

Tesis Doctoral

Influencia de factores ambientales sobre el otolito de *Australoheros facetus* (Pisces, Cichlidae) y algunas comparaciones con otras especies Neotropicales

González Naya, María Jimena Aída

2011

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:

González Naya, María Jimena Aída. (2011). Influencia de factores ambientales sobre el otolito de *Australoheros facetus* (Pisces, Cichlidae) y algunas comparaciones con otras especies Neotropicales. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Cita tipo Chicago:

González Naya, María Jimena Aída. "Influencia de factores ambientales sobre el otolito de *Australoheros facetus* (Pisces, Cichlidae) y algunas comparaciones con otras especies Neotropicales". Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 2011.

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires



**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**Influencia de factores ambientales sobre el otolito de
Australoheros facetus (Pisces, Cichlidae) y algunas
comparaciones con otras especies Neotropicales.**

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

María Jimena Aída Gonzalez Naya

Directores de tesis: Dra. Alejandra V. Volpedo

Dr. Sergio E. Gómez

Consejero de estudios: Dra. Laura López Greco

Lugares de Trabajo

Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental (FCEN-UBA)

Laboratorio de Biología Experimental, División Ictiología - Museo Argentino de

Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" (MACN-CONICET)

Buenos Aires, 2011

INDICE

INDICE DE TABLAS	5
INDICE DE FIGURAS.....	7
RESUMEN	12
ABSTRACT	15
AGRADECIMIENTOS	18
1- INTRODUCCION	22
2- MATERIALES Y METODOS.....	32
2.1-Material Biológico.....	32
2.2-Determinación del patrón morfológico y la morfometría de los otolitos de las especies estudiadas.....	35
2.2.1- Morfología y morfometría.....	35
2.2.2- Determinación de las modificaciones morfológicas y morfométricas de las <i>sagittae</i> durante las etapas del desarrollo en <i>Australoheros facetus</i>	37
2.3- Determinación de las variaciones morfológicas, morfométricas y de composición química de los otolitos de <i>Australoheros facetus</i> ante factores ambientales extremos (altos niveles de salinidad y dureza).	39
2.3.1- Tolerancia de <i>Australoheros facetus</i> a niveles máximos de salinidad y comparándolo con otra especie neotropical <i>Cichlasoma biocellatum</i>	39
2.3.2- Variaciones del otolito en relación a altos niveles de salinidad en condiciones de laboratorio.....	40
2.3.3- Variaciones del otolito en relación con la dureza del agua en condiciones de laboratorio.....	42
2.4- Relaciones entre la morfología del otolito, la silueta del pez, la morfología de la aleta caudal y la capacidad de natación en distintas especies dulceacuícolas.....	44
3.- RESULTADOS	45
3.1- Morfología y morfometría del otolito <i>sagitta</i> de <i>Australoheros facetus</i>	45
3.1.1- Morfología.....	45
3.1.2- Morfometría.	46
3.2- Patrones morfológicos y morfométricos del otolito <i>sagitta</i> de otras especies de cíclidos Neotropicales.	47

3.2.1- Morfología.....	47
- <i>Cichlasoma dimerus</i>	47
- <i>Gymnogeophagus meridionalis</i>	48
- <i>Crenicichla lepidotta</i>	48
- <i>Crenicichla scotti</i>	49
3.2.2- Morfometría	50
3.3- Clave de identificación de algunos Cíclidos en ambiente continentales de Argentina.....	53
3.4- Determinación de las modificaciones morfológicas y morfométricas de los otolitos <i>sagitta</i> durante las etapas del desarrollo en <i>Australoheros facetus</i>	54
3.5- Determinación de las variaciones morfológicas, morfométricas y de composición química de los otolitos de <i>Australoheros facetus</i> ante factores ambientales extremos (altos niveles de salinidad y dureza).....	62
3.5.1-Tolerancia de <i>Australoheros facetus</i> principalmente a niveles máximos de salinidad y comparaciones con otra especie neotropical <i>Cichlasoma biocellatum</i>	62
3.5.2- Variaciones del otolito a niveles subletales de salinidad en condiciones de laboratorio.	69
3.5.3- Variaciones del otolito en relación con la dureza del agua en condiciones de laboratorio	84
3.6- Relaciones entre la morfología del otolito, la silueta del pez, la morfología de la aleta caudal y la capacidad de natación en distintas especies dulceacuícolas.	90
4- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	98
4.1- Morfología y morfometría de los otolitos de las especies estudiadas.	98
4.2. Morfología y morfometría de las <i>sagittae</i> de <i>Australoheros facetus</i> durante las etapas del desarrollo.....	99
4.3- Variaciones morfológicas, morfométricas y de composición química de los otolitos ante factores ambientales extremos (altos niveles de salinidad y dureza). 101	
4.3.1. Salinidad	102
4.3.2. Dureza.....	109
4.4- Relaciones entre la morfología del otolito, la silueta del pez, la morfología de la aleta caudal y la capacidad de natación en distintas especies dulceacuícolas.....	111

5- CONCLUSIONES GENERALES 116
6- BIBLIOGRAFÍA 118

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Listado de especies estudiadas	34
Tabla 2: Grupos morfológicos establecidos para el análisis del desarrollo de la <i>sagitta</i> de <i>A. facetus</i>	38
Tabla 3: Test de t entre los caracteres morfométricos de la <i>sagitta</i> derecha e izquierda de <i>A. facetus</i> .	46
Tabla 4: Valores de los caracteres morfométricos de las <i>sagittae</i> de los cíclidos estudiados	50
Tabla 5: Los caracteres morfométricos de la <i>sagitta</i> derecha e izquierda de juveniles y adultos de <i>A. facetus</i> y resultados del <i>test</i> de t	54
Tabla 6: Caracteres morfométricos registradas en los dos grupos de <i>A. facetus</i>	55
Tabla 7: Autovalores, autovectores y tabla de clasificación cruzada del análisis discriminante para los grupos de tallas analizados	56
Tabla 8: Tiempo de resistencia del 50 % (tR50) en grupos de <i>C. biocellatum</i> y <i>A. facetus</i> expuestos a la salinidad fija indicada (S)	63
Tabla 9: Tiempo de resistencia del 50 % (tR50) en grupos de <i>C. biocellatum</i> y <i>A. facetus</i> expuestos a la salinidad indicada (S)	64
Tabla 10: Relaciones entre las concentraciones de los diferentes elementos presentes en los otolitos y en el agua para <i>A. facetus</i> en el tratamiento y en el control.	78
Tabla 11: Relaciones entre las concentraciones de los diferentes elementos	83

presentes en los otolitos y en el agua para *C. dimerus* en el tratamiento y en el control

Tabla 12: Relaciones entre las concentraciones de los diferentes elementos presentes en los otolitos de *A. facetus* y en el agua de ambos tratamientos 90

Tabla 13: Los índices Lst/AC y LO/AO para 22 especies dulceacuícolas 93

Tabla 14: Niveles de tolerancia a la salinidad en algunas especies de cíclidos de distribución Etiópica (E) o Neotropical (N) 103

Tabla 15: Valores de salinidad en algunas localidades pampásicas entre los 34°y 36°S, con presencia (P) o ausencia (A) de *A. facetus* 104

Tabla 16: Valores de los diferentes cocientes “Elemento/Ca” de los otolitos en relación a la salinidad en diferentes especies 107

