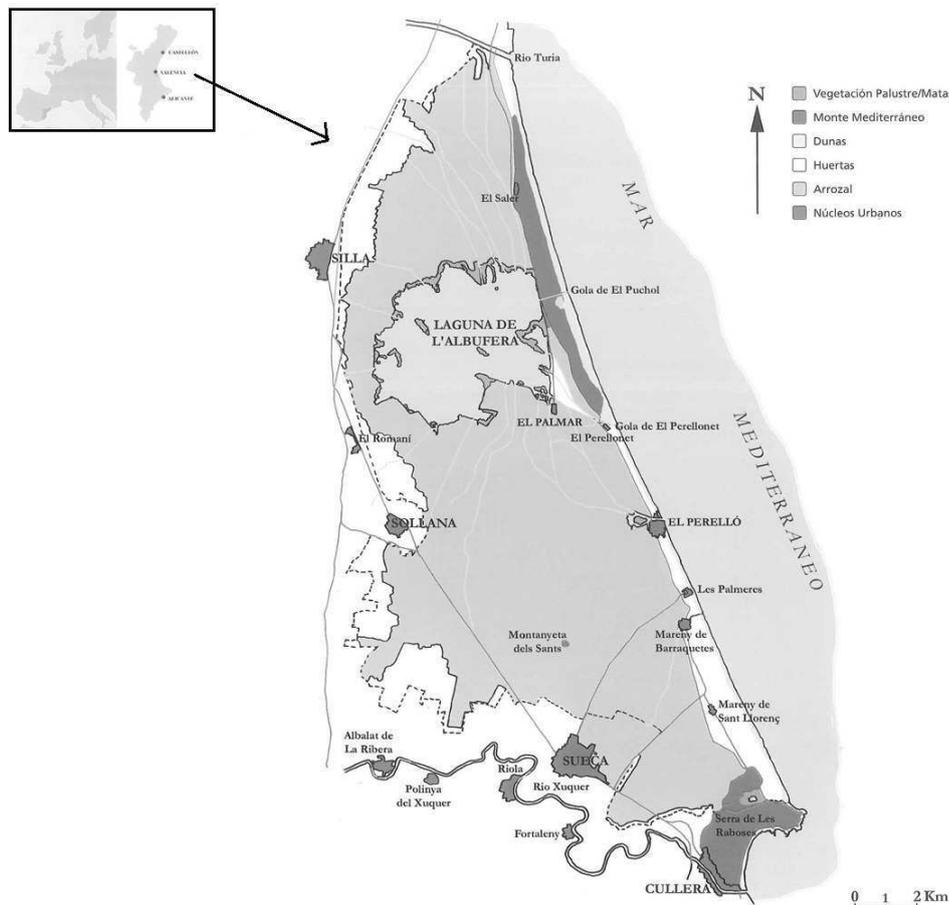


Fig. 2.8. Mapa del Parque Natural de L'Albufera. Modificado de Dies *et al.* (1999).

2.2.3. Parque Natural de las Salinas de Santa Pola (38°08' N - 00°37' O)

Este área posee una superficie total de unas 2500 ha repartidas en zona litoral de la Bahía de Santa Pola (Figura 2.9) y, junto con el Hondo, forma parte de una antigua zona húmeda conocida como la albufera de Elche (Figura 2.10). Ambos parques forman una superficie de 4850 ha. Su sistema hídrico está formado por una red de canalizaciones, charcas y embalses altamente modificados por el hombre (Figura 2.9), además de poseer zonas de cultivo y saladar (Belda Antolí *et al.*, 2008). Este parque posee un gran valor ambiental, debido al número de formaciones y especies vegetales como la espigadilla de mar (*Crucianella maritima*) en las dunas litorales, diversas especies de sosas (como *Halocnemum strobilaceum*) y juncos (*Juncus* sp.) en los saladares. Posee un endemismo vegetal, la saladilla de Santa Pola (*Limonium santapolense*), exclusivo de esta localidad (Capdepón Frías, 2010). También se observan colonias de aves de gran interés, como el flamenco común (*Phoenicopterus roseus*), que son atraídas a esta zona por el agua y la comida que les proporciona (Capdepón Frías, 2010).

Las especies de peces presentes más destacables por su importancia económica son los mojoles (*Mugil cephalus*, *Liza ramada*, *Liza aurata* y *Oedalechilus labeo*). Estas especies poseen gran importancia sociocultural en la zona, realizándose hasta la actualidad un evento cultural de alta relevancia lla-

mado “Mujolada” (Belda Antolí *et al.*, 2008). Además, las Salinas de Santa Pola sustentan al fartet (*Aphanius iberus*) y a la anguila (*Anguilla anguilla*) (Belda Antolí *et al.*, 2008). La explotación salina es el recurso económico fundamental en esta área natural.



Fig. 2.9. Mapa del Parque Natural de las Salinas de Santa Pola.



Fig. 2.10. Mapa de la albufera de Elche (comprende el Parque Natural El Hondo y el Parque Natural Salinas de Santa Pola).

Capítulo 3

Identificación de mugílidos mediante el uso de la morfología del
otolito *sagitta*



La vuelta de la pesca: remolcando la barca (Joaquín Sorolla, 1894)

3.1. Introducción

La familia Mugilidae, posee una gran importancia comercial especialmente en pesquerías artesanales, dando sustento a comunidades locales como alimento o cebo para la pesca (Marin *et al.*, 2003; Gallardo-Cabello *et al.*, 2012). Además, diferentes especies son utilizadas en acuicultura (Hsu *et al.*, 2009; Ibáñez *et al.*, 2012) principalmente por el valor de sus huevas (Chang *et al.*, 2004a).

En el Océano Atlántico nororiental y el Mar Mediterráneo se pueden encontrar 8 especies de mugílidos, 7 de ellas se encuentran de forma permanente en dicha región (Anexo I). *Chelon labrosus*, *Liza aurata*, *Liza ramada*, *Liza saliens*, *Mugil cephalus* y *Oedalechilus labeo* poseen una amplia distribución; mientras que *Liza carinata*, habita la costa Este del Mediterráneo, llegada a través del Canal de Suez desde el Mar Rojo, donde se distribuía originalmente (Thomson, 1997). La especie restante *Liza haematocheila* (Temminck y Schelegel, 1845), es nativa del Mar Negro, y aunque se han registrado algunas observaciones en el Mar Mediterráneo, en las costas de Turquía, se cree que esta especie ha ingresado a través del Mar de Marmara (Kaya *et al.*, 1998; Golani *et al.*, 2002; Eschmeyer y Fong, 2016). Sin embargo, no existe evidencia clara que dicha especie posea una población establecida en el Mar Mediterráneo (Minos *et al.*, 2010).

En el Océano Atlántico sudoccidental *Mugil liza* es la única especie presente de forma permanente (González-Castro *et al.*, 2008). La lebrancha o lisa blanca *Mugil curema* puede encontrarse ocasionalmente en aguas argentinas, pero su distribución llega hasta Brasil (González-Castro *et al.*, 2006; Heras *et al.*, 2006; Heras *et al.*, 2009; Thomson, 1997) (Anexo I).

La diferenciación de especies de esta familia es muy importante tanto para el manejo pesquero como para estudios tróficos ya que son presas de diferentes especies de ictiófagos (Mikkelsen, 2007; Veen *et al.*, 2012; Gil *et al.*, 2013). Sin embargo, su identificación taxonómica es muy dificultosa, debido a las grandes similitudes en su morfología externa y sus caracteres merísticos (cantidad de espinas, radios de las aletas dorsal y anal, entre otros) usualmente utilizados para caracterizar especies de algunas familias. Existe un gran solapamiento en los rangos de los caracteres distintivos de las especies de esta familia (Whitfield *et al.*, 2012). Por esto, el uso de otolitos puede significar una herramienta complementaria a los métodos tradicionalmente utilizados para la identificación de especies de Mugilidae.

El objetivo que se plantea en este capítulo es contribuir a la identificación de mugílidos del Océano Atlántico sudoccidental y nororiental, y del Mar Mediterráneo, mediante el uso de características morfológicas del otolito *sagitta* de cada especie. Además, para aquellas especies del Mar Mediterráneo y del Océano Atlántico nororiental se ha propuesto la confección de una clave utilizando al otolito *sagitta* como herramienta de identificación. Esto resulta de gran importancia para la diferenciación de especies que comparten su área de distribución, dado que las claves para identificarlas suelen ser escasas (Trewavas e Ingham, 1972; Fisher *et al.*, 1987; Thomson, 1997; Harrison, 2002).

3.2. Materiales y Métodos

Para la realización de este trabajo se obtuvieron individuos de *Chelon labrosus* (n = 4); *Liza aurata* (n = 7); *Liza ramada* (n = 6); *Liza saliens* (n = 6) y *Mugil cephalus* (n = 6), en el Delta del Ebro (España); especímenes de *Mugil liza* (n = 13) provenientes de la costa bonaerense (Argentina); y ejemplares de *Mugil curema* (n = 13) del Mar Caribe venezolano (Figura 3.1). Todos los individuos son procedentes de capturas artesanales de pescadores locales. Luego de la captura, los ejemplares fueron medidos (longitud total - LT) y se seleccionaron individuos adultos (LT mayor a 30 cm). Se extrajeron los otolitos *sagittae*, se secaron y se guardaron en viales plásticos para su posterior descripción. Las especies *Liza carinata* y *Oedalechilus labeo* no pudieron ser capturadas *in situ*, por lo que se utilizaron fotografías de la base de datos AFORO (Lombarte *et al.*, 2006) para el análisis de características de sus otolitos (n = 5, ID: 9460-64; y n = 1, ID: 8142, respectivamente). *Liza haematocheila* no fue incluida en este trabajo ya que se trata de una especie rara en el área de estudio seleccionada por lo que no fue posible conseguir ejemplares de otolitos para su análisis.



Fig. 3.1. Mapa donde se muestran las tres zonas de procedencia de las especies estudiadas: Delta del Ebro en España (estrella amarilla), costa bonaerense Argentina (estrella verde) y Mar Caribe Venezolano (estrella roja).

Se describió la morfología general de los otolitos siguiendo el criterio propuesto por Tuset *et al.* (2008). Los caracteres utilizados fueron: forma del otolito, tipo de *sulcus*, tipo de *cauda*, regiones anterior y posterior, y márgenes dorsal y ventral. La clasificación para tipos de *cauda* se detalla a continuación: recta (ángulo = 0°); curvada con cuatro subdivisiones: suavemente curvada (ángulo < 30°), fuertemente curvada (ángulo entre 30 y 60°), marcadamente curvada (ángulo entre 60 y 100°) y rizada (ángulo > 100°); o sinuosa (Figura 3.2) (Tuset *et al.*, 2008). El espesor de los otolitos fue medido para aquellos individuos capturados *in situ*, y es presentado como un porcentaje en relación a la longitud total del otolito.

Se ha desarrollado en esta tesis, para profundizar las comparaciones, un nuevo índice: el índice de centralidad del *sulcus*: $CS = MS$ (distancia desde el margen superior de la *cauda* al margen dorsal del otolito) / AO (ancho total del otolito) (Figura 3.3). Este índice representa la posición relativa del *sulcus* en relación al eje antero-posterior del otolito. Un *sulcus* centrado tiene un $CS = 0,50$, un $CS < 0,50$ representa un *sulcus* desplazado hacia el margen dorsal y un $CS > 0,50$ representa un *sulcus* desplazado hacia el margen ventral. Este índice ha sido desarrollado como otra característica distintiva para la diferenciación de especies. Las medidas del otolito fueron registradas mediante el programa de procesamiento de imágenes Image Pro Plus®.

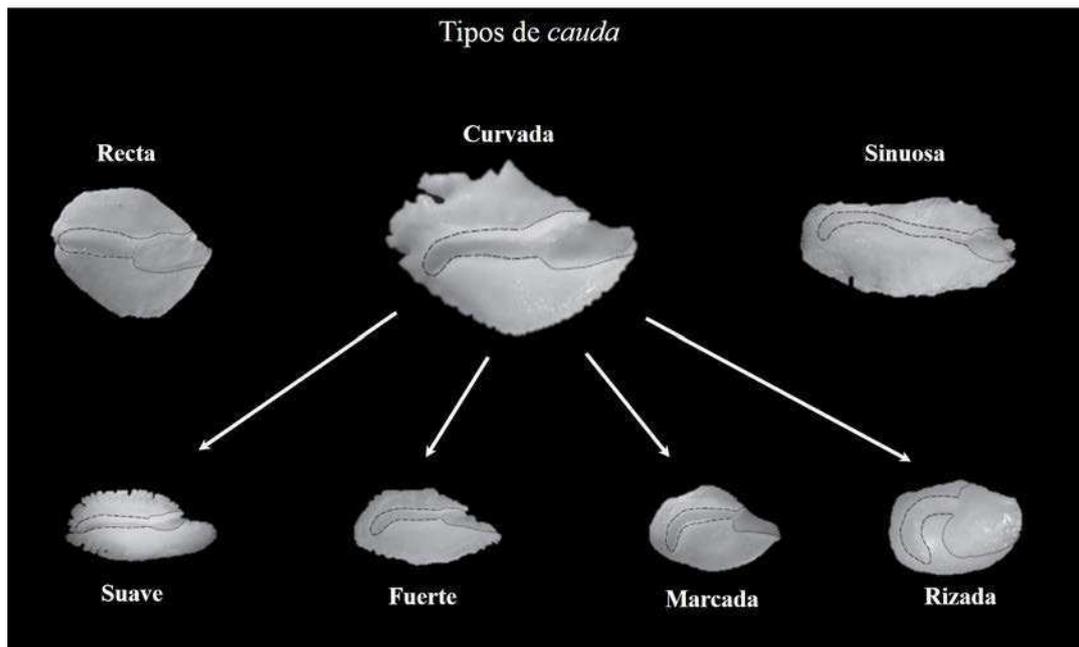


Fig. 3.2. Clasificación de los diferentes tipos de *cauda* (modificado de Tuset *et al.* (2008).

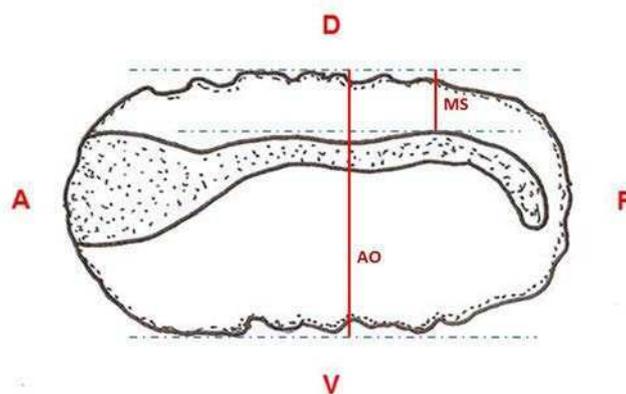


Fig. 3.3. Esquema de las medidas registradas para calcular el índice de centralidad del *sulcus* (CS): MS = distancia desde el margen superior de la *cauda* al margen dorsal del otolito; AO = ancho total del otolito.

3.3. Resultados

3.3.1. Morfología general del otolito *sagitta* de Mugilidae

El patrón general del otolito sacular de la familia Mugilidae, basado en las 9 especies analizadas, se presenta a continuación: el *sagitta* tiene forma rectangular a oblonga y presenta márgenes irregulares con protuberancias ubicadas irregularmente. Esta estructura es comprimida lateralmente y más larga que ancha. Presenta un *sulcus acusticus* heterosulcoideo, ostial y mediano a supramediano. El *sulcus* está formado por un *ostium* con forma de embudo y una *cauda* tubular cerrada hacia el margen posterior. La *cauda* es dos a tres veces más larga que el *ostium*. La región anterior del otolito presenta un rostro muy corto y ancho, un antirostro no definido o ausente y una exsutura relativamente amplia.

3.3.2. Morfología de los otolitos de Mugílidos del Mar Mediterráneo y del Océano Atlántico nororiental

Chelon labrosus (Risso, 1827)

Nombre vulgar: Cast: Lisa, Corcón; Cat: Llista vera, Llista calua blanca; Ing: Thicklip grey mullet; Fra: Mullet lippu.

La forma general de la *sagitta* es rectangular. Los márgenes dorsal y ventral son irregulares (Figura 3.4 a,b). La región anterior es redondeada a angulosa, y la región posterior es redondeada a chata irregular (Figura 3.4 a,b).

La cara interna presenta una depresión. El *sulcus acusticus* es heterosulcoideo, ostial y de posición supramedia. El *ostium* tiene forma de abanico o embudo, es poco profundo y rugoso. La *cauda* es tubular y curvada fuertemente en su parte distal hacia el borde ventral, finaliza cerca del margen posterior y posee una longitud mayor tres veces el largo del *ostium* (Figura 3.4a,b). El índice CS es 0,27.

La cara externa es lisa y cóncava (Figura 3.4 c). El espesor del otolito representa 15.4% de la longitud total del otolito (Figura 3.4 d,e).

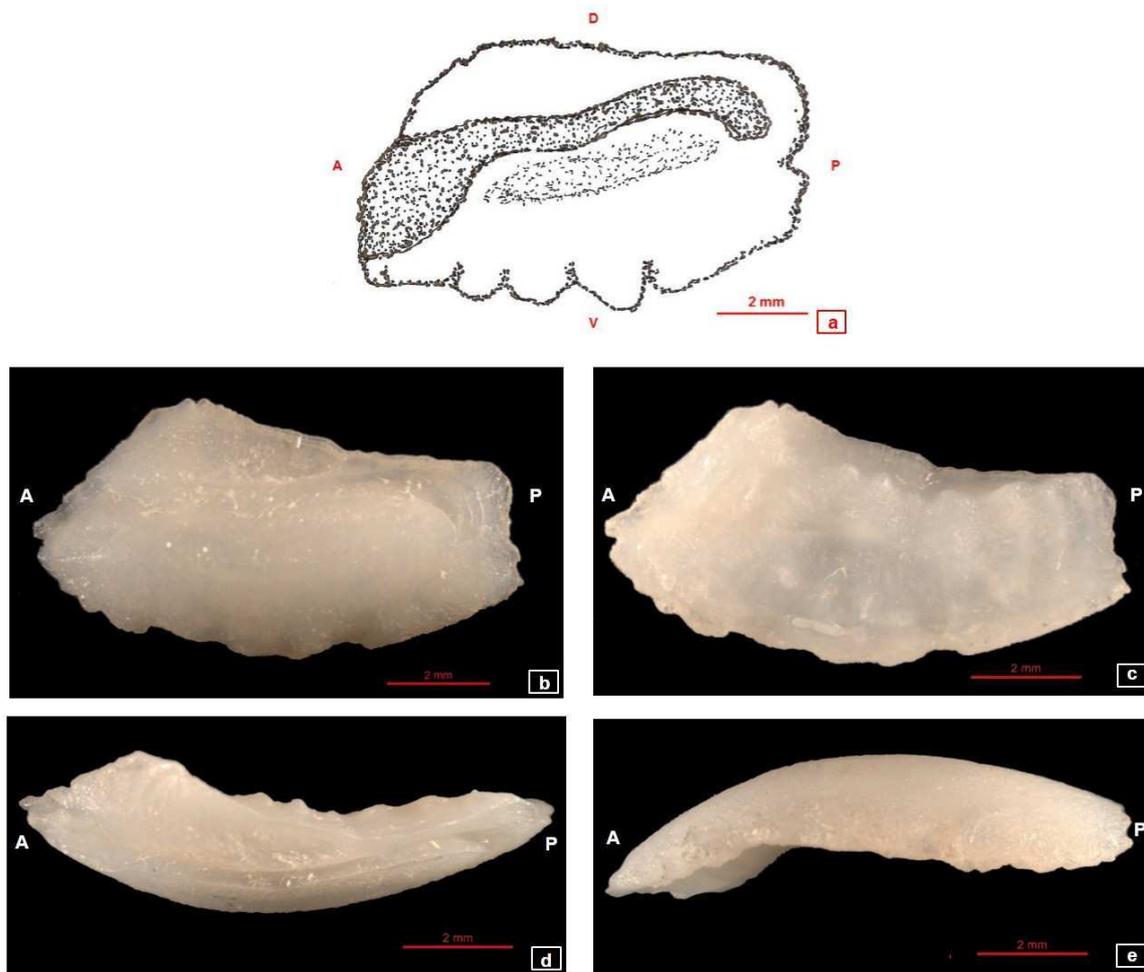


Fig. 3.4. Otolito *sagitta* derecho de *Chelon labrosus* (43,3 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.

Liza aurata (Risso, 1810)

Nombre vulgar: Cast: Galupe; Cat: llissa galta-roja, llissa galtroj; Ing: Golden grey mullet; Fra: Mulet doré.

La forma general de la *sagitta* es rectangular a oblonga. Los márgenes dorsal y ventral son irregulares (Figura 3.5 a,b). En el margen ventral pueden encontrarse concreciones calcáreas que determinan escotaduras de diferente grado de profundidad. La región anterior es redondeada a angulosa, y la región posterior es redondeada a irregular (Figura 3.5 a,b).

En la cara interna el *sulcus acusticus* es heterosulcoideo, ostial y de posición supramedia. El *ostium* tiene forma de abanico o embudo, es poco profundo y rugoso. La *cauda* es tubular y curvada fuertemente en su parte distal hacia el borde ventral, finaliza cerca del margen posterior y posee una longitud mayor al doble del largo del *ostium* (Figura 3.5a,b). El índice CS es 0,17.

La cara externa es lisa y cóncava (Figura 3.5 c). El espesor del otolito representa 13,3% de la longitud total del otolito. (Figura 3.5 d,e).

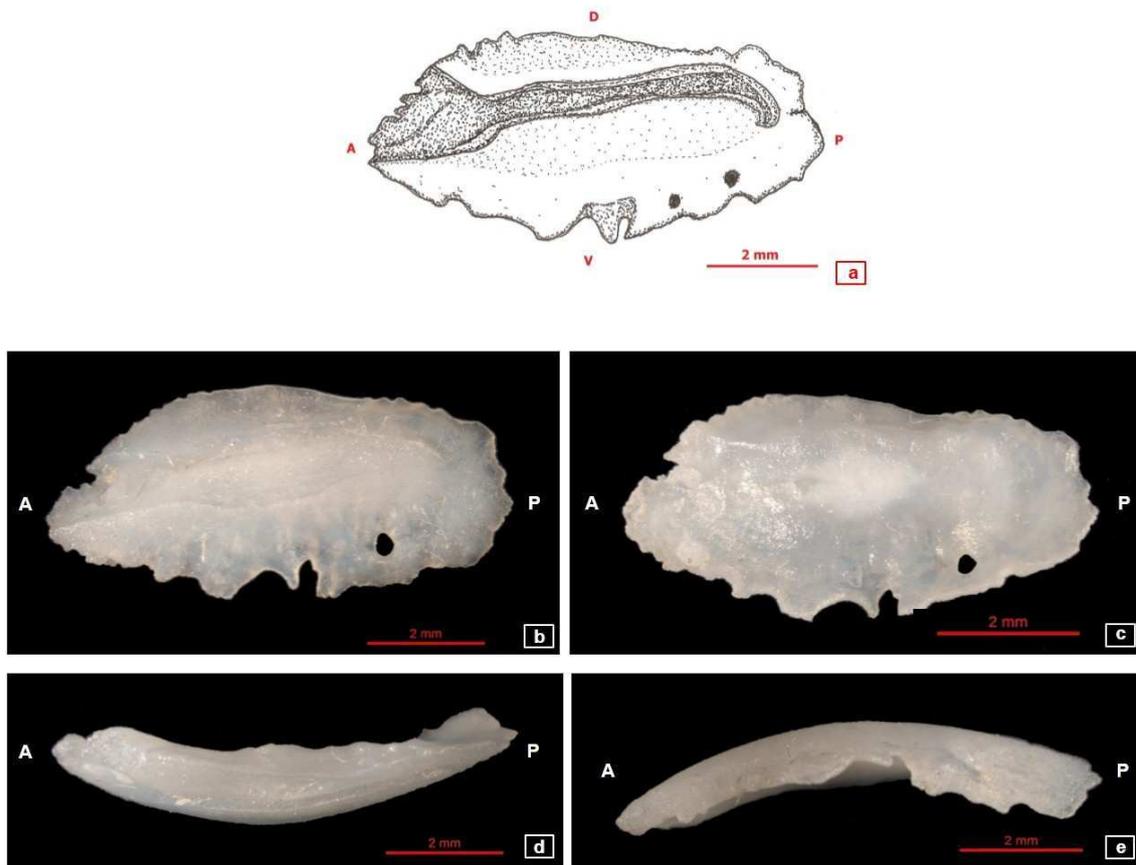


Fig. 3.5. Otolito *sagitta* derecho de *Liza aurata* (32,2 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.

Liza carinata (Valenciennes, 1836)

Nombre vulgar: Cast: Lisa errante; Ing: Keeled mullet; Fra: Mulet caréné.

En la figura 3.6 se ilustra la morfología y estructura del otolito de esta especie que se detallan a continuación. La forma general del *sagitta* es rectangular. Los márgenes dorsal y ventral son irregulares. La región anterior es angulosa, y la región posterior es redondeada.

En la cara interna el *sulcus acusticus* es heterosulcoideo, ostial y de posición supramedia. El *ostium* tiene forma de abanico o embudo, es poco profundo y rugoso. La *cauda* es tubular y fuertemente curvada en su parte distal hacia el borde ventral; finaliza cerca del margen posterior y posee una longitud mayor al doble del largo del *ostium*. El índice CS es 0,28.

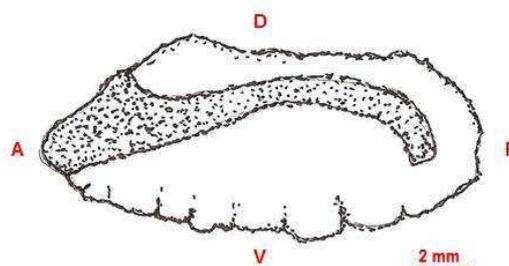


Fig. 3.6. Dibujo de la cara interna del otolito *sagitta* de *Liza carinata* (N/A LT).

Liza ramada (Risso, 1810)

Nombre vulgar: Cast: Morragute; Cat: Sama, caluga, llisa calua negra; Ing: Thinlip grey mullet; Fra: Mulet porc.

La forma general de la *sagitta* es rectangular. Los márgenes dorsal y ventral son irregulares (Figura 3.7 a,b). El primero es variable y puede llegar a ser sinuoso. El último puede presentar marcadas concreciones calcáreas (Figura 3.7 a,b). La región anterior es redondeada a irregular, y la región posterior es redondeada a angulosa (Figura 3.7 a,b).

En la cara interna el *sulcus acusticus* es heterosulcoideo, ostial y de posición supramedia. El *ostium* tiene forma de abanico o embudo, es poco profundo y rugoso. La *cauda* es tubular y curvada marcadamente en su parte distal hacia el borde ventral; finaliza cerca del margen posterior y posee una longitud mayor a tres veces el largo del *ostium* (Figura 3.7 a,b). El índice CS es 0,20.

La cara externa es lisa y cóncava (Figura 3.7 c). El espesor del otolito representa 12,2% de la longitud total del otolito (Figura 3.7 d,e).

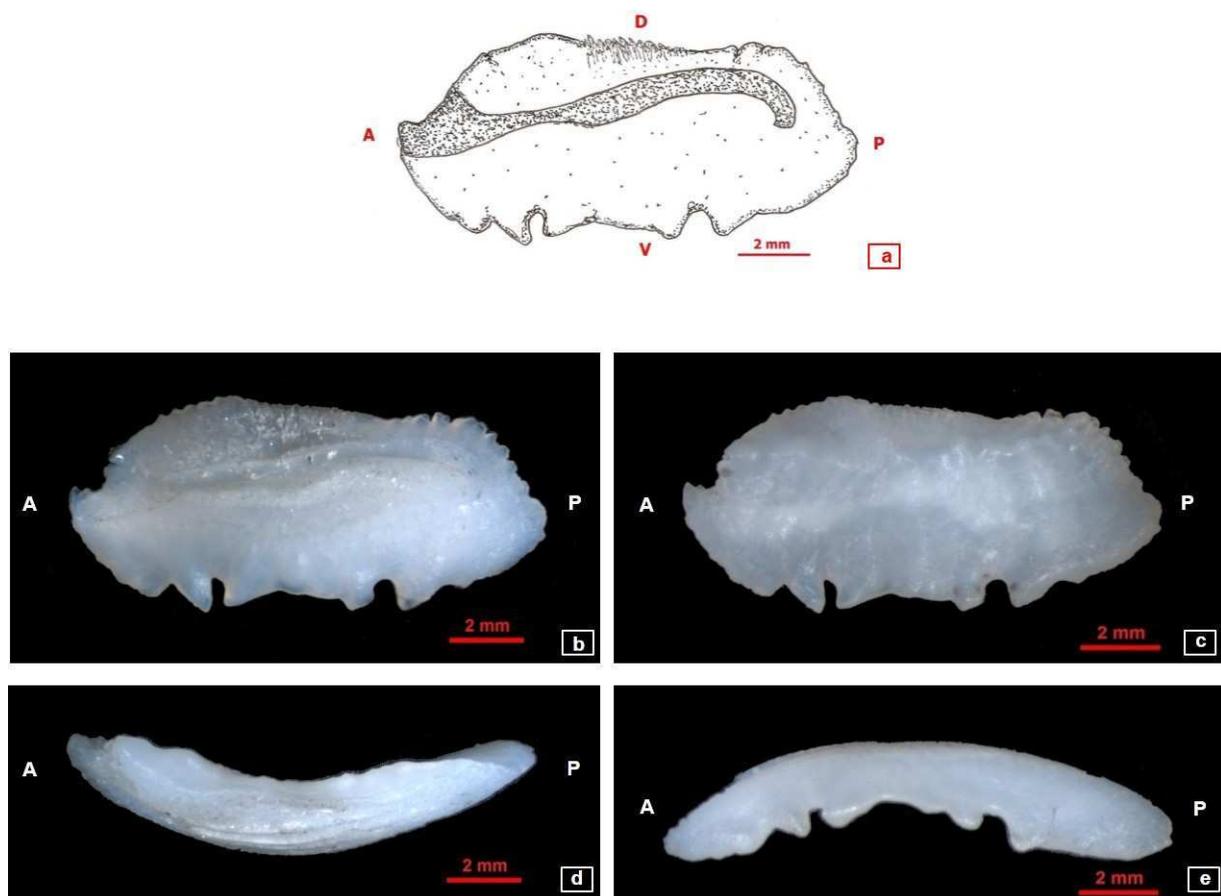


Fig. 3.7. Otolito *sagitta* derecho de *Liza ramada* (50,3 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.

Liza saliens (Risso, 1810)

Nombre vulgar: Cast: Galúa; Cat: llissa de cap chiquet, llissa fusany; Ing: Leaping mullet ; Fra : Mulet sauteur.

La forma general de la *sagitta* es rectangular. Los márgenes dorsal y ventral son irregulares a sinuosos (Figura 3.8 a,b). La región anterior es redondeada a irregular, y la región posterior es redondeada a chata (Figura 3.8 a,b).

La cara interna presenta una depresión areal paralela a la porción recta de la *cauda*. El *sulcus acusticus* es heterosulcoideo, ostial y de posición supramedia. El *ostium* tiene forma de abanico o embudo, es poco profundo y rugoso. La *cauda* es tubular y curvada marcadamente en su parte distal hacia el borde ventral; finaliza cerca del margen posterior y posee una longitud mayor al doble del largo del *ostium* (Figura 3.8a,b). El índice CS es 0,13.

La cara externa es lisa y cóncava (Figura 3.8 c). El espesor del otolito representa 13,9% de la longitud total del otolito (Figura 3.8 d,e).

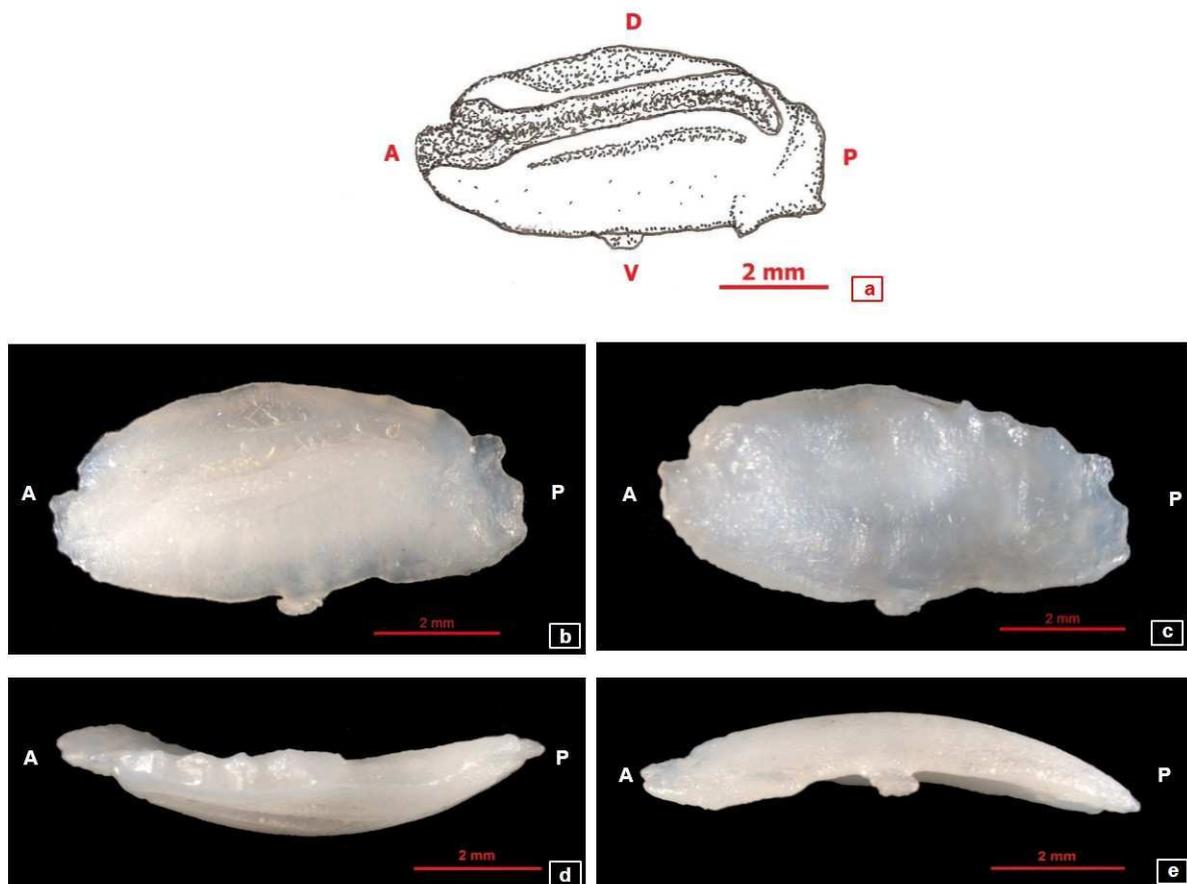


Fig. 3.8. Otolito *sagitta* derecho de *Liza saliens* (32,1 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.

Mugil cephalus (Linnaeus, 1758)

Nombre vulgar: Cast: Pardete; Cat: cabeçut, llisa cabuda; Ing: Flathead grey mullet; Fra: Mullet à grosse tete.

La forma general de la *sagitta* es rectangular. Los márgenes dorsal y ventral son irregulares con gran variabilidad (Figura 3.9 a,b). La región anterior es corta y marcadamente angulosa, y la región posterior es chata a redondeada (Figura 3.9 a,b).

En la cara interna el *sulcus acusticus* es heterosulcoideo, ostial y de posición media a supramedia. El *ostium* tiene forma de abanico o embudo, es poco profundo y rugoso. La *cauda* es tubular recta o suavemente curvada, su longitud es aproximadamente el doble del largo del *ostium* (Figura 3.9 a,b). El índice CS es 0,23. La cara externa es lisa y cóncava (Figura 3.9 c). El espesor del otolito representa 10,5 % de la longitud total del mismo (Figura 3.9 d,e).

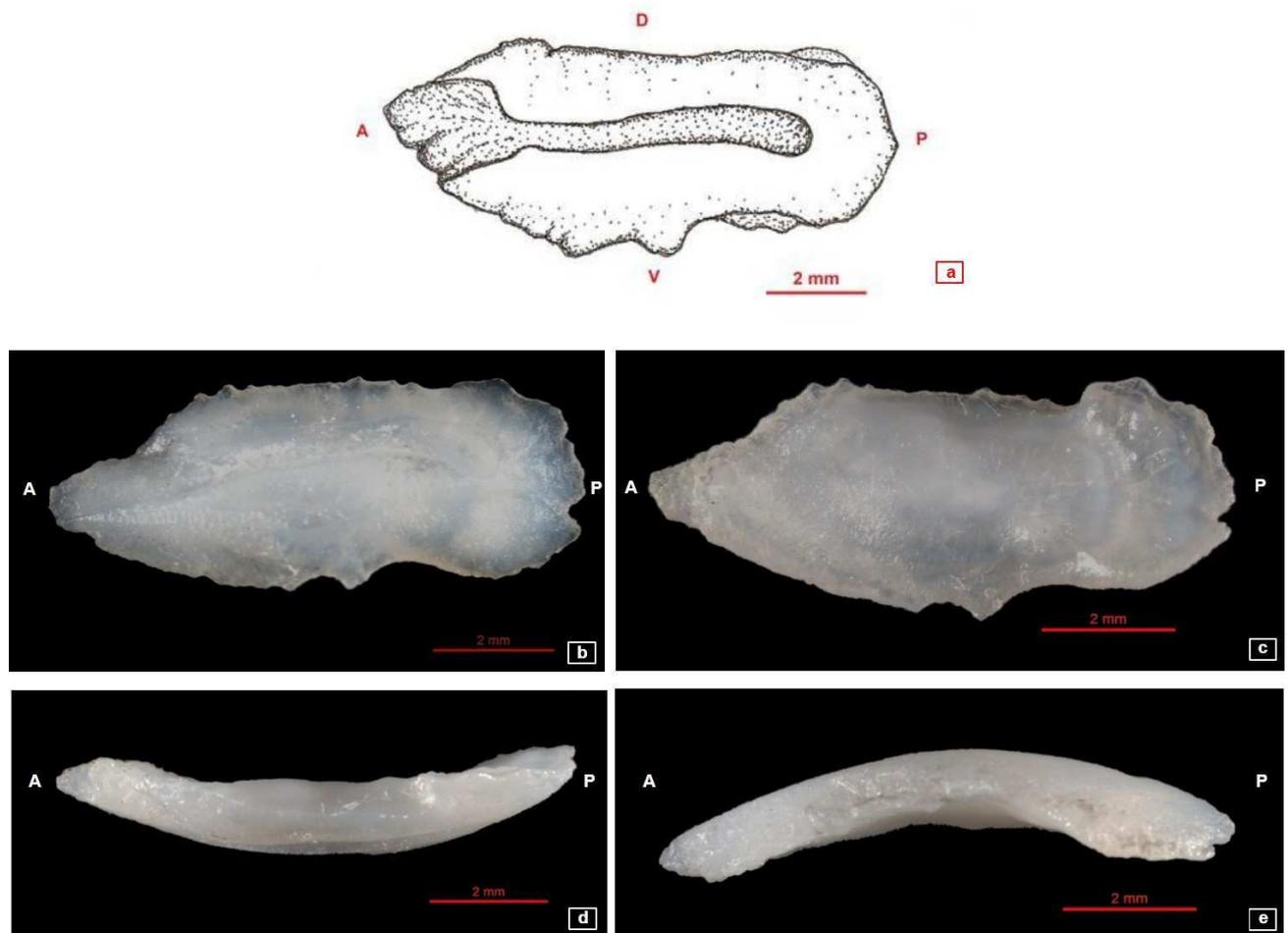


Fig. 3.9. Otolito *sagitta* derecho de *Mugil cephalus* (36,4 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.

Oedalechilus labeo (Cuvier, 1829)

Nombre vulgar: Cast: Caluga; Cat: Llissa morruda; Ing: boxlip mullet; Fra: Mulet labéon.

En la figura 3.10 se ilustra la morfología y estructura del otolito de esta especie que se detallan a continuación. La forma general de la *sagitta* es rectangular. Los márgenes dorsal y ventral son irregulares. La región anterior es redondeada a irregular, y la región posterior es chata a irregular. En la cara interna el *sulcus acusticus* es heterosulcoideo, ostial y de posición supramedia. El *ostium* tiene forma de abanico o embudo, es poco profundo y rugoso. La *cauda* es tubular y curvada marcadamente en su parte distal hacia el borde ventral; finaliza cerca del margen posterior y posee una longitud mayor al doble del largo del *ostium*.