Tabla 17: Rango de concentración de elementos traza en agua de diferentes ambientes 108

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de la distribución actual de <i>Australoheros facetus</i>	23
Figura 2: Ubicación de los otolitos en el neurocráneo	27
Figura 3: Caracteres merísticos registrados a los ejemplares	33
Figura 4: Características morfológicas del otolito <i>sagitta</i> de <i>A. facetus</i>	36
Figura 5: Caracteres morfométricos de la cara interna del otolito <i>sagitta</i> derecho de <i>A. facetus</i>	37
Figura 6: Morfología de la <i>sagitta</i> de <i>A. facetus</i>	46
Figura 7: Morfología de la <i>sagitta</i> de <i>Cichlasoma dimerus</i>	47
Figura 8: Morfología de la <i>sagitta</i> de <i>Gymnogeophagus meridionalis</i>	48
Figura 9: Morfología de la <i>sagitta</i> de <i>Crenicichla lepidotta</i>	49
Figura 10: Morfología de la <i>sagitta</i> de <i>Crenicichla scotti</i>	50
Figura 11: Esquema de la morfología de la <i>sagitta</i> derecha de a) <i>Cichlasoma dimerus</i> , b) <i>Gymnogeophagus meridionalis</i> , c) <i>Australoheros facetus</i> , d) <i>Crenicichla lepidotta</i> , e) <i>Crenicichla Scotti</i>	53
Figura 12: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre la longitud máxima de la <i>sagitta</i> (LO) y la longitud estándar (Lst) para <i>A. facetus</i>	57

Figura 13: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre el ancho de la <i>sagitta</i> (AO) y la longitud estándar (Lst) para <i>A. facetus</i>	57
Figura 14: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre el perímetro de la <i>sagitta</i> (PO) y la longitud estándar (Lst) para <i>A. facetus</i>	58
Figura 15: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre la superficie de la <i>sagitta</i> (SO) y la longitud estándar (Lst) para <i>A. facetus</i>	58
Figura 16: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre la superficie del ostium (SOS) y la longitud estándar (Lst) para <i>A. facetus</i>	59
Figura 17: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre la superficie del sulcus ostium (SS) y la longitud estándar (Lst) para <i>A. facetus</i>	59
Figura 18: Morfología de la <i>sagitta</i> del Grupo 1 Lst < 60 mm de <i>A. facetus</i>	60
Figura 19: Morfología de la <i>sagitta</i> del Grupo 2 Lst > 60 mm de <i>A. facetus</i>	61
Figura 20a: <i>Cichlasoma biocellatum</i> , diagrama de dispersión y ajuste de regresión lineal simple entre la inversa del tiempo de resistencia del 50 % ($tR50^{-1}$ en minutos) y la salinidad ($g\ l^{-1}$)	65
Figura 20b: <i>C. biocellatum</i> , diagrama de dispersión y ajuste curvilíneo entre tiempo de resistencia del 50 % ($tR50$) en función de la salinidad ($g\ l^{-1}$)	66

Figura 21a: <i>Australoheros facetus</i> , diagrama de dispersión y ajuste de regresión lineal simple entre la inversa del tiempo de resistencia del 50 % ($1/tR_{50}$ en minutos) y la salinidad ($g\ l^{-1}$)	67
Figura 21b: <i>A. facetus</i> , tiempo de resistencia del 50 % (tR_{50} en minutos) en función de la salinidad ($g\ l^{-1}$)	68
Figura 22: Longitud estándar de los individuos y morfología del otolito <i>sagitta</i> de <i>A. facetus</i> durante el experimento	69
Figura 23: Variables morfométricas de <i>A. facetus</i> durante el experimento	70
Figura 24: Variables morfométricas de la <i>sagitta</i> de <i>A. facetus</i> durante el experimento, SO, SOS y SS	71
Figura 25: Longitud estándar y morfología del otolito <i>sagitta</i> de <i>C. dimerus</i> expuestos a niveles subletales de salinidad	71
Figura 26: Variables morfométricas de <i>C. dimerus</i> durante el experimento	73
Figura 27: Superficie del otolito (SO), del <i>ostium</i> (SOS) y del <i>sulcus</i> (SS) de <i>C. dimerus</i> durante en experimento	73
Figura 28: Relación Mg/Ca en otolitos de <i>A. facetus</i> en el tratamiento y en el control	75
Figura 29: Relación Mn/Ca en otolitos de <i>A. facetus</i> en el tratamiento y en el control	76
Figura 30: Relación Sr/Ca en otolitos de <i>A. facetus</i> en el tratamiento y en el control	77

Figura 31: Relación Zn/Ca en otolitos de <i>A. facetus</i> en el tratamiento y en el control	78
Figura 32: Relación Mg/Ca en otolitos de <i>C. dimerus</i> en el tratamiento y en el control	80
Figura 33: Relación Mn/Ca en otolitos de <i>C. dimerus</i> en el tratamiento y en el control	81
Figura 34: Relación Sr/Ca en otolitos de <i>C. dimerus</i> en el tratamiento y en el control	82
Figura 35: Relación Zn/Ca en otolitos de <i>C. dimerus</i> en el tratamiento y en el control	83
Figura 36: Tiempo de exposición (en días) vs el índice AO/LO (ancho y largo del otolito, en mm) de los dos acuarios de experimentación	85
Figura 37: Relación Mg/Ca en otolitos de <i>A. facetus</i> en ambos tratamientos	86
Figura 38: Relación Mn/Ca en otolitos de <i>A. facetus</i> en ambos tratamientos	87
Figura 39: Relación Sr/Ca en otolitos de <i>A. facetus</i> en ambos tratamientos	88
Figura 40: Relación Zn/Ca en otolitos de <i>A. facetus</i> en ambos tratamientos	89
Figura 41: Diagrama de dispersión entre el índice LO/AO vs el índice Lst/AC entre especies de la familia Cichlidae	92
Figura 42: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre el Tiempo de arrastre y la Longitud estándar en velocidad mínima (6,8 cm.s ⁻¹)	95

- Figura 43:** Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre el Tiempo de arrastre (TA: en minutos) y la Longitud estándar (Lst: en milímetros) en velocidad máxima ($15,8 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$) 97
- Figura 44:** Esquema de la relación entre la morfología del otolito, la forma de la aleta caudal y la capacidad de natación para peces autóctonos continentales 115

Influencia de factores ambientales sobre el otolito de *Australoheros facetus* (Pisces, Cichlidae) y algunas comparaciones con otras especies Neotropicales.

RESUMEN

La familia Cichlidae es una de las más numerosas del Orden Perciformes, está constituida por alrededor de 1300 especies. En Sudamérica existen unas 400 especies que representan cerca del diez por ciento de la ictiofauna de agua dulce. En la Argentina existen unas 45 especies de cíclidos formalmente descritas.

La distribución de los peces está determinada por factores históricos y por los mecanismos adaptativos en las tres dimensiones elementales del nicho ecológico (la espacial, la trófica y la reproductiva), y está fuertemente influenciada por factores ambientales. Estos factores influyen de diferente manera y con diferente intensidad sobre los organismos, los cuales presentan distintos rangos de eficiencia biológica, en respuesta a factores como temperatura, salinidad, pH, velocidad de la corriente y sustrato, entre otros. Dicha eficiencia depende de las condiciones ecofisiológicas del pez. Algunos valores de los parámetros ambientales son letales o limitantes y determinan el desarrollo de estrategias adaptativas, las cuales pueden reflejarse tanto en estructuras anatómicas, como en la fisiología y el comportamiento de los peces.

En esta tesis se planteó como objetivo determinar la influencia de distintos factores ambientales (salinidad, dureza) sobre la morfología, morfometría y química del otolito, utilizando como referencia a *Australoheros facetus* y comparándolo con otras especies dulceacuícolas Neotropicales.

En este trabajo se describe por primera vez el patrón morfológico de las

sagittae de diferentes especies Neotropicales de la familia Cichlidae: *Cichlasoma dimerus*, *Gymnogeophagus meridionalis*, *Crenicichla lepidotta* y *C. Scotti*. En el caso de *A. facetus* se describió el patrón morfológico y se determinaron las modificaciones morfológicas y morfométricas de las mismas durante las etapas del desarrollo, estableciéndose y caracterizándose dos grupos de *sagittae*, que corresponderían a juveniles y adultos. Estas variaciones morfológicas y morfométricas observadas durante el desarrollo de *A. facetus* podrían estar asociadas principalmente a factores biológicos (madurez sexual, crecimiento) y ecológicos (tipo biológico, uso de la columna de agua).

Se elaboró una clave dicotómica de las especies estudiadas utilizando caracteres de la topografía de la cara interna y externa de la *sagitta*.

En cuanto a la relación entre los peces y el ambiente, se cuantificó la resistencia y/o tolerancia a niveles máximos de salinidad, en condiciones controladas de laboratorio y se determinó el nivel letal incipiente mediante las técnicas de tiempo de resistencia y de dosificación de mortalidad en dos especies de cíclidos Neotropicales (*A. facetus* y *Cichlasoma biocellatum*). Los resultados hallados indican que los cíclidos presentan una alta tolerancia a la salinidad en condiciones experimentales, la cual supera ampliamente los límites de variación ambiental, y esto puede ser considerado como un relicto fisiológico de sus ancestros marinos. Otro de los aspectos novedosos estudiados en el contexto de la relación pez-ambiente, fue la composición química del otolito, la cual ha sido analizada por primera vez en peces dulceacuícolas sudamericanos en este trabajo. Se determinó experimentalmente que factores ambientales como altos niveles de salinidad y dureza influyen en la composición química de los otolitos *sagitta* de *A. facetus*.

Además se propone a las *sagittae* como bioindicadores del ambiente que frecuenta el pez, teniendo en cuenta diferentes aspectos de la biología y la ecología de los peces y la influencia de las condiciones ambientales.

En este trabajo se estableció la existencia de una estrecha relación entre la morfología del otolito, la silueta del pez, forma de la aleta caudal y la capacidad de natación en las especies estudiadas. Los peces de cuerpo comprimido y aleta caudal ahorquillada, son buenos nadadores y presentan una *sagitta* alargada pequeña con un eje antero-posterior mayor. Los peces de cuerpo elongado y caudal redondeada tendiendo a sublancoleada, son buenos nadadores y aceleradores y poseen el otolito *sagitta* alargado y los peces de cuerpo orbicular y caudal redondeada son especialistas en maniobra y tienen el otolito *sagitta* subcircular a circular y bien desarrollado.

Por otro lado se concluye que un estudio detallado de la morfología, morfometría y de la química del otolito permitiría reconstruir gran parte de la historia de vida del pez y su asociación con el ambiente.

Palabras claves: *Australoheros facetus*, Cichlidae, *sagitta*, ontogenia, química del otolito, factores ambientales, especies Neotropicales.

Influence of environmental factors on the otolith of *Australoheros facetus* (Pisces, Cichlidae) and some comparisons with other Neotropical species.

ABSTRACT

The family Cichlidae is one of the largest in the Order Perciformes, comprising over 1300 species. In South America there are about 400 species, which represent about ten percent of its freshwater fish fauna. In Argentina there are about 45 cichlid species formally described.

Fish distribution is determined by historical factors and by adaptive mechanisms in all three dimensions of the elementary ecological niche (spatial, trophic and reproductive). Also it is strongly influenced by environmental factors. These factors affect in different ways and with different intensity the organisms, which have different ranges of biological efficiency in response to factors such as temperature, salinity, pH, current velocity and substrate, among others. Such efficiency depends on the ecophysiological conditions of the fish. Some environmental parameter values are lethal or limiting and they determine the development of adaptive strategies, which may be reflected both in anatomical structures and in the physiology and behavior of fishes.

The aim of this thesis work was to address the influence of environmental factors (salinity, hardness) on the morphology, morphometry and chemistry of the otolith, using *Australoheros facetus* as a reference of a Neotropical freshwater fish and comparing it with other Neotropical freshwater species.

The present work describes for first time the morphological pattern of the *sagittae* in different Neotropical species of the family Cichlidae: *Cichlasoma dimerus*,

Gymnogeophagus meridionalis, *Crenicichla lepidotta* and *C. Scotti*. In the specific case of the *sagitta* of *A. facetus*, the morphological pattern was described and the morphological and morphometric modifications of the *sagittae* during developmental stages were determined, establishing and charactering two groups of *sagittae* corresponding to juveniles and adults. These morphological and morphometric changes observed during the development of *A. facetus* may be primarily associated with biological factors such as sexual maturity, growth and with ecological factors such as biological type and use of the water column.

A Dichotomous key was developed for the studied species for specific identification of otoliths using characters from of the inner and outer face topography of the *sagitta*.

Regarding the relationship between the fish and the environment, resistance and/or tolerance to maximum levels of salinity were measured in controlled laboratory conditions and incipient lethal level was determined by means of the techniques of resistance time and mortality dosage in two species of Neotropical cichlids (*A. facetus* and *Cichlasoma biocellatum*). The results suggest that cichlids have high tolerance to salinity under experimental conditions, which exceeds the limits of environmental variation, and this might be considered a physiological relic from marine ancestors. Another novel aspect studied in the context of fish-environment relationship, was the chemical composition of the otolith, which is discussed for first time for South American freshwater fish in the present work. It was experimentally determined that environmental factors, such as high salinity and hardness, influence the chemical composition of *sagitta* otoliths of *A. facetus*.

The present work also proposes *sagittae* as bioindicators of the environment where the fish occurs, taking into account different aspects of the biology and ecology

of fishes and the influence of environmental conditions.

This work also establishes the existence of a close relationship between the otolith morphology, the shape of the fish, the morphology of its caudal fin and the swimming capacity for the studied species. Fishes with compressed body and forked tail are good swimmers and present a small elongated *sagitta* with a major anterior-posterior axis. Fishes with elongated body and rounded caudal fin tending to sub-lanceolate are good swimmers and good accelerators exhibit an elongated otolith. Finally, fishes with orbicular body and rounded caudal fin are specialists in maneuver and present a circular to sub-circular well developed otolith.

On the other hand, it is concluded that a detailed study of the morphology, morphometry and chemistry of the otolith, would allow rebuilding much of the fish's life history and its association with the environment.

Keywords: *Australoheros facetus*, Cichlidae, *sagitta*, ontogeny, otolith's chemistry, environmental factors, Neotropical species.