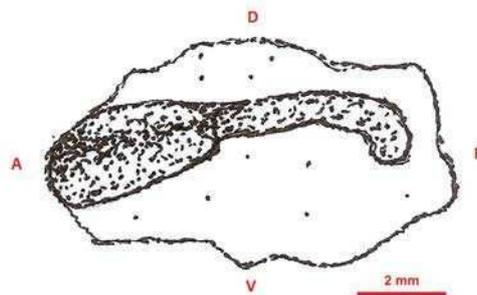


Fig. 3.10. Dibujo de la cara interna del otolito *sagitta* de *Oedalechilus labeo* (45,3 LT).

3.3.3. Morfología de los otolitos de Mugílidos del Océano Atlántico sudoccidental.

Mugil liza (Valenciennes, 1836)

Nombre vulgar: Cast: Lisa, Lebranche; Ing: Lebranche mullet; Por: Curima, Tainha.

La forma general de la *sagitta* es rectangular a oblonga. Los márgenes dorsal y ventral son irregulares (Figura 3.11 a,b). La región anterior es angulosa, y la región posterior es redondeada a chata (Figura 3.11 a,b).

En la cara interna el *sulcus acusticus* es heterosulcoideo, ostial y de posición media. El *ostium* tiene forma de abanico o embudo, es poco profundo y rugoso. La *cauda* es tubular y suavemente curvada en su parte distal hacia el borde ventral; finaliza cerca del margen posterior y posee una longitud mayor al doble del largo del *ostium* (Figura 3.11 a,b). El índice CS es 0,28.

La cara externa es cóncava con un área triangular sobreelevada en el extremo anterior (Figura 3.11 c). El espesor del otolito representa 12,5 % de la longitud total del mismo (Figura 3.11 d,e).

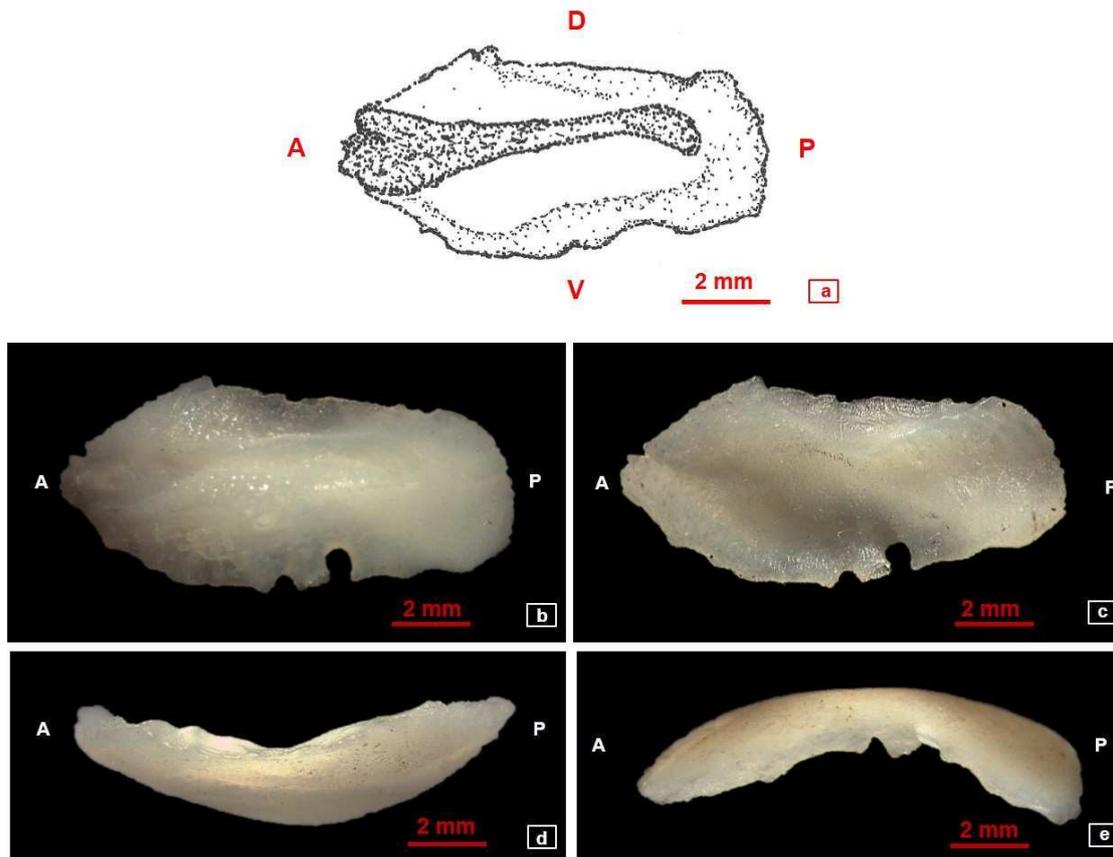


Fig. 3.11. Otolito *sagitta* derecho de *Mugil liza* (50,7 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.

Mugil curema (Valenciennes, 1836)

Nombre vulgar: Cast: Lisa, Lisa blanca, Lebranche; Ing: White mullet; Por: Parati, Tainha.

La forma general del *sagitta* es oblonga a rectangular. Los márgenes dorsal y ventral son irregulares (Figura 3.12a,b). En el borde ventral pueden encontrarse concreciones calcáreas que determinan escotaduras de diferente grado de profundidad. La región anterior es redondeada a angulosa, y la región posterior es redondeada (Figura 3.12a,b).

En la cara interna el *sulcus acusticus* es heterosulcoideo, ostial y de posición supramedia. El *ostium* tiene forma rectangular a embudo, es poco profundo y rugoso. La *cauda* es tubular y fuertemente curvada en su parte distal hacia el borde ventral; posee una longitud mayor al doble del largo del *ostium* (Figura 3.12a,b). El índice CS es 0,22. La cara externa es lisa y cóncava (Figura 3.12c). El espesor del otolito representa 15,6 % de su longitud total (Figura 3.12d,e).

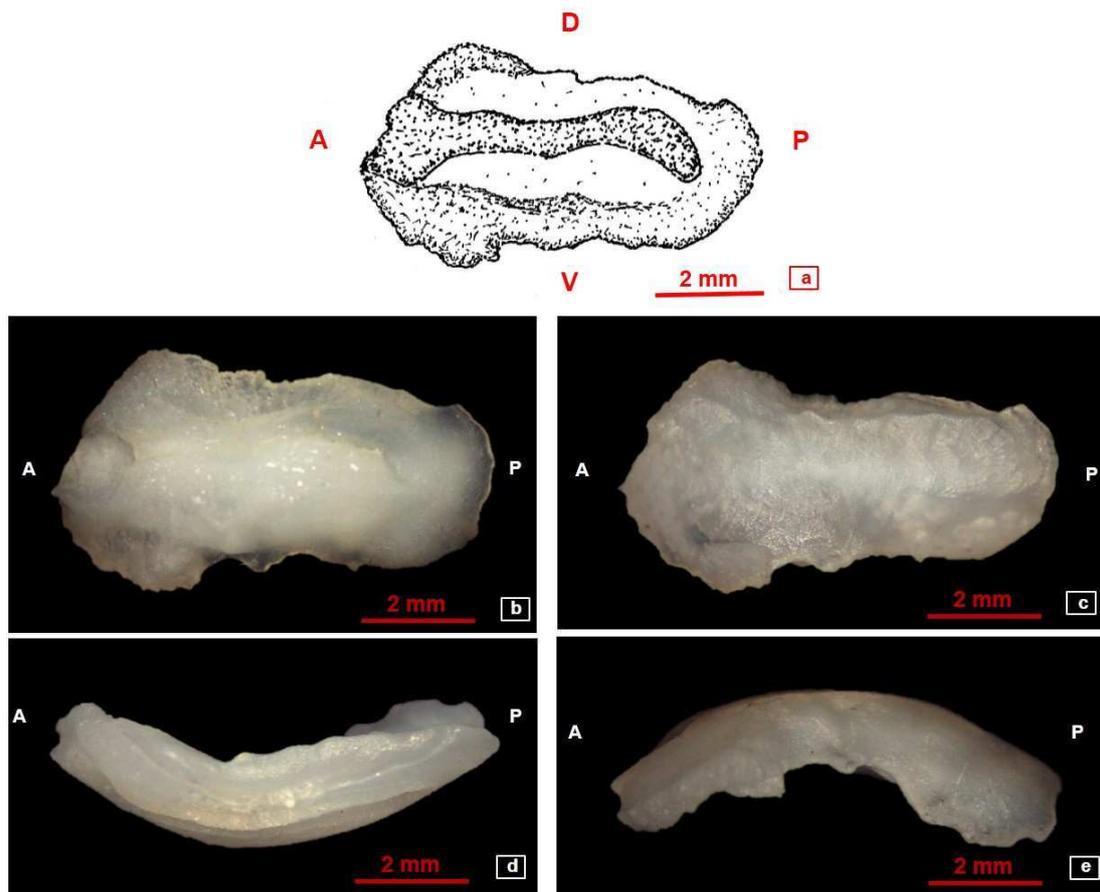


Fig. 3.12. Otolito *sagitta* derecho de *Mugil curema* (34,5 cm LT). a-b: vista de la cara interna; c: vista de la cara externa; d: vista dorsal; e: vista ventral.

3.3.4. Clave de identificación de lisas del Océano Atlántico nororiental y Mar Mediterráneo mediante la morfología del otolito *sagitta*

1. *Cauda* tubular curvada hacia el borde ventral con un ángulo $> 30^\circ$2
- 1'. *Cauda* tubular recta o suavemente curvada hacia el borde ventral (ángulo $< 30^\circ$)..*Mugil cephalus*
2. *Cauda* curvada fuertemente (30-60°) hacia el borde ventral.....3
- 2'. *Cauda* curvada marcadamente (60-100°) hacia el borde ventral.....5
3. *Sagitta* con presencia de una depresión en la cara interna.....*Chelon labrosus*
- 3'. *Sagitta* sin depresión en la cara interna.....4
4. *Sagitta* con índice de centralidad del *sulcus* (CS) siempre inferior a 0,20.....*Liza aurata*
- 4'. *Sagitta* con índice de centralidad del *sulcus* (CS) igual o superior a 0,20.....*Liza carinata*
5. *Sagitta* con una depresión areal en la cara interna.....*Liza saliens*
- 5'. *Sagitta* sin depresión areal en la cara interna.....6
6. *Sagitta* con región posterior redondeada a angulosa.....*Liza ramada*
- 6'. *Sagitta* con región posterior chata a irregular.....*Oedalechilus labeo*

3.4. Discusión

Los mugílidos son un grupo de peces con gran diversidad que ocupan un lugar importante en las cadenas tróficas (Morte *et al.*, 1997; Mikkelsen, 2007; Gil *et al.*, 2013), sin embargo su complejidad taxonómica muchas veces impide su identificación (González-Castro y Ghasemzadeh, 2016).

Los resultados de este capítulo evidencian la existencia de un patrón morfológico del otolito *sagitta* a nivel de familia. Dicho patrón se basa en un *sagitta* de forma rectangular a oblonga con márgenes irregulares; con la presencia de un *sulcus acusticus* heterosulcoideo, ostial y mediano a supramediano, con un *ostium* con forma de embudo y una *cauda* tubular cerrada hacia el margen posterior generalmente dos a tres veces más larga que el *ostium*; la región anterior posee un rostro muy corto y ancho, un antirostro no definido y una exsutura relativamente amplia.

A nivel de género, también se observa una amplia diversidad, siendo reconocidos en la actualidad 20 géneros de la familia (Eschmeyer y Fong, 2016; González-Castro y Ghasemzadeh, 2016). Los géneros que presentan mayor diversidad de especies son *Mugil* y *Liza*, que representan aproximadamente un 40% de la riqueza de Mugilidae (Durand *et al.*, 2012b).

El género *Mugil* posee 15 especies válidas (Eschmeyer y Fong, 2016, ver Anexo I). Las mismas tienen una amplia distribución tanto en las costas del Océano Atlántico como del Océano Pacífico, principalmente entre las latitudes 42° N y 42° S (Whitfield *et al.*, 2012; Eschmeyer y Fong, 2016). La forma rectangular, los márgenes irregulares, la región anterior tendiendo a angulosa y la posterior a redondeada y el *ostium* en forma de embudo son caracteres comunes hallados en *Mugil cephalus*, *Mugil curema* y *Mugil liza* en esta tesis. Los mismos coinciden con la morfología de otolitos descritas por otros autores para dichas especies en Portugal, el Mar Mediterráneo, el Océano Atlántico nororiental y noroccidental, el Mar Argentino y las costas sudafricanas (Tabla 3.1, Figura 3.13) (Smale *et al.*, 1995; Assis, 2000; Volpedo y Echeverría, 2000; Campana, 2004; Tuset *et al.*, 2008). La curvatura de la *cauda* varía según diferentes autores, pero suele ser tubular recta o suavemente curvada (Tabla 3.1).

En este sentido el patrón morfológico del otolito *sagitta* del género *Mugil* presenta variabilidad en las especies estudiadas aunque se observaron caracteres comunes (Tabla 3.1). *Mugil* es uno de los géneros más cosmopolitas de Mugilidae y uno de los filogenéticamente más complejos ya que presenta diferentes linajes, producto del aislamiento reproductivo a lo largo de su evolución (Durand, 2016). Por esto, el género presentaría gran plasticidad, reflejándose en la variabilidad morfológica observada en el otolito *sagitta* de este género.

Tabla 3.1. Resumen de diferencias en los caracteres morfológicos del otolito *sagitta* para el género *Mugil*. Extraído de ilustraciones y fotografías de diversos autores: 1. Esta tesis; 2. Assis (2000); 3. Tuset *et al.* (2008); 4. Smale *et al.* (1995); 5. Campana (2004); y 6. Volpedo y Echeverría (2000).

Especie	Caracteres morfológicos del otolito <i>sagitta</i>				
	Forma	Región anterior	Región posterior	<i>Sulcus</i>	<i>Cauda</i>
<i>Mugil cephalus</i> (1)	rectangular	angulosa	chata a redondeada	supramedio	recta o suavemente curvada
<i>Mugil cephalus</i> (2)	oblonga a rectangular	angulosa a redondeada	chata a redondeada	supramedio	recta o suavemente curvada
<i>Mugil cephalus</i> (3)	rectangular	angulosa	chata a redondeada	supramedio	recta o suavemente curvada
<i>Mugil cephalus</i> (4)	rectangular	angulosa	redondeada	supramedio	recta
<i>Mugil curema</i> (1)	oblonga a rectangular	redondeada a angulosa	redondeada	supramedio	fuertemente curvada
<i>Mugil curema</i> (5)	rectangular	angulosa	redondeada	medio	suavemente curvada
<i>Mugil liza</i> (1)	rectangular a oblonga	angulosa a redondeada	redondeada a chata	medio	suavemente curvada
<i>Mugil liza</i> (6)	rectangular a oblonga	angulosa a redondeada	redondeada a chata	medio	suavemente curvada

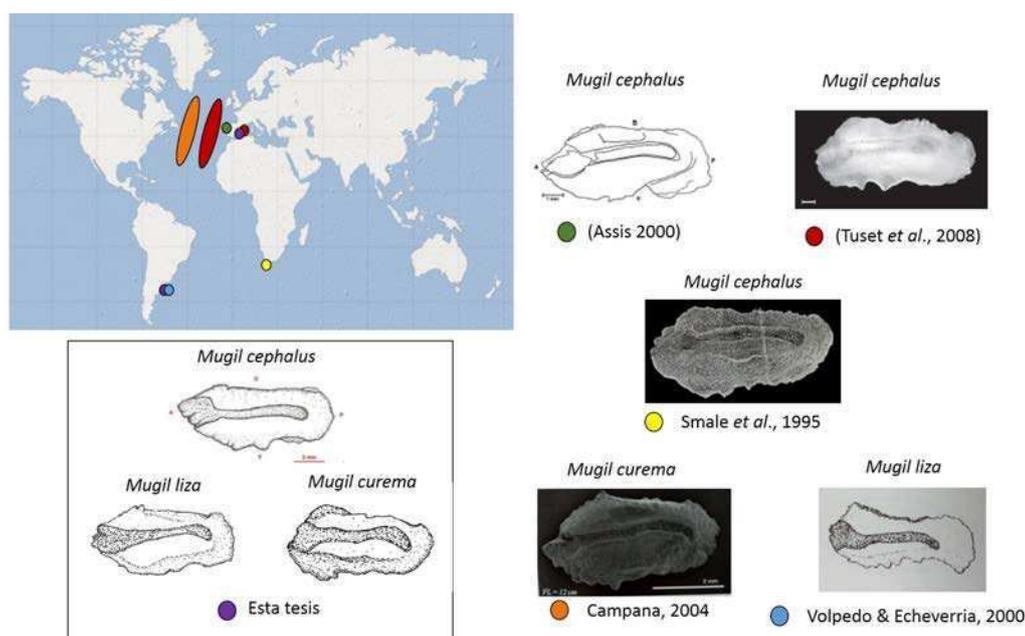


Fig. 3.13. Morfología del otolito *sagitta* de especies del género *Mugil*. Vista de cara interna.

El género *Liza* posee 20 especies válidas que se localizan en el Océano Atlántico oriental, desde las costas portuguesas hasta las sudafricanas, en el Mar Mediterráneo, el Mar Negro, el Mar Caspio, el Océano Índico, y el Océano Pacífico centro-occidental, en costas australianas y japonesas (Eschmeyer y Fong, 2016, ver Anexo I).

Los caracteres hallados en *Liza aurata*, *Liza carinata*, *Liza ramada* y *Liza saliens* en esta tesis se basan en una forma del *sagitta* que tiende a ser rectangular, con márgenes irregulares, el *sulcus* siempre posee ubicación supramedia y el *ostium* tiene forma de embudo. Dichas características son compartidas con otolitos analizados por otros autores para estas especies provenientes de Portugal, el Mar Mediterráneo, el Océano Atlántico nororiental y las costas sudafricanas (Tabla 3.2, Figura 3.14) (Smale *et al.*, 1995; Assis, 2000; Tuset *et al.*, 2008). La forma, las regiones anterior y posterior, y la curvatura de la *cauda* son caracteres que varían entre las diferentes especies de este género estudiadas por dichos autores (Tabla 3.2).

Liza es considerado un género parafilético que actualmente se encuentra en revisión taxonómi-

ca, formando parte de dos visiones filogenéticas. Heras *et al.* (2009), afirman, basados en análisis cromosómicos, morfológicos, aloenzimas y de secuencias de ADNmt, que *Liza* y *Chelon* no pueden considerarse géneros monofiléticos, por lo que proponen que *Liza* debería ser considerado un sinónimo del género *Chelon*. Asimismo, Durand *et al.* (2012a), Durand *et al.* (2012b), Durand (2016) y Xia *et al.* (2016) postulan que existe parafilia entre ambos géneros, basándose en análisis moleculares de secuencias mitocondriales y nucleares, e incluyen a *Liza* dentro de *Chelon*. En contraparte, González-Castro y Ghasemzadeh (2016) afirman que debido a la compleja historia detrás de la autoría y la fecha del nombre *Chelon* (consideran que la descripción de la especie tipo para *Chelon* (*Mugil chelo*) podría haberse confundido con la de *Mugil labeo*), esa temática debería aclararse primeramente. Por esto, no se ha resuelto aún la sinonimia entre *Chelon* y *Liza*, requiriéndose una discusión taxonómica más profunda por parte de los referentes de esta temática.

El patrón morfológico del *sagitta* del género *Liza* presenta una mayor variabilidad que el género *Mugil* (Tabla 3.2), pudiendo esto deberse a que el número de especies estudiadas fue mayor y, a su vez, a que aún no se encuentra definida correctamente su posición filogenética. Sin embargo, todas las especies analizadas presentaron una *cauda* con una importante curvatura (al menos fuertemente curvada) caracter distintivo que comparten con el género *Chelon*.

Tabla 3.2. Resumen de diferencias en los caracteres morfológicos del otolito *sagitta* para el género *Liza*. Extraído de ilustraciones y fotografías de diversos autores: 1. Esta tesis; 2. Assis (2000); 3. Tuset *et al.* (2008); 4. Smale *et al.* (1995).

Especie	Caracteres morfológicos del otolito <i>sagitta</i>			
	Forma	Región anterior	Región posterior	<i>Cauda</i>
<i>Liza aurata</i> (1)	rectangular a oblonga	redondeada a angulosa	redondeada a irregular	fuertemente curvada
<i>Liza aurata</i> (2)	rectangular a oblonga	angulosa a redondeada	redondeada a irregular	fuertemente curvada
<i>Liza aurata</i> (3)	rectangular a oblonga	angulosa a redondeada	redondeada	fuertemente curvada
<i>Liza carinata</i> (1)	rectangular	angulosa	redondeada	fuertemente curvada
<i>Liza macrolepis</i> (4)	rectangular a oblongo	angulosa	redondeada	rizada
<i>Liza ramada</i> (1)	rectangular	redondeada a irregular	redondeada a angulosa	marcadamente curvada
<i>Liza ramada</i> (2)	elíptica a rectangular	redondeada a irregular	redondeada a angulosa	marcadamente curvada
<i>Liza ramada</i> (3)	rectangular	angulosa a redondeada	redondeada a angulosa	marcadamente curvada
<i>Liza richardsonii</i> (4)	rectangular	angulosa	redondeada	marcadamente curvada
<i>Liza saliens</i> (1)	rectangular	redondeada a irregular	redondeada a chata	marcadamente curvada
<i>Liza saliens</i> (3)	rectangular	redondeada a irregular	redondeada	marcadamente curvada
<i>Liza tricuspidens</i> (4)	rectangular a oblongo	angulosa	redondeada a irregular	marcadamente curvada

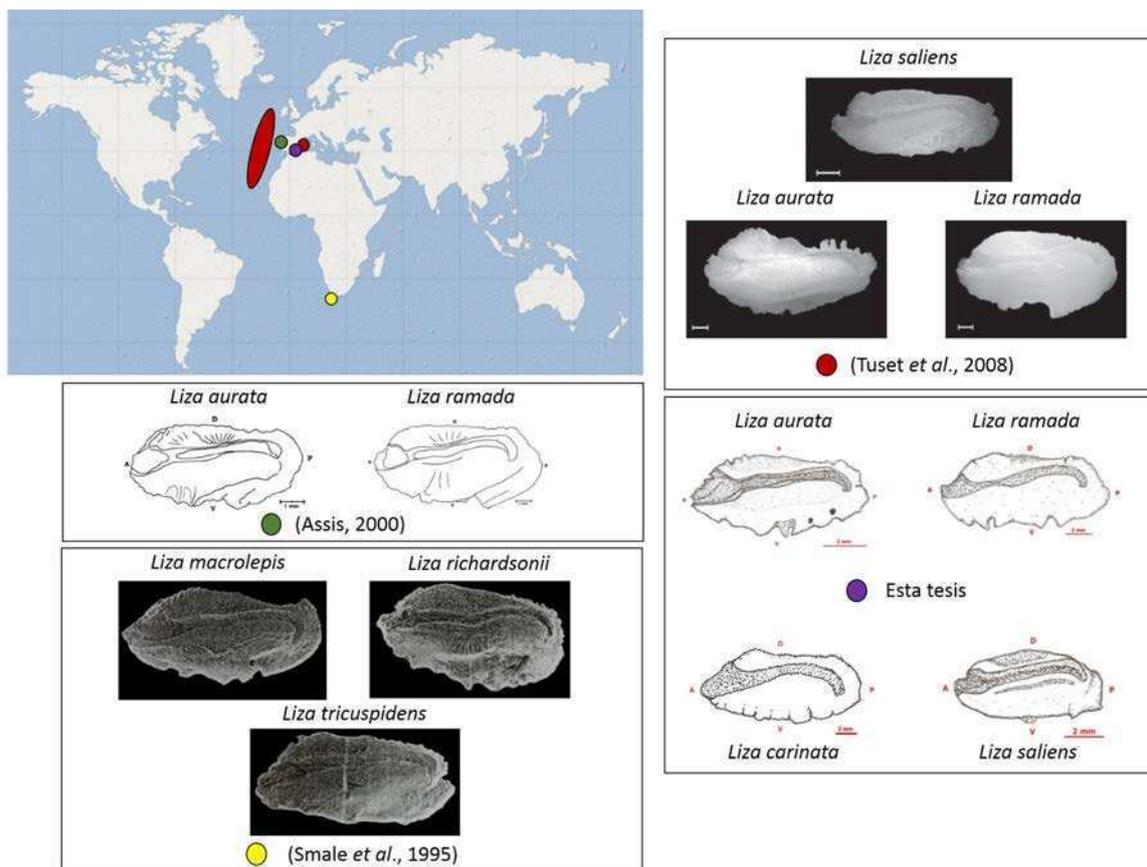


Fig. 3.14. Morfología del otolito *sagitta* de especies del género *Liza*. Vista de cara interna.

El género *Chelon* posee 7 especies válidas que se distribuyen en el Océano Indico, el Indo-Pacífico, el Océano Atlántico centro y nororiental, y el Mar Mediterráneo (Eschmeyer y Fong, 2016, ver Anexo I).

La forma rectangular, los márgenes irregulares, la posición del *sulcus* supramedio, el *ostium* en forma de embudo y la *cauda* tubular fuertemente curvada, fueron caracteres hallados en *Chelon labrosus* en esta tesis. Dichas características son compartidas por otolitos de la misma especie analizados por otros autores para Portugal, el Mar Mediterráneo, el Océano Atlántico nororiental (Tabla 3.3, Figura 3.15) (Assis, 2000; Tuset *et al.*, 2008), por lo que podrían definirse como características particulares del género *Chelon*. Las únicas leves variaciones encontradas en la morfología del otolito *sagitta* de *Chelon labrosus* descrita por otros autores son, la región anterior que puede variar de redondeada a angulosa y la posterior que puede ser mas bien redondeada o modificarse de chata a irregular (Tabla 3.3).

Este género proviene de un único linaje filogenético, y pertenece, junto con *Oedalechilus* a la subfamilia Cheloninae. Ambos géneros divergieron, desde el punto de vista evolutivo, más recientemente desde un ancestro común (Durand, 2016). Debido a su reciente historia filogenética dentro de Mugilidae, podría explicarse la baja variabilidad en la morfología de *sagitta* encontrada para este género.

Tabla 3.3. Resumen de diferencias en los caracteres morfológicos del otolito *sagitta* para el género *Chelon*. Extraído de ilustraciones y fotografías de diversos autores: 1. Esta tesis; 2. Assis (2000); 3. Tuset *et al.* (2008).

Especie	Caracteres morfológicos del otolito <i>sagitta</i>	
	Región anterior	Región posterior
<i>Chelon labrosus</i> (1)	redondeada a angulosa	redondeada a chata irregular
<i>Chelon labrosus</i> (2)	angulosa	redondeada a chata irregular
<i>Chelon labrosus</i> (3)	redondeada a angulosa chata	redondeada

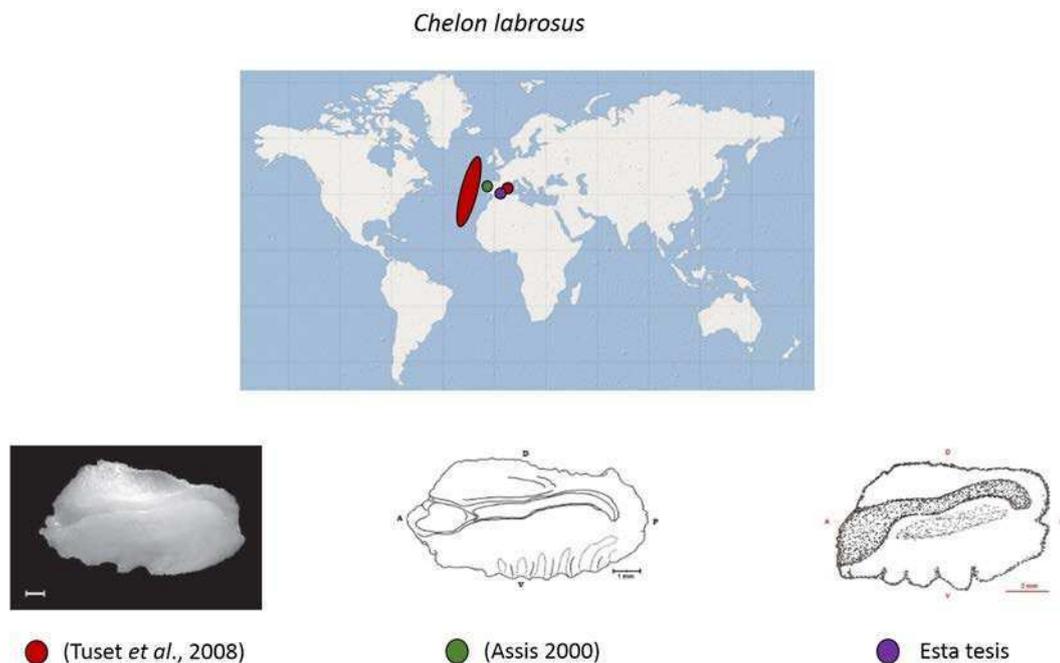


Fig. 3.15. Morfología del otolito *sagitta* de especies del género *Chelon*. Vista de cara interna.

El género *Oedalechilus* posee sólo dos especies válidas que se distribuyen, una en el Océano Atlántico nororiental y el Mar Mediterráneo; y la otra en el Indo-Pacífico (Eschmeyer y Fong, 2016, ver Anexo I).

El otolito *sagitta* de este género ha sido descrito por primera vez en esta tesis, ya que no ha sido analizado previamente por otros autores.

El patrón morfológico para el género *Oedalechilus* presenta un *sagitta* de forma rectangular con márgenes irregulares, con su región anterior redondeada a irregular y la posterior chata a irregular, con un *sulcus* de posición supramedia que posee un *ostium* en forma de embudo y una *cauda* marcadamente curvada (Figura 3.10).

La filogenia de este género se encuentra actualmente en revisión. Durand *et al.* (2012a) consideran que la única especie válida de *Oedalechilus* es *O. labeo*, reasignando *O. labiosus* al género *Plicomugil* como antes lo habían designado Schultz (1953) y Harrison y Howes (1991). Por ésto, las características morfológicas del otolito *sagitta* descritas para *Oedalechilus* en esta tesis podrían considerarse el patrón representativo del género.

La morfología del otolito *sagitta* de los mugílidos es un caracter complementario para la identifica-

ción de esta familia, lo que permite que su aplicación para la diferenciación de sus especies posea gran utilidad. Sin embargo, la gran variabilidad de usos de hábitat, historia evolutiva y biogeografía compleja hacen que la morfología del otolito posea amplias variaciones en los géneros más diversos (*Mugil* y *Liza*) dificultando la asignación de un patrón genérico único. En el caso de los géneros analizados menos diversos (*Chelon* y *Oedalechilus*) un patrón genérico pudo ser evidenciado.

En relación a la identificación específica, la morfología del otolito *sagitta* resulta una característica importante que ha permitido distinguir las especies presentes en el Mar Mediterráneo y en el Océano Atlántico sudoccidental. En particular cabe destacar que el índice de centralidad del *sulcus* (CS), desarrollado y calculado por primera vez en esta tesis, es un elemento apropiado que contribuye a la identificación específica.

Capítulo 4

Cambios ontogenéticos en la morfología y morfometría del otolito *sagitta* en relación al crecimiento del pez: los casos de *Mugil liza*, *Mugil cephalus* y *Liza ramada*



Pescando en la Laguna Piulaga durante la ceremonia Kuarup del grupo Waura, cuenca alta del Xingu, Mato Grosso, Brasil (Sebastião Salgado, 2005).

4.1. Introducción

Los ambientes costeros poseen gran variabilidad debido a sus características particulares, presentando una dinámica trófica específica. Los estudios de dieta son relevantes para explicar procesos de dinámica trófica basados en la identificación de presas y las interacciones involucradas (Gerking, 2014). Usualmente se utilizan diferentes métodos para identificar ítems dietarios como el análisis de isótopos estables o el reconocimiento de estructuras como huesos u otolitos, entre otros (Volpedo y Echeverría, 2000; Boecklen *et al.*, 2011; Jansen *et al.*, 2012). Estas metodologías se aplican en el estudio del comportamiento alimenticio de mamíferos marinos, aves y peces, proporcionando información sobre las presas recientemente ingeridas (Pierce y Boyle, 1991; Bustos *et al.*, 2012; Bustos *et al.*, 2014).

Como se mencionó en el capítulo anterior, los otolitos son estructuras cuya morfología es especie-específica (Hecht, 1987; Volpedo y Echeverría, 2000; Volpedo y Echeverría, 2001; Campana, 2004; Tuset *et al.*, 2008; Callicó Fortunato *et al.*, 2014; Avigliano *et al.*, 2015a), por lo que se consideran estructuras valiosas para analizar cadenas tróficas en diferentes ecosistemas acuáticos tanto en el pasado como en la actualidad. La identificación de la morfología y morfometría de otolitos fósiles o en contenidos estomacales puede determinar no solo la especie, sino también el tamaño de las presas (Barrett *et al.*, 2007; Reichenbacher *et al.*, 2007; Bustos *et al.*, 2012; Veen *et al.*, 2012; Riet-Sapriza *et al.*, 2013; Scartascini y Volpedo, 2013; Tuset *et al.*, 2013; Bustos *et al.*, 2014; Tuset *et al.*, 2015). Los mugílidos son componentes importantes de la dieta de muchos ictiófagos como cormoranes (Martucci *et al.*, 1993; Barquete *et al.*, 2008; Veen *et al.*, 2012; Gil *et al.*, 2013), pinnípedos, como lobos marinos o la foca gris (Mikkelsen, 2007; Alava y Gobas, 2012); y peces como la palometa (*Lichia amia*), el jurel gigante (*Caranx ignobilis*) y tiburones como el cazón (*Mustelus mustelus*) (Whitfield y Blaber, 1978; Morte *et al.*, 1997).

Dado este contexto, en el presente capítulo se analizarán los cambios en la morfología y morfometría de los otolitos *sagittae* de tres mugílidos a través de su desarrollo: *Mugil liza*, *Mugil cephalus* y *Liza ramada*. Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos: (1) describir los caracteres biométricos tradicionales del otolito en relación al crecimiento del pez en las tres especies estudiadas; (2) analizar la morfología del otolito durante el desarrollo ontogenético de las especies; reconociendo grupos morfológicos y estudiando a su vez las diferencias morfométricas entre otolitos de dichos grupos; y (3) analizar la morfometría del otolito de juveniles y adultos de las especies estudiadas a fin de establecer las posibles diferencias.

4.2. Materiales y Métodos

4.2.1. Colecta de muestras y mediciones

Se colectaron ejemplares de tres especies de mugílidos (*Mugil liza*, *Mugil cephalus* y *Liza ramada*) entre octubre 2011 y abril 2014 (Tabla 4.1). Los individuos fueron obtenidos con redes agalleras en capturas artesanales de comunidades de pescadores. A fin de tener una muestra representativa de las diferentes etapas de desarrollo de los peces, se colectó un gran número de individuos de cada especie de un amplio rango de tallas (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Características de distribución y especímenes muestreados para *Mugil liza*, *Mugil cephalus* y *Liza ramada*.

Especies	n	LS (mm)	Latitudes de muestreo	Rango de distribución latitudinal
<i>Mugil liza</i>	238	81 - 488	35°27' - 40°37' S	30°44' N - 42°31' S (Menezes <i>et al.</i> , 2010; Eschmeyer y Fong, 2016)
<i>Mugil cephalus</i>	164	118 - 577	40°43' - 38°09' N	Distribución discontinua: entre 42°N y 42°S (Whitfield <i>et al.</i> , 2012)
<i>Liza ramada</i>	147	120 - 584	40°43' - 38°09' N	60°22' - 27°49' N (Eschmeyer y Fong, 2016)

Para la identificación de las especies se utilizaron las claves propuestas por Trewavas e Ingham (1972), Fisher *et al.* (1987), Thomson (1997) y Harrison (2002). Se registró la longitud estándar (LS) de cada ejemplar en milímetros. Se extrajeron los otolitos *sagittae*, se limpiaron, secaron y guardaron en viales plásticos para su posterior examinación y análisis. La cara interna de los *sagittae* derechos se fotografió con una cámara digital acoplada a un microscopio estereoscópico (Leica® EZ4-HD). Todas las imágenes se analizaron y midieron mediante el programa de procesamiento de imágenes Image-Pro Plus 4.5®. Se realizaron descripciones de la morfología general de los otolitos según el criterio propuesto por Tuset *et al.* (2008). Las características morfológicas analizadas fueron: forma del otolito, regiones anterior y posterior, márgenes dorsal y ventral, características de la *cauda* y el *ostium*, presencia/ausencia de punto culminante (Mollo, 1981).

Para caracterizar el crecimiento del otolito relacionado con el crecimiento del pez se realizó un análisis de regresión (Huxley, 1932; Casselman, 1990) de los caracteres biométricos clásicos del otolito; la longitud máxima (LO) y el ancho máximo (AO) se registraron en milímetros en todos los otolitos analizados (Figura 4.1). El modelo de Huxley ($y=ax^b$) fue utilizado para el ajuste de las relaciones de LS *vs* LO y AO (Huxley, 1932; Leonart *et al.*, 2000).

Para el análisis morfométrico de los grupos identificados y de los estadios del pez, se efectuó un estudio de índices de forma (Tuset *et al.*, 2003a; Volpedo y Echeverría, 2003; Avigliano *et al.*, 2014; Rossi-Wongtschowski, 2015). Además de las variables morfométricas antes mencionadas (LO y AO), se midieron: perímetro (PO) y superficie del otolito (SO), y perímetro (PS) y superficie (SS) del *sulcus* (Figura 4.1). Luego se calcularon los índices de forma para evaluar las variaciones

del otolito a través del desarrollo ontogenético de las especies estudiadas. Los índices fueron los siguientes: circularidad (PO^2/SO), proporciona información sobre la complejidad del contorno del otolito (Tuset *et al.*, 2003a; Tuset *et al.*, 2008); rectangularidad ($SO/[LO \times AO]$), da información sobre la aproximación a una forma rectangular o cuadrada, siendo igual a 1 equivale a un rectángulo o cuadrado perfecto (Tuset *et al.*, 2003a; Tuset *et al.*, 2008; Carvalho *et al.*, 2015); aspecto de radio (AO/LO ; %) (Tuset *et al.*, 2008; Carvalho *et al.*, 2015); porcentaje del otolito ocupado por el *sulcus* (SS/SO ; %) (Avigliano *et al.*, 2014; Carvalho *et al.*, 2015); elipticidad ($[LO-AO]/[LO+AO]$), refleja la similitud del otolito a una elipse, valores cercanos a 0 indican tendencia a la circularidad (Tuset *et al.*, 2003a); y factor de forma ($[4\pi \times SO/PO^2]$), es un valor adimensional que indica la similitud del contorno del otolito respecto de un círculo y sus valores están comprendidos entre 0 y 1, siendo 1 el valor para un círculo perfecto (Tuset *et al.*, 2003a; Ponton, 2006).

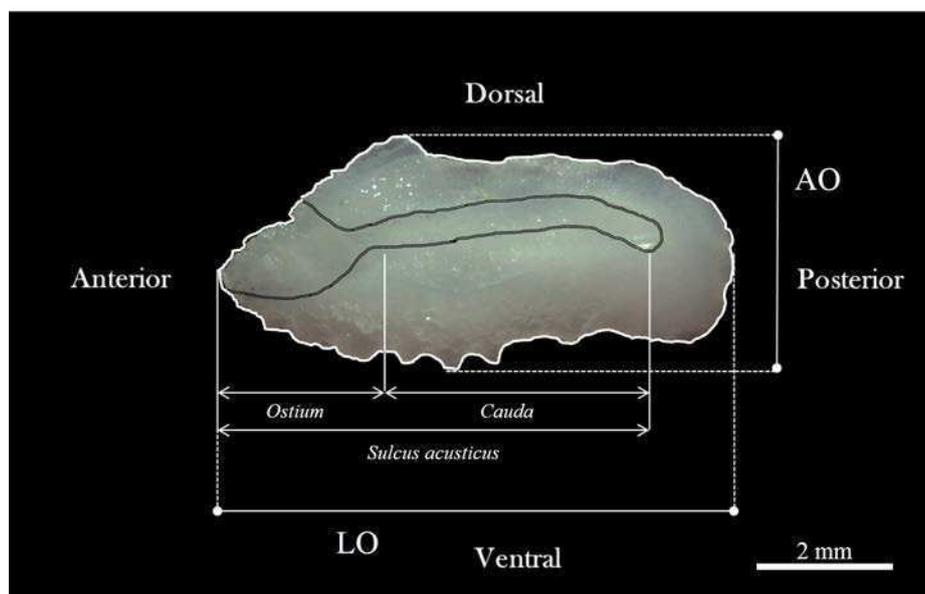


Fig. 4.1. Esquema con características y variables medidas en el otolito *sagitta* de mugiílidos. LO: longitud máxima; AO: ancho máximo; PO: perímetro del otolito (línea blanca continua); PS: perímetro del *sulcus* (línea negra continua).