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas a las que tengo que agradecer, que sin ellas nada de esto hubiese sido posible, las que me apoyaron desde lo profesional y desde lo afectivo para que yo pueda lograr esta Tesis, a todas ellas ¡¡¡¡MUCHAS GRACIAS!!!

A mis directores que sin ellos esta tesis no hubiese sido posible.

Al Dr. Sergio Gómez, a quién le debo lo esencial de mi formación científica, por haberme guiado y acompañado en mis primeros pasos por el laboratorio, cuando apenas era una pequeña estudiante. Por acompañarme en cada etapa del crecimiento, por su apoyo, su generosidad, entusiasmo y por sobre todas las cosas su paciencia. A pesar de los momentos difíciles que tuvo que atravesar, siempre estuvo cuando lo necesité. Gracias por compartir conmigo, no sólo horas de trabajo y palabras de aliento, sino por sus cálidas demostraciones de amistad.

A la Dra. Alejandra Volpedo por haber confiado en mi, por haber estado desde un principio formándome y trabajado a la par mía como Directora de Tesis, por su afecto, su estímulo constante y por sobre todas las cosas por su paciencia en las correcciones de mis manuscritos. Gracias Ale por todo lo brindado y por estar siempre en los momentos que te necesité.

A la Dra. Laura López Greco por aconsejarme y atender, siempre, mis consultas con mucha calidez.

Al Dr. Roberto Menni por darme la gran oportunidad de trabajar con él, por enseñarme, por sus valiosos comentarios, por responder a mis consultas siempre que lo necesité, por la compra de material el cual me fue de gran ayuda para esta tesis y por su calidez humana preguntando como estoy tanto en lo profesional como en lo familiar.

Al Consejo Nacional de Investigación Ciencia y Técnica (CONICET) por otorgarme las becas para poder realizar esta Tesis.

Al Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia” por brindarme el lugar de trabajo para poder llevar a cabo mi trabajo. A todo su personal desde los directivos, los guardias (Gracias Anita!!) hasta la gente de mantenimiento que mas de una vez me sacaron de un apuro.

Al Departamento de Biodiversidad y Biología Experimental (FCEN-UBA) por brindarme un lugar de trabajo.

A la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (PICT 1372); UBACYT X504 y CC05 (Universidad de Buenos Aires) que otorgaron apoyo económico a través de subsidios para el grupo de investigación del cual formo parte.

Al Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA) por la determinación de las muestras y otolitos.

Al Dr. Penchazadeh por permitirme el uso de su laboratorio para realizar las fotos de los otolitos.

A la Dra. Laura de Cabo por su gran ayuda con los análisis químicos de las muestras.

A la Dra. Cristina Bentos por su incondicional ayuda durante estos años, cuidar mis experimentos en los momentos que yo no podía, por alimentar a mis pececitos y por sobre todas las cosas su amistad.

A Guillermo López por sus consejos y predisposición.

A Dra. Andrea Tombari por su invaluable ayuda, con la estadística, por ayudarme a sacar las fotos y en varias oportunidades me ha sacado de un apuro.

Al Profesor Ricardo Ferriz por sus valiosos comentarios y tan buena predisposición cada vez que necesite de su ayuda.

A mi gran amiga del laboratorio "Luli", que ha compartido conmigo estos años, por escucharme tanto en lo personal como profesional, por bancarme en mis días de mal humor y euforia absoluta, por los viajes de campaña compartidos, por sus consejos, por reírse conmigo, gracias por todo tu apoyo y gracias por tu amistad.

A mis amigas del museo, Laura Cruz por su amistad, su apoyo y fuerza constante y todos los momentos que compartimos en las presentaciones a beca. A Victoria Sánchez por aconsejarme y por ayudarme siempre que lo necesité.

A quienes han sido indispensables desde el apoyo afectivo, muchas veces sin entender del todo de que se trataba este proyecto, supieron acompañarme y valorar la importancia que es para mi realizarlo, para los que están y los que se han ido.

A mi papá que seguramente desde algún lado me está mirando y alegrándose por mi.

A Elsa que más de una vez me sacó de un apuro con respecto a la escritura, por hacer que mis inviernos en el laboratorio no seán tan fríos.

A mis amigas de la Facu Caro y Vane por las largas noches de estudio compartidas y de tanta alegría y por transitar este camino de la “biología” juntas.

A mis amigas del colegio, por estar siempre, dándome fuerzas y palabras de aliento.

A mi amiga Laurita que a pesar de la distancia siempre estás, por esas largas charlas y mails tan de corazón que me hacían sacar fuerzas y darle para adelante.

A mi amiga de la vida Flor por estar conmigo en las buenas y en las malas, porque siempre está dispuesta a escucharme y darme una mano.

A mi mamá por su gran apoyo incondicional, por darme la vida y por enseñarme a luchar por lo que uno quiere, por sus consejos, por su paciencia a través de los años, por su amor, y por cuidar y darle tanto amor a mis hijas para que yo pueda realizar esta tesis. ¡¡¡MIL GRACIAS!!!. A Fefe por estar siempre dispuesto a ayudar.

A mis hermanas, Vane y Rochi por escucharme y bancarme todos estos años, por creer en mi, por sus palabras de aliento y por ayudarme con mis niñas. A mis cuñados.

A mis suegros GRACIAS Alicia y Tristán por la gran ayuda, por estar siempre, por hacerme parte de su familia como una más, por cuidar de mis hijas y darles tanto amor.

A mis cuñadas que también me hicieron sentir parte de su familia y que más de una vez me ayudaron con las niñas, por darme fuerzas y palabras para seguir adelante para que no afloje.

A mis sobrinas y sobrinos por su afecto y su existencia.

Y por último, el agradecimiento más importante, a mi esposo “Oli” por estar siempre e incentivarme permanentemente, por su paciencia, por haberme contenido en los momentos no tan buenos de mi vida, por confiar en mi, y por sobre todas las cosas por el apoyo que me brinda a diario en todos mis emprendimientos, por su inmenso amor. En fin, por todo. Gracias a él, el camino para llegar hasta acá se hizo muchísimo más fácil.

A mis amores, lo más lindo que me dio la vida, mis hijas Juani, Delfi y Pili, por ser mi mayor inspiración y por el tiempo y atención que puede haberles quitado, por darme tanto amor y las fuerzas necesarias para seguir adelante cada día. ¡¡¡Las Amo!!!

A mis Hijas Juani, Delfi y Pili,
A mi compañero de la vida "Oli"
A mi mamá
y a todas las personas que hicieron
posible la realización de esta tesis

1- INTRODUCCION

Actualmente existen 54.711 especies de vertebrados vivientes de los cuales aproximadamente la mitad son peces 28.000 especies (Nelson, 2006). Este taxón está ampliamente diversificado en cuanto a “tipos ecológicos” y ocupa una gran variedad de ambientes acuáticos y de nichos ecológicos. El concepto de nicho ecológico propuesto por Hutchinson (1959) tiene tres dimensiones elementales: la espacial, la trófica y la reproductiva. En este sentido, uno de los grupos de peces que mayor variedad y número de nichos ecológicos ha ocupado es el de los cíclidos.

La familia Cichlidae es una de las más numerosas del Orden Perciformes, está constituida por alrededor de 1350 especies distribuidas en África, India, Medio Oriente, Madagascar y América (Nelson, 2006). En Sudamérica existen unas 400 especies que representan cerca del diez por ciento de la ictiofauna de agua dulce, donde el extremo sur de la Cuenca del Plata es el límite septentrional para muchos peces Neotropicales, incluyendo a la mayoría de los cíclidos. En Argentina existen unas 45 especies de cíclidos formalmente descritas (López *et al.* 2003, Liotta, 2006; Koerber, 2011) y continuamente se describen nuevas especies (Gómez *et al.*, 2009).

Australoheros facetus (Jenyns, 1842), conocido localmente como “chanchita”, se distribuye en el sur de Brasil, norte y centro de Argentina y Uruguay, y es el cíclido más austral del mundo alcanzando la latitud 38° 44'S. Fue introducido en Chile, el sur de la península Ibérica y varios países del sudeste asiático (Figura 1). Es un pez euriótico y abundante en las lagunas pampásicas (Gómez, 1996). Esta especie y la mayoría de los representantes de la familia, son muy importantes en acuicultura, como peces

ornamentales y también son utilizados en bioensayos debido a su fácil manejo y adaptación a condiciones de cautiverio. *A. facetus* es un componente importante de la dieta de numerosos ictiófagos, tanto peces (Grosman *et al.*, 2001) como *Rhamdia sp.*, *Oligosarcus sp.* y *Symbranchus sp.* (Ferriz com. pers.), como aves, por ejemplo el biguá, *Phalacrocarax olivaceus* y la cigüeña, *Ciconia maguari* (Gómez, com. pers.).

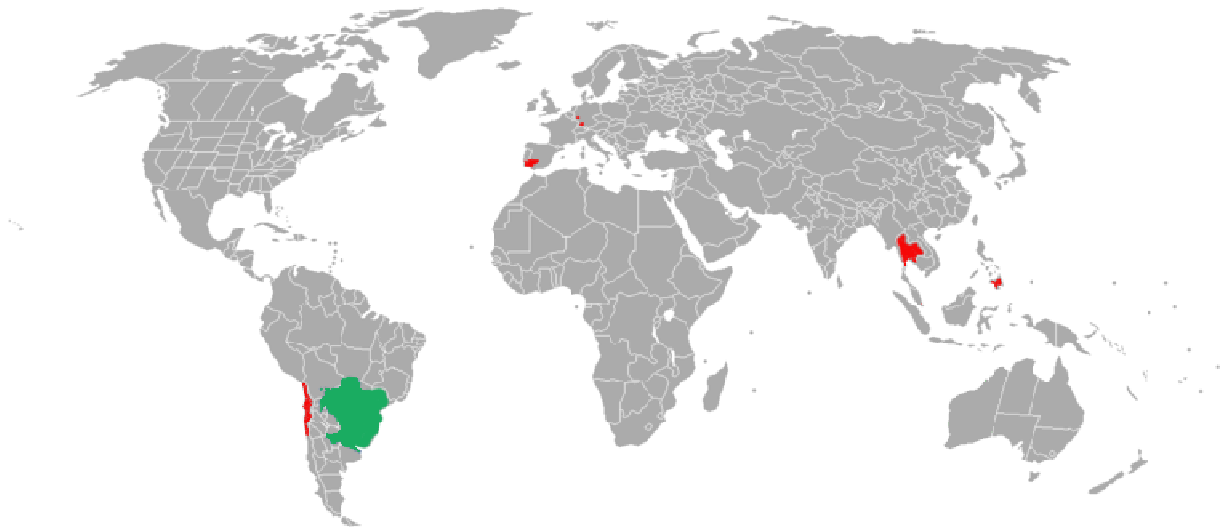


Figura 1: Mapa de la distribución actual de *Australoheros facetus* (en verde se indica la distribución original; en rojo las áreas donde se ha introducido) (Osado, 2009).

La distribución de los peces está determinada por factores históricos y por los mecanismos adaptativos en las tres dimensiones elementales del nicho ecológico y está influenciada por factores ambientales.

Los factores ambientales influyen de diferente manera y con diferente intensidad sobre los organismos, los cuales presentan distintos rangos de eficiencia biológica en respuesta a factores como temperatura, salinidad, pH, velocidad de la corriente y

sustrato, entre otros (Jobling, 1995; Wootton, 1998). Dicha eficiencia depende de las condiciones ecofisiológicas del pez. Algunos valores de los parámetros ambientales son letales o limitantes y determinaron el desarrollo de estrategias adaptativas, las cuales pueden reflejarse tanto en estructuras anatómicas, como en su fisiología y en su comportamiento.

Por ejemplo, peces dulceacuícolas que resisten aguas con bajo nivel de pH presentan adaptaciones fisiológicas como modificaciones en el aparato branquial que les permiten ocupar ambientes particulares (Dunson *et al.*, 1977). Algo similar ocurre con respecto a la salinidad, las especies de peces dulceacuícolas pueden ser eurihalinos o estenohalinos (Ringuelet, 1962) y muchas presentan adaptaciones en el aparato branquial que les confieren resistencia a las altas salinidades (Siccardi, 1965).

El estudio de la influencia de los factores ambientales sobre la anatomía, ecofisiología y comportamiento de los peces fue iniciado en la primera mitad del siglo XX en Cyprinidos y Salmónidos (Doudoroff, 1938; Brett, 1946; Fry, 1947, 1971; Hart, 1947; Hoar, 1956; Wimberg, 1960).

En Argentina son escasos los estudios que analizan estos aspectos, entre ellos pueden destacarse los realizados en relación a la resistencia a la salinidad (Gómez, 1996; Gómez & González Naya, 2007), temperatura (Ortubay *et al.*, 1997; Giusto *et al.*, 1998), pH (Gómez, 1998), velocidad de natación (Gómez & Ferriz, 2001; Gómez *et al.*, 2003; González Naya *et al.*, 2005). A partir de la década del 80', se han iniciado trabajos que utilizan los otolitos como herramientas para determinar la influencia ambiental sobre los peces (Torres *et al.*, 2000; Lombarte *et al.*, 2003; Volpedo & Echeverría, 2003; Lombarte & Cruz, 2007; Volpedo *et al.*, 2008; Volpedo & Fuchs, 2010).

Los otolitos se encuentran en el oído interno de los peces, 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 agregado de calcio es un proceso extracelular que se encuentra regulado hormonalmente e influenciado por variaciones de la temperatura, el pH y la profundidad entre otros (Morales-Nin, 1998; Lombarte & Cruz, 2007; Volpedo *et al.*, 2008).

El aparato vestibular o laberinto membranoso de los peces (Figura 2) es un órgano de equilibrio y se origina filogenéticamente del sistema lateral (Romer & Parsons, 1986). Está suspendido en la cápsula ótica por tejido conectivo. La cápsula ótica posee endolinfa y externamente está rodeada por perilinfa. Ambos fluidos tienen una consistencia similar a la linfa. El aparato vestibular contiene los canales semicirculares que poseen tres ampollas o cámaras que se denominan *sáculo*, *lagena* y *utrículo*. En cada ampolla hay un otolito (*sagitta*, *asteriscus*, *lapillus*). Los tres canales semicirculares están orientados en tres planos espaciales (Romer & Parsons, 1986). En el laberinto auditivo se encuentran los receptores del equilibrio (Grassé, 1958; Torno, 1976; Lowenstein, 1978). En las cámaras hay células receptoras en pilares, que se agrupan en áreas llamadas máculas. Los movimientos de la cabeza hacen variar la posición de los otolitos, que presionan a las máculas, informándole al pez sobre la posición en la que se encuentra. Los otolitos son sensibles a las vibraciones sonoras y a la gravedad (Von Holst, 1950; Grassé, 1958; Popper & Lu, 2000; Lychakov & Rebane, 2005).