4.2.2. Análisis estadísticos

Para cada especie, los índices de forma fueron comparados entre los grupos morfológicos identificados y entre etapas del desarrollo de los peces: juveniles-adultos, de acuerdo a la talla de primera maduración (*M. liza*: L50 = 355 y 368 mm LS (González-Castro *et al.*, 2011); *M. cephalus*: L50 = 350 y 300 mm LS (Ameur *et al.*, 2003); y *L. ramada*: L50 = 230 y 255 mm LS (Moura y Gordo, 2000), para machos y hembras respectivamente). Primeramente se corrigieron los índices para eliminar los posibles efectos alométricos en la forma del otolito en relación con la talla de los peces, para una correcta comparación entre grupos. Para ello se utilizó la fórmula propuesta por Lleonart *et al.* (2000): $y' = y_i \times (x_0/x_i)^b$ donde y' es la variable predictiva corregida, y_i es el valor original

del índice de forma calculado, x_0 es un valor referencial de LS (*M. liza*: 360 mm; *M. cephalus*: 300 mm; *L. ramada*: 250 mm), x_i es el valor original de LS de cada individuo, y b es el coeficiente de Huxley de cada variable regresionada a LS.

Se analizó la normalidad, con un test de Shapiro-Wilks, y la homogeneidad de varianzas, mediante un test de Levene, de las variables de forma. Para índices con distribución normal, la comparación entre grupos se realizó mediante un test de t o un análisis de la varianza (ANOVA) (para comparaciones de más de dos grupos). Para aquellos índices que no tuvieron distribución normal las comparaciones se realizaron mediante un test de U-Mann Whitney. Previamente se realizó un análisis de correlación de las variables morfométricas para evaluar la relación entre las mismas; aquellas que presentaron alta correlación con otras fueron eliminadas del análisis.

Dado que no se encontraron diferencias significativas para las variables medidas entre machos y hembras de las especies estudiadas (Mann-Whitney U-test, $p > 0,05$), todos los otolitos fueron analizados en conjunto.

Finalmente se realizó una comparación de las curvas de crecimiento ontogenético de los otolitos entre las diferentes especies. Para ello, las curvas potenciales obtenidas de las relaciones LS *vs* LO y AO fueron transformadas aplicando el Log para obtener una linealización de las mismas y poder comparar las pendientes de crecimiento entre las tres especies de mugílidos estudiadas. La comparación se realizó mediante el uso del programa Statgraphics®.

4.3. Resultados

La morfología del otolito *sagitta* de *M. liza*, *M. cephalus* y *L. ramada* presentó un patrón distintivo en cada especie, el mismo ya fue descrito en el capítulo 3 de esta tesis. Además, durante el desarrollo, se observaron variaciones en la morfología del *sagitta* de estas especies, presentando cada una un patrón morfológico distintivo a través de su ontogenia.

4.3.1. *Mugil liza*

Descripción general de caracteres biométricos del otolito

Los resultados mostraron una dependencia de la LS del pez con LO y AO, estas relaciones ajustaron a funciones de potencia, presentando una relación positiva significativa ($p < 0,01$) en ambos casos. Las ecuaciones de regresión para ambas variables, incluyendo todos los individuos muestreados ($n = 238$), fueron las siguientes: $LS = 6,53 \times LO^{1,79}$ ($R^2 = 0,87$); $LS = 25,72 \times AO^{1,79}$ ($R^2 = 0,84$) (Figura 4.2).

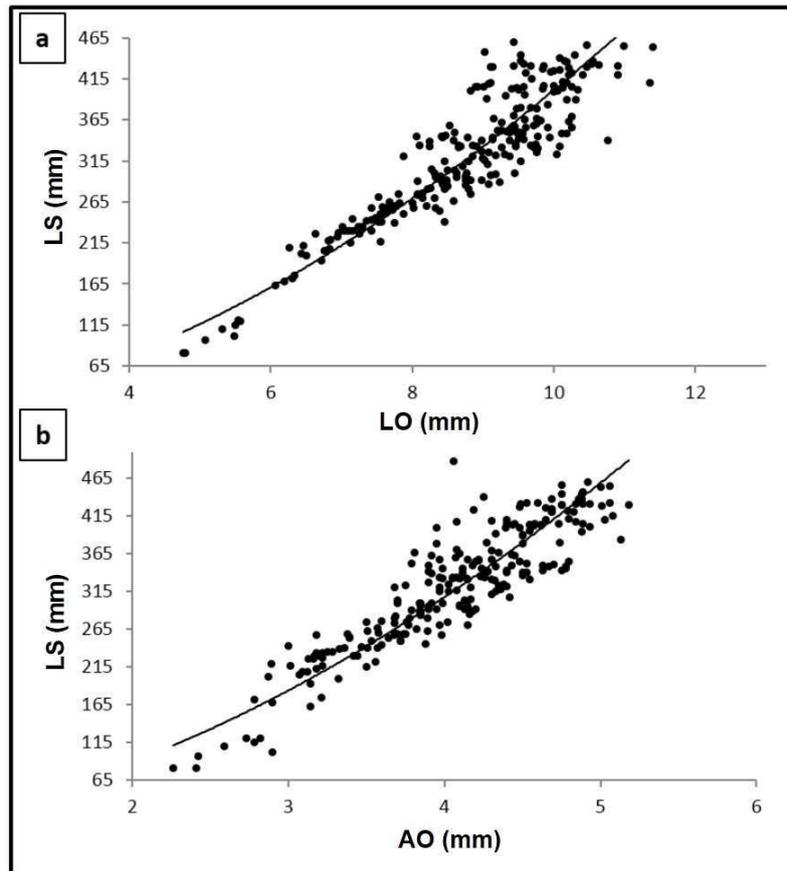


Fig. 4.2. Regresión potencial de la longitud estándar del pez (LS) vs a. largo máximo (LO) y b. ancho máximo (AO) del otolito *sagitta* para *Mugil liza*.

Descripciones morfológicas

Los caracteres morfológicos del otolito *sagitta* de los especímenes de *M. liza* permitieron la separación de dos grupos: (I) Rango de tallas 81 – 370 mm LS ($n = 173$): *sagitta* con región anterior aguzada y la presencia de un punto culminante dorsal; y (II) Rango de tallas > 370 mm LS ($n = 65$): *sagitta* con región anterior redondeada con ausencia del punto culminante (Figura 4.3).

Los individuos adultos presentaron un otolito de forma rectangular a oblonga con una *cauda* tubular y levemente curvada, y una región posterior redondeada. Otras características morfológicas de los mugílidos, previamente descritas en el capítulo 3, se mantuvieron durante el crecimiento.

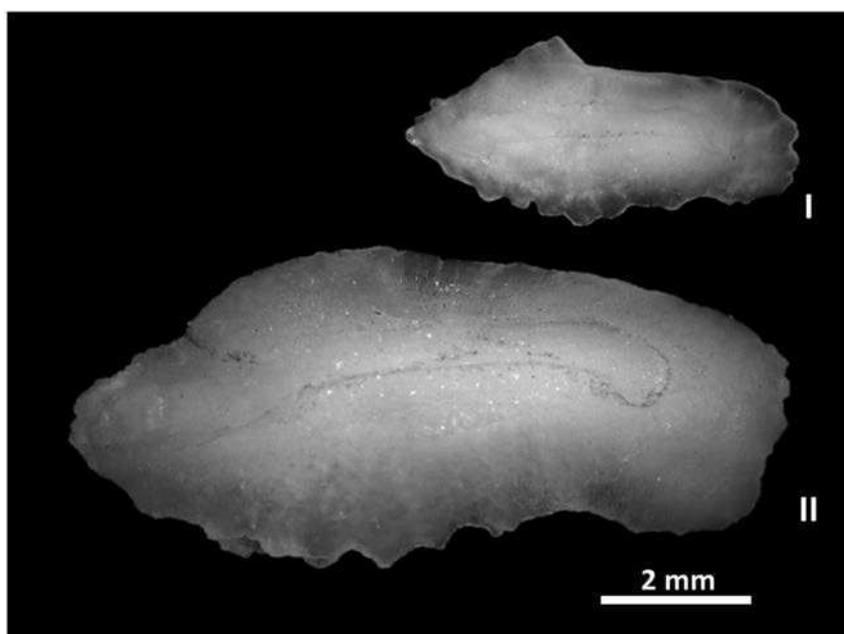


Fig. 4.3. Grupos morfológicos identificados (I y II) para el otolito *sagitta* de *Mugil liza*.

Análisis morfométrico

Cuando se analizaron los grupos morfológicos, todos los índices de forma, menos la circularidad y el factor de forma, tuvieron una distribución normal y homogeneidad de varianzas (Shapiro-Wilk, $p > 0,05$; Levene, $p > 0,05$). El índice factor de forma correlacionó con el de circularidad (r Spearman = -1,00; $p < 0,01$) y la elipticidad correlacionó con el aspecto de radio (r Pearson = 0,98; $p < 0,01$), por lo que ambos fueron eliminados de los análisis. Los grupos difirieron significativamente en su rectangularidad, su aspecto de radio y el porcentaje del otolito ocupado por el *sulcus* (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados entre grupos identificados durante el desarrollo de *Mugil liza* (I y II) con sus análisis estadísticos: W = test de U-Mann Whitney y T = test de t. *variables con distribución no-normal. Diferentes letras muestran diferencias significativas.

	Grupo I (n = 173)	Grupo II (n = 65)	Estadístico	p
	Media±D.E.	Media±D.E.		
Circularidad*	24,22±1,91	23,86±2,05	W = 6945,00	0,082
Rectangularidad	0,69±0,03 ^a	0,68±0,03 ^b	T = 2,12	0,035
Aspecto de radio	0,46±0,03 ^a	0,47±0,03 ^b	T = -3,13	0,002
Porcentaje ocupado por el <i>sulcus</i>	0,24±0,02 ^a	0,23±0,02 ^b	T = 2,24	0,026

Los índices de forma de los otolitos analizados entre juveniles (n = 165) y adultos (n = 73) no difirieron significativamente (Tabla 4.3).

Tabla 4.3. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados entre etapas del desarrollo de *Mugil liza* (juveniles-adultos) con sus análisis estadísticos: W = test de U-Mann Whitney y T = test de t. *variables con distribución no-normal.

	Juveniles (n = 165)	Adultos (n = 73)	Estadístico	p
	Media±D.E.	Media±D.E.		
Circularidad*	23,73±2,01	24,11±2,00	W = 7935,00	0,107
Rectangularidad	0,69±0,03	0,69±0,03	T = -1,33	0,188
Aspecto de radio	0,46±0,03	0,47±0,04	T = 1,72	0,089
Porcentaje ocupado por el <i>sulcus</i>	0,23±0,02	0,23±0,02	T = -1,36	0,177

4.3.2. *Mugil cephalus*

Descripción general de caracteres biométricos del otolito

Los resultados mostraron una dependencia de la LS del pez con LO y AO, estas relaciones ajustaron a funciones de potencia, presentando una relación positiva significativa ($p < 0,01$) en ambos casos. Las ecuaciones de regresión para ambas variables, incluyendo todos los individuos muestreados ($n = 164$), fueron las siguientes: $LS = 8,53 \times LO^{1,63}$ ($R^2 = 0,84$); $LS = 34,25 \times AO^{1,56}$ ($R^2 = 0,89$) (Figura 4.4).

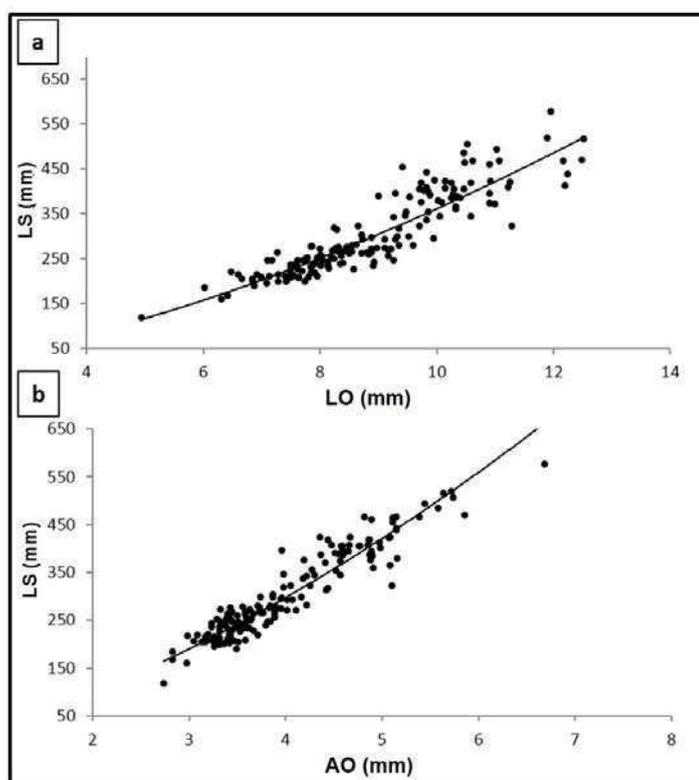


Fig. 4.4. Regresión potencial de la longitud estándar del pez (LS) vs a. largo máximo (LO) y b. ancho máximo (AO) del otolito *sagitta* para *Mugil cephalus*.

Descripciones morfológicas

Los caracteres morfológicos del otolito *sagitta* de *M. cephalus* permitieron la separación de dos grupos: (I) Rango de tallas: 118 – 465 mm LS (n = 154): *sagitta* con región anterior aguzada; y (II) Rango de tallas > 465 mm LS (n = 10): *sagitta* con región anterior angulosa (Figura 4.5).

Los individuos adultos presentaron un otolito de forma rectangular con una *cauda* tubular recta o suavemente sinuosa, y una región posterior chata a redondeada. Otras características morfológicas de los mugílidos, previamente descritas en el capítulo 3, se mantuvieron durante el crecimiento.

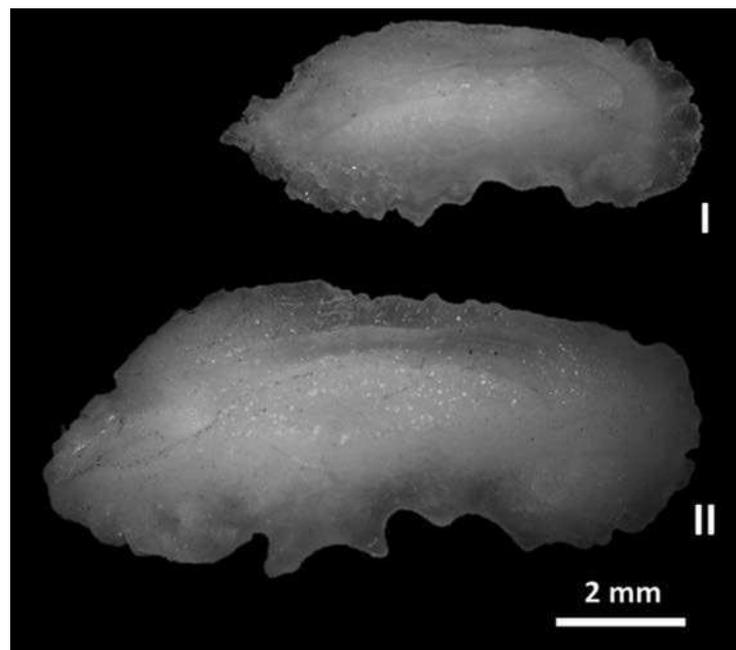


Fig. 4.5. Grupos morfológicos identificados (I y II) para el otolito *sagitta* de *Mugil cephalus*.

Análisis morfométrico

Todos los índices de forma menos el de circularidad y el de Factor de forma tuvieron una distribución normal y homogeneidad de varianzas (Shapiro-wilk, $p > 0,05$; Levene, $p > 0,05$). El índice factor de forma correlacionó con el de circularidad (r Spearman = -1,00; $p < 0,01$) y el de elipticidad correlacionó con el de aspecto de radio (r Pearson = -1,00; $p < 0,01$), por lo que ambos índices no fueron considerados en los análisis. Los grupos identificados difirieron significativamente sólo en el aspecto de radio (Tabla 4.4).

Tabla 4.4. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados entre grupos identificados durante el desarrollo de *Mugil cephalus* (I y II) con sus análisis estadísticos: W = test de U-Mann Whitney y T = test de t. *variables con distribución no-normal. Diferentes letras muestran diferencias significativas.

	Grupo I (n = 154)	Grupo II (n = 10)	Estatidístico	p
	Media±D.E.	Media±D.E.		
Circularidad*	23,38±2,06	23,36±1,82	W = 862,00	0,799
Rectangularidad	0,72±0,03	0,71±0,03	T = 1,05	0,296
Aspecto de radio	0,45±0,03 ^a	0,48±0,04 ^b	T = -2,29	0,024
Porcentaje ocupado por el <i>sulcus</i>	0,23±0,02	0,23±0,02	T = 0,04	0,969

Los índices de forma de los otolitos analizados entre juveniles (n = 109) y adultos (n = 55) no difirieron significativamente (Tabla 4.5).

Tabla 4.5. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados entre etapas del desarrollo de *Mugil cephalus* (juveniles-adultos) con sus análisis estadísticos: W = test de U-Mann Whitney y T = test de t. *variables con distribución no-normal.

	Juveniles (n = 109)	Adultos (n = 55)	Estatidístico	p
	Media±D.E.	Media±D.E.		
Circularidad*	23,21±1,72	23,71±2,54	W = 4750,00	0,459
Rectangularidad	0,72±0,02	0,71±0,03	T = -1,05	0,293
Aspecto de radio	0,45±0,04	0,46±0,03	T = 1,04	0,301
Porcentaje ocupado por el <i>sulcus</i>	0,23±0,02	0,23 ±0,02	T = 0,10	0,920

4.3.3. *Liza ramada*

Descripción general de caracteres biométricos del otolito

Los resultados mostraron una dependencia de la LS del pez con LO y AO, estas relaciones ajustaron a funciones de potencia, presentando una relación positiva significativa ($p < 0,01$) en ambos casos. Las ecuaciones de regresión para ambas variables, incluyendo todos los individuos muestreados (n = 147), fueron las siguientes: $LS = 12,72 \times LO^{1,36}$ ($R^2 = 0,90$); $LS = 32,54 \times AO^{1,43}$ ($R^2 = 0,91$) (Figura 4.6).

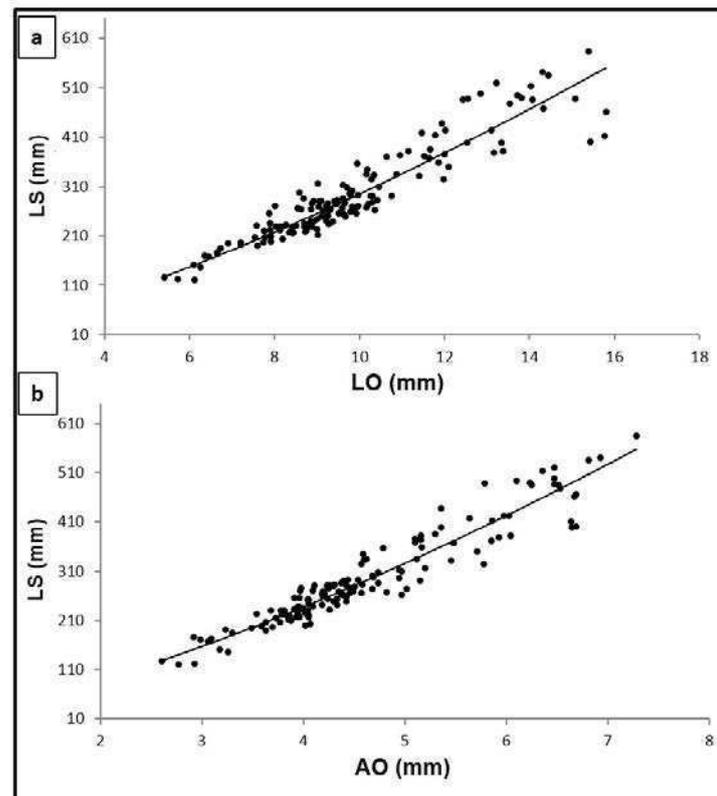


Fig. 4.6. Regresión potencial de la longitud estándar del pez (LS) vs a. largo máximo (LO) y b. ancho máximo (AO) del otolito *sagitta* para *Liza ramada*.

Descripciones morfológicas

Los caracteres morfológicos del otolito *sagitta* de *L. ramada* permitieron la separación de tres grupos: (I) Rango de tallas < 140 mm LS ($n = 3$): *sagitta* con forma elíptica; (II) Rango de tallas 140 – 275 mm LS ($n = 75$): *sagitta* con forma rectangular y región anterior aguzada; y (III) Rango de tallas > 275 mm LS ($n = 69$): *sagitta* con forma rectangular, región anterior redondeada a irregular, y margen dorsal con mayor altura en la parte anterior (Figura 4.7). Individuos adultos presentaron un otolito de forma rectangular con una *cauda* tubular y marcadamente curvada en su parte distal, y una región posterior redondeada a angulosa. Otras características morfológicas de los mugílidos, previamente descritas en el capítulo 3, se mantuvieron durante el crecimiento.

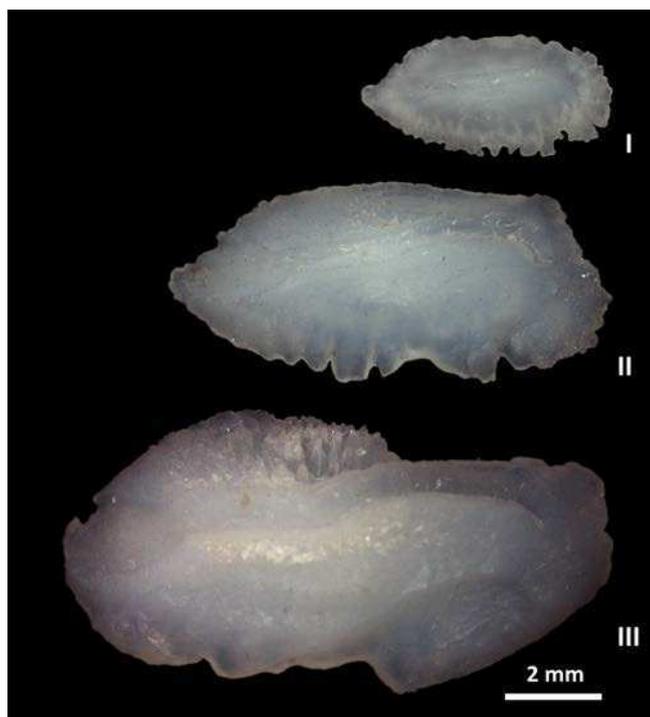


Fig. 4.7. Grupos morfológicos identificados (I, II y III) para el otolito *sagitta* de *Liza ramada*.

Análisis morfométrico

Todos los índices de forma excepto el de circularidad presentaron una distribución normal y homogeneidad de varianzas (Shapiro-wilk, $p > 0,05$; Levene, $p > 0,05$). Esta variable de distribución no-normal correlacionó con el índice de factor de forma (r Spearman = -1,00; $p < 0,01$), y la elipticidad correlacionó con el aspecto de radio (r Pearson = -1,00; $p < 0,01$), por lo que ambos índices no fueron considerados para los análisis. Los grupos identificados no difirieron significativamente entre las variables estudiadas (Tabla 4.6).

Tabla 4.6. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados entre grupos identificados durante el desarrollo de *Liza ramada* (I, II y III) con sus análisis estadísticos: F = Análisis de la varianza (ANOVA).

	Grupo I (n = 3)	Grupo II (n = 75)	Grupo III (n = 69)	Estatístico	p
	Media±D.E.	Media±D.E.	Media±D.E.		
Rectangularidad	0,74±0,01	0,74±0,02	0,74±0,02	F = 0,02	0,983
Aspecto de radio	0,49±0,01	0,47±0,03	0,47±0,03	F = 0,82	0,441
Porcentaje ocupado por el <i>sulcus</i>	0,22±0,01	0,20±0,02	0,20±0,02	F = 1,10	0,337
Factor de forma	0,50±0,05	0,56±0,06	0,53±0,06	F = 0,75	0,473

Los índices de forma del otolito analizados entre juveniles (n = 48) y adultos (n = 99) difirieron significativamente sólo en el porcentaje del otolito ocupado por el *sulcus* (Tabla 4.7).

Tabla 4.7. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados entre etapas del desarrollo de *Liza ramada* (juveniles-adultos) con sus análisis estadísticos: T = test de t. Diferentes letras muestran diferencias significativas.

	Juveniles (n = 109)	Adultos (n = 55)	Estatidístico	p
	Media±D.E.	Media±D.E.		
Rectangularidad	0,74±0,02	0,75±0,02	T = 0,16	0,873
Aspecto de radio	0,47±0,03	0,47±0,03	T = -0,09	0,925
Porcentaje ocupado por el <i>sulcus</i>	0,21±0,01 ^a	0,20±0,02 ^b	T = -3,40	0,001
Factor de forma	0,55±0,07	0,53±0,06	T = -1,50	0,135

4.3.4. Comparación de las relaciones biométricas del otolito entre las especies estudiadas

La comparación de las relaciones biométricas del otolito *sagitta* con respecto al crecimiento del pez, entre las tres especies analizadas, presentó diferencias significativas ($p < 0,01$), tanto respecto al largo como al ancho del otolito. Para ambas relaciones biométricas (LS vs LO,AO), *Liza ramada* presentó la menor pendiente de regresión, mientras que para *Mugil liza* dichas relaciones tuvieron la mayor pendiente (Figuras 4.8 y 4.9).

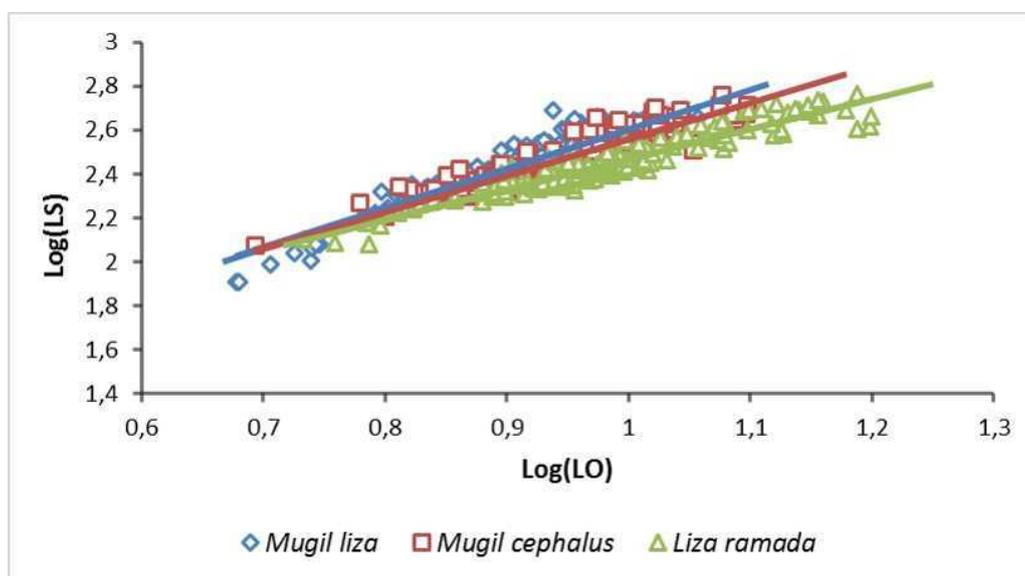


Fig. 4.8. Gráfico de regresión para los tres mugílidos analizados del logaritmo del largo estándar (Log(LS)) vs el logaritmo de la longitud total del otolito (Log(LO)).

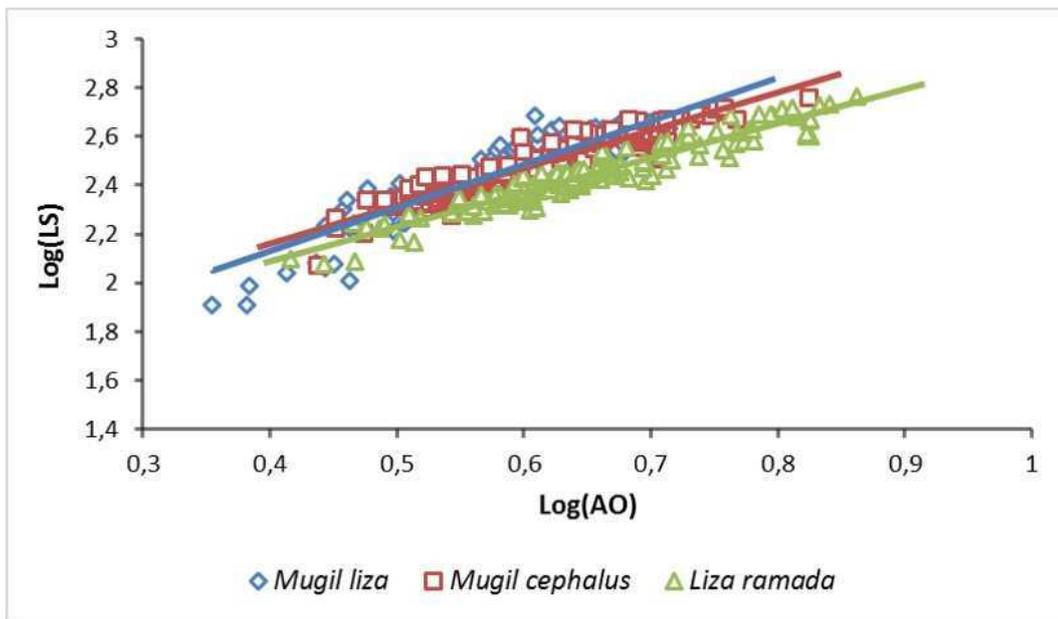


Fig. 4.9. Gráfico de regresión para los tres mugílidos analizados del logaritmo del largo estándar (Log(LS)) vs el logaritmo del ancho total del otolito (Log(AO)).

4.4. Discusión

Los resultados de este capítulo evidencian que los mugílidos presentan cambios ontogenéticos en la morfología y morfometría de sus otolitos asociados al crecimiento del pez.

En las tres especies estudiadas (*Mugil liza*, *Mugil cephalus* y *Liza ramada*) se hallaron características morfológicas del otolito variables en las diferentes etapas de desarrollo. Las mismas fueron la forma del otolito, las regiones anterior y posterior, los márgenes dorsal y ventral, y la presencia o ausencia de punto culminante.

En relación a la morfometría del *sagitta*, los índices de forma sólo mostraron diferencias entre grupos para *M. cephalus* y *M. liza*. *L. ramada* fue la única especie que presentó diferencias con respecto a los índices morfométricos entre las etapas de crecimiento (juveniles-adultos).

Los grupos morfológicos de *M. liza* se diferenciaron por tres índices de forma. Los otolitos del grupo I (tallas más pequeñas) fueron más rectangulares, tuvieron mayor porcentaje ocupado por el *sulcus* y menor aspecto de radio que los otolitos del grupo II. A su vez, para *M. cephalus* se observaron diferencias entre los dos grupos identificados sólo mediante un índice. Los otolitos del grupo I tuvieron un aspecto de radio significativamente menor que los del grupo II, presentando los individuos de tallas menores otolitos más alargados. No se observaron diferencias morfométricas entre los juveniles y adultos tanto para *M. liza* como para *M. cephalus*, por lo que los cambios morfológicos identificados en ambas especies podrían estar relacionados a cambios en el uso de hábitat de los peces durante su historia de vida, más que a cambios en etapas de crecimiento. En los dos mugílidos mencionados se observó menor aspecto de radio en grupos de tallas menores.

Dicha variable morfométrica resulta útil para discriminar entre peces asociados al sustrato (otolitos con mayor aspecto de radio) y peces pelágicos (otolitos más elongados, menor aspecto de radio) (Volpedo y Echeverría, 2003). Lo observado para los mugílidos podría asociarse a la migración post-reproductiva que realizan las larvas desde el mar a sitios estuarinos o de agua dulce (Whitfield *et al.*, 2012). Además, la dieta de los mugílidos cambia a lo largo de su desarrollo, las larvas son plantívoras y los juveniles se alimentan primeramente en la columna de agua (realizando migraciones verticales) para luego consumir organismos bentónicos como lo hacen los adultos (Whitfield *et al.*, 2012). Este cambio dietario podría estar influenciando los cambios observados en la morfometría del otolito. Los mugílidos son altamente relevantes como presa de ictiófagos (Weyl y Lewis, 2006; Liordos y Goutner, 2009; Fury y Harrison, 2011), por lo que la separación de grupos resulta particularmente importante, ya que no fue posible reconocer diferencias morfológicas ni morfométricas entre estadios de desarrollo, en *M. liza* y *M. cephalus*, pero sí entre categorías asociadas al uso de hábitat.

Respecto a *L. ramada*, a pesar de identificarse tres grupos morfológicos, no fue posible diferenciarlos mediante índices morfométricos. Sin embargo, los juveniles difirieron de los adultos por tener mayor superficie del otolito ocupada por el *sulcus*. Dado que la separación morfológica de grupos es, en cierto modo, subjetiva, *L. ramada* parecería tener otolitos regulares a lo largo de su ontogenia.

Otros autores han estudiado cambios en la morfología y morfometría de los otolitos *sagittae* a través de variaciones ontogenéticas en especies no relacionadas filogenéticamente con Mugilidae, como Atherinidae (Tombari *et al.*, 2005), Engraulidae (Carvalho *et al.*, 2015), Sciaenidae (Volpedo, 2001; Volpedo y Echeverría, 2003; Waessle *et al.*, 2003), y Serranidae (Tuset *et al.*, 2003a). Estos autores han observado que el análisis de características morfológicas, estudiadas conjuntamente con índices de forma, son útiles para separar en muchos casos juveniles de adultos en especies del Océano Atlántico y del Océano Pacífico. Estos cambios estuvieron asociados a diferencias en el uso de hábitat entre categorías de crecimiento. Los mugílidos son especies que presentan patrones de historia de vida diversos, como comportamiento diádromo o residencia permanente en aguas abiertas (Whitfield *et al.*, 2012; Górski *et al.*, 2015; Fowler *et al.*, 2016). Sin embargo, se ha observado que los juveniles utilizan áreas costeras (de mayor o menor salinidad) durante su desarrollo como áreas de alimentación y refugio, mientras que los adultos se dirigen hacia el mar para migraciones reproductivas (Whitfield *et al.*, 2012). Debido a que las características del agua son diferentes entre los ambientes costeros y el mar abierto, es posible que la precipitación de carbonato de calcio en el otolito sea diferente, reflejándose así en la morfología del otolito. Por lo tanto, los cambios observados en los grupos identificados podrían estar reflejando este uso diferencial de hábitats.

La comparación entre mugílidos de sus relaciones biométricas asociadas al crecimiento del pez, evidenció que *Liza ramada* posee un crecimiento más lento que los otros dos mugílidos analizados y que otolitos de mayor longitud y ancho corresponderían a tallas menores del pez. Lo opuesto

sucedería con *Mugil liza* que presentó las mayores pendientes de regresión, tendiendo a ser mayores los individuos analizados a igual longitud o ancho del otolito que *Liza ramada*. *Mugil cephalus* presentó valores de regresión intermedios entre los mugílidos analizados, tanto para el largo como para el ancho del otolito.

Las curvas obtenidas, de las relaciones de las variables biométricas del otolito en relación a la talla del pez, pueden ser de utilidad para estimar el tamaño y la etapa del desarrollo de éstos mugílidos cuando han sido ingeridos por depredadores ictiófagos como lo han observado otros autores (Barros y Wells, 1998; Blanco *et al.*, 2001; Ross *et al.*, 2005).

En este capítulo se observaron patrones específicos de morfología del otolito a través del crecimiento de tres mugílidos. Así, la morfología analizada conjuntamente con índices de forma y curvas de crecimiento del otolito, asociado a la talla del pez, pueden contribuir a la identificación específica de presas y a la estimación del tamaño de las mismas en la dieta de ictiófagos, minimizando la sobreestimación. Esto supone un importante aporte para estudios tróficos que involucren estas especies de Mugilidae poco estudiadas, especialmente en ambientes costeros o que presenten grandes variaciones.

Capítulo 5

Aplicación de los otolitos en la identificación de hábitats de juveniles de *Mugil cephalus* en la Comunidad Valenciana.



De barri en barri (El Maritim, Cabanyal-Canyamelar) - Falla infantil del ayuntamiento de Valencia (Ceballos y Sanabria, 2016)

5.1. Introducción

El estudio de selección de hábitat y áreas de cría en peces diádromos es muy importante, no sólo para conocer la biología de las especies, sino también para generar manejos apropiados de estas áreas fundamentales para el desarrollo de las especies (Beck *et al.*, 2001; Payne Wynne *et al.*, 2015). En la actualidad existen diversos estudios sobre el uso hábitats de especies comerciales o amenazadas (Secor *et al.*, 1998; Benchetrit *et al.*, 2015; Payne Wynne *et al.*, 2015; Shiao *et al.*, 2016).

En los últimos años, se han realizado numerosos trabajos donde se aplica la morfometría y la microquímica del otolito, mediante el uso simultáneo de Sr/Ca y Ba/Ca, como indicadores de hábitat, para la identificación de stocks pesqueros de especies comerciales, y para el estudio de patrones migratorios de los peces (Gillanders, 2005; Tracey *et al.*, 2006; Schuchert *et al.*, 2010; Tabouret *et al.*, 2010; Avigliano *et al.*, 2014; Avigliano *et al.*, 2015c; Avigliano *et al.*, 2015d).

La lisa pardete *Mugil cephalus* es la especie más cosmopolita de la familia Mugilidae y posee un importante valor económico en la región del Mediterráneo (Whitfield *et al.*, 2012). Muchos autores han analizado atributos de su historia de vida, sus movimientos y su biología reproductiva (Ibáñez *et al.*, 1999; Hsu y Tzeng, 2009; Lester y MacKenzie, 2009; Wang *et al.*, 2010; Górski *et al.*, 2015; Fowler *et al.*, 2016). Se ha observado que esta especie eurihalina desova en aguas abiertas (Chang y Iizuka, 2012) y luego sus larvas migran desde el mar hacia zonas estuarinas o de agua dulce donde se desarrollan hasta alcanzar la madurez sexual (Whitfield *et al.*, 2012). Sin embargo, la identificación de los hábitats costeros preferidos por los juveniles de *M. cephalus* no ha sido desarrollada aún en profundidad. Esto resulta de particular interés ya que las áreas costeras suelen encontrarse sujetas a una fuerte influencia antrópica, resultando escasos los humedales que presenten características ambientales adecuadas para la correcta conservación de la biodiversidad.

En este sentido, en el presente capítulo se plantea como objetivo identificar y caracterizar los hábitats utilizados por juveniles de *Mugil cephalus* en la Comunidad Valenciana, mediante el uso de la morfometría y microquímica del otolito *sagitta*.

5.2. Materiales y Métodos

5.2.1. Colecta de muestras

Se obtuvieron juveniles de *Mugil cephalus* ($n = 82$) en dos humedales de la Comunidad Valenciana, el Parque Natural de l'Albufera de Valencia (AV) ($n = 45$) y el Parque Natural Salinas de Santa Pola (SP) ($n = 37$) (Figura 5.1). Los ejemplares fueron colectados entre octubre 2011 y marzo 2012 mediante capturas artesanales con redes agalleras de comunidades locales de pescadores. Los

especímenes se preservaron a 4° C y se llevaron al laboratorio para su posterior estudio. Se registró la longitud estándar (LS) del pez en milímetros y se extrajeron, limpiaron y acondicionaron los otolitos *sagittae* para su posterior análisis. Se seleccionaron individuos juveniles de LS entre 200 - 300 mm. Las tallas de los especímenes colectados en las dos áreas de estudio no difirieron significativamente (Mann-Whitney U-test, $p > 0,05$) (Figura 5.2).



Fig. 5.1. Áreas de muestreo en la comunidad valenciana (estrellas rojas): Parque Nartural de l'Albufera de Valencia y Parque Natural Salinas de Santa Pola.

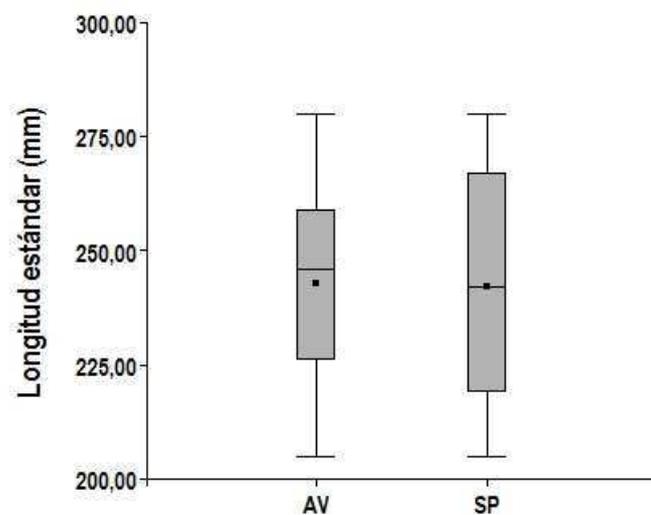


Fig. 5.2. Gráfico de cajas del rango de tallas de los ejemplares colectados en las dos áreas de muestreo: Parque Nartural de l'Albufera de Valencia (AV); y Parque Natural Salinas de Santa Pola (SP). Barras indican el desvío estándar.

5.2.2. Morfometría del otolito

La cara externa del otolito *sagitta* derecho de cada individuo fue fotografiada con una cámara digital acoplada a un microscopio estereoscópico (Leica[®] MZ16). Las imágenes fueron analizadas y medidas utilizando el programa de procesamiento de imágenes Image-Pro Plus 4.5[®]. Se registraron las siguientes variables morfométricas: longitud total del otolito (LO), ancho total del otolito (AO), perímetro total del otolito (PO) y perímetro del sulcus (PS) en mm; y superficie del otolito (SO) y superficie del sulcus (SS) en mm². Utilizando estas mediciones se calcularon los siguientes índices de forma: circularidad (PO^2/SO) (Tuset *et al.*, 2003a; Tuset *et al.*, 2008), rectangularidad ($SO/[LO \times AO]$) (Tuset *et al.*, 2003a; Tuset *et al.*, 2008; Carvalho *et al.*, 2015), aspecto de radio (AO/LO; %) (Tuset *et al.*, 2008; Carvalho *et al.*, 2015), porcentaje del área del otolito ocupada por el *sulcus* (SS/SO; %) (Avigliano *et al.*, 2014; Carvalho *et al.*, 2015), elipticidad ($[LO - AO]/[LO + AO]$) (Tuset *et al.*, 2003a), y factor de forma ($[4\pi \times SO/PO^2]$) (Tuset *et al.*, 2003a; Ponton, 2006).

5.2.3. Microquímica del otolito

Para analizar la composición química de los otolitos, se seleccionaron al azar 48 especímenes del total muestreado ($n = 24$ para cada área de estudio). Los otolitos derechos fueron pesados con una balanza analítica (precisión: 0,001 g) y digeridos con ácido nítrico al 10 % durante 24h para obtener las soluciones que se utilizaron en los análisis. Se determinaron las concentraciones de Sr y Ba mediante espectrometría de emisión atómica por acoplamiento de plasma (ICP-OES, Perkin-Elmer[®] Optima 2000 DV optical emission spectrometer, Überlingen, Germany) (EPA, 2004; método 200.7) equipado con un nebulizador de flujo cruzado, cámara scot y antorcha de cuarzo. Las muestras fueron introducidas al equipo por medio de un Autosampler Perkin-Elmer[®] AS-90 Plus. En todos los casos se realizaron calibraciones externas utilizando QCS 21 (Quality Control Standard), Perkin-Elmer[®] Pure (USA). Los límites de detección fueron para Sr: 12 $\mu\text{g/L}$, y para Ba: 8 $\mu\text{g/L}$. Las concentraciones de Ca se obtuvieron mediante el método volumétrico de titulación con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) (método APHA, 1995). Todas las medidas se realizaron por triplicado. Finalmente se calcularon las relaciones Elemento:Ca para posteriores comparaciones entre sitios estudiados.

Se colectaron muestras de agua durante las campañas de colecta de peces en ambas áreas de estudio. Las muestras se acidificaron con ácido nítrico (2 ml por litro de agua) (APHA, 1995; método 3010 B) y se preservaron a 4°C para su posterior análisis. Las concentraciones de Sr, Ba y Ca en agua se determinaron con los métodos descritos previamente.

5.2.4. Análisis estadístico

Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, y posteriormente se realizó un análisis de la covarianza (ANCOVA) para determinar el efecto de la talla de los peces en relación a los índices morfométricos calculados. Se observó un efecto de talla en las variables morfométricas (ANCOVA análisis: $p < 0,01$); por lo que las mismas fueron corregidas substrayendo la pendiente común (b) del ANCOVA (Campana *et al.*, 2000; Cardinale *et al.*, 2004; Galley *et al.*, 2006; Burke *et al.*, 2008); removiendo de manera exitosa la correlación significativa con la longitud de los peces. Las constantes utilizadas fueron: circularidad, $b = 0,01$; rectangularidad, $b = 2,3 \times 10^{-4}$; aspecto de radio, $b = -3,3 \times 10^{-4}$; porcentaje del área del otolito ocupada por el *sulcus*, $b = -1,6 \times 10^{-5}$; elipticidad, $b = 3,2 \times 10^{-4}$; y factor de forma, $b = -2,3 \times 10^{-4}$.

Se estudió la correlación entre los índices, y aquellos que tuvieron una alta correlación no fueron considerados para el análisis. Aquellas variables morfométricas cuya distribución fue normal se analizaron mediante un test de t , mientras que las que presentaron una distribución no normal se analizaron mediante un test de U-Mann Whitney, a fin de evaluar las diferencias entre las áreas de estudio. Además se realizó un análisis multivariado de la varianza (MANOVA) con comparaciones múltiples de Hotelling (T^2) para estudiar las diferencias entre sitios considerando todas las variables morfométricas simultáneamente.

Para las variables microquímicas estudiadas se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza y luego, se observó un efecto entre la talla del pez y las relaciones de Sr/Ca y Ba/Ca (ANCOVA análisis: $p < 0,01$). Las mismas fueron corregidas substrayendo la pendiente común (b) del ANCOVA (Campana *et al.*, 2000; Cardinale *et al.*, 2004; Galley *et al.*, 2006; Burke *et al.*, 2008). Las constantes utilizadas fueron Sr/Ca, $b = 8,6 \times 10^{-4}$; y Ba/Ca, $b = 2,4 \times 10^{-4}$. Dado que las relaciones de elemento:Ca tuvieron una distribución normal fueron comparadas mediante un test de t entre los sitios de estudio. Se realizó un MANOVA con comparaciones múltiples de Hotelling (T^2), analizando las variables microquímicas simultáneamente, para estudiar las diferencias entre áreas de estudio. Finalmente, se realizó un análisis de dispersión entre las variables microquímicas.

5.3. Resultados

Morfometría del otolito

Todas las variables morfométricas, excepto la circularidad y el factor de forma, tuvieron una distribución normal y presentaron homogeneidad de varianza (Shapiro–Wilk, $p > 0,05$; Levene, $p > 0,05$). Dichos índices tuvieron una alta correlación (r Spearman = $-1,00$; $p < 0,01$), así como la tuvieron el aspecto de radio y la elipticidad (r Pearson = $-1,00$; $p < 0,01$), por esto, el factor de

forma y la elipticidad no fueron considerados en los análisis. Los otolitos de los individuos de las áreas estudiadas difirieron significativamente en dos variables morfométricas, la circularidad, y el porcentaje del otolito ocupado por el *sulcus*. Los especímenes de AV presentaron mayores valores de circularidad y menores del porcentaje ocupado por el *sulcus*, que los de SP (Tabla 5.1). El resultado del test de Hotelling ($T^2 < 0,001$), reveló que existen diferencias significativas entre ambos sitios de estudio, analizando las variables morfométricas del otolito en simultáneo.

Tabla 5.1. Media y desvío estándar (D.E.) de los índices morfométricos analizados en juveniles de *Mugil cephalus* entre áreas muestreadas con sus análisis estadísticos: W = test de U-Mann Whitney y T = test de t. *variables con distribución no-normal. Diferentes letras muestran diferencias significativas.

	AV (n = 45)	SP (n = 37)		
	Media±D.E.	Media±D.E.	Estadístico	p
Circularidad*	23,74±1,79 ^a	22,40±1,04 ^b	W = 1170,00	< 0,001
Rectangularidad	0,72±0,02	0,71±0,02	T = 1,90	0,061
Aspecto de radio	0,44±0,03	0,43±0,03	T = 1,74	0,086
Porcentaje ocupado por el <i>sulcus</i>	0,23±0,01 ^a	0,24±0,01 ^b	T = -4,27	< 0,001

Microquímica del otolito

Las variables microquímicas analizadas tuvieron una distribución normal y homogeneidad de varianza (Shapiro–Wilk, $p > 0,05$; Levene, $p > 0,05$). Se observaron diferencias significativas entre las relaciones estudiadas de los dos sitios de muestreo (Sr/Ca: T = 3,47, $p < 0,001$; Ba/Ca: T = -5,52, $p < 0,001$). Los individuos de AV tuvieron valores menores de Sr/Ca y mayores de Ba/Ca que los de SP (Figura 5.3). Cuando se analizaron simultáneamente ambas variables microquímicas, los otolitos de peces de ambas localidades difirieron significativamente (Hotelling $T^2 < 0,001$).

El análisis de dispersión mostró una clara separación entre sitios, observándose que la mayoría de los peces capturados en AV se agruparon hacia los valores más bajos del eje vertical (menores relaciones Sr/Ca) y los más altos en el eje horizontal (mayores relaciones Ba/Ca); mientras que los individuos de SP se localizaron hacia los mayores valores del eje vertical y los menores del eje horizontal (Figura 5.4).

La química del agua también reflejó diferencias entre las áreas estudiadas. El Parque Natural Salinas de Santa Pola presentó valores mayores de Sr/Ca pero menores de Ba/Ca que el Parque Natural de l'Albufera (Sr/Ca = 12,65 y 9,63; Ba/Ca = 0,05 and 0,33 mmol/mol respectivamente).

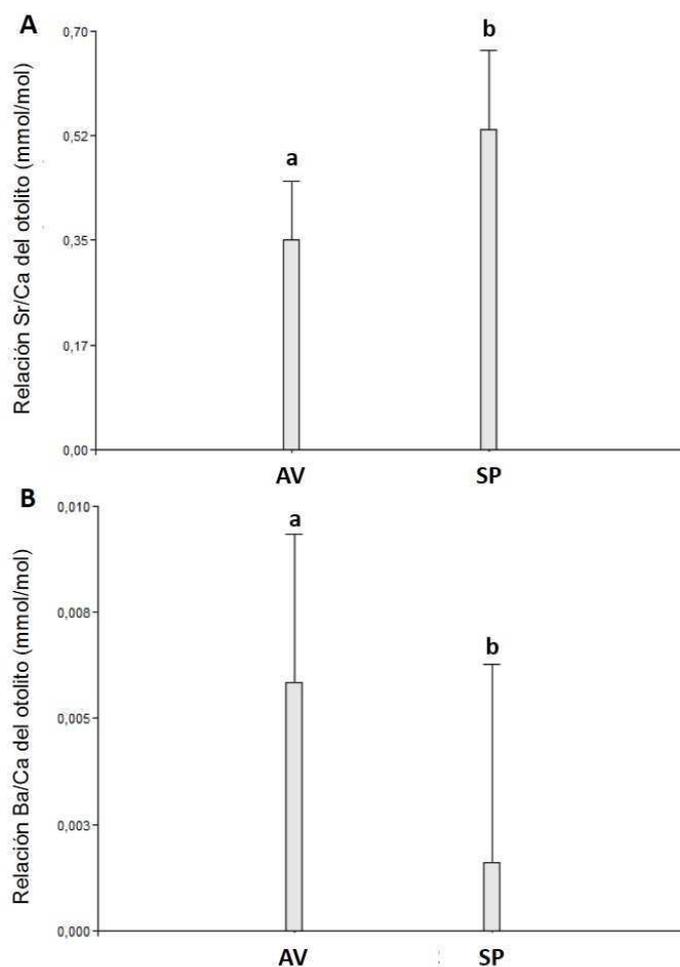


Fig. 5.3. Relaciones de Sr/Ca (A) y Ba/Ca (B) del otolito para las áreas de muestreo: AV, Parque Natural de l'Albufera de Valencia; y SP, Parque Natural Salinas de Santa Pola. Diferentes letras indican diferencias significativas (test de t: $p < 0,001$). Barras indican desvío estándar.

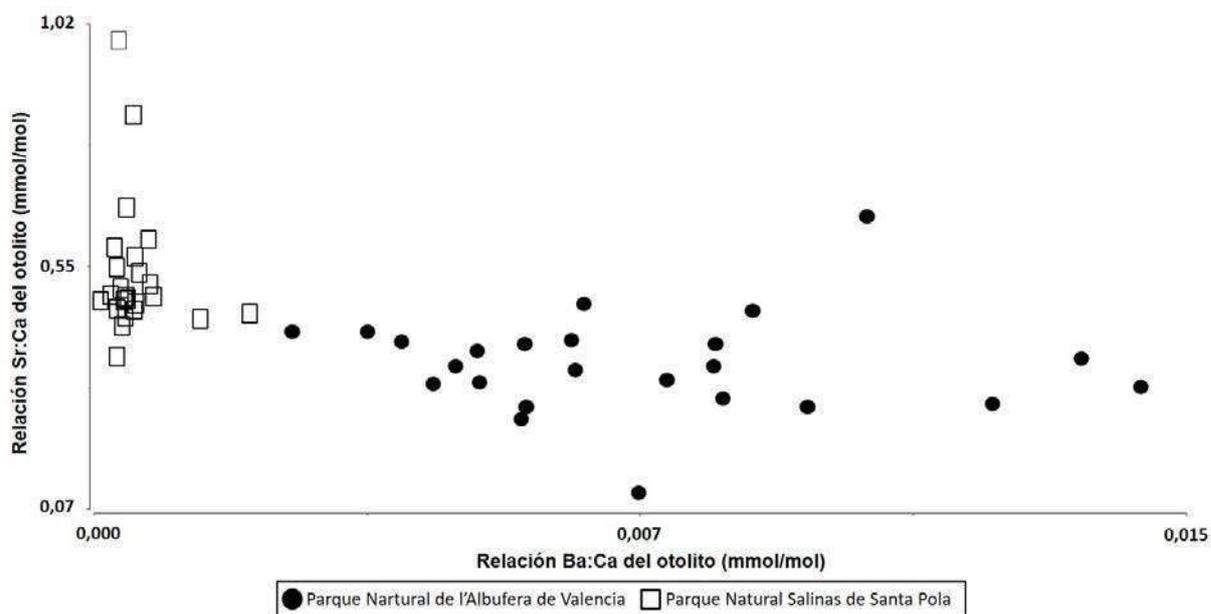


Fig. 5.4. Análisis de dispersión de las relaciones Sr/Ca y Ba/Ca en otolitos de *Mugil cephalus* de las áreas estudiadas: Parque Natural de l'Albufera de Valencia y Parque Natural Salinas de Santa Pola.

5.4. Discusión

En este capítulo la aplicación de la morfometría y microquímica del otolito *sagitta* permitió identificar y caracterizar hábitats utilizados por juveniles de *Mugil cephalus* en la costa Valenciana.

El estudio de la morfometría del otolito, junto con el análisis de la morfometría externa en peces y de la morfometría geométrica, ha sido mayormente aplicado para la diferenciación de especies de mugílidos (Ibáñez *et al.*, 2007; González-Castro *et al.*, 2012; González-Castro y Ghasemzadeh, 2016), pero no ha sido utilizado previamente en esta familia para la identificación de poblaciones ni el uso de hábitats. En este capítulo, se observaron variaciones morfométricas en los otolitos de juveniles de dos humedales con diferentes características; sin embargo, sólo dos de los índices de forma analizados fueron relevantes para la caracterización de áreas.

Varios autores han demostrado que la morfometría del otolito se encuentra determinada por factores ambientales y a su vez depende del comportamiento biológico y ecológico de las especies (Tuset *et al.*, 2003a; Cardinale *et al.*, 2004; Mérigot *et al.*, 2007; Avigliano *et al.*, 2015d). Los individuos del Parque Natural de l'Albufera presentaron mayor índice de circularidad, por lo que sus *sagittae* tendieron a presentar mayor complejidad de borde que los otolitos de los peces del Parque Natural Salinas de Santa Pola. Asimismo, los especímenes de AV tuvieron menor porcentaje del área de sus otolitos ocupada por el *sulcus*. Las diferencias observadas en la circularidad de los otolitos puede estar dada por una deposición diferencial del carbonato de calcio debida a las características ambientales de cada área. Aunque algunos autores han reportado que existe una relación positiva entre la salinidad y la tendencia a la circularidad (Avigliano *et al.*, 2012; Avigliano *et al.*, 2015b; Avigliano *et al.*, 2015d); los resultados obtenidos revelarían un patrón opuesto, ya que SP presenta aguas con mayor salinidad que AV. Con respecto al porcentaje ocupado por el *sulcus*, se ha observado una relación entre esta variable y la movilidad de los individuos, tendiendo a ser mayor la superficie en individuos de poblaciones que realizan grandes migraciones (Tuset *et al.*, 2003a; Avigliano *et al.*, 2015d). A su vez, se ha asociado la variación de dicho porcentaje a diferencias en el comportamiento de alimentación de los peces (Aguirre y Lombarte, 1999; Mérigot *et al.*, 2007). En relación a los resultados observados, dado que ambos humedales presentan geomorfología y profundidad similares pero aguas con características diferentes, las variaciones observadas en la superficie del *sulcus* podrían estar asociadas a los diferentes usos que los peces realizan del ambiente, en cuanto a su alimentación, o bien a otras particularidades ecológicas como la existencia de depredadores, zonas de refugio, etc. Aunque la utilización de índices de forma no suele ser la mejor opción para estudiar diferencias de forma en el otolito (Lombarte y Tuset, 2015), han sido utilizados exitosamente por diversos autores en otras especies como *Aguilla anguilla*, *Odontesthes bonariensis* y *Serranus cabrilla*, entre otras (Briand *et al.*, 2003; Tuset *et al.*, 2003a; Avigliano *et al.*, 2015d).

Con respecto al análisis de la microquímica de los otolitos, cabe destacar que la concentración de los elementos en el otolito se encuentra íntimamente relacionada a la composición química del agua que frecuentan los peces (Campana, 1999; Reis-Santos *et al.*, 2012; Sturrock *et al.*, 2012). Los elementos depositados en el otolito representan un registro permanente de las condiciones ambientales experimentadas por los peces en un momento determinado (Campana y Thorrold, 2001). Los resultados de este capítulo muestran altos valores de la relación Ba/Ca en los otolitos de especímenes de AV, pudiendo esto asociarse a la baja salinidad presente en el lago del Parque, alrededor de 1,5 UPS (Confederación Hidrológica Júcar, 2016). Asimismo, los individuos de SP mostraron un patrón inverso relativo a esta relación, asociado a las características del agua en esta área protegida, la cual presenta alta salinidad (37,3 UPS). Diferentes autores han observado para *Mugil cephalus* que las relaciones de Sr/Ca y Ba/Ca se encuentran fuertemente asociadas a ambientes con diferente salinidad (estuarino, marino o de agua dulce) (Chang *et al.*, 2004b; Wang, 2014; Górski *et al.*, 2015) y han descrito los patrones migratorios de esta especie asociando dichas relaciones químicas a las salinidad del agua. El uso de marcas químicas para diferenciar hábitats juveniles requiere que la composición elemental del agua de las áreas presente marcadas diferencias que puedan ser registradas en el otolito de los peces que las habitan (Brown, 2006). En este capítulo, las áreas estudiadas presentaron diferencias ambientales en la composición elemental de sus aguas, reflejadas en las relaciones microquímicas observadas en el otolito de los peces.

Los resultados obtenidos sugieren que mediante el uso de la morfometría y microquímica del otolito *sagitta* de juveniles de *Mugil cephalus* diferentes áreas de cría podrían identificarse en la Comunidad Valenciana. Así, el uso simultáneo de estas metodologías podría ser considerado un análisis robusto como marcadores de hábitat para esta especie. Este estudio debería ampliarse a otros humedales utilizados por la especie a lo largo de la costa Mediterránea, siendo que la identificación de áreas de cría supone una herramienta potencial para estudios de dinámica poblacional y conectividad entre áreas, facilitando así el manejo adecuado de las especies y de los humedales que utilizan.

Capítulo 6

Identificación de patrones migratorios y potenciales stocks pesqueros de *Mugil cephalus* en humedales costeros de la Comunidad Valenciana.



Venedora a la platja de Cabanyal, València (Anna M. Chistian, 1915)

6.1. Introducción

El estudio de las migraciones de peces diádromos es muy importante para comprender el ciclo de vida de las especies y el uso de hábitats, así como para el manejo integral ecosistémico de zonas preferidas por los peces (Beck *et al.*, 2001; Payne Wynne *et al.*, 2015). Las comunidades de peces juegan un papel clave en el funcionamiento de ecosistemas acuáticos, y su desplazamiento entre hábitats es un componente importante de esta temática ya que involucra la transferencia energética entre ecosistemas (Lucas *et al.*, 2001). Existen diferentes métodos para estudiar los desplazamientos y el uso de hábitats que realizan los peces como la captura-marcado-recaptura, o el análisis de características morfométricas o composición microquímica del otolito (Sturrock *et al.*, 2012; Avigliano *et al.*, 2014; Clément *et al.*, 2014).

El análisis de las características morfométricas del otolito permite la identificación de stocks de una misma especie habitando diferentes áreas (Tuset *et al.*, 2003b; Vignon, 2012; Sadighzadeh *et al.*, 2014). Asimismo, el análisis elemental a través del crecimiento del pez sirve como marca natural y puede ser utilizado para monitorizar su historia de vida, reconstruyendo sus patrones migratorios y los ambientes utilizados (Campana *et al.*, 2000; Wang *et al.*, 2010).

La precipitación de elementos en los otolitos está influenciada por factores fisiológicos y ambientales, particularmente por la concentración de los elementos en el agua que frecuentan (Wang *et al.*, 2010). Los elementos presentes en el otolito representan un registro permanente de las condiciones ambientales experimentadas por el pez en un momento específico (Campana *et al.*, 2000; Ruttenberg *et al.*, 2005). Particularmente, las relaciones Sr/Ca y Ba/Ca del otolito son de gran utilidad ya que estos elementos varían entre agua dulce y marina, ayudando a comprender el comportamiento migratorio de diferentes especies (Milton *et al.*, 2008; Brown y Severin, 2009; Wang *et al.*, 2010).

Como fue mencionado en el capítulo anterior, *Mugil cephalus* es la especie más cosmopolita de la familia Mugilidae (Whitfield *et al.*, 2012). Distintos aspectos de esta lisa han sido estudiados por poseer un importante valor económico como especie comercial, en acuicultura y por el consumo de sus huevas (Chang *et al.*, 2004a). Se han llevado a cabo diversos estudios, tanto en el ambiente como en el laboratorio, para comprender mejor su biología y ecología (Whitfield *et al.*, 2012). Además, se han estudiado sus patrones migratorios en el Mar Caribe (Ibáñez *et al.*, 2012), el Océano Pacífico (Chang *et al.*, 2004a; Lester *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2010; Górski *et al.*, 2015; Fowler *et al.*, 2016) y el Océano Atlántico (Bacheler *et al.*, 2005), mediante la aplicación del método de marcado, la identificación de parásitos o el análisis de otolitos.

Experimentos de cría de *Mugil cephalus* han demostrado que existe una correlación positiva entre la relación Sr/Ca del otolito y la salinidad del agua en la que viven los especímenes (Chang *et al.*, 2004b). Con respecto a la relación Ba/Ca, si bien la misma no han sido estudiada aún en *M. cephalus*, en otras especies se ha reportado una correlación negativa entre ésta y la salinidad del

agua del medio en que viven (Elsdon y Gillanders, 2005).

El objetivo de este capítulo es estudiar los patrones migratorios, en relación al uso de hábitat, de *Mugil cephalus* en humedales Mediterráneos de la Comunidad Valenciana, y analizar la presencia de potenciales stocks pesqueros en el área, mediante el uso de la morfometría y la microquímica del otolito *sagitta*. Se proporcionará información sobre los desplazamientos de *M. cephalus*, y las áreas relevantes para la historia de vida de esta especie en la región.

6.2. Materiales y Métodos

6.2.1. Área de estudio y colección de muestras

Entre los años 2013 y 2014 se colectaron individuos adultos ($n = 78$) de *Mugil cephalus* (Tabla 6.1) con redes agalleras en capturas artesanales de pescadores de comunidades locales. Se seleccionaron, en la región Mediterránea, tres humedales, dos en la Comunidad Valenciana (Parque Natural de l'Albufera de Valencia (AV) y Parque Natural Salinas de Santa Pola (SP)) y uno en el límite norte de la misma, en Cataluña (Parque Natural Delta del Ebro (DT)) (Figura 6.1). Todos los humedales elegidos se encuentran conectados con el Mar Mediterráneo ya sea de forma permanente o mediante canales artificiales operados manualmente. Sus características generales se han detallado en el Capítulo 2 de esta tesis.

Los individuos colectados fueron llevados al laboratorio donde se registró su longitud estándar (LS) en mm, y se extrajeron sus otolitos *sagittae*. Estos últimos fueron secados y preservados en viales plásticos para su posterior análisis.

Tabla 6.1. Número total de individuos muestreados y rango de tallas (longitud estándar - LS) para cada método utilizado (morfometría del otolito y microquímica) en cada área de estudio.

	Análisis morfométrico - LS (mm)	Análisis microquímico - LS (mm)
Parque Natural del Delta del Ebro	319 - 519 (n = 22)	395 - 519 (n = 19)
Parque Natural de L'Albufera	271 - 577 (n = 19)	355 - 577 (n = 11)
Parque Natural Salinas de Santa Pola	359 - 419 (n = 37)	359 - 419 (n = 13)



Fig. 6.1. Localización de las áreas de estudio en la costa Mediterránea de la Comunidad Valenciana: Parque Natural del Delta del Ebro, Parque Natural de L'Albufera, Parque Natural Salinas de Santa Pola.

6.2.2. Morfometría del otolito

Mediciones morfométricas en el otolito

Esta metodología se utilizó para analizar diferencias entre individuos de las áreas muestreadas a fin de identificar potenciales stocks pesqueros de la especie. Como fue descrito en el capítulo 5, la cara externa del otolito *sagitta* derecho de cada individuo fue fotografiada con una cámara digital acoplada a un microscopio estereoscópico (Leica[®] MZ16). Las imágenes se utilizaron para registrar las siguientes variables morfométricas: longitud total del otolito (LO), ancho total del otolito (AO), perímetro total del otolito (PO) y perímetro del sulcus (PS) en mm; y superficie del otolito (SO) y superficie del sulcus (SS) en mm²; y con ellas se calcularon los índices de forma: circularidad, aspecto de radio, porcentaje del área del otolito ocupada por el *sulcus*, elipticidad y factor de forma*.

*Las fórmulas de los índices morfométricos utilizados se encuentran en el capítulo 5, página 73.

Análisis estadístico de la morfometría del otolito

Se analizó la normalidad de las variables morfométricas con un test de Shapiro-Wilks y su homogeneidad de varianza mediante un test de Levene. El efecto de la talla sobre dichas variables fue corregido (ANCOVA, $p < 0,01$) substrayendo la pendiente común del ANCOVA (b). Este ajuste eliminó el efecto de la talla sobre estos índices. Las constantes de corrección utilizadas fueron: circularidad: $b = 0,01$; rectangularidad: $b = -7,7 \times 10^{-5}$; aspecto de radio: $b = 2,9 \times 10^{-4}$; porcentaje ocupado por el *sulcus*: $b = -3,1 \times 10^{-5}$; elipticidad: $b = -2,7 \times 10^{-4}$; y factor de forma: $b = -1,3 \times 10^{-4}$. Se estudió la correlación entre las variables, y aquellas que tuvieron una alta correlación con otras, fueron eliminadas del análisis. Para los índices que presentaron una distribución normal, se compararon los individuos de las diferentes áreas estudiadas con un análisis de la varianza de un factor (ANOVA) con posteriores contrastes múltiples de Tukey. Aquellas variables que no fueron normales, se analizaron mediante un test de Kruskal-wallis.

Finalmente se realizó un análisis simultáneo de todas las variables morfométricas, para estudiar las diferencias entre las áreas de muestreo. Dado que algunos de los índices resultaron no-normales, se realizó un análisis multivariado de permutaciones (PERMANOVA) con la aplicación del índice de similitud de Gower y 9999 permutaciones (Anderson, 2001), mediante el uso del programa estadístico PAST[®].

6.2.3. Microquímica del otolito

Preparación de los otolitos

Esta metodología se utilizó tanto para el estudio de patrones migratorios como para el análisis de la presencia de potenciales stocks pesqueros. Se seleccionaron individuos capturados en los tres humedales estudiados (Tabla 6.1). Los otolitos, luego de extraídos y limpiados, fueron pesados con una balanza analítica (precisión: 0,0001 mg) y fueron incluidos en resina epoxi cristalina (EC 141) (Figura 6.2). Se realizaron secciones transversales por encima del núcleo de cada otolito usando una sierra de baja velocidad Isomet ©Buehler (Figura 6.3). El núcleo fue expuesto mediante el desbastado con papeles de lija de diferente grado (grano: 4000 a 500) y la superficie fue alisada mediante un paño de pulido de 1 μm (©Buehler). Las secciones fueron sonicadas con agua Milli-Q durante cinco minutos y secadas bajo flujo laminar por 24 hs para posteriores análisis.



Fig. 6.2. Inclusión de otolitos *sagittae* en resina epoxi para la realización de secciones transversales.



Fig. 6.3. Corte transversal del otolito *sagitta* efectuado mediante la utilización de una sierra Isomet ©Buehler.

Técnica del análisis microquímico

Se utilizó un espectrómetro de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (Q-ICP-MS) Agilent 7500ce (Tokyo, Japan) acoplado a una unidad laser (LA) para analizar las variaciones elementales del otolito.

El equipo Q-ICP-MS empleado fue de tipo cuadrupolo, equipado con una celda de colisión/reacción de tipo octapolo (ORS) (Figura 6.4). Posee un sistema de nebulización compuesto por un nebulizador concéntrico tipo Meinhard de vidrio acompañado de una cámara refrigerada entre 2-4 °C. Dispone de una antorcha de cuarzo tipo Fassel con un tubo inyector de 1,5 mm de diámetro interno. Presenta un cono de muestreo y uno de extracción de níquel con diámetros internos de 1 y 0,4 respectivamente; y una celda de colisión/reacción situada entre el sistema de lentes y el analizador de cuadrupolo, que puede presurizarse con hidrógeno, helio, otros gases o alguna mezcla de los mismos. Además, dispone de un detector de multiplicador de electrones secundarios que permite detectar secuencialmente en modo analógico o digital, dependiendo del flujo de iones incidente. La posición de la antorcha y los voltajes de las lentes son optimizados diariamente para una óptima sensibilidad, haciendo pasar una disolución de 1 ng g⁻¹ de Li, Y y Tl en HNO₃ 1 % (v/v). Se monitorizaron las señales de ⁷Li⁺, ⁸⁹Y⁺ y ²⁰⁵Tl⁺, cubriendo así un amplio rango de masas, la relación ¹⁵⁶CeO⁺/¹⁴⁰Ce⁺ para controlar la contribución de óxidos y la relación ⁷⁰Ce²⁺/¹⁴⁰Ce⁺ con el fin de minimizar la contribución de las especies doblemente cargadas.

El sistema de ablación laser que se acopló al equipo de Q-ICP-MS es un modelo CETAC LSX-213 (Omaha, USA) equipado con un laser de Nd:YAG que opera en el ultravioleta lejano (213 nm) con un ancho de pulso menor a 6 ns (Figura 6.5). La energía del láser es modulable en el rango de 0-100 % con un valor máximo de 5,6 mJ, el tamaño del haz puede variar entre 10-200 μm y la frecuencia de disparo entre 1-20 Hz. Estas variables junto con la velocidad de barrido, el número de disparos y el retardo del disparador, se controlan mediante el programa Digilaz 213TM. La cámara de ablación tiene un volumen efectivo de 60 cm³ y está situada sobre una plataforma que permite movimientos X-Y dejando libre el eje Z para enfocar el láser mediante una cámara CCD. El material ablacionado se transporta hasta el plasma por un flujo de helio a través de un tubo de Tygon de alta pureza revestido de Teflón (diámetro externo: 1/4"; diámetro interno: 1/8"). Este tubo se conecta directamente a la antorcha, ya que se trabaja en condiciones de plasma seco. El sistema de ablación láser, una vez acoplado, se optimiza diariamente mediante ablación en continuo (barrido en línea) del material de referencia "Glass Standard" NIST 612 vidrio silicato ("National Institute of Standards and Technology", Gaithersburg, MD, Estados Unidos) buscando una máxima intensidad de las señales de los isótopos ⁵⁹Co⁺, ¹³⁹La⁺, ²³²Th⁺ y ²³⁸U⁺. Además se monitoriza la relación ²³⁸U⁺/²³²Th⁺ cuyo valor debe ser cercano a la unidad para asegurar un bajo efecto de fraccionamiento elemental; y la relación ²⁴⁸ThO⁺/²³²Th⁺, para controlar la formación

de óxidos, que siempre debe estar por debajo del 0,3% en las condiciones mostradas en la Tabla 6.2.



Fig. 6.4. Imagen del espectrómetro de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (Q-ICP-MS) Agilent 7500ce.



Fig. 6.5. Imagen del sistema de ablación láser CETAC LSX-213, acoplado al equipo Q-ICP-MS.

Tabla 6.2. Parámetros de optimización del acoplamiento del láser de ablación con el Q-ICP-MS.

Parámetros de acoplamiento del LA-Q-ICP-MS	
Energía (%)	70
Tamaño haz (mm)	150
Frecuencia (Hz)	10
Velocidad (mm s ⁻¹)	20
Flujo He (mL min ⁻¹)	750
Flujo Ar (mL min ⁻¹)	800

Metodología de ablación en otolitos

Las secciones obtenidas de cada individuo muestreado fueron introducidas en la cámara de ablación y una transecta fue trazada desde el núcleo al borde del otolito a lo largo del mayor radio del mismo (Figura 6.6). La calibración del equipo y los parámetros experimentales del mismo se presentan en la Tabla 6.3. Se obtuvieron las variaciones cronológicas de ^{88}Sr , ^{138}Ba y ^{43}Ca de los otolitos y se calcularon las relaciones elemento/Ca para la construcción de los perfiles de vida de cada pez y sus posteriores análisis estadísticos. Para el cálculo de estas relaciones punto a punto se corrigió previamente el desfase espectral.



Fig. 6.6. Imagen tomada por el programa asociado al LA-ICP-MS de un corte transversal de otolito *sagitta* con la transecta de ablación marcada. El sentido de la ablación es de núcleo a borde.

Tabla 6.3. Parámetros experimentales utilizados en la medida de las variables microquímicas en otolitos mediante LA-ICP-MS.

Parámetros instrumentales Q-ICP-MS Agilent 7500ce	
Potencia RF aplicada	1500 W
Flujo de gas plasmógeno	15 L min ⁻¹
Flujo de gas portador	0,75 L min ⁻¹
Parámetros de adquisición Q-ICP-MS Agilent 7500ce	
Modo de adquisición	Análisis a tiempo resuelto (TRA)
Puntos por pico	1
Tiempo de integración por puntos	0,05 s
Masas monitorizadas	⁴³ Ca ⁺ , ⁸⁸ Sr ⁺ , ¹³⁸ Ba ⁺
Parámetros instrumentales LA-ICP-MS CETAC LSX-213	
Energía del láser (5,6 mJ máx)	100 %
Frecuencia de repetición	20 Hz
Tamaño del haz	50 μm
Modo de ablación	Barrido en línea
Velocidad de barrido	10 μm s ⁻¹
Flujo de Helio	0,70 L min ⁻¹

Análisis estadístico de la microquímica del otolito

Para identificar patrones migratorios se analizaron los perfiles cronológicos de Sr/Ca de cada individuo, clasificándolos de acuerdo a sus componentes ambientales. Se utilizaron los patrones microquímicos previamente descritos por Chang *et al.* (2004a) y Wang *et al.* (2010) para identificar los ambientes frecuentados por los individuos: relaciones de Sr/Ca menores a 3×10^{-3} mmol/mol correspondieron a ambientes dulceacuícolas; relaciones entre 3 y 7×10^{-3} mmol/mol representaron aguas estuarinas-salobres y relaciones mayores a 7×10^{-3} mmol/mol indicaron ambientes marinos o de alta salinidad.

Se realizó un Análisis de Discriminante Canónico (ADC) para estudiar la correcta asignación de individuos a los usos de hábitat identificados. Este análisis multivariado se ejecutó utilizando las relaciones de Sr/Ca y Ba/Ca del núcleo y borde de los otolitos de individuos asignados a cada perfil. Se detectó un efecto de talla en estas variables microquímicas (ANCOVA: $p < 0,01$) por lo que las mismas fueron corregidas substrayendo la pendiente común del ANCOVA (b). Las constantes utilizadas fueron: Sr/Ca-núcleo, $b = 0,001$; Sr/Ca-borde, $b = 0,01$; Ba/Ca-núcleo, $b = 2,8 \times 10^{-4}$; y Ba/Ca-borde: 6×10^{-4} ; eliminando así la correlación significativa con la talla.

En relación al estudio de la presencia de potenciales stocks pesqueros, se analizaron las medidas del extremo de los perfiles de Sr/Ca y Ba/Ca de cada pez (borde del otolito) para todos los sitios de muestreo, dado que dicha región del otolito contiene el material depositado más recientemente. Para analizar las diferencias entre sitios se utilizaron las variables corregidas como fue mencionado previamente. Las relaciones microquímicas fueron comparadas mediante un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis, dado que las variables no cumplieron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk, $p < 0,0001$) y homogeneidad de varianza (Levene, $p < 0,05$).

6.3. Resultados

6.3.1. Morfometría del otolito

Sólo los índices morfométricos, elipticidad y porcentaje ocupado por el *sulcus* tuvieron una distribución normal y homogeneidad de varianza (Shapiro-Wilk, $p > 0,05$; Levene, $p > 0,05$). La variable factor de forma estuvo fuertemente correlacionada con la circularidad (r Spearman = $-0,98$; $p < 0,01$); y la elipticidad correlacionó con el aspecto de radio (r Spearman = $-1,00$; $p < 0,01$), por lo que ambas variables fueron eliminadas de los análisis.

Los individuos de las áreas seleccionadas difirieron significativamente sólo en el porcentaje del otolito ocupado por el *sulcus* ($F = 4,71$, $p = 0,01$), los ejemplares de SP tuvieron valores mayores (Tabla 6.4). En relación al análisis simultáneo de las variables morfométricas, el PERMANOVA reveló diferencias significativas entre las áreas de estudio ($F = 3,34$, $p < 0,01$). No se observaron diferencias entre DT y AV (DT-AV: $p = 0,53$), pero si se encontraron diferencias significativas entre estas áreas y el humedal más austral de la Comunidad Valenciana (DT-SP: $p < 0,01$; AV-SP: $p = 0,03$).

Tabla 6.4. Media \pm desvío estándar (D.S.) de las variables morfométricas analizadas para el otolito de *Mugil cephalus* entre los humedales estudiados: Parque Natural Delta del Ebro (DT), Parque Natural de l'Alfubera de Valencia (AV), Parque Natural Salinas de Santa Pola (SP). Diferentes letras muestran diferencias significativas de la variable entre los sitios.

	DT (n = 22)	AV (n = 19)	SP (n = 37)
	Media \pm D.S.	Media \pm D.S.	Media \pm D.S.
Circularidad (PO ² /SO)	23,95 \pm 2,95	24,67 \pm 2,67	23,13 \pm 1,92
Rectangularidad (SO/[LO x AO])	0,74 \pm 0,08	0,71 \pm 0,03	0,71 \pm 0,03
Aspecto de radio (AO/LO)	0,45 \pm 0,03	0,46 \pm 0,04	0,46 \pm 0,03
Porcentaje ocupado por el <i>sulcus</i> (SS/SO)	0,23 \pm 0,02 ^a	0,23 \pm 0,02 ^a	0,24 \pm 0,02 ^b

6.3.2. Microquímica del otolito

El análisis de perfiles cronológicos reveló la existencia de cuatro patrones de desplazamiento (ecotipos de desplazamiento). En la figura 6.7 se muestran ejemplos de los patrones más representativos observados entre los individuos.