Los tres pares de otolitos están relacionados con las funciones del equilibrio y la captación auditiva (Popper & Fay, 1993). El otolito sacular, *sagitta*, es el de mayor

tamaño en la mayoría de los grupos, con excepción de los Ostariofisos. Una revisión sobre la morfología del oído en peces realizada por Popper & Coombs (1982) indica que la mayoría de las variaciones interespecíficas están relacionadas con la longitud de dos de las cámaras del oído, el sáculo y la lagena, y podrían estar asociadas a diferencias en la captación de sonido y a factores ambientales.

Las variaciones en el tamaño y la forma de los otolitos, en particular la *sagitta*, son ampliamente conocidas. La forma y la estructura de los otolitos son características para cada especie (Koken, 1884; Chaine & Duvergier, 1934; Schmidt, 1969; Torno, 1976; Hecht, 1987; Volpedo & Echeverría, 2000), por ello es que se los utiliza para identificar especies en estudios de ecología trófica (Goodall & Cameron, 1980; Northridge, 1985; Praderi, 1985; Brownell, 1989; Bordino *et al.*, 1999; Koen Alonso, 1999; Xavier *et al.*, 2004). Esta concordancia específica entre la morfología de los otolitos y la especie a la que pertenecen permite determinar con exactitud los componentes de las dietas de animales predadores de peces. Generalmente para este tipo de estudios se utiliza la *sagitta* porque posee un mayor tamaño que el resto de los otolitos (Pierce *et al.*, 1991; Volpedo & Fuchs, 2010), lo que permite una mejor observación de su morfología y además no sufren el proceso de reabsorción del calcio (Casselman, 1990; Campana, 1999).

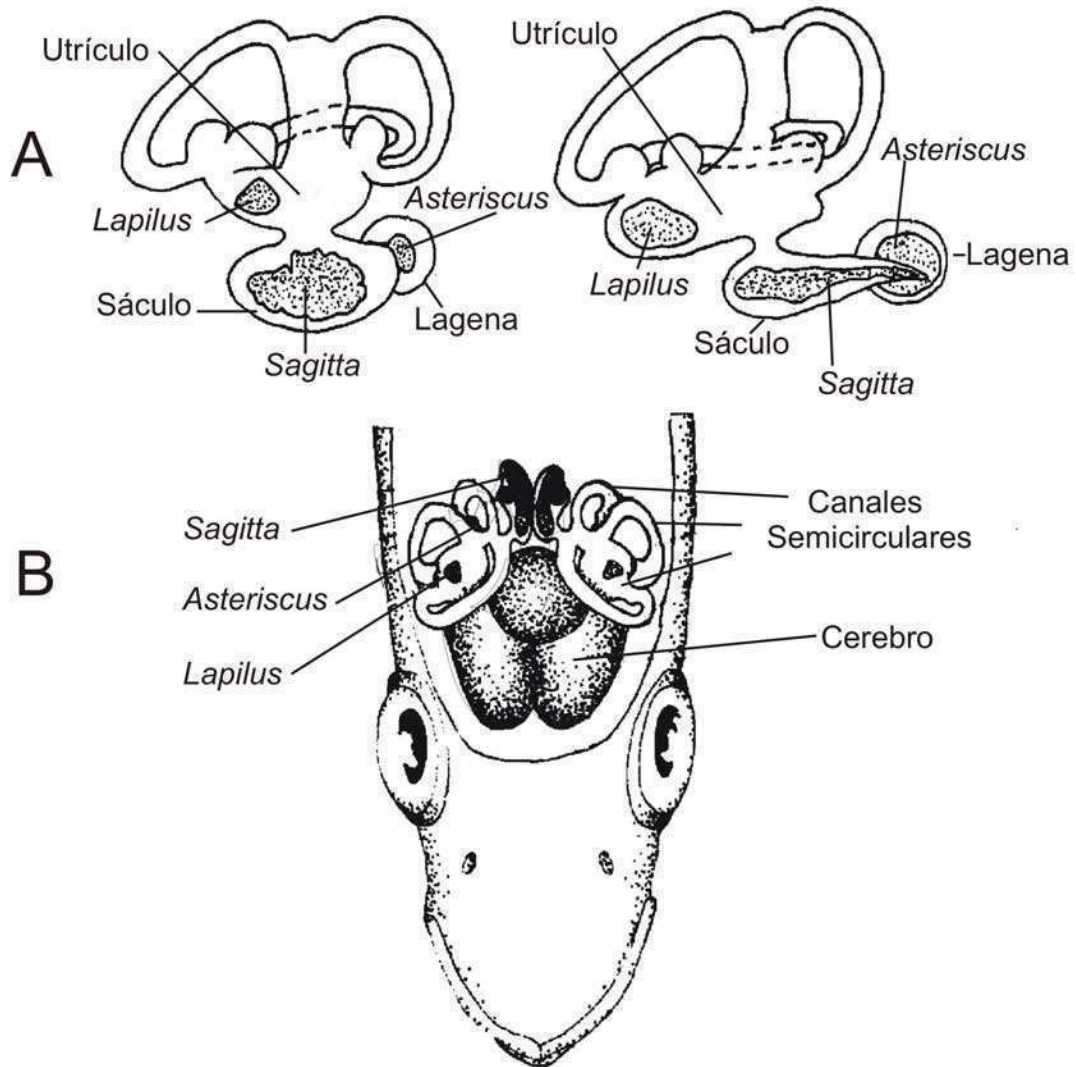


Figura 2: Ubicación de los otolitos en el neurocráneo de los peces. A: posición de los canales semicirculares. B: Vista dorsal del oído interno.

Los otolitos son utilizados en estudios diversos: paleoecología (Nolf, 1995; Reichenbacher *et al.*, 2008), paleobiogeografía (Elder *et al.*, 1996), filogenia (Nolf, 1985; Sasaki, 1989; Assis, 2003; 2005), edad y crecimiento (Volpedo & Thompson, 1998; Francis & Campana, 2004), determinación de stocks pesqueros (Campana, 2005; Volpedo & Fernández Cirelli, 2006; Volpedo *et al.*, 2007), monitoreo ambiental (Burke *et al.*, 1993), migraciones verticales y horizontales de peces (Campana *et al.*, 2007; Schuchert *et al.*, 2010), ecología trófica (Nonogaki *et al.*, 2007) y ecomorfología (Torres *et al.*, 2000; Lombarte *et al.*, 2003; Volpedo & Echeverría, 2003; Volpedo *et al.*, 2008, Volpedo & Fuchs, 2010).

El crecimiento del otolito es el resultado de la interacción entre la tasa de crecimiento del pez y los efectos de las condiciones ambientales (Campana & Neilson, 1985; Gutiérrez & Morales-Nin, 1986; Radtke & Shafer, 1992) estas estructuras pueden considerarse indicadoras de la influencia ambiental en el crecimiento de los peces (Morales-Nin, 1987).