El patrón Tipo I corresponde a un perfil de Sr/Ca en otolitos asociado al uso frecuente de ambientes estuarinos (ecotipo estuarino-residente) (Figura 6.7a).

El patrón Tipo II corresponde a un perfil de Sr/Ca en otolitos asociado al uso de ambientes de agua dulce durante etapas tempranas del desarrollo, y el posterior uso de aguas estuarinas y marinas en etapas intermedias y adultas (ecotipo catátodromo) (Figura 6.7b).

El patrón Tipo III corresponde a un perfil de Sr/Ca en otolitos asociado al uso de aguas estuarinas en etapas tempranas del desarrollo, desplazándose luego los individuos a aguas marinas o de alta salinidad (ecotipo semi-catátodromo) (Figura 6.7c).

El patrón Tipo IV corresponde a un perfil de Sr/Ca en otolitos asociado al uso de aguas marinas o de alta salinidad durante toda la historia de vida del pez (ecotipo marino-residente) (Figura 6.7d).

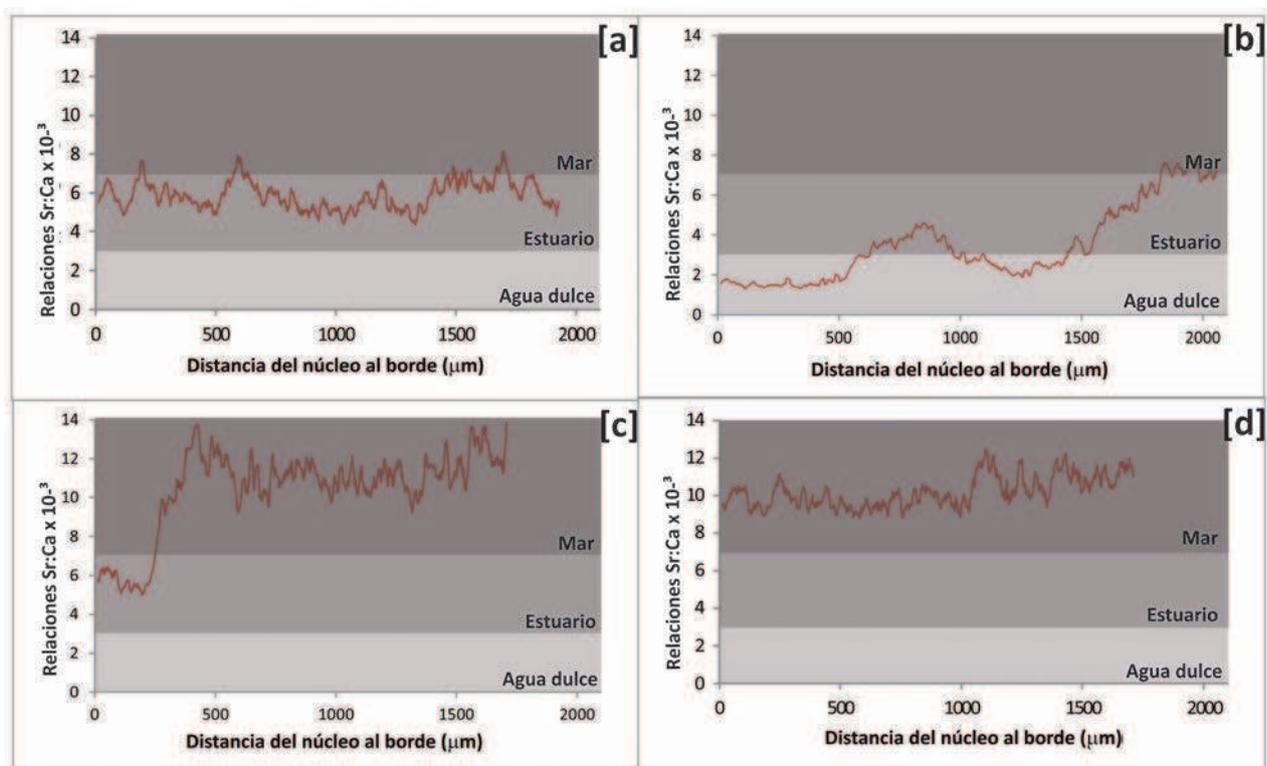


Fig. 6.7. Perfiles de las relaciones Sr/Ca del otolito (desde el núcleo al borde) para los cuatro ecotipos de desplazamiento identificados en *Mugil cephalus* en las tres áreas de estudio. Las letras hacen referencia a los diferentes ecotipos: (a) Tipo I: ecotipo estuarino-residente; (b) Tipo II: ecotipo catátodromo; (c) Tipo III: ecotipo semi-catátodromo; y (d) Tipo IV: ecotipo marino-residente. Los límites para los ambientes relacionados a la salinidad del agua fueron tomados de Chang *et al.* (2004a) y Wang *et al.* (2010).

El ADC asignó correctamente los individuos a los patrones identificados con alta precisión (Tipo I > 95%; Tipo II y Tipo III > 83%; y Tipo IV > 88%) (Tabla 6.5). El gráfico del ADC mostró una separación clara de los Tipos I y II hacia los valores positivos del primer eje canónico, y del Tipo IV hacia los valores negativos del mismo (Figura 6.8). Los individuos con un perfil de Sr/Ca del Tipo III se distribuyeron en valores intermedios a los grupos antes mencionados (Figura 6.8). La variable que mejor explicó las variaciones en el primer eje fue la relación Sr/Ca-borde (coeficiente del discriminante: -0,70). En relación al segundo eje canónico, no se observó una separación clara entre patrones, pero individuos con perfiles de Tipos II y III tendieron a ubicarse hacia los valores positivos de este eje (Figura 6.8). Las variables que mejor explicaron la variación sobre el segundo eje canónico fueron Sr/Ca-núcleo y Sr/Ca-borde (coeficientes del discriminante: 0,87 y -0,74 respectivamente).

Tabla 6.5. Matriz de clasificación cruzada del análisis de discriminante canónico de las variables microquímicas del otolito (relaciones de núcleo y borde de Sr/Ca y Ba/Ca) para diferenciar entre patrones migratorios: Tipo I: ecotipo estuarino-residente; Tipo II: ecotipo catátodromo; Tipo III: ecotipo semi-catátodromo; y Tipo IV: ecotipo marino-residente.

	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	n por Tipo
	Porcentajes				
Tipo I	95,45	4,55	0	0	22
Tipo II	16,7	83,3	0	0	6
Tipo III	16,7	0	83,3	0	6
Tipo IV	0	0	11,1	88,9	9

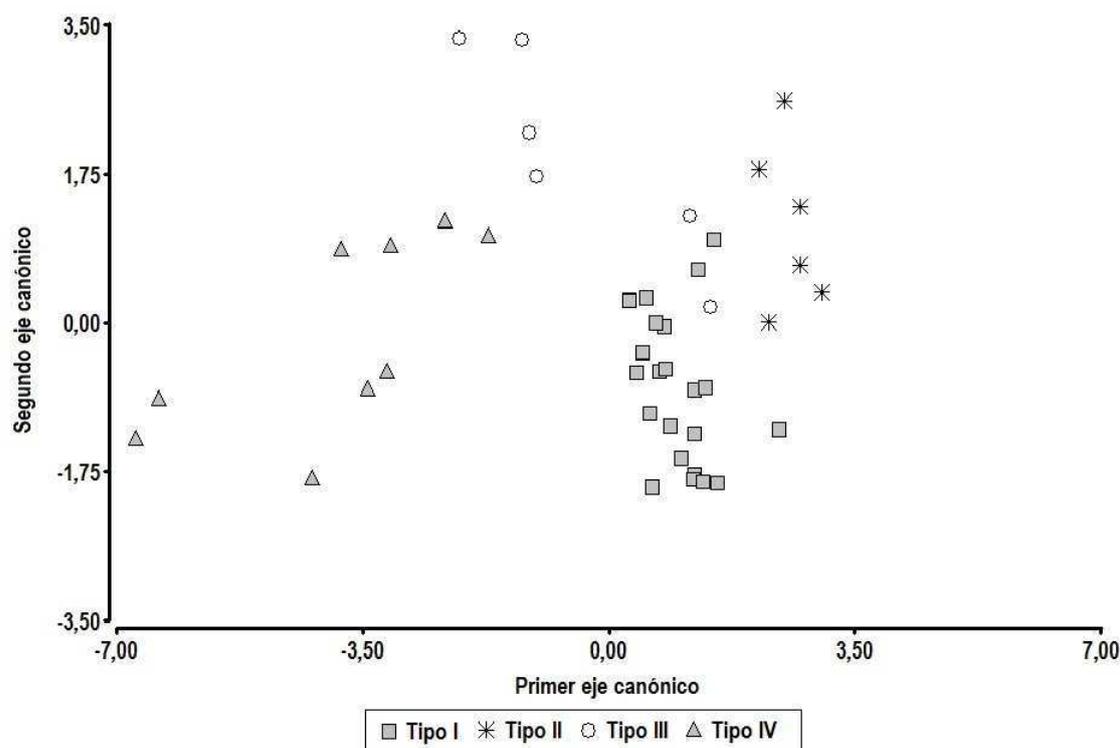


Fig. 6.8. Análisis de discriminante canónico de las variables microquímicas (relaciones de núcleo y borde de Sr/Ca y Ba/Ca) para los cuatro patrones de movimiento identificados en *Mugil cephalus* (Tipo I: ecotipo estuarino-residente; Tipo II: ecotipo catátodromo; Tipo III: ecotipo semi-catátodromo; y Tipo IV: ecotipo marino-residente).

El patrón más común entre los individuos fue el de Tipo I (Tabla 6.6). No todos los ecotipos de desplazamiento fueron identificados en cada una de las áreas de estudio. Los peces capturados en DT mostraron un perfil de Sr/Ca en sus otolitos del Tipo I como su patrón más común (78 %), pero también se hallaron ejemplares que presentaron comportamientos de Tipo II y III. Los individuos provenientes de AV mostraron sólo los patrones de Tipo I y II, siendo el primero el más común (64 %). Los peces capturados en SP fueron los únicos que presentaron el patrón de Tipo IV, siendo este el más común (70 %); y algunos individuos presentaron comportamiento del Tipo III (Tabla 6.6).

Tabla 6.6. Patrones migratorios identificados en especímenes de *Mugil cephalus* de las tres áreas de estudio (Parque Natural Delta de l'Ebro (DT); Parque Natural de l'Alfubera de Valencia (AV); y Parque Natural Salinas de Santa Pola (SP) en la costa Mediterránea del la Comunidad Valenciana. Tipo I: ecotipo estuarino-residente; Tipo II: ecotipo catátodromo; Tipo III: ecotipo semi-catátodromo; y Tipo IV: ecotipo marino-residente.

	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	n total de individuos
DT	15	2	2	0	19
AV	7	4	0	0	11
SP	0	0	4	9	13

En relación al estudio de la presencia de potenciales stocks pesqueros, el análisis de las relaciones Sr/Ca del borde de los otolitos mostró valores similares para AV y DT (Figura 6.9), mientras que SP presentó valores significativamente mayores (Kruskal-Wallis $p < 0,001$), permitiendo la diferenciación de individuos de esta área de aquellos ubicados más al norte.

La relación de borde de Ba/Ca no reveló diferencias significativas entre individuos de las áreas estudiadas (Kruskal-Wallis $p = 0,06$) (Figura 6.9).

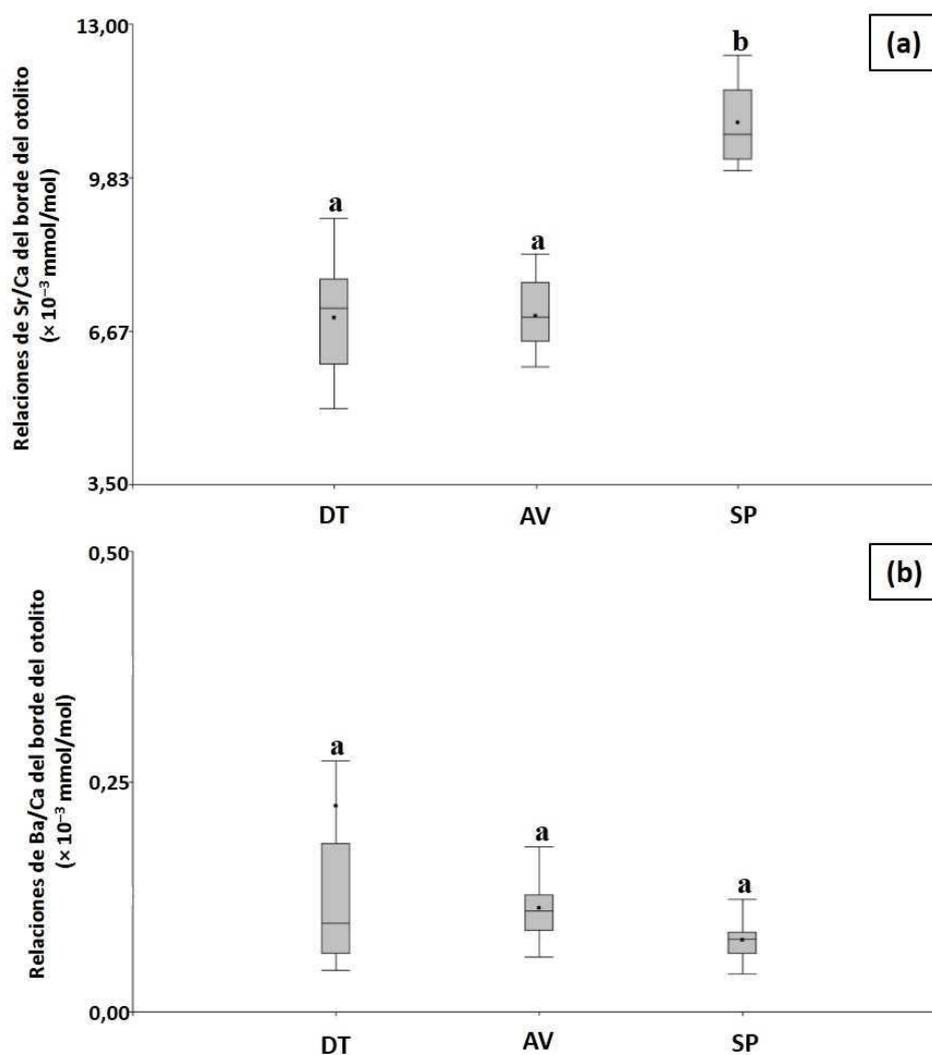


Fig. 6.9. Relaciones de Sr/Ca (a) y Ba/Ca (b) del borde de otolito en las tres áreas de muestreo: Parque Natural Delta de l'Ebro (DT); Parque Natural de l'Alfubera de Valencia (AV); y Parque Natural Salinas de Santa Pola (SP). Las barras indican el desvío estándar y las diferentes letras indican diferencias significativas ($p < 0,01$).

6.4. Discusión

En este capítulo pudieron identificarse cuatro patrones diferentes de desplazamiento de *Mugil cephalus* para la costa Mediterránea de la Comunidad Valenciana mediante el análisis de la microquímica del otolito *sagitta* (Figura 6.10).

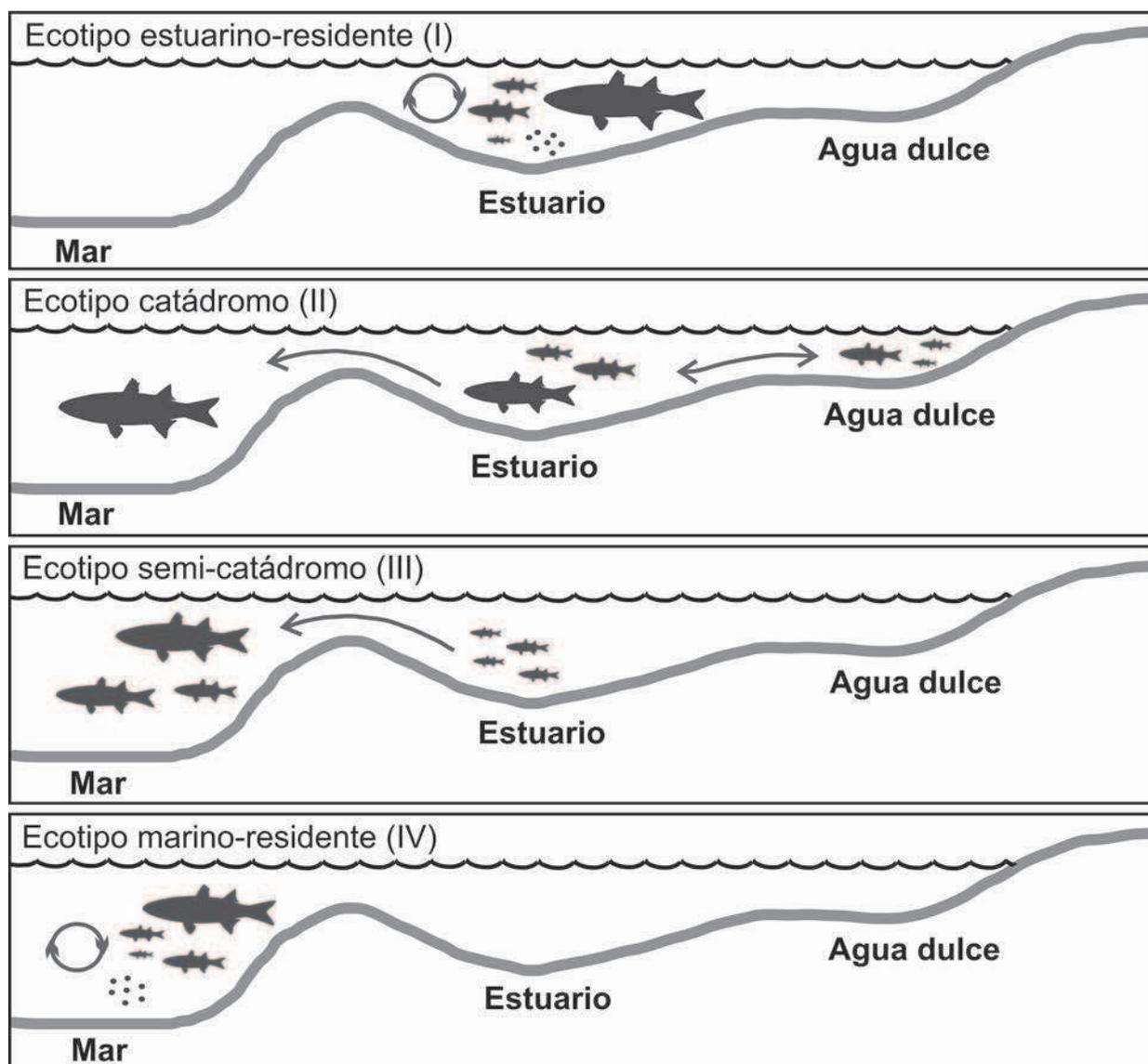


Fig. 6.10. Esquemas que ejemplifican los cuatro ecotipos de desplazamiento identificados para *Mugil cephalus* en la costa Mediterránea de la Comunidad Valenciana. Observación: en los ecotipos II y III no se representa el estadio larval ya que su área de reproducción no se encuentra claramente definida.

El análisis microquímico del *sagitta* evidenció dos patrones de migración diádromo y dos perfiles con características de residencia en aguas estuarinas o marinas. La composición del otolito se encuentra altamente influenciada por el uso de hábitat de las especies (Chang y Geffen, 2013), reflejando los desplazamientos poblacionales, además de los hábitats preferidos y su conectividad (Morales-Nin *et al.*, 2014). *M. cephalus* es una especie eurihalina en la que se han observado previamente diferentes comportamientos de desove y uso de hábitats de juveniles y adultos (Wang *et al.*, 2010). Los resultados presentados en este capítulo concuerdan con los reportados por Chang *et al.* (2004a), quienes sugirieron que los especímenes de *M. cephalus* de Taiwan podían ser divididos en dos grupos: uno que utilizaba ambientes de agua dulce en su ciclo de vida, y otro que no.

A pesar de considerarse a esta especie marina estuarino-oportunista con desove en mar abierto (Chang y Iizuka, 2012; Potter *et al.*, 2015), las relaciones de Sr/Ca en el núcleo de algunos de los

especímenes estudiados en esta tesis mostraron concentraciones correspondientes a ambientes de agua dulce (Tipo II) o estuarinos (Tipos I y III). Esto ha sido observado también en individuos australianos de *M. cephalus*, quienes durante su desove marino permanecían en zonas costeras (Smith y Deguara, 2002; Fowler *et al.*, 2016); y en ejemplares de Taiwan que presentaron comportamientos de residencia en agua dulce o estuarina (Wang *et al.*, 2010).

En este capítulo se observa que los individuos de *Mugil cephalus* pueden presentar diferentes estrategias ambientales, inclusive en la misma área. Los resultados estarían indicando que la especie posee comportamientos de desove y desarrollo en su ciclo de vida más diversos de lo observado previamente, o que su desplazamiento desde el mar hacia ambientes de baja salinidad es rápido, no permitiendo la incorporación de elementos en el otolito que reflejen el ambiente de nacimiento de los individuos. Ibáñez *et al.* (2012) han reportado un comportamiento similar para *M. cephalus* en el Golfo de México proponiendo que su capacidad eurihalina facilitaría a este mugílido la búsqueda de ambientes más favorables no solo para reproducción sino también para supervivencia y crecimiento. En la Comunidad Valenciana, *Mugil cephalus* presentó una alta plasticidad relacionada al uso de hábitats y desplazamientos, como fue observado en otras especies eurihalinas como *Centropomus parallelus* o *Lysengraulis grossidens* (Mai *et al.*, 2014a; Daros *et al.*, 2016).

Con relación a la presencia de potenciales stocks pesqueros en la Comunidad Valenciana, el análisis de las variables morfométricas no fue robusto en la diferenciación de individuos entre los tres humedales, observándose sólo diferencias significativas en el porcentaje ocupado por el *sulcus* de los individuos de SP con respecto a los otros dos sitios ubicados al norte. Asimismo, cuando se analizaron las relaciones microquímicas del borde del otolito, sólo se observaron diferencias significativas entre la concentración de Sr/Ca de los otolitos de los individuos de SP y las de DT y AV. La relación Ba/Ca no presentó diferencias significativas entre los bordes de los otolitos de peces de los tres humedales. Como se mencionó previamente, la concentración de Sr en otolitos correlaciona positivamente con la salinidad de agua frecuentada por el pez (Kraus y Secor, 2004; Sturrock *et al.*, 2012), mientras que los valores de Ba correlacionan negativamente con la salinidad o conductividad de las masas de agua circundante (Elsdon y Gillanders, 2005; Tabouret *et al.*, 2010; Miller, 2011; Avigliano *et al.*, 2015c). Los resultados obtenidos evidencian que la relación Sr/Ca de los otolitos fue una variable útil para diferenciar peces que frecuentan áreas de mayor salinidad, como sucede con SP (posee una salinidad de 37,3 UPS) en relación a los otros humedales estudiados. El Parque Natural de l'Albufera presenta durante el año salinidades bajas (alrededor de 1,5 UPS (Confederación Hidrológica Júcar, 2016)); asimismo los valores del Parque Natural Delta del Ebro pueden variar entre 1,1 y 33,9 UPS, volviéndose sus aguas más salinas a medida que el Río Ebro se acerca al Mar Mediterráneo. Por esto, aunque las áreas estudiadas más al norte de la Comunidad, presentan diferencias en sus valores de salinidad, en ambas pueden observarse rangos similares en parte de su distribución, viéndose esto reflejado en concentraciones similares de Sr/Ca en el otolito.

El Mar Mediterráneo posee una circulación muy compleja. En la zona de estudio se observa influencia de la Corriente de agua del Océano Atlántico (superficial) (Figura 6.11) y de la Corriente Levantina (intermedia) moviendo aguas de Este a Oeste (Figura 6.12) (Millot, 1999; Bergamasco y Malanotte-Rizzoli, 2010; Skliris, 2014). Sin embargo se observa un fenómeno particular a meso-escala en el área de estudio, una corriente superficial desde el Este del Mar de Liguria hasta el Golfo de Valencia que sigue el frente de la pendiente de la plataforma (corriente Catalana) y se incorpora al frente de la corriente Balear (Figuras 6.13 y 6.14) (Font *et al.*, 1988; Estrada, 1996; Salat, 1996; Pascual *et al.*, 2002). Esta dinámica oceánica podría estar influenciando en los desplazamientos poblacionales de *Mugil cephalus*, creando una barrera geográfica en el extremo sur del Golfo de Valencia (Cap de Sant Antoni), concordando con nuestros resultados en los que se observaría un stock pesquero de dicha especie al sur del Cabo y otro al norte.

El Sr ha sido previamente utilizado por diversos autores como marcador natural en trabajos de uso de hábitats (Chang *et al.*, 2004b; Chang y Iizuka, 2012; Kerr y Campana, 2014; Górski *et al.*, 2015)). En contraste, el Ba no resultó un elemento útil en este estudio, concordando con los resultados de Fowler *et al.* (2016), quienes reportaron que esta variable microquímica resultó de poca utilidad en la diferenciación de ambientes estuarinos y marinos utilizados por *Mugil cephalus* en la costa Este de Australia. De este modo, analizando las diferencias encontradas en la morfometría y microquímica del otolito, podríamos inferir que en la Comunidad Valenciana podrían existir al menos dos stocks pesqueros, uno ubicado al norte y otro al sur; pudiendo encontrarse la zona de separación en el Cap de Sant Antoni.

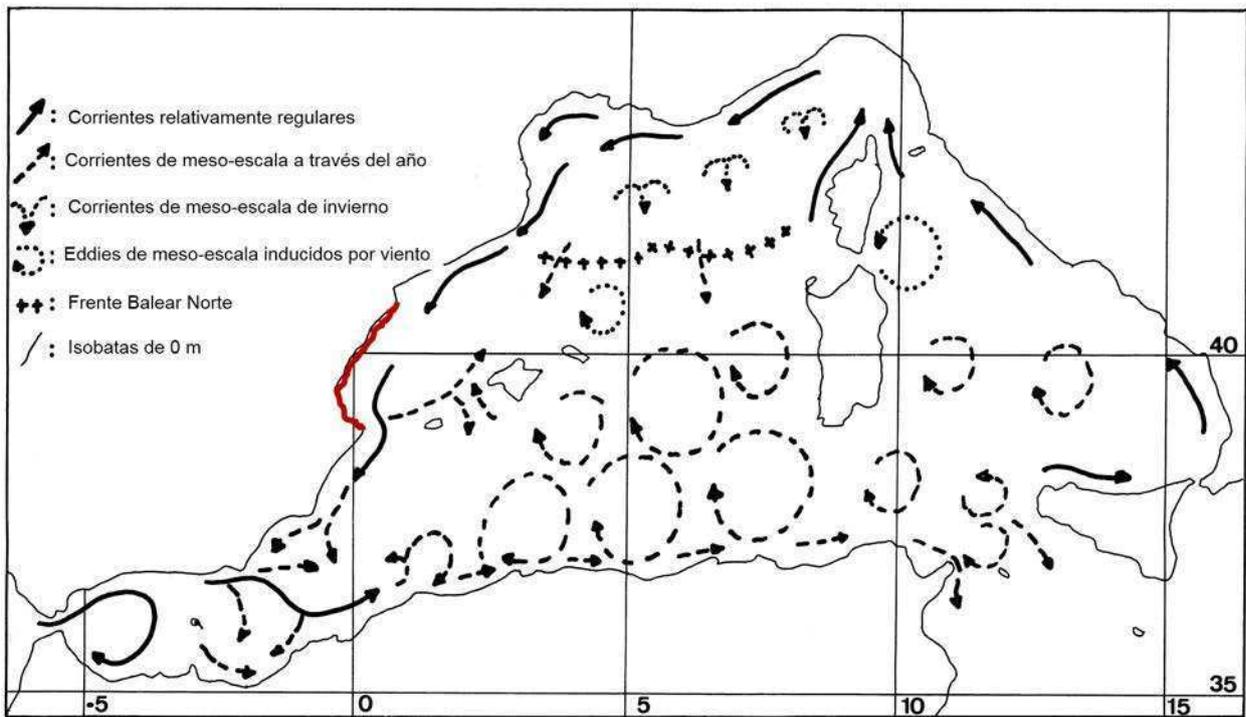


Fig. 6.11. Esquema de circulación de la Corriente Superficial del Atlántico. En rojo se muestra el Golfo de Valencia. Modificado de Millot (1999).

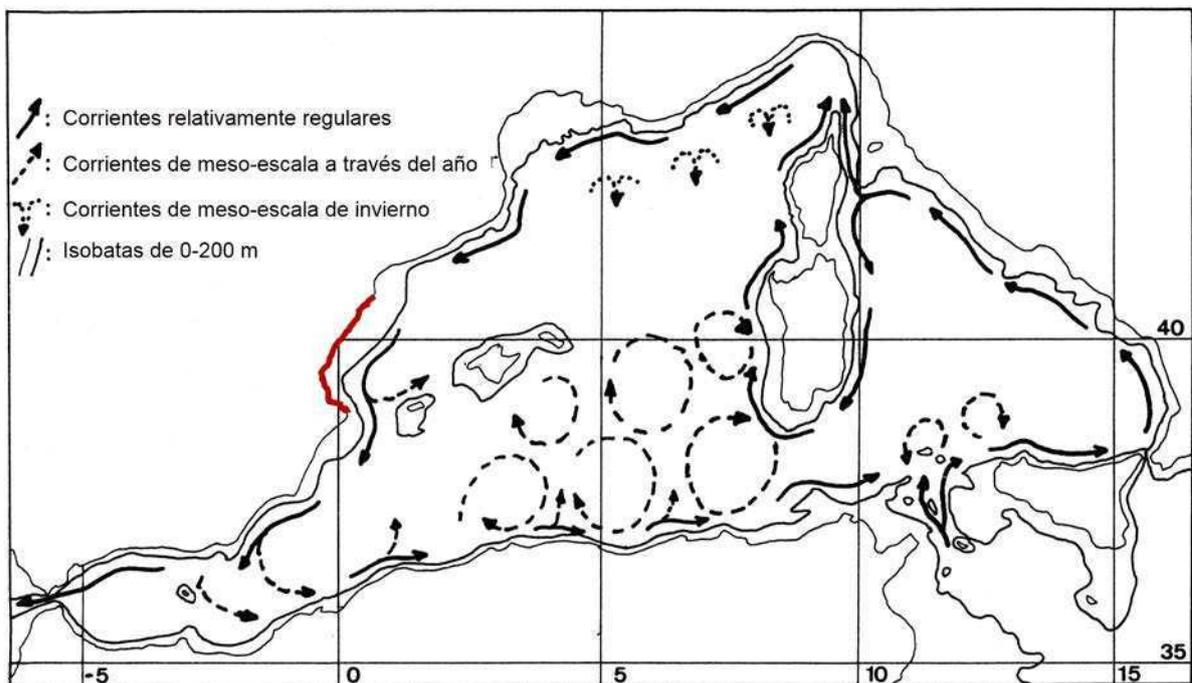


Fig. 6.12. Esquema de circulación de la Corriente Levantina. En rojo se muestra el Golfo de Valencia. Modificado de Millot (1999).

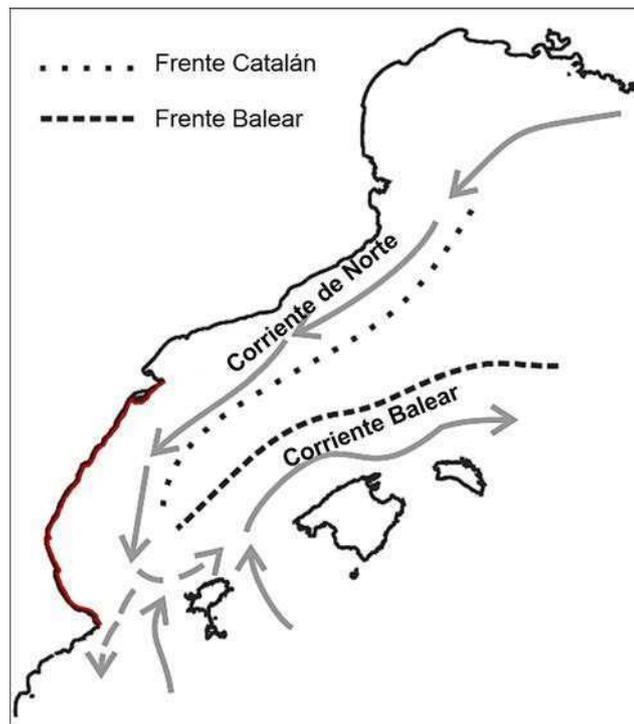


Fig. 6.13. Esquema de circulación de la Corriente Balear. Líneas continuas representan corriente mas o menos estable y líneas discontinuas representan corriente a meso-escala estacional. En rojo se muestra el Golfo de Valencia. Modificado de Pascual *et al.* (2002).

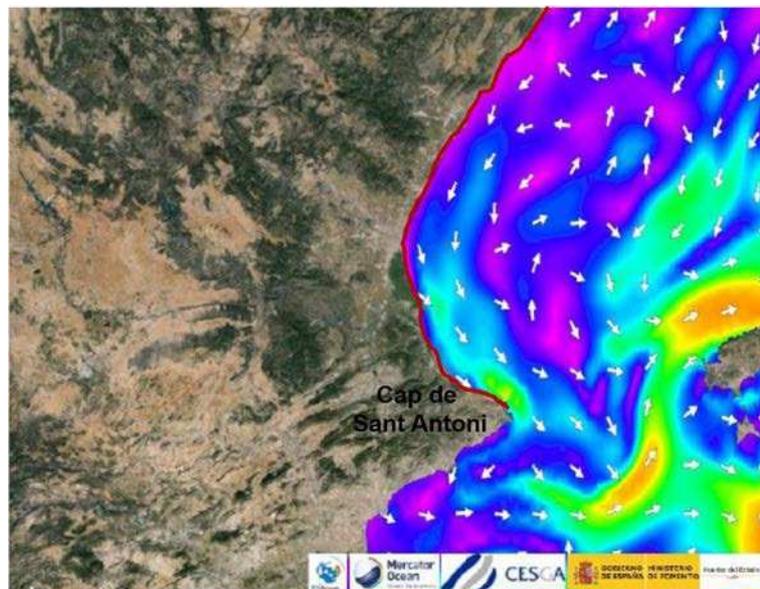
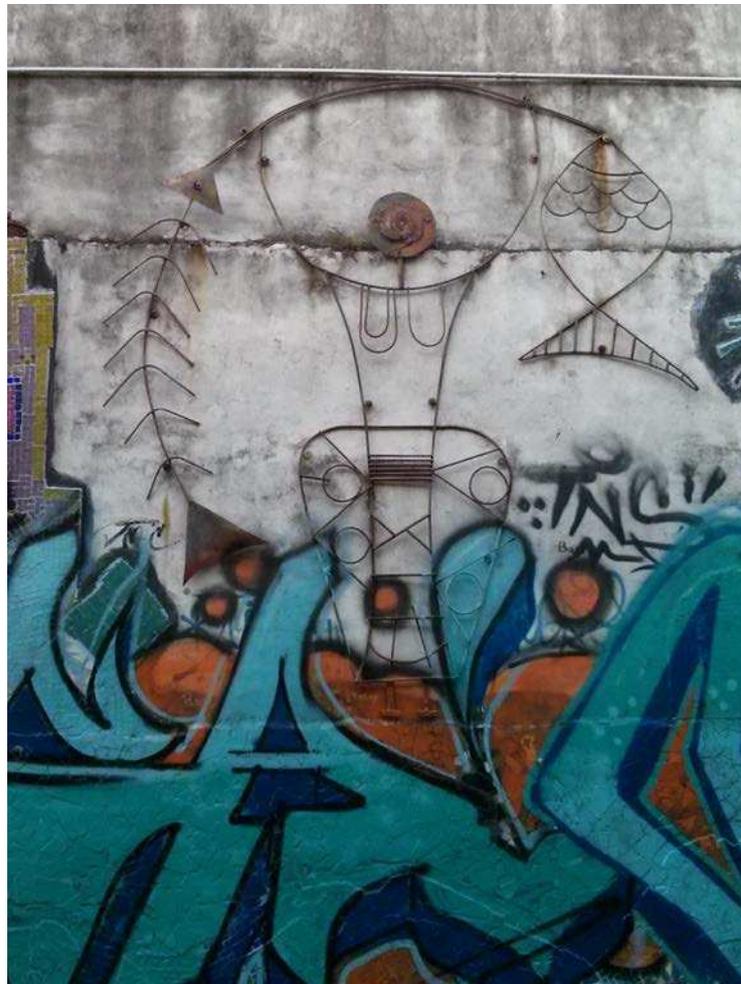


Fig. 6.14. Esquema de circulación de local en la zona del Cap de Sant Antoni. En rojo se muestra parte del Golfo de Valencia. Extraído y modificado de Fomento (2016).

Capítulo 7

Identificación de patrones migratorios y potenciales stocks pesqueros de *Mugil liza* en el Océano Atlántico sudoccidental.



Arte callejero - Calle Santa Rosa y Gurruchaga (CABA, Argentina) (2015)

7.1. Introducción

La lisa *Mugil liza* es el mugílido más austral del Océano Atlántico sudoccidental. Su rango de distribución se encuentra desde el Mar Caribe hasta el norte de la Patagonia en Argentina (Garbin *et al.*, 2014). Esta especie ha sido previamente confundida con *Mugil platanus* y *Mugil cephalus*. La distribución de *Mugil liza* era considerada hasta Río de Janeiro en Brasil (Heras *et al.*, 2009), y se asumía que *M. platanus* era otro mugílido con distribución más austral (desde Río de Janeiro hasta la Patagonia) (González-Castro *et al.*, 2006). En la actualidad, se ha establecido que *M. platanus* es un sinónimo de *M. liza* (Menezes *et al.*, 2010; Heras *et al.*, 2016). Con respecto a *M. cephalus*, ambas especies se ha propuesto como parte de un complejo (Durand *et al.*, 2012b; Whitfield *et al.*, 2012). Sin embargo, dado que poseen rangos de distribución alopátricos, diversos autores las consideran especies diferentes (Whitfield *et al.*, 2012; Menezes *et al.*, 2015; González-Castro y Ghasemzadeh, 2016).

Mugil liza es una especie de importancia comercial en toda su distribución. En Brasil, miles de toneladas de esta lisa son extraídas de la mayoría de los estados costeros del país (IBAMA, 2007; Miranda *et al.*, 2011), soportando así la pesca industrial. En Argentina *M. liza* es la base de pesquerías artesanales que soportan las comunidades y al mercado local (Mendonça, 2007; González-Castro *et al.*, 2009). En la costa norte de la provincia de Buenos Aires se utiliza como alimento, carnada o en la pesca deportiva (González-Castro *et al.*, 2009).

Diversos estudios se han llevado a cabo sobre aspectos biológicos y ecológicos de esta especie, focalizados mayormente en su crecimiento (Okamoto *et al.*, 2006; González-Castro *et al.*, 2009; Garbin *et al.*, 2014), reproducción (Esper y Esper, 2001; Albieri y Araújo, 2010; Albieri *et al.*, 2010; González-Castro *et al.*, 2011), abundancia (Araújo Silva y Araújo, 2000) y parásitos (Knoff *et al.*, 1994; Knoff *et al.*, 1997; Alarcos y Etchegoin, 2010). También se ha propuesto la utilización de *M. liza* como bioindicador de contaminación (Marcovecchio, 2004; Hauser-Davis *et al.*, 2012). Sin embargo, no se ha estudiado en profundidad su migración, desplazamientos, ni la identificación de stocks de este importante recurso pesquero.

En este sentido, el objetivo de este capítulo es contribuir con información sobre los patrones de desplazamiento de *Mugil liza* y analizar la presencia de potenciales stocks pesqueros en el Océano Atlántico sudoccidental, aplicando el estudio simultáneo de la morfometría y microquímica del otolito *sagitta*.

7.2. Materiales y Métodos

7.2.1. Área de estudio y colección de muestras biológicas

Para este estudio se seleccionaron cuatro áreas costeras del Océano Atlántico sudoccidental: el Complejo Estuarino de Paranaguá en Brasil, y la Bahía Samborombón, la Laguna Costera Mar Chiquita y la Bahía San Blas en Argentina (Figura 7.1). Individuos adultos de *Mugil liza* ($n = 99$), todos de longitud mayor a la talla de primera madurez (L_{50}) (González-Castro *et al.*, 2011) (Tabla 7.1), se obtuvieron de capturas artesanales entre los años 2012 y 2013. Se registró la longitud estándar (LS en mm) de todos los especímenes y se extrajeron sus otolitos *sagittae*. Los mismos fueron limpiados, secados y guardados para su posterior uso.