Los trabajos que analizan la morfología, morfometría y composición química de los otolitos y su relación con diferentes factores ambientales (temperatura, profundidad, salinidad, luz, química del agua, tipo de substrato, presencia de xenobióticos) están referidos principalmente a especies marinas de América del Norte, Europa y Australia (Begg *et al.*, 2001; De Vries *et al.*, 2002; Cardinale *et al.*, 2004). En América del Sur los trabajos en especies marinas son escasos (Volpedo, 2001; Volpedo & Echeverría, 2003; Volpedo & Fernández Cirelli, 2006; Volpedo *et al.*, 2007) y más restringidos aún en especies continentales.

Las principales contribuciones sobre la morfología de los otolitos de peces argentinos de agua dulce son el catálogo de peces de la laguna Chascomús (Mollo,

1981), el catálogo de especies de Siluriformes (Martínez & Monasterio de Gonzo, 1991), los trabajos realizados por Tombari *et al.* (2005) y Tombari (2008) en pejerreyes (*Odontesthes sp.*), por Fuchs (2008) y Volpedo & Fuchs (2010) en siluriformes paranoplatenses y por González Naya *et al.* (2008) que describen por primera vez el otolito saculolagenar de *Lepidosiren paradoxa* y determinan su composición química.

Si bien la morfología y morfometría de las *sagittae* son caracteres específicos, distintos autores (Volpedo & Echeverría, 1999; Volpedo, 2001; Tombari, 2008) han encontrado que las *sagittae* de una misma especie pueden presentar diferencias morfológicas y/o morfométricas, tanto en su desarrollo como entre individuos de diferentes regiones geográficas, sin pérdida de su identidad.

Las variaciones morfológicas y morfométricas se presentan en el tamaño, la forma y topografía de la cara interna del otolito. Estas variaciones pueden deberse a diferentes factores exógenos y endógenos (Paxton, 2000; Volpedo & Echeverría, 2003; Lombarte & Cruz, 2007; Volpedo *et al.*, 2008). Además, considerando que la morfología de los otolitos puede variar con la ontogenia, como ocurre en el caso de otras especies euritópicas como *Odontesthes bonariensis* (Valenciennes, 1835) o *Micropogonias furnieri* (Demarest, 1823) (Volpedo & Echeverría, 1999; Brown & Fuentes, 2001, Tombari *et al.*, 2005), es de destacar la relevancia que tiene la correcta identificación de presas en contenidos estomacales y heces de ictiófagos, para la elaboración de las redes tróficas en diferentes ecosistemas acuáticos continentales.

Los otolitos, por estar involucrados en el equilibrio y la captación auditiva (Popper & Lu, 2000; Popper *et al.*, 2005) deberían presentar, tanto en su forma como en su constitución, una estrecha asociación con las estructuras de natación,

principalmente la aleta caudal (Gómez *et al.*, 2003) y las formas básicas de natación pudiendo ser: especialistas en maniobra, aceleración y crucero (Webb, 1984) que le permiten a los peces desplazarse y adaptarse a los distintos ambientes.

En este contexto se plantea la siguiente hipótesis:

La morfología, morfometría y composición química del otolito son variables a nivel interespecífico e intraespecífico bajo determinadas condiciones ambientales. Estas variaciones están asociadas a la historia de vida del pez, dependiendo de factores como, alimentación, sexo, densidad poblacional, hábitat, etc. Es por ello que los distintos factores ambientales en niveles subletales modificarían las características de los otolitos.

El **objetivo general** de esta tesis es determinar la influencia de distintos factores ambientales (salinidad, dureza) sobre la morfología, morfometría y composición química del otolito, utilizando a *Australoheros facetus* como especie de referencia de la ictiofauna Neotropical dulceacuícola y comparándolo con otras especies dulceacuícolas Neotropicales.

Los **objetivos específicos** propuestos son:

- Analizar la morfología y morfometría de los otolitos *sagittae* de *Australoheros facetus* determinándose el patrón morfológico de la especie en estudio.

- Determinar las modificaciones morfológicas y morfométricas de las *sagittae* durante las etapas del desarrollo en *A. facetus*.
- Establecer los patrones morfológicos y morfométricos de las *sagittae* de otras especies Neotropicales de la familia Cichlidae: *Cichlasoma dimerus*, *Gymnogeophagus meridionalis*, *Crenicichla lepidotta* y *C.scotti*.
- Cuantificar la resistencia y/o tolerancia a niveles máximos de salinidad, en condiciones controladas de laboratorio y determinar el nivel letal incipiente mediante las técnicas de tiempo de resistencia y de dosificación de mortalidad en dos especies de ciclidos Neotropicales, *A. facetus* y *Cichlasoma biocellatum*.
- Establecer la presencia de variaciones morfológicas, morfométricas y de composición química de los otolitos de *A. facetus* ante factores ambientales extremos (altos niveles de salinidad y dureza).
- Establecer relaciones entre la morfología del otolito, la silueta del pez, la morfología de la aleta caudal y la capacidad de natación en especies representativas de distintos morfotipos y hábitats.

2- MATERIALES Y METODOS

2.1- Material Biológico

Los ejemplares de cíclidos, especialmente *Australoheros facetus* (Jenyns 1842) fueron capturados en la laguna Adela (35° 41 'S; 57° 59 ' W). Este cuerpo de agua forma parte de las lagunas Encadenadas del Este, provincia de Buenos Aires (República Argentina). Dichos ejemplares fueron mantenidos y criados en el Laboratorio de Biología Experimental (MACN-CONICET) para la obtención de diferentes tallas, bajo condiciones controladas: temperatura entre 22 y 25°C; conductividad = 300 μ S/cm, pH= 7 \pm 0,05; fotoperíodo de 12:12 h; alimentación diaria alternada entre alimento balanceado para peces (Shullet, Tetra, marcas registradas) y lombrices y con un recambio de agua semanal del 50%.

Los especímenes de cíclidos estudiados fueron identificados según la clave propuestas por Casciotta *et al.* (1995). Con el objetivo de comparar los resultados se utilizaron otras especies dulceacuícolas parano-platenses (Tabla 1) provenientes de las cercanías de Baradero (33°49 ' S; 59°39 ' W). Los peces fueron identificados según las claves de Ringuelet *et al.* (1967).

De los especímenes estudiados se registró la longitud total (LT) y la longitud estándar (Lst) en mm, la altura del cuerpo (AC), la longitud de la cabeza (LC), el diámetro del ojo (DO) en mm; con error menor que 1 mm y el peso (p) en gramos (Figura 3).