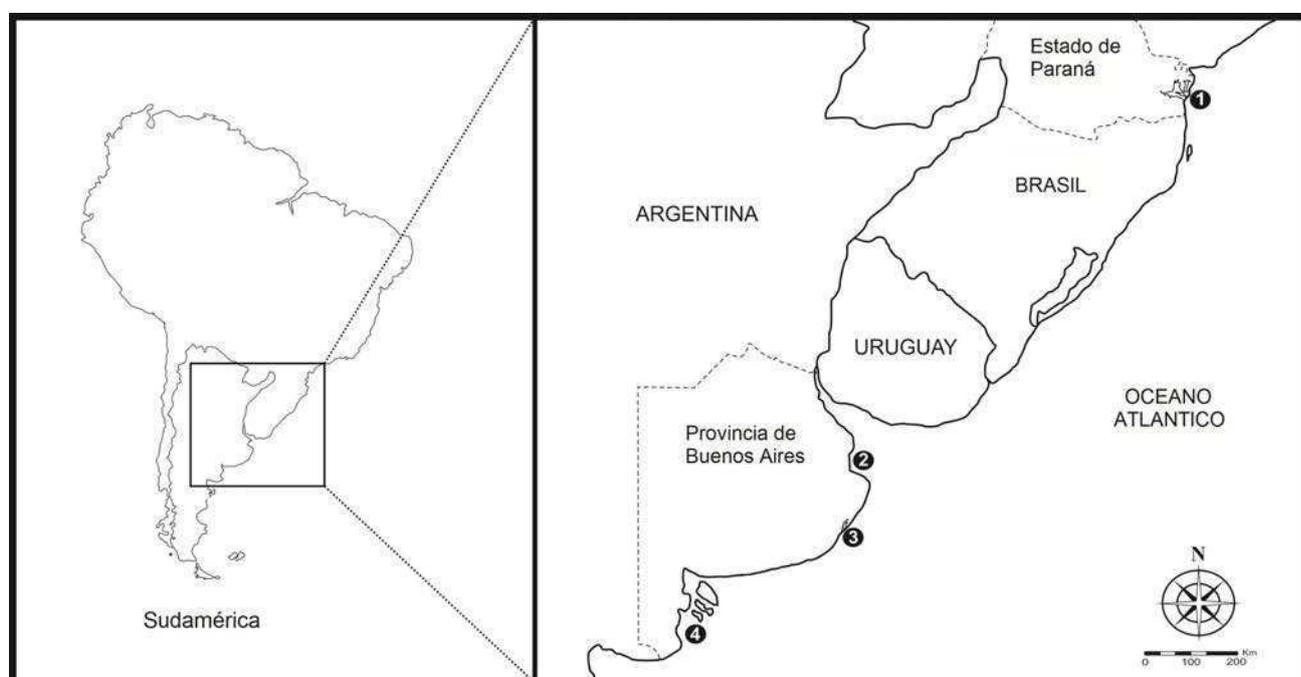


Fig. 7.1. Localización de las áreas de estudio en el Atlántico sudoeste: 1. Complejo Estuarino de Paranaguá, 2. Bahía Samborombón, 3. Laguna Costera Mar Chiquita, 4. Bahía San Blas.

Tabla 7.1. Número total de individuos y rango de tallas (longitud estándar) utilizados en cada método (morfometría y microquímica del otolito) en las cuatro áreas de estudio del Océano Atlántico sudoccidental.

	Análisis morfométrico - Tallas (mm)	Análisis microquímico - Tallas (mm)
Complejo Estuarino de Paranaguá	380-563 (n = 22)	380-500 (n = 10)
Bahía Samborombón	343-488 (n = 14)	343-430 (n = 11)
Laguna Costera Mar Chiquita	380-460 (n = 50)	389-460 (n = 19)
Bahía San Blas	348-391 (n = 13)	355-391 (n = 12)

7.2.2. Morfometría del otolito

Esta metodología se utilizó para analizar diferencias entre los otolitos de los individuos de las áreas muestreadas para tratar de identificar la presencia de potenciales stocks pesqueros de la especie. Al igual que con *Mugil cephalus* en los capítulos 5 y 6, la cara externa del otolito *sagitta* derecho de cada individuo de *Mugil liza* muestreado fue fotografiada con una cámara digital acoplada a un microscopio estereoscópico (Leica® MZ16). Las imágenes fueron luego analizadas y medidas utilizando el programa de procesamiento de imágenes Image-Pro Plus 4.5®. Se registraron las siguientes variables morfométricas: longitud total del otolito (LO), ancho total del otolito (AO), perímetro total del otolito (PO) y perímetro del sulcus (PS) en mm; y superficie del otolito (SO) y superficie del sulcus (SS) en mm². Utilizando estas mediciones se calcularon los siguientes índices de forma: circularidad, rectangularidad, aspecto de radio, porcentaje del área del otolito ocupada por el *sulcus*, elipticidad, y factor de forma*.

Se analizó la normalidad de las variables con un test de Shapiro-Wilks y su homogeneidad de varianza mediante un test de Levene. Un análisis de covarianza (ANCOVA) ($p < 0,01$) fue utilizado para corregir el efecto de la talla sobre las variables morfométricas substrayendo la pendiente común del ANCOVA (b). Este ajuste eliminó el efecto de la talla sobre los índices morfométricos. Las constantes de corrección utilizadas fueron: circularidad: $b = 0,01$; rectangularidad: $b = -3,4 \times 10^{-5}$; aspecto de radio: $b = 2,5 \times 10^{-4}$; porcentaje ocupado por el *sulcus*: $b = -1,2 \times 10^{-4}$; elipticidad: $b = -2,3 \times 10^{-4}$; y factor de forma: $b = -2,3 \times 10^{-4}$. Se realizó un Análisis de Discriminante Canónico (ADC) utilizando las variables morfométricas para obtener una matriz de clasificación cruzada y determinar la capacidad de dichos índices para localizar el sitio donde los peces fueron capturados, de manera de identificar stocks pesqueros. Luego, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para identificar aquellas variables morfométricas que mejor explicaran la variabilidad observada entre sitios. Todos los análisis se realizaron utilizando el programa InfoStat®.

7.2.3. Microquímica del otolito

Esta metodología se utilizó tanto para el estudio de patrones migratorios como para el análisis de la presencia de potenciales stocks pesqueros. Para esto se seleccionaron individuos capturados en las cuatro áreas costeras seleccionadas (Tabla 7.1); los mismos fueron pesados con una balanza analítica (precisión: 0,0001 mg) y fueron incluidos en resina epoxi cristalina (EC 141) como fue mencionado en el capítulo 6 para *Mugil cephalus*. Se realizaron secciones transversales por encima del núcleo de cada otolito usando una sierra de baja velocidad Isomet ©Buehler. El núcleo fue expuesto mediante el desbastado con papeles de lija de diferente grado (grano: 4000 a 500) y la superficie fue alisada

*Las fórmulas de los índices morfométricos utilizados se encuentran en el capítulo 5, página 73.

mediante un paño de pulido de 1 μm (©Buehler). Las secciones fueron sonicadas con agua Milli-Q durante cinco minutos y secadas bajo flujo laminar por 24 hs para posteriores análisis.

Como fue descrito en el capítulo 6, se utilizó un espectrómetro de masas con fuente de plasma de acomplamiento inductivo (Q-ICP-MS) Agilent 7500ce (Tokyo, Japan) acoplado a una unidad laser (LA) Cetac LSX-213 (Omaha, USA) para analizar las variaciones cronológicas de ^{88}Sr , ^{138}Ba y ^{43}Ca de los otolitos. Se obtuvo así la composición elemental del otolito y se calcularon las relaciones elemento/Ca para la construcción de los perfiles químicos de cada pez y sus posteriores análisis estadísticos.

Para identificar los patrones de movimiento, cada individuo fue analizado y los perfiles obtenidos de Sr/Ca en los otolitos fueron clasificados de acuerdo a sus componentes ambientales. Se asumieron límites químicos para la diferenciación de ambientes descriptos previamente por otros investigadores para *Mugil cephalus*, la especie más estudiada de Mugilidae, dado que no existe información para *Mugil liza* y que ambas especies están relacionadas estrechamente (Durand *et al.*, 2012b; González-Castro y Ghasemzadeh, 2016). La utilización de ambientes dulceacuícolas se consideró cuando las relaciones de Sr/Ca fueron menores a $3,5 \times 10^{-3}$ mmol/mol; las relaciones entre $3,5$ y 7×10^{-3} mmol/mol representaron ambientes estuarinos o de aguas salobres; y valores mayores a 7×10^{-3} mmol/mol se consideraron ambientes marinos (Chang *et al.*, 2004a; Wang *et al.*, 2010; Górski *et al.*, 2015). Se realizó un Análisis de Discriminante Canónico (ADC), utilizando el programa InfoStat[®], para evaluar la correcta identificación de individuos a los patrones de uso de hábitat identificados. Este análisis multivariado se ejecutó utilizando las medias de las relaciones de Sr/Ca y Ba/Ca de cada perfil y sus respectivos desvíos estándar (Ds) como variables dependientes. Previo a dicho análisis, un efecto de la talla fue detectado en la variables microquímicas mencionadas (ANCOVA: $p < 0.01$). Las mismas fueron corregidas substrayendo la pendiente común del ANCOVA (b). Las constantes utilizadas fueron: Sr/Ca, $b = 0,01$; DsSr/Ca, $b = 1,6 \times 10^{-3}$; Ba/Ca, $b = 2,6 \times 10^{-4}$, y DsBa/Ca: $5,5 \times 10^{-4}$; removiendo así la correlación significativa con la talla.

Para analizar la presencia de potenciales stocks pesqueros, se estudiaron las señales microquímicas en el borde de los otolitos de cada pez para todos los sitios de muestreo. Las variables fueron corregidas como fue mencionado previamente para remover el efecto de talla sobre las mismas (constantes: Sr/Ca-Borde, $b = -0,004$; Ba/Ca-Borde, $b = -5,9 \times 10^{-5}$). Luego, las relaciones de elemento/Ca fueron comparadas mediante un análisis de la varianza de un factor (ANOVA), la prueba de Tukey fue utilizada para comparaciones múltiples *post-hoc* entre las áreas estudiadas (Sokal y Rohlf, 1995).

7.3. Resultados

7.3.1. Morfometría del otolito

La media de los índices morfométricos calculados para los individuos de los sitios estudiados se presenta en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2. Media \pm desvío estándar de las variables morfométricas del otolito en todas las áreas de estudio del Océano Atlántico sudoccidental.

	Complejo Estuarino de Paranaguá	Bahía Samborombón	Laguna Costera Mar Chiquita	Bahía San Blas
Circularidad (PO^2 / SO)	24,59 \pm 2,06	23,87 \pm 1,40	24,27 \pm 2,15	24,53 \pm 1,58
Rectangularidad ($SO / [LO \times AO]$)	0,70 \pm 0,02	0,69 \pm 0,03	0,68 \pm 0,02	0,71 \pm 0,03
Aspecto de radio (AO / LO)	0,47 \pm 0,04	0,47 \pm 0,03	0,47 \pm 0,03	0,44 \pm 0,03
Porcentaje ocupado por el <i>sulcus</i> (SS / SO)	0,23 \pm 0,02	0,23 \pm 0,01	0,23 \pm 0,02	0,24 \pm 0,01
Elipticidad ($[LO - AO] / [LO + AO]$)	0,36 \pm 0,03	0,36 \pm 0,03	0,36 \pm 0,03	0,39 \pm 0,03
Factor de forma ($[4 \pi \times SO / PO^2]$)	0,52 \pm 0,04	0,53 \pm 0,03	0,52 \pm 0,04	0,51 \pm 0,03

El Análisis de Discriminante Canónico no reveló una clara separación entre áreas (Tabla 7.3). Sin embargo, se observó que en la localidad más austral (Bahía San Blas) el porcentaje de asignación de individuos fue el mayor (76,9 %); y que ningún individuo de este sitio fue asignado a la localidad geográficamente más alejada, Complejo Estuarino de Paranaguá en Brasil (Tabla 7.3). El resto de las áreas estudiadas tuvieron un bajo porcentaje de separación (Bahía Samborombón, 50 %; Laguna Costera Mar Chiquita, 48 %; y Complejo Estuarino de Paranaguá, 36,3 %), con individuos asignados a todas las áreas muestreadas, pero siempre teniendo porcentajes menores de ejemplares asignados a Bahía San Blas (Tabla 7.3).

Tabla 7.3. Matriz de clasificación cruzada del análisis de discriminante canónico (ADC) de las variables morfométricas del otolito de individuos de las cuatro áreas de muestreo.

	Asignación del ADC (Porcentaje %)				N total de individuos
	Complejo Estuarino de Paranaguá	Bahía Samborombón	Laguna Costera Mar Chiquita	Bahía San Blas	
Complejo Estuarino de Paranaguá	36,3	27,3	18,2	18,2	22
Bahía Samborombón	21,4	50,0	14,3	14,3	14
Laguna Costera Mar Chiquita	20,0	28,0	46,0	6,0	50
Bahía San Blas	0	23,1	0	76,9	13

En relación al ACP, los primeros cuatro componentes principales explicaron el 100 % de la varianza de las seis variables morfológicas estudiadas. El primer eje (CP1) explicó el 42,4 % de la variabilidad total (Figura 7.2A). En el primer eje, la circularidad y el factor de forma tuvieron una correlación negativa (coeficiente de correlación = -0,90), al igual que la elipticidad y el aspecto de radio (coeficiente de correlación = -1,00). Estas variables fueron las que más contribuyeron al gradiente espacial observado en este eje (autovalor = 0,51 y 0,49 respectivamente) (Figura 7.2A). El segundo

eje (CP2) explicó 28,6% de la variabilidad total. Las variables más importantes en este eje fueron la rectangularidad (autovalor = 0,49) y el aspecto de radio (autovalor = -0,45) (Figura 7.2A). En el tercer eje (CP3), que explicó un 18,9% de la variabilidad total, el índice más relevante fue el porcentaje ocupado por el *sulcus* (autovalor = 0,85) (Figura 7.2B). Mientras que en el cuarto eje del ACP (CP4), que explicó un 9,9% de la variabilidad total, la rectangularidad fue el índice más relevante (autovalor = 0,72) (Figura 7.2B).

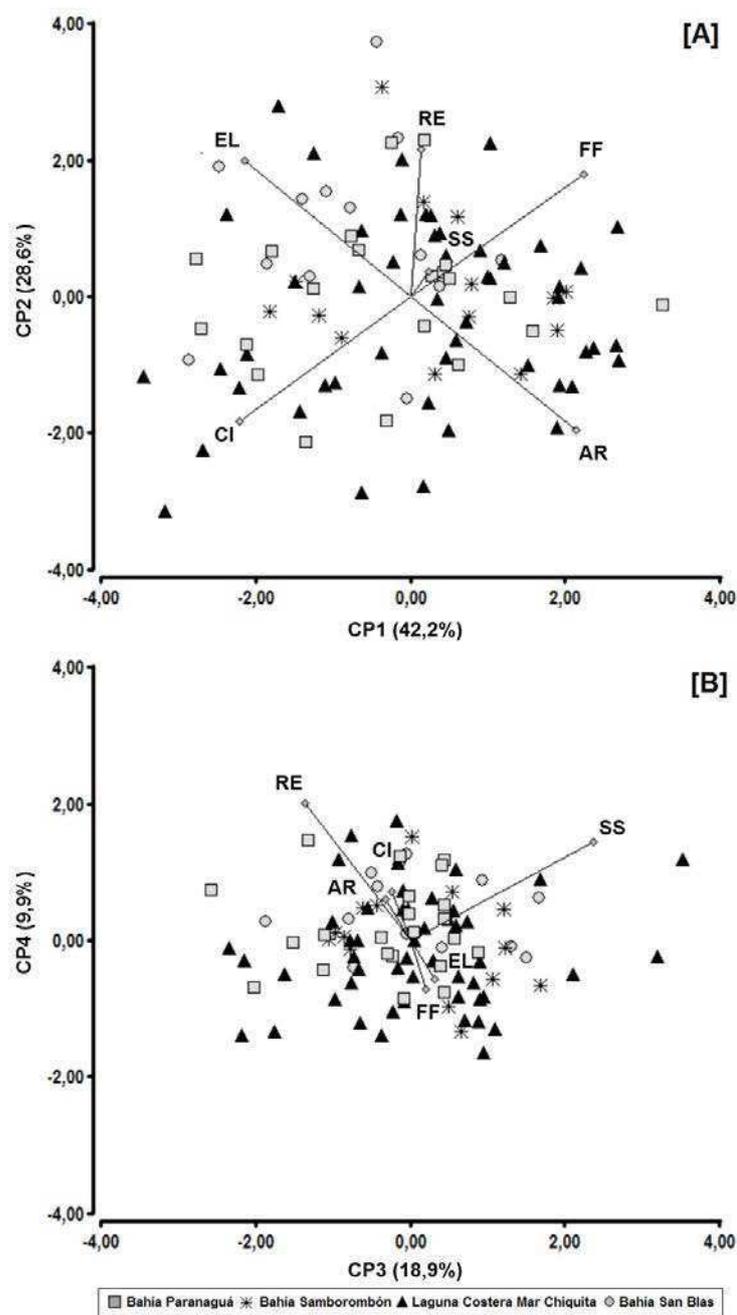


Fig. 7.2. Análisis de Componentes Principales basado en las variables morfométricas del otolito *sagitta*. A. Individuos proyectados en los ejes del primer (PC1) y segundo (PC2) componente principal; B. Individuos proyectados en los ejes del tercer (PC3) y cuarto (PC4) componente principal. Índices del otolito: CI: circularidad; RE: rectangularidad; AR: aspecto de radio; SS: porcentaje ocupado por el *sulcus*; EL: elipticidad; y FF: factor de forma.

7.3.2. Microquímica del otolito

El análisis de los perfiles químicos cronológicos reveló tres ecotipos de desplazamiento (Figura 7.3). En la figura 7.3 se muestran ejemplos de los patrones más representativos observados entre los individuos.

El patrón Tipo I corresponde al uso frecuente de ambientes estuarinos (ecotipo estuarino-residente) (Figura 7.3a).

El patrón Tipo II corresponde a un comportamiento fluctuante entre aguas estuarinas y marinas o de alta salinidad durante toda la historia de vida del pez (ecotipo mixto) (Figura 7.3b).

El patrón Tipo III corresponde a individuos que utilizan ambientes marinos o de alta salinidad durante la mayoría de su historia de vida (ecotipo marino-residente) (Figura 7.3c).

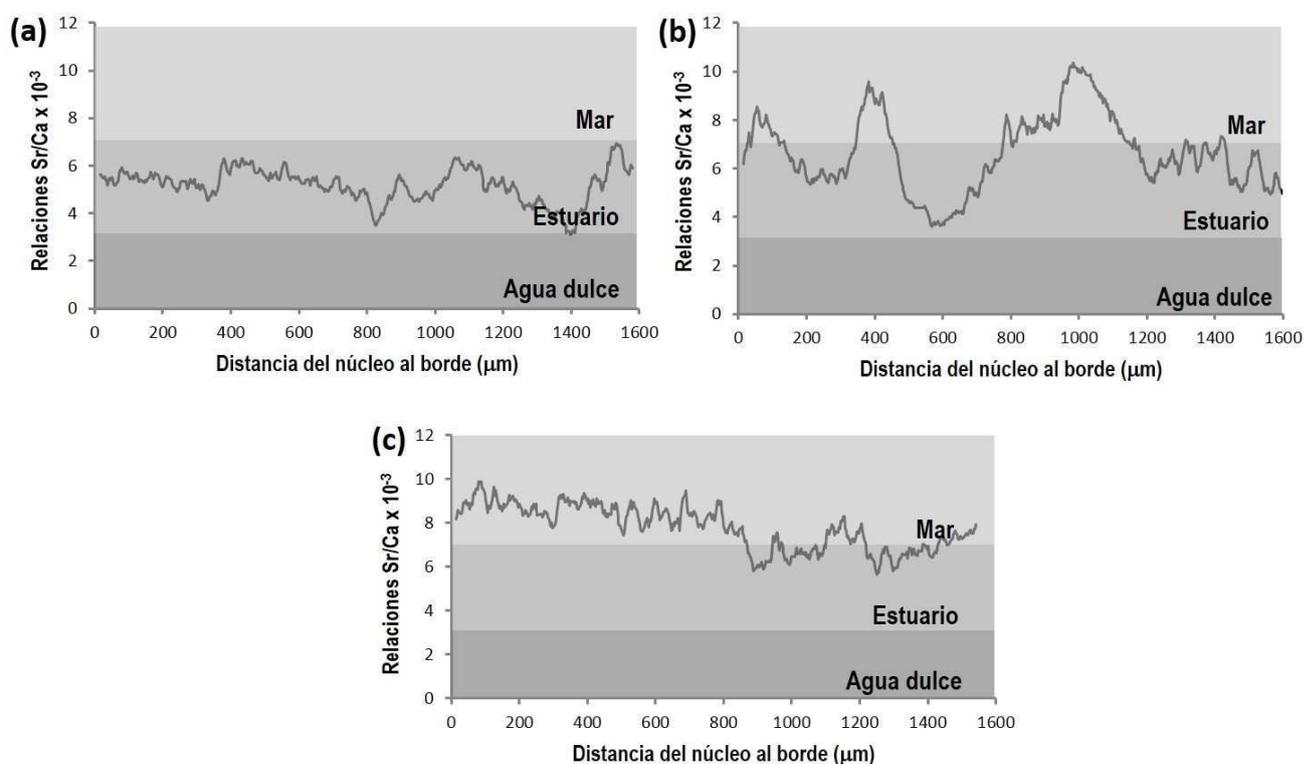


Fig. 7.3. Perfiles de las relaciones Sr/Ca del otolito (desde el núcleo al borde) para los tres ecotipos del desplazamiento identificados en *Mugil liza* en las cuatro áreas de estudio del Océano Atlántico sudoccidental. Las letras hacen referencia a los diferentes ecotipos: (a) Tipo I: ecotipo estuarino-residente; (b) Tipo II: ecotipo mixto; y (c) Tipo III: ecotipo marino-residente. Los límites para los ambientes relacionados a la salinidad del agua fueron tomados de Chang *et al.* (2004a), Wang *et al.* (2010) y Górski *et al.* (2015).

El ADC asignó correctamente los individuos a los patrones identificados con alta precisión (Tipo I: 95%; Tipo II: 75%; y Tipo III: 100%) (Tabla 7.4). El gráfico muestra una separación clara entre los tipos I y III hacia extremos opuesto del primer eje canónico (Figura 7.4). Individuos del Tipo II se distribuyeron en valores intermedios a los de los otros grupos (Figura 7.4). El primer eje canónico explicó 94,4% de la varianza observada entre los patrones.

Tabla 7.4. Matriz de clasificación cruzada del análisis de discriminante canónico (ADC) de las variables microquímicas del otolito para diferenciar entre ecotipos de desplazamiento: Tipo I. estuarino-residente; Tipo II. mixto; Tipo III: marino-residente.

	Asignación del ADC (Porcentaje %)			N total de individuos
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	
Tipo I	95,0	5,0	0	20
Tipo II	16,7	75,0	8,3	24
Tipo III	0	0	100	8

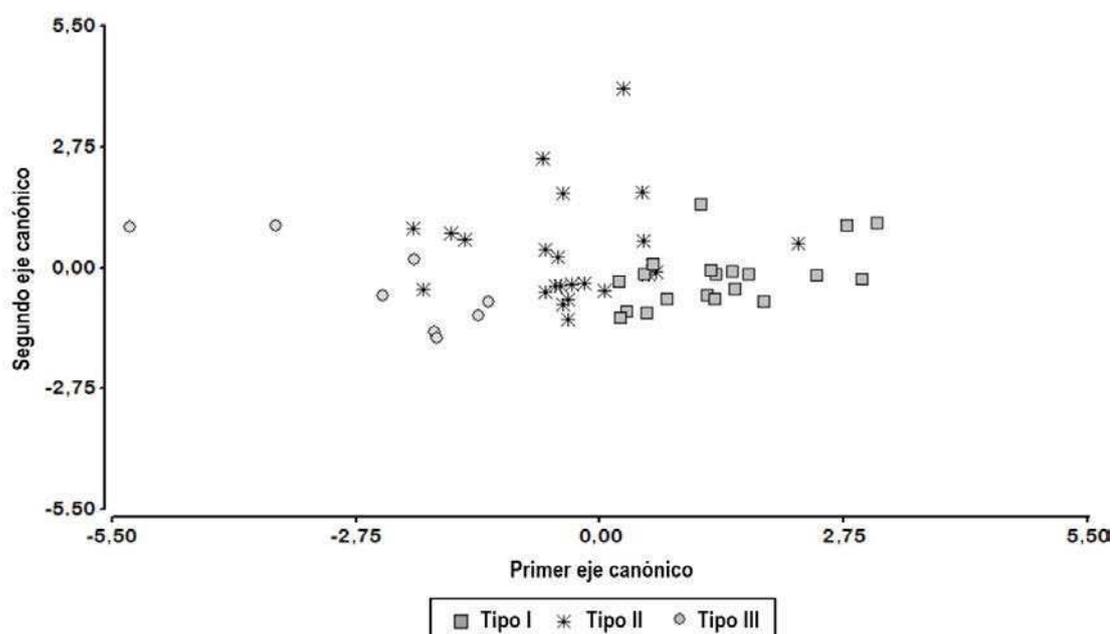


Fig. 7.4. Análisis de Discriminante Canónico utilizando las variables microquímicas del otolito de individuos de *Mugil liza* para los tres ecotipos de desplazamiento identificados (Tipo I. estuarino-residente; Tipo II. mixto; Tipo III: marino-residente).

Los tres ecotipos de desplazamiento identificados fueron encontrados en todas las áreas de estudio (Tabla 7.5). Los patrones Tipo I y II fueron los ecotipos más comunes entre los individuos muestreados. El Complejo Estuarino de Paranaguá presentó mayor porcentaje de individuos con comportamiento de Tipo I (50 %); mientras que la Laguna Costera Mar Chiquita y la Bahía San Blas presentaron más individuos con comportamiento de Tipo II (53 % y 58 % respectivamente); y finalmente la Bahía Samborombón presentó individuos con igual porcentaje de los patrones Tipo I y II (36 %) (Tabla 7.5). El patrón de Tipo III fue el observado en menor porcentaje en todas las áreas de estudio (Tabla 7.5).

Tabla 7.5. Ecotipos de desplazamiento (Tipo I. estuarino-residente; Tipo II. mixto; Tipo III. marino-residente) identificados en individuos de *Mugil liza* de las áreas estudiadas en el Océano Atlántico sudoccidental.

	Tipo I	Tipo II	Tipo III	N total de individuos
Complejo Estuarino de Paranaguá	5	3	2	10
Bahía Samborombón	4	4	3	11
Laguna Costera Mar Chiquita	7	10	2	19
Bahía San Blas	4	7	1	12

En relación al estudio de la presencia de potenciales stocks pesqueros, el ANOVA realizado con la microquímica del borde de los otolitos, no reveló diferencias significativas entre las relaciones de Sr/Ca y Ba/Ca de las diferentes áreas ($F = 2,39$, $p = 0,08$; y $F = 1,84$, $p = 0,15$ respectivamente). Las medias de Sr/Ca-Borde y de Ba/Ca-Borde en los diferentes sitios de muestreo se presentan en la Tabla 7.6.

Un análisis de dispersión de las relaciones Sr/Ca-Borde *vs* Ba/Ca-Borde del otolito evidenció valores superpuestos entre todos los humedales analizados (Figura 7.5). Sin embargo, el Complejo Estuarino de Paranaguá y la Bahía San Blas presentaron mayores valores de dispersión en relación a la variable Ba/Ca (Figura 7.5).

Tabla 7.6. Medias y desvíos estándar de las variables microquímicas (en mmol/mol) analizadas en el borde del otolito de individuos de las 4 áreas de estudio.

	Sr/Ca-Borde	Ba/Ca-Borde
Complejo Estuarino de Paranaguá	6,54±1,07	0,14±0,09
Bahía Samborombón	5,95±0,82	0,11±0,03
Laguna Costera Mar Chiquita	6,29±0,75	0,09±0,04
Bahía San Blas	5,67±0,74	0,11±0,07

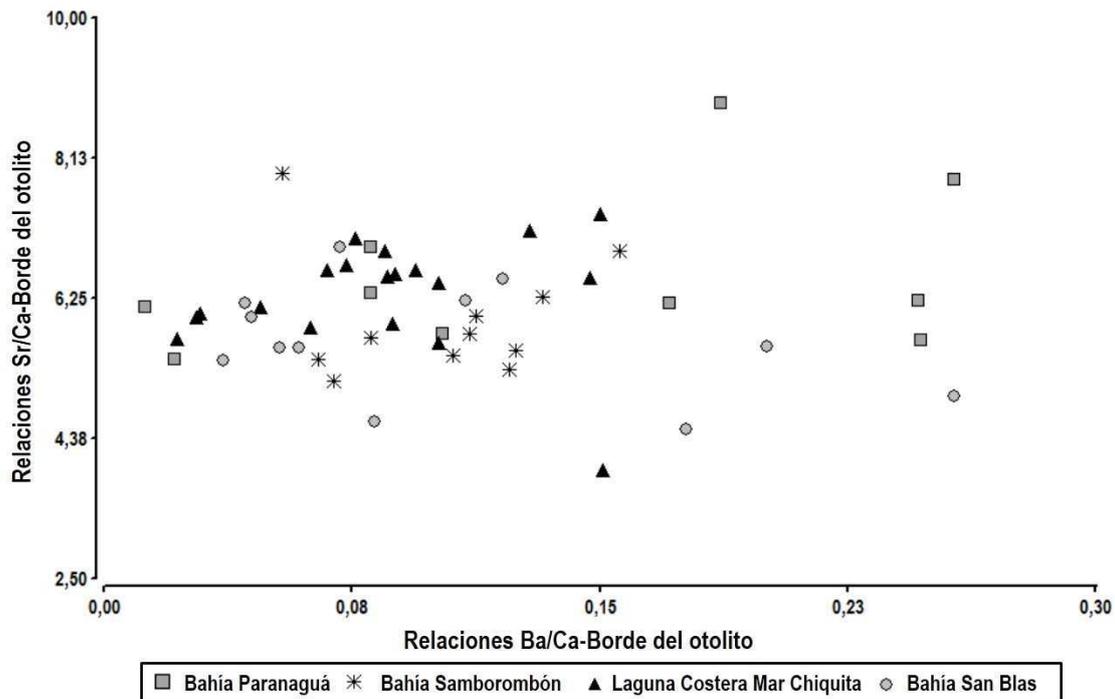


Fig. 7.5. Diagrama de dispersión de las relaciones Sr/Ca-Borde y Ba/Ca-Borde de otolitos de individuos de *Mugil liza* en todos los sitios de muestreo del Océano Atlántico sudoccidental.

7.4. Discusión

Mugil liza es un mugílido poco estudiado en cuanto a sus desplazamientos y la conectividad entre las áreas que frecuenta. Tampoco existe un estudio exhaustivo sobre la identificación de stocks de esta especie.

En el análisis de la morfometría del otolito *sagitta* para la identificación de stocks pesqueros, no se observaron diferencias claras entre los individuos de las áreas estudiadas. Sin embargo, el área más austral (Bahía San Blas), presentó una mayor asignación de individuos en el ADC que los otros sitios. Los otolitos de los individuos capturados más al sur tendieron a tener una morfología elíptica-cuadrada asociada a valores mayores de elipticidad y rectangularidad. Algunos autores han reportado una relación positiva entre la salinidad del agua y la tendencia a la elipticidad (Avigliano *et al.*, 2012; Avigliano *et al.*, 2015d). Todas las áreas estudiadas en este capítulo presentan una variación estacional y espacial de la salinidad: Complejo Estuarino de Paranaguá, 12-34 UPS (Lana *et al.*, 2001); Bahía Samborombón, 0-32 UPS (Mai *et al.*, 2014a); Laguna Costera Mar Chiquita, 0-36 UPS (González-Castro *et al.*, 2009); y Bahía San Blas, 23,5-25 UPS (Llompart, 2011). A pesar que la Bahía San Blas no presenta los mayores valores de salinidad con respecto a las áreas estudiadas, la morfología de los otolitos de individuos de este área podría asociarse a que presenta altos valores de salinidad, que se mantienen estables a lo largo del año, en relación a zonas circundantes.

La microquímica de borde del otolito tampoco reveló una clara separación de los otolitos entre

las distintas áreas de estudio. Por ésto, aunque se hayan obtenido tendencias morfométricas, no podría asegurarse que existe más de un stock pesquero de *Mugil liza* en la región sudoccidental de Océano Atlántico. Los resultados encontrados en este capítulo concuerdan con los reportados por diversos autores. Mai *et al.* (2014b), mediante el uso de microsátélites, encontraron sólo un cluster poblacional para la costa del Océano Atlántico al sur de Río de Janeiro, Brasil. A su vez, Siccha-Ramirez *et al.* (2014), mediante el uso de genes mitocondriales, sugirieron que *M. liza* se encuentra representada por una sola población en todo su rango de distribución, sin embargo no analizaron áreas más al norte de Venezuela. Finalmente, Heras *et al.* (2016), mediante el análisis de la región control mitocondrial, reportaron que existirían dos poblaciones de *M. liza* altamente divergentes a lo largo de toda su distribución en el Océano Atlántico, una al norte de Río de Janeiro y otra al sur; región donde el sistema ascendente (upwelling) de Cabo Frío podría estar actuando como barrera geográfica de las mencionadas poblaciones restringiendo su flujo genético (Heras *et al.*, 2016). Así, los resultados encontrados en este capítulo concuerdan con los reportados por los autores antes mencionados.

En relación a los ecotipos de desplazamiento identificados mediante el análisis microquímico del otolito, algunos autores han reportado diferentes comportamientos migratorios para otras especies de Mugilidae (Chang y Iizuka, 2012), coincidiendo con los resultados previamente presentados. Como se mencionó en capítulos anteriores, el estudio de la composición química de los otolitos puede revelar movimientos poblacionales, hábitats preferidos por las especies y su conectividad (Morales-Nin *et al.*, 2014). Elementos como el Sr y el Ba reflejan las características del ambiente, correlacionando con la salinidad del agua habitada por los peces (Kraus y Secor, 2004; Tabouret *et al.*, 2010; Miller, 2011). Cuando se analizaron los patrones de desplazamiento de *M. liza*, se reconocieron tres ecotipos (Figura 7.6).

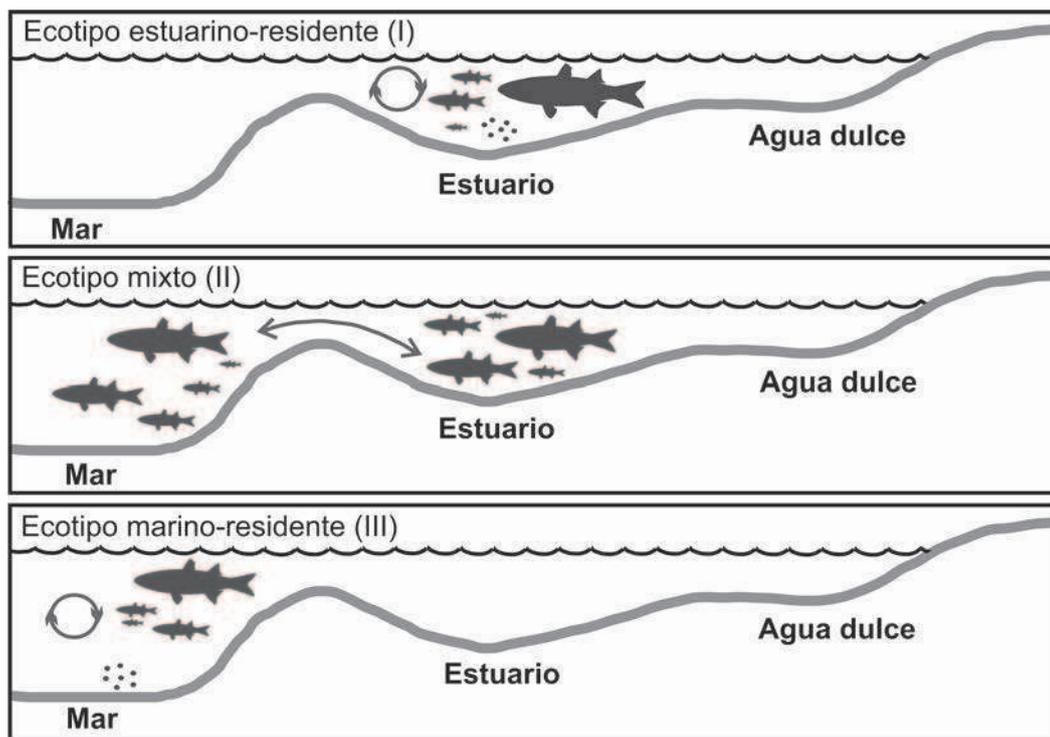


Fig. 7.6. Esquemas que ejemplifican los tres ecotipos de desplazamiento para *Mugil liza* en el Océano Atlántico sudoccidental. Observación: en el ecotipo II no se representa el estadio larval ya que su área de reproducción no se encuentra claramente definida.

De los ecotipos de desplazamiento identificados, ninguno utilizó ambientes de agua dulce, como sí fue observado previamente para otros mugílidos (Chang *et al.*, 2004a; Ibáñez *et al.*, 2012; Górski *et al.*, 2015; Fowler *et al.*, 2016). Los tres Tipos reconocidos en *M. liza* se diferenciaron por el uso de aguas estuarinas y marinas a lo largo de la historia de vida del pez. El ADC evidenció una alta precisión en la separación de los individuos a los perfiles cronológicos identificados, los valores obtenidos superan ampliamente los esperados por azar (25%). Algunas de las áreas estudiadas presentan agua dulce en parte de su extensión, sin embargo, la superficie de las mismas es pequeña en relación a la capacidad migratoria de la especie estudiada. Los otolitos analizados en este capítulo no presentaron una marca química relacionada a ambientes de agua dulce. Esto pudo deberse a que el tiempo que *M. liza* permanece en este tipo de hábitats podría no ser lo suficientemente prolongado como para incorporar los elementos traza del ambiente en el otolito, imposibilitando así dicha marca ambiental.

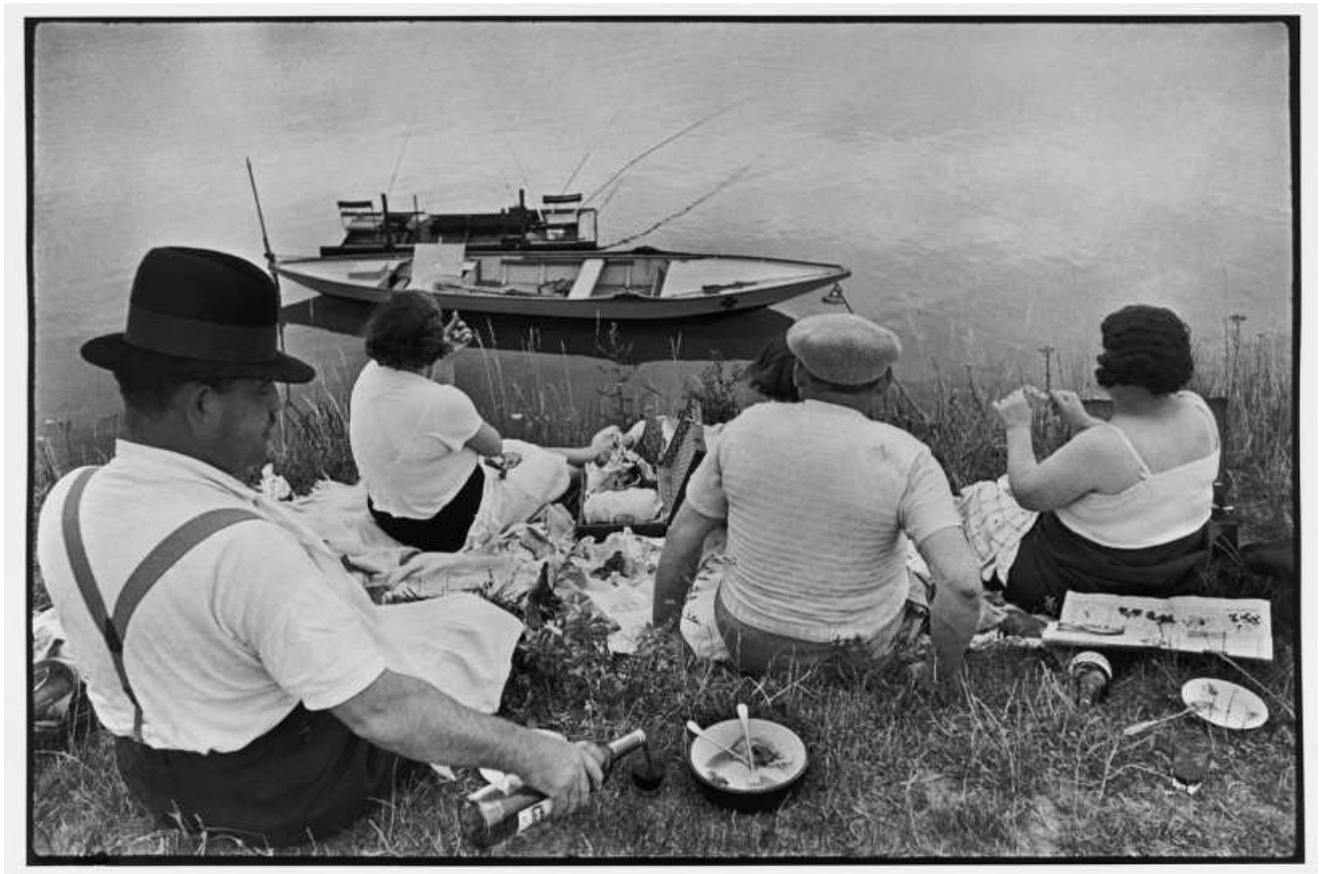
A pesar de observarse tres ecotipos de desplazamiento para *M. liza*, ninguno fue específico de alguna de las áreas estudiadas. Como se mencionó previamente, existe un patrón migratorio general descrito para mugílidos, que consiste en el desove en aguas marinas y la posterior migración de las larvas desde el mar hacia áreas estuarinas o de agua dulce (González-Castro *et al.*, 2011; Whitfield *et al.*, 2012; González-Castro y Minos, 2016). Los resultados hallados en este capítulo no coinciden completamente con este patrón general ya que se observan ecotipos con residencia tanto en aguas estuarinas como marinas (Tipo I y III). Sin embargo, el patrón de tipo III, correspondiente al uso

de ambientes marinos o de alta salinidad durante toda la historia de vida de los individuos, fue el menos observado entre los ejemplares (15 %). Esto podría estar evidenciando que el uso de aguas estuarinas por parte de la especie resulta facultativa y que las larvas en vez de migrar a estas zonas, son capaces de utilizar áreas costeras para su desarrollo.

En conclusión, se ha encontrado que *Mugil liza* posee plasticidad en sus desplazamientos en el área sudoccidental del Océano Atlántico, mediante el análisis de los perfiles cronológicos de la microquímica del otolito. Aunque no se haya podido identificar más de un stock pesquero en la región, las condiciones ambientales y la disponibilidad de alimento en las diversas áreas frecuentadas por la especie podrían ser factores de influencia de la plasticidad de movimiento observada (Albuquerque *et al.*, 2012). Esta especie difiere de otros mugílidos en la particularidad de no utilizar ambientes de agua dulce, al menos por períodos prolongados, en la región. Algunos especímenes son estuarino o marino dependientes, mientras que otros poseen diferente grado de dependencia por estas áreas.

Capítulo 8

Discusión y conclusiones



Sunday on the Banks of the Marne (Henri Cartier-Bresson, 1936-38)

8.1. Discusión

La familia Mugilidae posee gran diversidad de especies. Su identificación específica no resulta sencilla debido a la gran similitud en los caracteres morfológicos externos que las mismas presentan. Su taxonomía se encuentra en constante revisión debido a la aparición de nuevas herramientas que permiten análisis más completos.

En esta tesis se observó que los otolitos resultan ser herramientas complementarias importantes para la diferenciación de especies, ya que fue posible identificar a los mugílidos del Mar Mediterráneo y dos especies del Océano Atlántico sudoccidental mediante la morfología de estas estructuras. Los resultados de este trabajo permitieron desarrollar la primera clave de identificación de los mugílidos del Océano Atlántico suroriental y Mar Mediterráneo mediante el uso del otolito *sagitta*. En el Océano Atlántico sudoccidental se trabajó con dos especies, por lo que debería ampliarse el estudio a todas las especies que habitan las costas de Sudamérica de modo de obtener una visión más general entre las diferencias del *sagitta* de los mugílidos de dicha área. Además, deberían reforzarse los resultados de las diferencias morfológicas en el otolito con otras técnicas (ej. análisis genéticos) para corroborar que la separación de especies dada por las características identificadas en el otolito podría observarse a otros niveles.

Asimismo, en este trabajo fue posible caracterizar el patrón morfológico del otolito *sagitta* de la familia Mugilidae, analizando la forma, la presencia de un *sulcus* ostial, el tipo de *ostium* y la *cauda*, y las características de los márgenes dorsal y ventral. Las descripciones realizadas para los mugílidos estudiados son comparables con las previamente efectuadas por otros autores (Bauzá Rullán, 1960; Volpedo y Echeverría, 2000; Assis, 2004; Tuset *et al.*, 2008). El análisis de la morfología de los otolitos permite, no sólo identificar especies presentes en la dieta de ictiófagos, sino también el tamaño de las presas que estos consumen (Barrett *et al.*, 2007). Además, existe gran relevancia en el área de la paleoecología, pudiendo reconocer e identificarse familias, y hasta especies, mediante la morfología de otolitos fósiles (Jost *et al.*, 2006; Reichenbacher *et al.*, 2007; Gierl *et al.*, 2013). De esta forma, es posible formular hipótesis sobre relaciones filogenéticas entre taxa de especies de peces actuales y fósiles (Assis, 2004).

Al mismo tiempo, en esta tesis fue posible determinar las curvas de crecimiento del pez en relación al crecimiento del otolito *sagitta* de tres mugílidos (*Mugil liza*, *Mugil cephalus* y *Liza ramada*). Una evaluación conjunta de la morfología y morfometría de estas estructuras permitió el estudio ontogenético de las tres especies, identificando diferencias en el otolito a lo largo de la historia de vida de cada especie, y entre el crecimiento de los tres mugílidos analizados; resultando así herramientas relevantes para estudios de ecología trófica.

Por otra parte, los resultados de esta tesis evidencian que la microquímica del *sagitta* es una herramienta útil para el estudio de los desplazamientos de mugílidos, ya que permite describir los

patrones de historia de vida de las lisas. Estos patrones, denominados en este trabajo como “ecotipos de desplazamiento”, se describieron para *Mugil cephalus* y *Mugil liza* en dos regiones de su distribución.

Mugil cephalus presentó cuatro ecotipos de desplazamiento asociados a su residencia en aguas marinas o estuarinas y a la migración entre ambientes. En esta especie la microquímica del otolito reflejó el uso de ambientes de agua dulce. Por su parte *Mugil liza* presentó tres ecotipos asociados a su residencia en aguas marinas o estuarinas y a la fluctuación entre estos dos ambientes. Para esta especie no se observó un patrón marcado de uso de agua dulce. Los desplazamientos de *M. cephalus* en la costa del Mar Mediterráneo tienden a ser longitudinales, mientras que *M. liza* realiza desplazamientos latitudinales en la costa del Océano Atlántico sudoccidental, por lo que las diferencias encontradas entre ambas especies podrían deberse a este comportamiento migratorio, y/o a las particularidades de las áreas utilizadas en las regiones de estudio.

En trabajos futuros debería profundizarse el estudio de los patrones de desplazamiento incorporando el análisis de los anillos de crecimiento, de manera de reconocer los ambientes clave en cada edad específica de los individuos para poder planificar el manejo y conservación de dichas áreas en vista a la preservación de las especies.

La microquímica del otolito sirvió, además, para identificar la conectividad entre las áreas, mediante el estudio de stocks pesqueros. Junto con el análisis de índices morfométricos en el *sagitta*, pudieron identificarse al menos dos stocks de *M. cephalus* en la costa de la Comunidad Valenciana, uno al norte y otro al sur de la misma. El stock norte incluye peces del Parque Natural Delta del Ebro y del Parque Natural de l'Alfubera de Valencia, mientras que el stock sur se encuentra formado por peces del Parque Natural Salinas de Santa Pola, pudiendo, ambos stocks, presentar interconectividad relativa. La separación de los mismos se debería principalmente a características oceanográficas de la región Mediterránea de estudio.

El Mar Mediterráneo es una Cuenca semi-cerrada conectada al Océano Atlántico mediante el estrecho de Gibraltar de sólo 13 km de ancho (Skloris, 2014). Se divide en dos sub-cuencas, la oriental y la occidental, siendo esta última donde se ubica el área de estudio en esta tesis. Debido a su tamaño y al intercambio limitado con el Océano, el Mar Mediterráneo posee una dinámica particular con gran sensibilidad a perturbaciones tanto climáticas como antropogénicas (Skloris, 2014). Por ésto, se plantea que los stocks de *M. cephalus* podrían estar separados por una potencial barrera geográfica (Cap de Sant Antoni). Este tipo de barreras en dicho Mar podrían afectar el flujo genético de la especie en la región, tanto en la actualidad como en el pasado (Durand *et al.*, 2013). Es por ello que los stocks identificados mediante el uso de la microquímica del *sagitta* podrían validarse a futuro realizando estudios genéticos de la especie. Asimismo, podría extenderse el estudio de la microquímica del otolito de *M. cephalus* a ejemplares de diferentes humedales costeros del Mar Mediterráneo, de manera de conseguir una visión más global de la importancia de los mismos para

la especie en la región.

En la costa del Océano Atlántico sudoccidental se determinó, a través de la microquímica del *sagitta*, un solo stock pesquero de *Mugil liza*, reconociéndose una alta conectividad entre las zonas analizadas. La circulación oceanográfica en la región de estudio es a gran escala (Stramma y England, 1999), y no estaría afectando los desplazamientos de los individuos de *M. liza* ya que las barreras geográficas que podrían promover la diferenciación de stocks de esta especie, se encontrarían al norte del área analizada en esta tesis (Sistema de afloramiento de Cabo Frío (Heras *et al.*, 2016)). Estudios futuros de *M. liza* deberían extenderse a lo largo de su distribución desde las costas del Mar Caribe hasta la Patagonia Argentina. Para ello surge la necesidad del trabajo colaborativo entre distintos grupos de investigación de la región de modo de poder estudiar gran parte de los humedales costeros, para conocer la dinámica migratoria de esta especie y analizar la presencia de stocks pesqueros más al norte (Mar Caribe y/o Norte de Brasil).

Los resultados de esta tesis evidencian que los distintos grados de complejidad oceanográfica influenciarían en la conectividad entre áreas mediante la posibilidad de generar barreras oceanográficas que promuevan la separación de stocks y por ende dificultarían el intercambio de individuos entre áreas de interés. Además, la complejidad oceanográfica podría estar influenciando en la identificación de ecotipos de desplazamiento, reconociéndose en zonas de mayor complejidad oceanográfica mayor variación de patrones, como sucede en el Mar Mediterráneo, y en zonas de menor complejidad menor cantidad de tipos de desplazamiento, como se observa en el Océano Atlántico sudoccidental. Los mugílidos son un grupo de peces costeros con alta plasticidad que se adaptan a diferentes ambientes. Por esto, la asignación a un tipo determinado de comportamiento migratorio de “catadromía” debería ser revisada, ya que, como sugieren otros autores (Chang *et al.*, 2004a,b), existen diferentes variantes a este tipo de desplazamiento por parte de diversas especies de Mugilidae.

La aplicación de la microquímica del otolito junto con los índices morfométricos utilizados en esta tesis podría ser complementada con otras metodologías como el análisis de morfometría geométrica. Técnicas como el análisis de Fourier que permite comparar la morfología del contorno de los otolitos, el análisis de Landmarks que compara rasgos particulares de un objeto, o el análisis de Wavelets que identifica diferencias de contorno cuantificando irregularidades; podrían brindar información complementaria más precisa para el estudio de stocks de mugílidos.

Finalmente, en base a los resultados obtenidos en esta tesis, la morfología, morfometría y composición química del otolito *sagitta* resultaron herramientas útiles para la diferenciación de especies de Mugilidae, el estudio de los desplazamientos a lo largo de la historia de vida de las especies, la identificación de stocks y el estudio de la conectividad entre áreas preferidas por las mismas. Estas técnicas, utilizadas conjuntamente con otras (ej. genética, morfometría geométrica), aportarían información relevante sobre la ecología de los mugílidos y las áreas que utilizan, permitiendo un manejo apropiado de este importante recurso pesquero y los humedales preferidos por estos peces.

8.2. Conclusiones

- La morfometría y microquímica del otolito *sagitta* de *Mugil cephalus* permitieron caracterizar los hábitats utilizados por los juveniles de esta especie en la costa Valenciana.
- La microquímica del otolito *sagitta* permitió identificar Ecotipos de desplazamiento: estuarino-residente, marino-residente, mixto, catátodromo, y semi-catátodromo. En el caso de *Mugil cephalus* los patrones identificados fueron: I. estuarino-residente, II. catátodromo, III. semi-catátodromo, y IV. marino-residente; mientras que para *Mugil liza* se identificaron: I. estuarino-residente, II. mixto, y III. marino-residente.
- La morfometría y microquímica del otolito *sagitta* permitieron identificar al menos dos potenciales stocks pesqueros de *M. cephalus* en la costa Mediterránea de la Comunidad Valenciana, uno al norte y otro al sur, revelando conectividad entre las áreas ubicadas en el Golfo de Valencia.
- La morfometría y microquímica del otolito *sagitta* evidenciaron la presencia de un solo stock pesquero de *M. liza* en la costa del Océano Atlántico sudoccidental, revelando gran conectividad entre las áreas estudiadas.

Bibliografía

- Agroindustria (2016). *Ministerio de Agroindustria de la Nación - Pesca y Acuicultura. Pesca marítima. Estadística de desembarques*. URL: http://www.agroindustria.gov.ar/site/pesca/pesca_maritima/02-desembarques/index.php.
- Aguirre, H. y A. Lombarte (1999). “Ecomorphological comparisons of sagittae in *Mullus barbatus* and *M. surmuletus*”. En: *Journal of Fish Biology* 55.1, págs. 105-114.
- Alarcos, A. J. y J. A. Etchegoin (2010). “Parasite assemblages of estuarine-dependent marine fishes from Mar Chiquita coastal lagoon (Buenos Aires Province, Argentina)”. En: *Parasitology research* 107.5, págs. 1083-1091.
- Alava, J. y F. Gobas (2012). “Assessing biomagnification and trophic transport of persistent organic pollutants in the food chain of the Galápagos sea lion (*Zalophus wollebaeki*): conservation and management implications”. En: *New Approaches to the Study of Marine Mammals*. INTECH Open Access Publisher, págs. 77-108.
- Albieri, R. J. y F. G. Araújo (2010). “Reproductive biology of the mullet *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) in a tropical Brazilian bay”. En: *Zoologia (Curitiba)* 27.3, págs. 331-340.
- Albieri, R. J., F. G. Araújo y W. Uehara (2010). “Differences in reproductive strategies between two co-occurring mullets *Mugil curema* Valenciennes 1836 and *Mugil liza* Valenciennes 1836 (Mugilidae) in a tropical bay”. En: *Tropical Zoology* 23.1, págs. 51-62.
- Albuquerque, C., N Miekeley, J. Muelbert, B. Walther y A. Jaureguizar (2012). “Estuarine dependency in a marine fish evaluated with otolith chemistry”. En: *Marine Biology* 159.10, págs. 2229-2239.
- Ameur, B., A. Bayed y T. Benazzou (2003). “Rôle de la communication de la lagune de Merja Zerga (Gharb, Maroc) avec l’océan Atlantique dans la reproduction d’une population de *Mugil cephalus* L.(Poisson Mugilidae)”. En: *Bulletin de l’Institut Scientifique, Rabat* 25, págs. 77-82.
- Anderson, M. J. (2001). “A new method for non-parametric multivariate analysis of variance”. En: *Austral ecology* 26.1, págs. 32-46.
- APHA (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Vol. 19. American Public Health Association.
- Araújo Silva, M. de y F. G. de Araújo (2000). “Distribuição e abundância de tainhas e paratis (Osteichthyes, Mugilidae) na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil”. En: *Revista Brasileira de Zoologia* 17, págs. 473-480.

- Assis, C. A.d. S. (2000). “Estudo morfológico dos otólitos *Sagitta*, *Asteriscus* e *Lapillus* de teleósteos (Actinopterygii, teleostei) de Portugal Continental”. Tesis doct. Universidade de Lisboa.
- Assis, C. A.d. S. (2004). *Guia para a identificação de algumas famílias de peixes ósseos de Portugal continental, através da morfologia dos seus otólitos sagitta*. Camara Municipal Cascais (Portugal).
- Avigliano, E. y A. V. Volpedo (2013). “Use of otolith strontium:calcium ratio as an indicator of seasonal displacements of the silverside (*Odontesthes bonariensis*) in a freshwater–marine environment”. En: *Marine and Freshwater Research* 64.8, págs. 746-751.
- Avigliano, E., A. Tombari y A. V. Volpedo (2012). “Los otolitos reflejan el estrés ambiental?” En: *Biol. Acuát* 27, págs. 9-5.
- Avigliano, E., C. F. Martinez Riaños y 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”. En: *Fisheries Research* 149, págs. 55-60.
- Avigliano, E., L. A. Jawad y A. V. Volpedo (2015a). “Assessment of the morphometry of saccular otoliths as a tool to identify triplefin species (Tripterygiidae)”. En: *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, págs. 1-14.
- Avigliano, E., G. Comte, J. J. Rosso, E. Mabrugaña, P. D. Rosa, S. Sanchez, A. V. Volpedo, F. d. Rosso y N. F. Schenone (2015b). “Identificación de stocks pesqueros de la corvina de río (*Plagioscion ternetzi*) de los ríos Paraguay y Paraná, mediante el análisis morfométrico de sus otolitos”. En: *Latin american journal of aquatic research* 43.4, págs. 718-725.
- Avigliano, E., R. Callicó Fortunato, J. Buitrago y A. V. Volpedo (2015c). “Is otolith microchemistry (Sr:Ca and Ba:Ca ratios) useful to identify *Mugil curema* populations in the southeastern Caribbean Sea?” En: *Brazilian Journal of Biology* 75.4, págs. 45-51.
- Avigliano, E., P. Villatarco y A. V. Volpedo (2015d). “Otolith Sr:Ca ratio and morphometry as indicators of habitat of a euryhaline species: The case of the silverside *Odontesthes bonariensis*”. En: *Ciencias Marinas* 41.3, págs. 189-202.
- Avigliano, E., M. B. Saez, R. Rico y A. V. Volpedo (2015e). “Use of otolith strontium:calcium and zinc:calcium ratios as an indicator of the habitat of *Percophis brasiliensis* Quoy & Gaimard, 1825 in the southwestern Atlantic Ocean”. En: *Neotropical Ichthyology* 13.1, págs. 187-194.
- Azpiroz, A. B. A., M. Jiménez, S. A. B. Azpiroz, M. Alfaro y S. Jiménez (2012). *Lista roja de las aves del Uruguay: una evaluación del estado de conservación de la avifauna nacional con base en los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza*. Inf. téc.
- Bacheler, N. M., R. A. Wong y J. A. Buckel (2005). “Movements and mortality rates of striped mullet in North Carolina”. En: *North American Journal of Fisheries Management* 25.1, págs. 361-373.
- Barceló, D. y M. Petrovic (2011). *The Ebro River Basin*. Vol. 13. Springer.

- Barquete, V., L. Bugoni y C. M. Vooren (2008). “Diet of Neotropic cormorant (*Phalacrocorax brasilianus*) in an estuarine environment”. En: *Marine Biology* 153.3, págs. 431-443.
- Barrett, R. T., K. C. Camphuysen, T. Anker-Nilssen, J. W. Chardine, R. W. Furness, S. Garthe, O. Hüppop, M. F. Leopold, W. A. Montevecchi y R. R. Veit (2007). “Diet studies of seabirds: a review and recommendations”. En: *ICES Journal of Marine Science* 64.9, págs. 1675-1691.
- Barros, N. B. y R. S. Wells (1998). “Prey and feeding patterns of resident bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Sarasota Bay, Florida”. En: *Journal of Mammalogy* 79.3, págs. 1045-1059.
- Bauzá Rullán, J. (1960). “Nueva contribución al conocimiento de los otolitos de peces actuales.” En: *Bolletí de la Societat d'História Natural de les Balears* 6, págs. 49-61.
- Beck, M. W., K. L. Heck Jr, K. W. Able, D. L. Childers, D. B. Eggleston, B. M. Gillanders, B. Halpern, C. G. Hays, K. Hoshino, T. J. Minello *et al.* (2001). “The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates: a better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas”. En: *Bioscience* 51.8, págs. 633-641.
- Beer, N. A., S. R. Wing y S. E. Swearer (2011). “Otolith elemental evidence for spatial structuring in a temperate reef fish population”. En: *Marine Ecology Progress Series* 442, págs. 217-227.
- Begg, G. A., K. D. Friedland y J. B. Pearce (1999). “Stock identification and its role in stock assessment and fisheries management: an overview”. En: *Fisheries Research* 43.1, págs. 1-8.
- Belda Antolí, A., J. E. Martínez-Pérez, C. Martín Cantarino, A. López Pomares y E. Seva Román (2008). “Ictiofauna y pesca tradicional asociada a los canales de riego en el Bajo Vinalopó: integración del conocimiento local y académico para la comprensión de los ecosistemas mediterráneos”. En: *Mediterránea* 19, págs. 167-238.
- Benchetrit, J., M. Béguer-Pon, P. Sirois, M. Castonguay, J. Fitzsimons y J. J. Dodson (2015). “Using otolith microchemistry to reconstruct habitat use of American eels *Anguilla rostrata* in the St. Lawrence River–Lake Ontario system”. En: *Ecology of Freshwater Fish*.
- Benedito Durà, V., M. Martín, A. V. Volpedo y R. Santamalia (2011). “Aplicación del Modelo GEO (FMPEIR) al Parque Natural de l'albufera de Valencia (Humedal costero, Este de la Península Ibérica)”. En: *Experiencias en la aplicación del enfoque GEO en la evaluación de ecosistemas degradados de Iberoamérica*. Ed. por A. V. Volpedo, L. Fernandez Reyes y J. Buitrago. CYTED, págs. 93-108.
- Bergamasco, A. y P. Malanotte-Rizzoli (2010). “The circulation of the Mediterranean Sea: a historical review of experimental investigations”. En: *Advances in Oceanography and Limnology*. 1.1, págs. 11-28.
- Bertonatti, C. y J. Corcuera (2000). *Situación ambiental argentina 2000*. Fundación Vida Silvestre.

- Blanco, C., O. Salomón y J. A. Raga (2001). “Diet of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the western Mediterranean Sea”. En: *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 81.06, págs. 1053-1058.
- Blanco, S. y S. Romo (2006). “Ictiofauna del lago de la Albufera de Valencia: evolución histórica y situación actual”. En: *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Biología)* 101, págs. 45-56.
- Blanco, S., S. Romo, M.-J. Villena y S. Martínez (2003). “Fish communities and food web interactions in some shallow Mediterranean lakes”. En: *Hydrobiologia* 506.1-3, págs. 473-480.
- Bó, M. S., J. P. Isacch, A. I. Malizia y M. M. Martínez (2002). “Lista comentada de los mamíferos de la Reserva de Biósfera Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires, Argentina”. En: *Mastozoología Neotropical* 9.1, págs. 5-11.
- Boecklen, W. J., C. T. Yarnes, B. A. Cook y A. C. James (2011). “On the use of stable isotopes in trophic ecology”. En: *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 42, págs. 411-440.
- Briand, C., B. Mounaix, D. Fatin y E. Feunteun (2003). “The contribution of springtime and autumn glass eels (*Anguilla anguilla*) to stock: Results based on otolith morphometry.” En: *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 368, págs. 27-42.
- Brown, J. A. (2006). “Classification of juvenile flatfishes to estuarine and coastal habitats based on the elemental composition of otoliths”. En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 66.3, págs. 594-611.
- Brown, R. J. y K. P. Severin (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”. En: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 66.10, págs. 1790-1808.
- Burke, N., D. Brophy y P. A. King (2008). “Otolith shape analysis: its application for discriminating between stocks of Irish Sea and Celtic Sea herring (*Clupea harengus*) in the Irish Sea”. En: *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 65.9, págs. 1670-1675.
- Bustos, R. L., G. A. Daneri, A. V. Volpedo, A. Harrington y E. A. Varela (2012). “The diet of the South American sea lion (*Otaria flavescens*) at Río Negro, Patagonia, Argentina, during the winter-spring period”. En: *Iheringia. Série Zoologia* 102.4, págs. 394-400.
- Bustos, R. L., G. A. Daneri, A. V. Volpedo, A. Harrington y E. A. Varela (2014). “Diet of the South American sea lion *Otaria flavescens* during the summer season at Río Negro, Patagonia, Argentina”. En: *Aquatic Biology* 20.3, págs. 235-243.
- Callicó Fortunato, R., V. Benedito Durà y A. Volpedo (2014). “The morphology of saccular otoliths as a tool to identify different mugilid species from the Northeastern Atlantic and Mediterranean Sea”. En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 146, págs. 95-101.
- Campana, S. E. (1999). “Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications”. En: *Marine Ecology Progress Series* 188, págs. 263-297.

- Campana, S. E. (2004). *Photographic Atlas of Fish Otolith of the Northwestern Atlantic Ocean*. NRC.
- Campana, S. E. y S. R. Thorrold (2001). "Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations?" En: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58.1, págs. 30-38.
- Campana, S. E., G. A. Chouinard, J. M. Hanson, A. Frechet y J. Bratney (2000). "Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks". En: *Fisheries Research* 46.1, págs. 343-357.
- Capdepón Frías, M. (2010). "Desarrollo de la potencialidad turística del Parque Natural de las Salinas de Santa Pola (Alicante)". En: *Turismo y gestión de espacios protegidos: XII Congreso Internacional de Turismo Universidad y Empresa*. Tirant lo Blanch, págs. 453-473.
- Cardinale, M., P. Doering-Arjes, M. Kastowsky y H. Mosegaard (2004). "Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths". En: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61.2, págs. 158-167.
- Cardona, L. (1994). "Estructura de las comunidades de mugílidos (Osteichthyes, Mugilidae) en ambientes estuáricos". Tesis doct. Universidad de Barcelona.
- Carlström, D. (1963). "A crystallographic study of vertebrate otoliths". En: *Biological Bulletin* 125.3, págs. 441-463.
- Carvalho, B. M. de, A. Martins Vaz-dos Santos, H. L. Spach y A. V. Volpedo (2015). "Ontogenetic development of the sagittal otolith of the anchovy, *Anchoa tricolor*, in a subtropical estuary". En: *Scientia Marina* 79.4, págs. 409-418.
- Casselman, J. M. (1990). "Growth and relative size of calcified structures of fish". En: *Transactions of the American Fisheries Society* 119.4, págs. 673-688.
- Chang, C.-W. e Y. Iizuka (2012). "Estuarine use and movement patterns of seven sympatric Mugilidae fishes: The Tatu Creek estuary, central western Taiwan". En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 106, págs. 121-126.
- Chang, C.-W., Y. Iizuka y W.-N. Tzeng (2004a). "Migratory environmental history of the grey mullet *Mugil cephalus* as revealed by otolith Sr:Ca ratios". En: *Marine Ecology Progress Series* 269, págs. 277-288.
- Chang, C.-W., S.-H. Lin, Y. Iizuka y W.-N. Tzeng (2004b). "Relationship between Sr:Ca ratios in otoliths of grey mullet *Mugil cephalus* and ambient salinity: validation, mechanisms, and applications". En: *Zoological Studies - Taipei* 43.1, págs. 74-85.
- Chang, M.-Y. y A. J. Geffen (2013). "Taxonomic and geographic influences on fish otolith microchemistry". En: *Fish and Fisheries* 14.4, págs. 458-492.
- Chasco, C. F. (2012). "La ictiofauna fluvial española autóctona y su estado de conservación". En: *Polígonos. Revista de Geografía* 22, págs. 63-88.
- Chebez, J. C. (2005). *Guía de las Reservas Naturales de la Argentina V-Zona Centro*. Albatros.

- Clément, M., A. G. Chiasson, G. Veinott y D. K. Cairns (2014). “What otolith microchemistry and stable isotope analysis reveal and conceal about anguillid eel movements across salinity boundaries”. En: *Oecologia* 175.4, págs. 1143-1153.
- Confederación Hidrológica Júcar, C. (2016). *Fichas de red de control fisicoquímico*. URL: <http://www.chj.es/es-es/medioambiente/albufera/Paginas/Mapafichasfisicoqu%C3%ADmico.aspx>.
- Corréa, M. (1987). “Ictiofauna da Baía de Paranaguá e adjacências (litoral do estado do Paraná–Brasil). Levantamento e produtividade.” Tesis doct. Dissertação (Mestrado em Zoologia)–Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Cousseau, M. B. y R. G. Perrotta (2000). *Peces marinos de Argentina: Biología, distribución, pesca*. Mar del Plata (Argentina) INIDEP.
- Cousseau, M. B., M. C. Marchesi, D. E. Figueroa, J. M. Díaz de Astarloa y M. González-Castro (2011). “Relación íctica entre la laguna costera Mar Chiquita y el mar adyacente”. En: *Historia Natural - Tercera Serie* 1.2, págs. 85-100.
- Cuadrado, D. G. y E. A. Gómez (2012). “Morfoodinámica de un campo de dunas submarinas en una entrada de marea: San Blas, Argentina”. En: *Latin american journal of aquatic research* 40.1, págs. 42-52.
- Curcó, A. y F. Vidal (2006). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR)*. Inf. téc. RAMSAR, pág. 26.
- Dangavs, N., A. Bozzo y A. Strelzik (1983). “Conocimiento y manejo de agrohidrológico de las llanuras bonaerenses de baja pendiente. Coloquio Internacional De Grandes Llanuras”. En: *UNESCO* 8, págs. 1141-1161.
- Daros, F., H. Spach y A. Correia (2016). “Habitat residency and movement patterns of *Centropomus parallelus* juveniles in a subtropical estuarine complex”. En: *Journal of fish biology* 88.5, págs. 1796-1810.
- Diaz, G. B. y R. A. Ojeda (2000). *Libro rojo de mamíferos amenazados de la Argentina*. Sociedad Argentina para el Estudio de los Mamíferos Mendoza.
- Diegues, A. C. y A. C. Diegues (1995). *The Mata Atlantica Biosphere Reserve: an overview Brazil*. Inf. téc.
- Dies, B., J. I. Dies, C. Oltra, F. J. García y F. J. Catalá (1999). *Las aves de l'Albufera de Valencia*. Ed. por Vaersa.
- Dufour, E., W. P. Patterson, T. O. Höök y E. S. Rutherford (2005). “Early life history of Lake Michigan alewives (*Alosa pseudoharengus*) inferred from intra-otolith stable isotope ratios”. En: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62.10, págs. 2362-2370.
- Durand, J.-D. (2016). “Implications of molecular phylogeny for the taxonomy of Mugilidae”. En: *Biology, Ecology and Culture of Grey Mulletts (Mugilidae)*. CRC Press, págs. 22-41.

- Durand, J.-D., W.-J. Chen, K.-N. Shen, C. Fu y P. Borsa (2012a). “Genus-level taxonomic changes implied by the mitochondrial phylogeny of grey mullets (Teleostei: Mugilidae)”. En: *Comptes rendus biologies* 335.10, págs. 687-697.
- Durand, J.-D., K.-N. Shen, W.-J. Chen, B. W. Jamandre, H. Blel, K Diop, M. Nirchio, F. G. De León, A. K. Whitfield, C.-W. Chang y P Borsa (2012b). “Systematics of the grey mullets (Teleostei: Mugiliformes: Mugilidae): molecular phylogenetic evidence challenges two centuries of morphology-based taxonomy”. En: *Molecular Phylogenetics and Evolution* 64.1, págs. 73-92.
- Durand, J.-D., H. Blel, K.-N. Shen, E. T. Koutrakis y B. Guinand (2013). “Population genetic structure of *Mugil cephalus* in the Mediterranean and Black Seas: a single mitochondrial clade and many nuclear barriers”. En: *Marine Ecology Progress Series* 474, págs. 243-261. URL: <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v474/p243-261/>.
- Elsdon, T. S. y B. M. Gillanders (2005). “Alternative life-history patterns of estuarine fish: barium in otoliths elucidates freshwater residency”. En: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62.5, págs. 1143-1152.
- EPA (2004). *Methods for the Determination of Metals in Environmental Samples*. Supplement 1. Ohio.
- Eschmeyer, W. y J. Fong (2016). *Catalog of fishes - Species by family/subfamily*. URL: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/SpeciesByFamily.asp>.
- Esper, M. d.L. P. y W. Esper (2001). “*Mugil platanus* (Günther, 1880),(Pisces, Mugilidae) from the Baía de Paranaguá (Paraná, Brazil)”. En: *Acta Biológica Paranaense Curitiba* 30, págs. 5-17.
- Estrada, M. (1996). “Primary production in the northwestern Mediterranean”. En: *Scientia Marina* 60.2, págs. 55-64.
- FAO (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all*. 200pp. Rome: Food & Agriculture Org.
- Fiori, S. y M. Carbone (2006). “Los ambientes naturales de la Reserva de Usos Múltiples de Bahía San Blas”. En: *Atlas de las IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense*. Ed. por B. EDIUNS. 2, págs. 97-103.
- Fisher, W., M. L. Bauchot y M. Schneider (1987). “Fiches FAO d’identification des espèces pour les besoins de la pêche (Revision 1)”. En: *Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche 37. Vertebres*. Ed. por FAO, págs. 761-1530.
- Fomento, M. (2016). *Puertos del Estado*. URL: <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>.
- Font, J., J. Salat y J. Tintoré (1988). “Permanent features of the circulation in the Catalan Sea”. En: *Oceanologica Acta*, págs. 51-57.

- Fowler, A. M., S. M. Smith, D. J. Booth y J. Stewart (2016). "Partial migration of grey mullet (*Mugil cephalus*) on Australia's east coast revealed by otolith chemistry". En: *Marine Environmental Research* 119, págs. 238-244.
- Fury, C. A. y P. L. Harrison (2011). "Seasonal variation and tidal influences on estuarine use by bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*)". En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 93.4, págs. 389-395.
- Gallardo-Cabello, M., E. Espino-Barr, E. G. Cabral-Solis, M. Puente-Gomez y A. Garcia-Boa (2012). "Study of the otoliths of stripped mullet *Mugil cephalus* linnaeus, 1758 in Mexican Central Pacific". En: *Journal of Fisheries and Aquatic Science* 7.6, pág. 346.
- Galley, E. A., P. J. Wright y F. M. Gibb (2006). "Combined methods of otolith shape analysis improve identification of spawning areas of Atlantic cod". En: *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 63.9, págs. 1710-1717.
- Garbin, T., J. P. Castello y P. G. Kinas (2014). "Age, growth, and mortality of the mullet *Mugil liza* in Brazil's southern and southeastern coastal regions". En: *Fisheries Research* 149, págs. 61-68.
- García Suikkanen, C. (2011). "Estudio de los efectos de las infraestructuras de transporte sobre la fauna en un humedal costero mediterráneo (Parque Natural de l'Albufera de Valencia). Propuesta de medidas para la desfragmentación y valoración de sus efectos sobre dos especies representativas: ánade azulón (*Anas platyrhynchos*) y gineta (*Genetta genetta*).". Tesis doct. Universidad Politécnica de Valencia.
- Garriga Sala, J. (2008). *Estudios de base para una estrategia de prevención y adaptación al cambio climático en Cataluña. Número 1: el delta del Ebro. Documento de síntesis*. Inf. téc., pág. 206.
- Gauldie, R. (1993). "Polymorphic crystalline structure of fish otoliths". En: *Journal of Morphology* 218.1, págs. 1-28.
- Gerking, S. D. (2014). *Feeding ecology of fish*. Elsevier.
- Gervasoni, E., A. V. Volpedo y A. Fernández Cirelli (2003). "Influencia antrópica en el humedal mixohalino de Bahía Samborombón (Buenos Aires, Argentina)". En: *Proceedings del Simposio Internacional de Humedales. Fundación Proteger*, págs. 15-28.
- Gierl, C., B. Reichenbacher, J. Gaudant, D. Erpenbeck y A. Pharisat (2013). "An extraordinary gobioid fish fossil from southern France". En: *PLoS ONE* 8.5, e64117.
- Gil, J. Muñoz, G. Marín-Espinoza, J. Andrade-Vigo, R. Zavala y A. Mata (2013). "Trophic position of the Neotropic Cormorant (*Phalacrocorax brasilianus*): integrating diet and stable isotope analysis". En: *Journal of Ornithology* 154.1, págs. 13-18.
- Gillanders, B. M. (2005). "Using elemental chemistry of fish otoliths to determine connectivity between estuarine and coastal habitats". En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64.1, págs. 47-57.
- Golani, D., L. Orsi Relini, E. Massutá y J. Quignard (2002). "Atlas of Exotic Species in the Mediterranean". En: *Fishes. Vol 1*. Ed. por F. Briand. CIESM Publishers.

- González-Castro, M. (2007). “Los peces representantes de la Familia Mugilidae en Argentina”. Tesis doct. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- González-Castro, M. y J. Ghasemzadeh (2016). “Morphology and morphometry based taxonomy of Mugilidae”. En: *Biology, Ecology and Culture of Grey Mulletts (Mugilidae)*. Ed. por D. Crosetti y S. Blaber. CRC Press, págs. 1-21.
- González-Castro, M. y G. Minos (2016). “Sexuality and Reproduction of Mugilidae”. En: *Biology, Ecology and Culture of Grey Mulletts (Mugilidae)*. CRC Press, págs. 227-263.
- González-Castro, M., J. Díaz de Astarloa y M. B. Cousseau (2006). “First record of a tropical affinity mullet, *Mugil curema* (Mugilidae), in a temperate southwestern Atlantic coastal lagoon”. En: *Cybium* 30.1, págs. 90-91.
- González-Castro, M., S. Heras, M. B. Cousseau y M. Roldán (2008). “Assessing species validity of *Mugil platanus* Günther, 1880 in relation to *Mugil cephalus* Linnaeus, 1758 (Actinopterygii)”. En: *Italian Journal of Zoology* 75.3, págs. 319-325.
- González-Castro, M., V. Abachian y R. G. Perrotta (2009). “Age and growth of the striped mullet, *Mugil platanus* (Actinopterygii, Mugilidae), in a southwestern Atlantic coastal lagoon (37°32' S–57°19' W): a proposal for a life-history model”. En: *Journal of Applied Ichthyology* 25.1, págs. 61-66.
- González-Castro, M., J. D. de Astarloa, M. Cousseau, D. Figueroa, S. Delpiani, D. Bruno, J. Guzzoni, G. Blasina y M. D. Antoni (2009). “Fish composition in a south-western Atlantic temperate coastal lagoon: spatial–temporal variation and relationships with environmental variables”. En: *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89.03, págs. 593-604.
- González-Castro, M., G. Macchi y M. B. Cousseau (2011). “Studies on reproduction of the mullet *Mugil platanus* Günther, 1880 (Actinopterygii, Mugilidae) from the Mar Chiquita coastal lagoon, Argentina: similarities and differences with related species”. En: *Italian Journal of Zoology* 78.3, págs. 343-353.
- González-Castro, M., A. L. Ibáñez, S. Heras, M. I. Roldán y M. B. Cousseau (2012). “Assessment of lineal versus landmark-based morphometry for discriminating species of Mugilidae (Actinopterygii)”. En: *Zoological Studies* 51.8, págs. 1515-1528.
- Górski, K., C. De Gruijter y R. Tana (2015). “Variation in habitat use along the freshwater–marine continuum by grey mullet *Mugil cephalus* at the southern limits of its distribution”. En: *Journal of fish biology* 87.4, págs. 1059-1071.
- Harrison, I. J. (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)*. Ed. por C. K. Virginia, págs. 1071-1085.

- Harrison, I. J. y G. J. Howes (1991). "The pharyngobranchial organ of mugilid fishes; its structure, variability, ontogeny, possible function and taxonomic utility". En: *Bulletin of the British Museum, Natural History. Zoology* 57.2, págs. 111-132.
- Hauser-Davis, R., R. Lavandier, F. Bastos, T. Oliveira, C. O. Ribeiro, R. Ziolli y R. de Campos (2012). "Alterations in morphometric and organosomatic indices and histopathological analyses indicative of environmental contamination in mullet, *Mugil liza*, from Southeastern Brazil". En: *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 89.6, págs. 1154-1160.
- Hecht, T. (1987). *A guide to the otoliths of Southern Ocean fishes*. South African Scientific Committee for Antarctic Research.
- Heras, S., M. González-Castro y M. I. Roldán (2006). "*Mugil curema* in Argentinean waters: combined morphological and molecular approach". En: *Aquaculture* 261.2, págs. 473-478.
- Heras, S., M. I. Roldán y M. González-Castro (2009). "Molecular phylogeny of Mugilidae fishes revised". En: *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 19.2, págs. 217-231.
- Heras, S., F. Maltagliati, M. V. Fernández y M. I. Roldán (2016). "Shaken not stirred: a molecular contribution to the systematics of genus *Mugil* (Teleostei, Mugilidae)". En: *Integrative Zoology* 11.4, págs. 263-281.
- Hsu, C.-C. y W.-N. Tzeng (2009). "Validation of annular deposition in scales and otoliths of flathead mullet *Mugil cephalus*". En: *Zoological Studies* 48.5, págs. 640-648.
- Hsu, C.-C., C.-W. Chang, Y. Iizuka y W.-N. Tzeng (2009). "A growth check deposited at estuarine arrival in otoliths of juvenile flathead mullet (*Mugil cephalus* L.)". En: *Zoological Studies* 48.3, págs. 315-324.
- Huxley, J. (1932). *Problems of relative growth*. The Dial Press, pág. 276.
- Ibáñez, A. L., M. Gallardo-Cabello y X. C. Carrara (1999). "Growth analysis of striped mullet, *Mugil cephalus*, and white mullet, *M. curema* (Pisces: Mugilidae), in the Gulf of Mexico". En: *Fishery Bulletin* 97.4, págs. 861-872.
- Ibáñez, A. L., I. G. Cowx y P. O'Higgins (2007). "Geometric morphometric analysis of fish scales for identifying genera, species, and local populations within the Mugilidae". En: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 64.8, págs. 1091-1100.
- Ibáñez, A. L., C.-W. Chang, C.-C. Hsu, C.-H. Wang, Y. Iizuka y W.-N. Tzeng (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". En: *Ciencias Marinas* 38.1A, págs. 73-87.
- IBAMA (2007). *Estatística da pesca 2007 Brasil: Grandes Regiões e Unidades da Federação*. Inf. téc. 151. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
- Iribarne, O. (2001). *Reserva de Biosfera Mar Chiquita: Características físicas, biológicas y ecológicas*. UNESCO.

- Isla, F. y M. Espinosa (2005). "Holocene and historical evolution of fan estuarine complex: the gravel spot of the Walter creek, southern Buenos Aires". En: *XVI Congreso Geológico Argentino*, págs. 149-154.
- Jacoby, D. y M. Gollock (2014). *Anguilla anguilla*. IUCN 2014. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.1.
- Jansen, O. E., G. M. Aarts, K. Das, G. Lepoint, L. Michel y P. J. Reijnders (2012). "Feeding ecology of harbour porpoises: stable isotope analysis of carbon and nitrogen in muscle and bone". En: *Marine Biology Research* 8.9, págs. 829-841.
- Jaureguizar, A., R Menni, C Bremec, H Mianzan y C Lasta (2003). "Fish assemblage and environmental patterns in the Río de la Plata estuary". En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 56.5, págs. 921-933.
- Jiménez, J., A. Sánchez-Arcilla, H. I. Valdemoro, V. Gracia y F. Nieto (1997). "Processes reshaping the Ebro delta". En: *Marine Geology* 144.1, págs. 59-79.
- Jost, J., D. Kälin, T. Schulz-Mirbach y B. Reichenbacher (2006). "Late Early Miocene lake deposits near Mauensee, central Switzerland: fish fauna (otoliths, teeth), accompanying biota and palaeoecology". En: *Eclogae Geologicae Helvetiae* 99.3, págs. 309-326.
- Kaya, M., S. Mater y A. Y. Korkut (1998). "A new grey mullet species " *Mugil so-iuy* Basilewsky" (Teleostei: Mugilidae) from the Aegean coast of Turkey". En: *Turkish Journal of Zoology* 22, págs. 303-306.
- Kerr, L. A. y S. E. Campana (2014). "Chemical composition of fish hard parts as a natural marker of fish stocks". En: *Stock identification methods*. Academic Press, San Diego, págs. 205-234.
- Knoff, M., J. L. Luque y R. Takemoto (1994). "Parasitic copepods on *Mugil platanus* Günther (Osteichthyes: Mugilidae) from the coast of the State of Rio de Janeiro, Brazil". En: *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* 3.1, págs. 45-56.
- Knoff, M., J. L. Luque y J. Amato (1997). "Community ecology of the metazoan parasites of grey mullets, *Mugil platanus* (Osteichthyes: Mugilidae) from the littoral of the state of Rio de Janeiro, Brazil." En: *Revista Brasileira de Biologia* 57.3, págs. 441-454.
- Kraus, R. T. y D. H. Secor (2004). "Incorporation of strontium into otoliths of an estuarine fish". En: *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 302.1, págs. 85-106.
- Lana, P. C., E. Marone, R. M. Lopes y E. C. Machado (2001). "The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil". En: *Coastal marine ecosystems of Latin America*. Springer, págs. 131-145.
- Lester, R. J. G. y K. MacKenzie (2009). "The use and abuse of parasites as stock markers for fish". En: *Fisheries Research* 97.1, págs. 1-2.
- Lester, R., S. Rawlinson y L. Weaver (2009). "Movement of sea mullet *Mugil cephalus* as indicated by a parasite". En: *Fisheries Research* 96.2, págs. 129-132.

- Lestrel, P. E. (2008). *Fourier descriptors and their applications in biology*. Cambridge University Press.
- Liordos, V. y V. Goutner (2009). "Sexual differences in the diet of great cormorants *Phalacrocorax carbo sinensis* wintering in Greece". En: *European Journal of Wildlife Research* 55.3, págs. 301-308.
- Leonart, J., J. Salat y G. J. Torres (2000). "Removing allometric effects of body size in morphological analysis". En: *Journal of Theoretical Biology* 205.1, págs. 85-93.
- Llompart, F. M. (2011). "La ictiofauna de Bahía San Blas (Provincia de Buenos Aires) y su relación con la dinámica de las pesquerías deportiva y artesanal." Tesis doct. Universidad Nacional de la Plata.
- Lombarte, A. y V. M. Tuset (2015). "Morfometría de otolitos". En: *Métodos de estudios con otolitos: principios y aplicaciones*. Ed. por A. Volpedo y A. Vaz-dos Santos, págs. 59-91.
- Lombarte, A., O. Chic, V. Parisi-Baradad, R. Olivella, J. Piera y E. García-Ladona (2006). "A web-based environment for shape analysis of fish otoliths. The AFORO database". En: *Scientia Marina* 70.1, págs. 147-152.
- López, H. L., C. R. Baigún, J. M. Iwaszkiw, R. L. Delfino y O. H. Padin (2001). *La cuenca del Salado: uso y posibilidades de sus recursos pesqueros*. Editorial de la Universidad de La Plata.
- Lucas, M. C., E. Baras, T. J. Thom, A. Duncan y O. Slavík (2001). *Migration of freshwater fishes*. Vol. 47. Wiley Online Library.
- Mañosa, S., R. Mateo y R. Guitart (2001). "A review of the effects of agricultural and industrial contamination on the Ebro Delta biota and wildlife". En: *Environmental Monitoring and Assessment* 71.2, págs. 187-205.
- Mai, A. C. G., M. V. Condini, C. Q. d. Albuquerque, D. Loebmann, T. D. Saint'Pierre, N. Miekeley y J. Vieira (2014a). "High plasticity in habitat use of *Lycengraulis grossidens* (Clupeiformes, Engraulididae)". En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 141, págs. 17-25.
- Mai, A. C. G., C. I. Mino, L. F. Marins, C. Monteiro-Neto, L. Miranda, P. R. Schwingel, V. M. Lemos, M. Gonzalez-Castro, J. P. Castello y J. P. Vieira (2014b). "Microsatellite variation and genetic structuring in *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) populations from Argentina and Brazil". En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 149, págs. 80-86.
- Managra (2015). *Estadísticas pesqueras 2015*. Inf. téc. Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. URL: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-pesqueras/>.
- Marcovecchio, J. E. (2004). "The use of *Micropogonias furnieri* and *Mugil liza* as bioindicators of heavy metals pollution in La Plata river estuary, Argentina". En: *Science of the Total Environment* 323.1, págs. 219-226.

- Marin, E., J. Baumar, A. Quintero, D. Bussiere y J. J. Dodson (2003). "Reproduction and recruitment of white mullet (*Mugil curema*) to a tropical lagoon (Margarita Island, Venezuela) as revealed by otolith microstructure". En: *Fishery Bulletin* 101.4, págs. 809-821.
- Marone, E., E. C. Machado, R. M. Lopes y E. T. d. Silva (2005). "Land-ocean fluxes in the Paranaguá Bay estuarine system, southern Brazil". En: *Brazilian journal of Oceanography* 53.3-4, págs. 169-181.
- Martin, J., G. Bareille, S. Berail, C. Pecheyran, F. Daverat, N. Bru, H. Tabouret y O. Donard (2013). "Spatial and temporal variations in otolith chemistry and relationships with water chemistry: a useful tool to distinguish Atlantic salmon *Salmo salar* parr from different natal streams". En: *Journal of fish biology* 82.5, págs. 1556-1581.
- Martucci, O., L. Pietrelli y C. Consiglio (1993). "Fish otoliths as indicators of the cormorant *Phalacrocorax carbo* diet (Aves, Pelecaniformes)". En: *Italian Journal of Zoology* 60.4, págs. 393-396.
- Mauco, L. y M. Favero (2004). "Diet of the common tern (*Sterna hirundo*) during the nonbreeding season in Mar Chiquita Lagoon, Buenos Aires, Argentina". En: *Ornitología neotropical* 15, págs. 317-328.
- Mendonça, J. T. (2007). "Gestão dos recursos pesqueiros do complexo estuarino-lagunar de cananéia-iguape-ilha comprida, litoral sul de São Paulo, Brasil." Tesis doct. Universidade Federal de Sao Carlos.
- Menezes, N. A., C. Oliveira y M. Nirchio (2010). "An old taxonomic dilemma: the identity of the western south Atlantic lebranche mullet (Teleostei: Perciformes: Mugilidae)". En: *Zootaxa* 2519.5.
- Menezes, N. A., M. Nirchio, C. Oliveira y R. Siccha-Ramirez (2015). "Taxonomic review of the species of *Mugil* (Teleostei: Perciformes: Mugilidae) from the Atlantic South Caribbean and South America, with integration of morphological, cytogenetic and molecular data". En: *Zootaxa* 3918.1, págs. 1-38.
- Mérigot, B., Y. Letourneur y R. Lecomte-Finiger (2007). "Characterization of local populations of the common sole *Solea solea* (Pisces, Soleidae) in the NW Mediterranean through otolith morphometrics and shape analysis". En: *Marine Biology* 151.3, págs. 997-1008.
- Mikkelsen, B. (2007). "Present knowledge of grey seals (*Halichoerus grypus*) in Faroese waters". En: *NAMMCO Scientific Publications* 6, págs. 79-84.
- Miller, J. (2011). "Effects of water temperature and barium concentration on otolith composition along a salinity gradient: implications for migratory reconstructions". En: *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 405.1, págs. 42-52.
- Millot, C. (1999). "Circulation in the western Mediterranean Sea". En: *Journal of Marine Systems* 20.1, págs. 423-442.

- Milton, D., I. Halliday, M. Sellin, R. Marsh, J. Staunton-Smith y J. Woodhead (2008). “The effect of habitat and environmental history on otolith chemistry of barramundi *Lates calcarifer* in estuarine populations of a regulated tropical river”. En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 78.2, págs. 301-315.
- Minos, G., A. Imsiridou y P. S. Economidis (2010). “*Liza haematocheilus* (Pisces, mugilidae) in the northern Aegean sea”. En: *Fish invasions in the Mediterranean Sea: change and renewal*. Ed. por D Golani y A.-G. B. PENSOFT Publishers, págs. 313-332.
- Miranda, L. d., M. Carneiro, M. Peres, M. Cergole y J. Mendonça (2011). “Contribuições ao processo de ordenamento da pesca da espécie *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) nas regiões sudeste e sul do Brasil entre os anos de 2006 e 2010”. En: *Série Relatórios Técnicos* 49, págs. 1-23.
- Mollo, S. M. (1981). “Otolitos de peces de la Laguna Chascomús (Provincia de Buenos Aires)”. En: *Limnobiós* 2.4.
- Montes, C., M. Rendón-Martos, L. Varela y M. J. Cappa (2007). *Manual de restauración de humedales mediterráneos*. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.
- Morales-Nin, B. (1998). “Daily increments in otoliths: endogenous and exogenous growth regulation”. En: *2nd International Symposium on Fish Otolith Research and Application Radisson SAS Royal Bryggen, Bergen*, págs. 20-25.
- Morales-Nin, B., S. Pérez-Mayol, M. Palmer y A. J. Geffen (2014). “Coping with connectivity between populations of *Merluccius merluccius*: An elusive topic”. En: *Journal of Marine Systems* 138, págs. 211-219.
- Morte, S., M. J. Redon y A. Sanz-Brau (1997). “Feeding habits of juvenile *Mustelus mustelus* (Carcharhiniformes, Triakidae) in the western Mediterranean”. En: *Cahiers de biologie marine* 38.2, págs. 103-107.
- Moura, I. M. y L. S. Gordo (2000). “Abundance, age, growth and reproduction of grey mullets in Obidos lagoon, Portugal”. En: *Bulletin of marine science* 67.2, págs. 677-686.
- Mullon, C., P. Fréon y P. Cury (2005). “The dynamics of collapse in world fisheries”. En: *Fish and Fisheries* 6.2, págs. 111-120.
- Nelson, J. S., T. C. Grande y M. V. Wilson (2016). *Fishes of the World*. 5th. John Wiley & Sons.
- Okamoto, M. H., L. A. N. de Sampaio y A. de Pinho Maçada (2006). “Efeito da temperatura sobre o crescimento e a sobrevivência de juvenis da tainha *Mugil platanus* Günther, 1880”. En: *Atlântica* 28.1, págs. 61-66.
- Park, L. K. y P. Moran (1994). “Developments in molecular genetic techniques in fisheries”. En: *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 4.3, págs. 272-299.
- Pascual, A., B. Buongiorno Nardelli, G. Larnicol, M. Emelianov y D. Gomis (2002). “A case of an intense anticyclonic eddy in the Balearic Sea (western Mediterranean)”. En: *Journal of Geophysical Research: Oceans* 107.C11.

- Passos, A. C. dos, R. F. Contente, C. C. V. de Araujo, F. A.L.d. M. Daros, H. L. Spach, V. Abilhôa y L. F. Fávaro (2012). “Fishes of Paranaguá estuarine complex, south west Atlantic”. En: *Biota Neotropica* 12.3, págs. 226-238.
- Payne Wynne, M. L., K. A. Wilson y K. E. Limburg (2015). “Retrospective examination of habitat use by blueback herring (*Alosa aestivalis*) using otolith microchemical methods”. En: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 72.7, págs. 1073-1086.
- Petracci, P. y K. Delhey (2005). *Guía de las aves marinas y costeras de la ría de Bahía Blanca*. Harris y Cia SRL Bahia Blanca, Argentina.
- Pierce, G. y P. Boyle (1991). “A review of methods for diet analysis in piscivorous marine mammals”. En: *Oceanography and Marine Biology* 29, págs. 409-486.
- Ponton, D. (2006). “Is geometric morphometrics efficient for comparing otolith shape of different fish species?” En: *Journal of Morphology* 267.6, págs. 750-757.
- Popper, A. N. y R. R. Fay (1993). “Sound detection and processing by fish: critical review and major research questions (Part 1 of 2)”. En: *Brain, behavior and evolution* 41.1, págs. 14-25.
- Potter, I. C., J. R. Tweedley, M. Elliott y A. K. Whitfield (2015). “The ways in which fish use estuaries: a refinement and expansion of the guild approach”. En: *Fish and Fisheries* 16.2, págs. 230-239.
- Radtke, R. y D. Shafer (1992). “Environmental sensitivity of fish otolith microchemistry”. En: *Marine and Freshwater Research* 43.5, págs. 935-951.
- Reichenbacher, B., U. Sienknecht, H. Küchenhoff y N. Fenske (2007). “Combined otolith morphology and morphometry for assessing taxonomy and diversity in fossil and extant killifish (*Aphanius*, †*Prolebias*)”. En: *Journal of Morphology* 268.10, págs. 898-915.
- Reis-Santos, P., B. M. Gillanders, S. E. Tanner, R. P. Vasconcelos, T. S. Elsdon y H. N. Cabral (2012). “Temporal variability in estuarine fish otolith elemental fingerprints: implications for connectivity assessments”. En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 112, págs. 216-224.
- Riet-Sapriza, F. G., D. P. Costa, V. Franco-Trecu, Y. Marín, J. Chocca, B. González, G. Beathyate, B. L. Chilvers y L. A. Hückstadt (2013). “Foraging behavior of lactating South American sea lions (*Otaria flavescens*) and spatial-temporal resource overlap with the Uruguayan fisheries”. En: *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 88, págs. 106-119.
- Romo Pérez, S. G., A. García-Murcia, M. J. Villena, V. Sánchez y A. Ballester (2008). “Tendencias del fitoplancton en el lago de la Albufera de Valencia e implicaciones para su ecología, gestión y recuperación”. En: *Limnetica* 27.1, págs. 11-27.
- Roselló Verger, V. (1995). *L'Albufera de València*. Publicacions de L'Abadia de Montserrat. Valencia.
- Ross, R. M., J. H. Johnson y C. M. Adams (2005). “Use of fish-otolith-length regressions to infer size of double-crested cormorant prey fish from recovered otoliths in Lake Ontario”. En: *Northeastern Naturalist* 12.2, págs. 133-140.

- Rossi-Wongtschowski, C. L.D. B. (2015). “Morfología de otolitos”. En: *Métodos de estudos com otólitos: princípios e aplicações*. Ed. por A. Volpedo y A. Martins Vaz-dos Santos, págs. 30-57.
- Ruttenberg, B. I., S. L. Hamilton, M. J. Hickford, G. L. Paradis, M. S. Sheehy, J. D. Standish, O. Ben-Tzvi y R. R. Warner (2005). “Elevated levels of trace elements in cores of otoliths and their potential for use as natural tags”. En: *Marine Ecology-Progress Series* 297.
- Sadighzadeh, Z., T. Valinassab, G. Vosugi, A. A. Motallebi, M. R. Fatemi, A. Lombarte y V. M. Tuset (2014). “Use of otolith shape for stock identification of John’s snapper, *Lutjanus johnii* (Pisces: Lutjanidae), from the Persian Gulf and the Oman Sea”. En: *Fisheries Research* 155, págs. 59-63.
- Salat, J. (1996). “Review of hydrographic environmental factors that may influence anchovy habitats in northwestern Mediterranean”. En: *Scientia marina* 60.2, págs. 21-32.
- Sánchez, O. A. (2008). “Evaluación de riesgos ambientales del uso de plaguicidas empleados en el cultivo del arroz en el Parque Natural de La Albufera de Valencia.” Tesis doct. Universidad Politécnica de Valencia.
- Sanchez-Arcilla, A., J. A. Jimenez y H. I. Valdemoro (1998). “The Ebro delta: morphodynamics and vulnerability”. En: *Journal of Coastal Research*, págs. 755-772.
- Scartascini, F. L. y A. V. Volpedo (2013). “White croaker (*Micropogonias furnieri*) paleodistribution in the Southwestern Atlantic Ocean. An archaeological perspective”. En: *Journal of Archaeological Science* 40.2, págs. 1059-1066.
- Schuchert, P. C., A. I. Arkhipkin y A. E. Koenig (2010). “Traveling around Cape Horn: Otolith chemistry reveals a mixed stock of Patagonian hoki with separate Atlantic and Pacific spawning grounds”. En: *Fisheries Research* 102.1, págs. 80-86.
- Schultz, L. (1953). “Family Mugilidae”. En: *Fishes of the Marshall and Marianas Islands, Vol I: Families from Asymmetriontidae Through Siganidae*. Vol. 202. Bulletin US National Museum, págs. 310-322.
- Secor, D. H., A Henderson-Arzapalo y P. Piccoli (1995). “Can otolith microchemistry chart patterns of migration and habitat utilization in anadromous fishes?” En: *Journal of experimental marine Biology and Ecology* 192.1, págs. 15-33.
- Secor, D. H., T. Ohta, K. Nakayama y M. Tanaka (1998). “Use of otolith microanalysis to determine estuarine migrations of Japanese Sea Bass *Lateolabrax japonicus* distributed in Ariake Sea.” En: *Fisheries science* 64.5, págs. 740-743.
- Shiao, J.-C., C.-Y. Chen, J. Zhang e Y. Iizuka (2016). “Habitat use and migratory life history of salangid icefish (Salangidae) revealed by otolith Sr/Ca ratios”. En: *Zoological Studies* 55.3.
- Siccha-Ramirez, R., N. A. Menezes, M. Nirchio, F. Foresti y C. Oliveira (2014). “Molecular identification of mullet species of the Atlantic South Caribbean and South America and the phylogeographic analysis of *Mugil liza*”. En: *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 22.1, págs. 86-96.

- Skliris, N. (2014). "Past, present and future patterns of the thermohaline circulation and characteristic water masses of the Mediterranean Sea". En: *The Mediterranean Sea - Its history and present challenges*. Springer, págs. 29-48.
- Smale, M., G. Watson y T. Hecht (1995). *Otolith Atlas of Southern African Marine Fishes*. 1. J.B.L. Smith Institute of Ichthyology.
- Smith, K. A. y K. Deguara (2002). *Review of biological information and stock assessment for the NSW sea mullet resource*. NSW Fisheries Cronulla Fisheries Centre.
- Sokal, R. y F. Rohlf (1995). *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. W. H. Freeman y CIA.
- Solari, A. (2013). "Variación espacio-temporal de la ictiofauna en hábitats someros del área sur de la Bahía Samborombón". Tesis doct. Facultad de Ciencias Naturales y Museo.
- Soria, J. M., M. R. Miracle y E. Vicente (2002). "Relations between physico-chemical and biological variables in aquatic ecosystems of the Albufera Natural Park (Valencia, Spain)". En: *Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie Verhandlungen* 28.2, págs. 564-568.
- Stramma, L. y M. England (1999). "On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean". En: *Journal of Geophysical Research* 104.C9, págs. 20863-20883.
- Sturrock, A. M., C. N. Trueman, A. M. Darnaude y E. Hunter (2012). "Can otolith elemental chemistry retrospectively track migrations in fully marine fishes?" En: *Journal of Fish Biology* 81.2, págs. 766-795.
- Tabouret, H., G. Bareille, F. Claverie, C. Pécheyran, P. Prouzet y O. F. X. Donard (2010). "Simultaneous use of strontium:calcium and barium:calcium ratios in otoliths as markers of habitat: Application to the European eel (*Anguilla anguilla*) in the Adour basin, South West France". En: *Marine Environmental Research* 70.1, págs. 35-45.
- Thomson, J. M. (1997). "The Mugilidae of the world". En: *Memoirs of the Queensland Museum* 41, págs. 457-562.
- Tombari, A., A. V. Volpedo y D. D. Echeverría (2000). "Patrones morfológicos en la *sagitta* de peces (Atherinidae: Odontesthes) de Argentina". En: *THALASSAS* 16.11, e19.
- Tombari, A., A. V. Volpedo y D. D. Echeverría (2005). "Desarrollo de la *sagitta* en juveniles y adultos de *Odontesthes argentinensis* (Valenciennes, 1835) y *O. bonariensis* (Valenciennes, 1835) de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Teleostei: Atheriniformes)". En: *Revista chilena de historia natural* 78.4, págs. 623-633.
- Tracey, S. R., J. M. Lyle y G. Duhamel (2006). "Application of elliptical Fourier analysis of otolith form as a tool for stock identification". En: *Fisheries Research* 77.2, págs. 138-147.
- Trewavas, E. y S. E. Ingham (1972). "A key to the species of Mugilidae (Pisces) in the northeastern Atlantic and Mediterranean, with explanatory notes". En: *Journal of Zoology* 167.1, págs. 15-29.

- Tuset, V. M., A. Lombarte, J. Gonzalez, J. Pertusa y M. Lorente (2003a). “Comparative morphology of the sagittal otolith in *Serranus* spp.” En: *Journal of Fish Biology* 63.6, págs. 1491-1504.
- Tuset, V. M., I. Lozano, J. Gonzalez, J. Pertusa y M. García-Díaz (2003b). “Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, *Serranus cabrilla* (L., 1758)”. En: *Journal of Applied Ichthyology* 19.2, págs. 88-93.
- Tuset, V. M., A. Lombarte y C. A. Assis (2008). “Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic”. En: *Scientia Marina* 72.S1, págs. 7-198.
- Tuset, V. M., V. Parisi-Baradad y A. Lombarte (2013). “Application of otolith mass and shape for discriminating scabbardfishes *Aphanopus* spp. in the north-eastern Atlantic Ocean”. En: *Journal of fish biology* 82.5, págs. 1746-1752.
- Tuset, V. M., R. Imondi, G. Aguado, J. Otero-Ferrer, L. Santschi, A. Lombarte y M. Love (2015). “Otolith patterns of rockfishes from the Northeastern Pacific”. En: *Journal of morphology* 276.4, págs. 458-469.
- Veen, J., W. C. Mullié y T. Veen (2012). “The diet of the White-breasted Cormorant *Phalacrocorax carbo lucidus* along the Atlantic coast of West Africa”. En: *Ardea* 100.2, págs. 137-148.
- Vignon, M. (2012). “Ontogenetic trajectories of otolith shape during shift in habitat use: Interaction between otolith growth and environment”. En: *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 420, págs. 26-32.
- Volpedo, A. V. (2001). “Estudio de la morfometría de las *sagittae* en poblaciones de Sciaenidos marinos de aguas calientes del Perú y agua templado-frías de Argentina.” Tesis doct. Universidad de Buenos Aires.
- Volpedo, A. V. y D. D. Echeverría (1997). “Morfología de las *sagittae* de lenguados del mar argentino (Bothidae, Paralichthyidae y Achirosettidae)”. En: *Thalassas: An international journal of marine sciences* 13.1, págs. 113-126.
- Volpedo, A. V. y D. D. Echeverría (2000). *Catálogo y claves de otolitos para la identificación de peces del Mar Argentino*. Vol. 1. Editorial Dunken.
- Volpedo, A. V. y D. D. Echeverría (2001). “Morfología y morfometría de las *sagittae* de sciaenidos marinos del norte de Perú”. En: *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción* 72, págs. 147-154.
- Volpedo, A. V. y D. D. Echeverría (2003). “Ecomorphological patterns of the *sagitta* in fish on the continental shelf off Argentina”. En: *Fisheries Research* 60.2, págs. 551-560.
- Volpedo, A. V., T. Yunes Nuñez y A. Fernández Cirelli (2005). “El humedal mixohalino de Bahía Samborombón: conservación y perspectivas”. En: *Humedales Fluviales de América del Sur. Hacia un manejo sustentable*. Ed. por J. P. J. Cappatto. Ediciones Proteger-UICN, págs. 89-110.

- Volpedo, A. V., P. Miretzky y A. Fernández Cirelli (2007). “Stocks pesqueros de *Cynoscion guatucupa* y *Micropogonias furnieri* de la costa atlántica de Sudamérica: comparación entre métodos de identificación.” En: *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, págs. 115 -130.
- Waessle, J. A., C. A. Lasta y M. Favero (2003). “Otolith morphology and body size relationships for juvenile Sciaenidae in the Río de la Plata estuary (35-36°S)”. En: *Scientia Marina* 67.2, págs. 233-240.
- Wang, C.-H. (2014). “Otolith elemental ratios of flathead mullet *Mugil cephalus* in Taiwanese waters reveal variable patterns of habitat use”. En: *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 151, págs. 124-130.
- Wang, C.-H., C.-C. Hsu, C.-W. Chang, C.-F. You y W.-N. Tzeng (2010). “The migratory environmental history of freshwater resident flathead mullet *Mugil cephalus* L. in the Tanshui River, northern Taiwan”. En: *Zoological studies* 49.4, págs. 504-514.
- Wells, B. K., B. E. Rieman, J. L. Clayton, D. L. Horan y C. M. Jones (2003). “Relationships between water, otolith, 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”. En: *Transactions of the American Fisheries Society* 132.3, págs. 409-424.
- Weyl, O. L. y H. Lewis (2006). “First record of predation by the alien invasive freshwater fish *Micropterus salmoides* L.(Centrarchidae) on migrating estuarine fishes in South Africa”. En: *African Zoology* 41.2, págs. 294-296.
- Whitfield, A. y S. Blaber (1978). “Food and feeding ecology of piscivorous fishes at Lake St Lucia, Zululand”. En: *Journal of Fish Biology* 13.6, págs. 675-691.
- Whitfield, A., J. Panfili y J.-D. Durand (2012). “A global review of the cosmopolitan flathead mullet *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 (Teleostei: Mugilidae), with emphasis on the biology, genetics, ecology and fisheries aspects of this apparent species complex”. En: *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 22.3, págs. 641-681.
- Whitledge, G. W., B. M. Johnson y P. J. Martinez (2006). “Stable hydrogen isotopic composition of fishes reflects that of their environment”. En: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63.8, págs. 1746-1751.
- Xia, R., J.-D. Durand y C. Fu (2016). “Multilocus resolution of Mugilidae phylogeny (Teleostei: Mugiliformes): Implications for the family’s taxonomy”. En: *Molecular phylogenetics and evolution* 96, págs. 161-177.
- Yunes Núñez, T., A. V. Volpedo y A. Fernández Cirelli (2004). “Valoración económica del humedal mixohalino de Bahía Samborombón”. En: *El Agua en Iberoamérica. Un enfoque integrado para la gestión sustentable del agua*. Ed. por A. Fernández Cirelli y V. Sánchez Molina. CYTED, págs. 251-258.

Zalba, S. M., A. J. Nebbia y S. M. Fiori (2008). *Propuesta de Plan de Manejo de la Reserva Natural de Usos Múltiples Bahía San Blas*. Inf. téc.

Zlokovitz, E. R., D. H. Secor y P. M. Piccoli (2003). "Patterns of migration in Hudson River striped bass as determined by otolith microchemistry". En: *Fisheries Research* 63.2, págs. 245-259.

Anexo I



Around the fish (Paul Klee, 1926)

Especies de Mugilidae analizadas a lo largo de la tesis

Phylum: Chordata

Clase: Actinopterygii

Orden: Mugiliformes

Familia: Mugilidae

- Especies del Mar Mediterráneo



Chelon labrosus.



Liza aurata.

Foto de A. M. Arias, tomada de www.ictieterm.es



Liza carinata.

Foto tomada de www.fishbase.org



Liza ramada.



Liza saliens.

Foto de A. M. Arias, tomada de www.ictieterm.es



Mugil cephalus.



Oedalechilus laevis.

Foto tomada de www.fishbase.org

■ Especies del Océano Atlántico sudoccidental



Mugil liza.



Mugil curema.

Foto tomada de www.fishbase.org

Lista de especies válidas de los cuatro géneros de Mugilidae analizados en esta tesis según Eschmeyer y Fong (2016)

Género *Mugil*

- *Mugil bananensis* (Pellegrin, 1927)
- *M. boussonnetii* Valenciennes, 1836
- *M. capurrii* (Perugia, 1892)
- *M. cephalus* Linnaeus, 1758
- *M. curema* Valenciennes, 1836
- *M. curema* Valenciennes, 1836
- *M. curvidens* Valenciennes, 1836
- *M. gaimardianus* Desmarest, 1831
- *M. galapagensis* Ebeling, 1961
- *M. hospes* Jordan Culver, 1895
- *M. incilis* Hancock, 1830
- *M. liza* Valenciennes, 1836
- *M. longicauda* Guitart Alvarez-Lojonchere, 1976
- *M. rubrioculus* Harrison, Nirchio, Oliveira, Ron Gaviria, 2007
- *M. setosus* Gilbert, 1892 *M. trichodon* Poey, 1875

Género *Liza*

- *Liza abu* (Heckel, 1843)
- *L. affinis* (Günther, 1861)
- *L. alata* (Steindachner, 1892)
- *L. argentea* (Quoy Gaimard, 1825)
- *L. aurata* (Risso, 1810)

- *L. bandialensis* Diouf, 1991
- *L. carinata* (Valenciennes, 1836)
- *L. dumerili* (Steindachner, 1870)
- *L. falcipinnis* (Valenciennes, 1836)
- *L. grandisquamis* (Valenciennes, 1836)
- *L. haematocheila* (Temminck Schlegel, 1845)
- *L. klunzingeri* (Day, 1888)
- *L. luciae* (Penrith Penrith, 1967)
- *L. mandapamensis* Thomson, 1997
- *L. persicus* (Senou, Randall Okiyama, 1995)
- *L. ramada* (Risso, 1827)
- *L. ramsayi* (Macleay, 1883)
- *L. richardsonii* (Smith, 1846)
- *L. saliens* (Risso, 1810)
- *L. tricuspiciens* (Smith, 1935)

Género *Chelon*

- *Chelon bispinosus* (Bowdich, 1825)
- *C. labrosus* (Risso, 1827)
- *C. macrolepis* (Smith, 1846)
- *C. melinopterus* (Valenciennes, 1836)
- *C. parsia* (Hamilton, 1822)
- *C. planiceps* (Valenciennes, 1836)
- *C. subviridis* (Valenciennes, 1836)

Género *Oedalechilus*

- *Oedalechilus labeo* (Cuvier, 1829)
- *O. labiosus* (Valenciennes, 1836)

Anexo II



The fog warning (Winslow Homer, 1885)

Publicaciones asociadas al desarrollo de esta tesis

Artículos en revistas indexadas

1. Callicó Fortunato R, Reguera Galán A, García Alonso I, Volpedo AV y V Benedito Durà. 2017. Environmental migratory patterns and stock identification of *Mugil cephalus* in the Spanish Mediterranean Sea, by means of otolith microchemistry. Estuarine, Coastal and Shelf Science. Aceptado 12 de febrero 2017. DOI:10.1016/j.ecss.2017.02.018
2. Callicó Fortunato R, Benedito Durà V y AV Volpedo. 2016. Otolith morphometry and microchemistry as habitat markers for juvenile *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 in nursery grounds in the Valencian community, Spain. Journal of Applied Ichthyology. Aceptado 1 Septiembre, 2016. DOI:10.1111/jai.13291
3. Avigliano E, Callicó Fortunato R, Buitrago J y AV Volpedo. 2015. Is otolith microchemistry (Sr:Ca and Ba:Ca ratios) useful to identify *Mugil curema* populations in the Southeastern Caribbean Sea?. Brazilian Journal of Biology. 75(4): 45-51.
4. Thompson G, Callicó Fortunato R, Chiesa I y AV Volpedo. 2015. Trophic ecology of *Mugil liza* in the southern limit of its distribution (Buenos Aires, Argentina). Brazilian Journal of Oceanography. 63(3): 217-277. DOI: 10.1590/S1679-87592015087106303.
5. Callicó Fortunato R, Benedito Durà V y AV Volpedo. 2014. The morphology of saccular otoliths as a tool to identify different mugilid species from the Northeastern Atlantic and Mediterranean Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 146: 95-101. DOI: 10.1016/j.ecss.2014.05.013.

Publicaciones de trabajos de reuniones científicas

1. Callicó Fortunato R, Benedito Durà V y AV Volpedo. 2015. *Mugil cephalus* stock identification in two protected wetlands of the Valencian Community, Spain. Frontiers in Marine Science. Conference Abstract: XV European Congress of Ichthyology. Doi: 10.3389/conf.fmars.2015.03.00117

Presentación de trabajos relacionados con la tesis en reuniones científicas

1. Callicó Fortunato R, Benedito Durà V y AV Volpedo. *Mugil cephalus* stock identification in two protected wetlands of the Valencian Community, Spain. XV European Congress of Ichthyology (ECI XV). 7-11 Septiembre 2015. Oporto, Portugal.
2. Callicó Fortunato R, Gonzalez Castro M, Kunert C y AV Volpedo. La microquímica del otolito como una herramienta para la identificación de stocks: el caso de *Mugil liza* en humedales la costa bonaerense. IV Simposio Argentino de Ictiología (IV SAI 2015). 23-25 Abril 2015. Mar del Plata, Argentina.
3. Callicó Fortunato R, Benedito Durà V y AV Volpedo. Identification of Mediterranean Mulletts using morphology of *sagittae* otoliths. 5th International Otolith Symposium 2014 (IOS 2014). 19-24 Octubre 2014. Mallorca, España.
4. Callicó Fortunato R, Volpedo AV y V Benedito Durà. Stock identification of mediterranean mullets of three wetlands in the Comunidad Valenciana using *sagitta* otolith morphometry. International Wetlands Conference 14-18 Septiembre 2014. Huesca, España.
5. Thompson GA, Callicó Fortunato R, Doyle M y AV Volpedo. Cambios en la ecología trófica de una especie eurihalina en la costa bonaerense en las últimas décadas. Jornada de los Programas Interdisciplinarios de la Universidad de Buenos Aires. 8 de Noviembre 2013. Buenos Aires, Argentina.
6. Callicó Fortunato R, González Castro M y AV Volpedo. Análisis preliminar para la identificación de stocks costeros bonaerenses de *Mugil liza*: la morfometría del otolito *sagitta* como herramienta. XV Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar (COLACMAR). 27-31 Octubre 2013. Punta del Este, Uruguay.
7. Thompson G, Callicó Fortunato R, Chiesa I y AV Volpedo. Ecología Alimentaria de *Mugil liza* en la costa sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. XV Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar (COLACMAR). 27-31 Octubre 2013. Punta del Este, Uruguay.
8. Callicó Fortunato R, Avigliano E, Buitrago J y AV Volpedo. Stock identification using otolith microchemistry of the silver mullet (*Mugil curema*) in Mar Caribe, Venezuela, to contribute to fisheries management. CERF Coastal and Estuarine Research Federation: The Changing Coastal and Estuarine Environment: A Comparative Approach. 11-14 Noviembre 2012. Mar del Plata, Argentina.

Cursos realizados en el marco de esta tesis

1. Comunicación Científica: High Standards For Scientific Production And Communication. 2 de Marzo al 6 de Mayo 2015. Curso de Formación transversal de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Calificación: 9.50. Créditos otorgados: 2.
2. Statistical Learning. Curso online otorgado por la Stanford University, Stanford, California, USA. 20 de Enero al 5 de Abril 2015. Aprobado con un 73/100.
<https://statlearning.class.stanford.edu>
3. Estadística y Métodos Matemáticos para la Investigación: Introducción a las Técnicas Estadísticas para la Investigación. 10 de Febrero al 31 de Marzo 2015. Curso de Formación transversal de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Calificación: 8.61. Créditos otorgados: 2.
4. Taller de modelos lineales mixtos con Infostat. 4 a 16 de Marzo de 2015. (28hs) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
5. Herramientas informáticas para la investigación: Composición de documentos y presentaciones de alta calidad con LATEX. 19 de Enero al 13 de Marzo 2015. Curso de Formación transversal de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. Calificación: 7 (siete). Créditos otorgados: 2.
6. Diversidad y procesos ecológicos en ambientes bentónicos marinos. 07 a 18 de julio de 2014. (60hs) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
7. Bioecología De Peces Comerciales De Argentina. 27 a 30 Agosto 2013. (32 hs). Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
8. Introducción a la Ecología Experimental. 4 a 9 Marzo 2013. (45hs). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
9. Metodologías para la determinación de stocks pesqueros. 18 a 22 Febrero 2013. (32hs). Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
10. Introducción a la Morfometría Geométrica. 24 a 29 Septiembre 2012. Centro Nacional Patagónico (CENPAT). Calificación: 10 (diez). (40hs). Puerto Madryn, Argentina.
11. Introducción a los Modelos Lineales Generalizados (GLM): una aproximación aplicada utilizando el R. 16 a 21 Julio 2012. (48hs). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

12. Taxonomía sistemática en peces. 2 a 6 de Julio 2012. (40hs). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Mar del Plata. Mar del Plata, Argentina.
13. Herramientas metodológicas para la tesis y las publicaciones (III): Métodos Multivariantes Análisis Factorial de Componentes Principales (ACP). 28 de Marzo 2012. Universidad Politécnica de Valencia. Director: Jose Luis Hervás Oliver. Valencia, España.
14. Herramientas metodológicas para la tesis y las publicaciones (II): métodos bivariantes y multivariantes: ANOVA, y Regresión. 26 de Marzo 2012. Universidad Politécnica de Valencia. Director: Jose Luis Hervás Oliver. Valencia, España.

...la felicidad existe, dijo la voz desconocida,
y puede que no sea más que esto,
mar, luz y vértigo...
(La balsa de piedra - José Saramago, 1986)