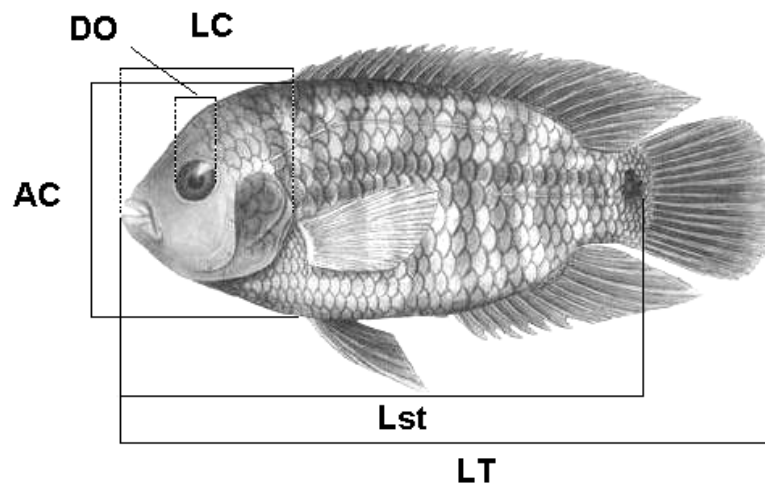


Figura 3: Caracteres merísticos registrados en los ejemplares. AC: altura del cuerpo; DO: diámetro ojo; LC: largo cabeza; Lst: longitud estándar; LT: Longitud total. (Imagen Menni, 2004)

Orden	Familia	Especie	Autor	Nombre común
Characiformes	Characidae	<i>Bryconamericus iheringii</i>	(Boulenger, 1887)	mojarra
		<i>Oligosarcus jenynsii</i>	(Günther, 1864)	dientudo
		<i>Pigocentrus nattereri</i>	(Kner, 1858)	piraña
Perciformes	Cichlidae	<i>Cichlasoma dimerus</i>	(Heckel, 1840)	chanchita
		<i>Australoheros facetus</i>	(Jenyns, 1842)	chanchita
		<i>Crenicichla lepidotta</i>	Heckel, 1840	Cabeza amarga, juanita
		<i>Crenicichla scottii</i>	(Eigenmann, 1907)	Cabeza amarga, juanita
		<i>Gymnogeophagus meridionalis</i>	Reis y Malabarba, 1988	San pedro, siete colores
		<i>Cichlasoma biocellatum</i>	Regan, 1903	Jack Dempsey
	Percichthyidae	<i>Percichthys trucha</i>	(Valenciennes, 1833)	Perca
Atheriniformes	Atherinopsidae	<i>Odontesthes bonariensis</i>	(Valenciennes, 1835)	pejerrey

Tabla 1: Listado de especies estudiadas. Taxonomía propuesta por Casciotta *et al.* (2005) y Liotta (2006).

2.2- Determinación del patrón morfológico y la morfometría de los otolitos de las especies estudiadas.

2.2.1- Morfología y morfometría.

Se extrajeron los otolitos *sagittae* de la cápsula ótica para su observación y medición, dichas estructuras fueron ilustradas y fotografiadas en su cara interna, externa y vista lateral con una cámara digital acoplada a un microscopio estereoscópico con error menor que 0,1 mm.. Las *sagittae* estudiadas se hallan depositadas en el Laboratorio de Biología Experimental, División Ictiología (MACN-CONICET).

La nomenclatura utilizada en la descripción de las *sagittae* fue la propuesta por Volpedo & Echeverría (2000). Para la descripción se consideraron los siguientes caracteres morfológicos: forma general de la *sagitta*, la forma de los bordes, presencia y características del rostro y de la cisura, la topografía de la cara interna (presencia y características del *ostium* y de la *cauda*, tipo de terminación de la *cauda*, presencia del *pseudocolliculum*, presencia de la depresión areal dorsal) (Figura 4).

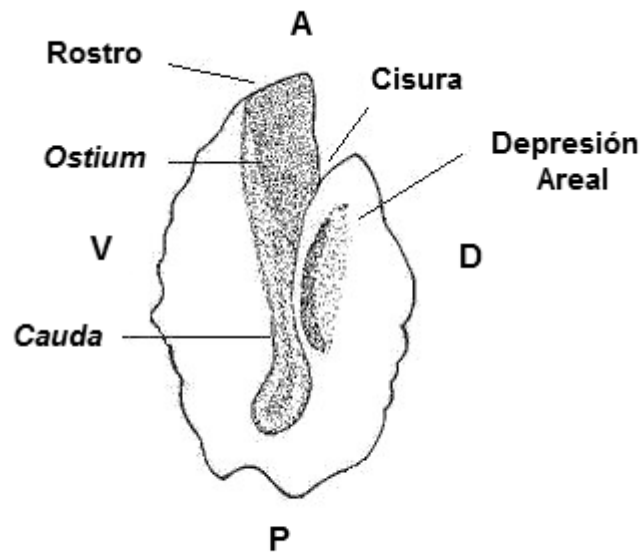


Figura 4: Características morfológicas de la cara interna del otolito *sagitta* derecho de *A. facetus*. A: Anterior, P: posterior, D: dorsal, V: ventral.

Los caracteres morfométricos registrados en las *sagittae* (Figura 5) fueron los siguientes: longitud máxima (LO), ancho máximo (AO), perímetro del otolito (PO) en mm, con microscopio estereoscópico con error menor que 0,1 mm., superficie del otolito (SO), superficie del *sulcus* (SS) y superficie del *ostium* (SOS), expresados en mm². Para el cálculo de las superficies se utilizó un programa de análisis de imágenes IMAGE PRO PLUS 4.5.0.29 (Media Cybernetics, Inc.).

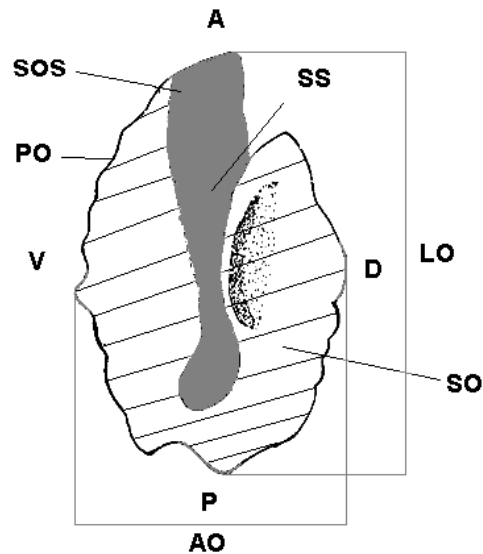


Figura 5: Caracteres morfométricos de la cara interna del otolito *sagitta* derecha de *A. facetus*. AO: ancho máximo, LO: longitud máxima, PO: perímetro del otolito, SO: superficie del otolito, SOS: superficie del *ostium*, SS: superficie del *sulcus*.

Para determinar si las *sagittae* derecha e izquierda son morfométricamente iguales se aplicó la prueba de *t de Student* (Sokal & Rohlf 1995; Zar 1999).

Se elaboraron claves de identificación de algunos Ciclidos de ambientes continentales de Argentina, sobre la base de la morfología de sus *sagittae*.

2.2.2- Determinación de las modificaciones morfológicas y morfométricas de las *sagittae* durante las etapas del desarrollo en *A. facetus*

Con la finalidad de evaluar el desarrollo de las *sagittae* en relación con la longitud estándar del pez (Lst), se establecieron dos grupos morfológicos según características de importancia taxonómica presentes en el otolito (Tabla 2). Dichas

características fueron: a) forma general del otolito; b) forma de los bordes; c) rostro y cisura; d) presencia de una muesca en el extremo posterior; e) topografía de la cara interna; f) tipo del *ostium*; g) terminación de la *cauda*; h) posición del *pseudocolliculum* i) posición relativa de la depresión areal dorsal (Figura 4).

	Grupo 1	Grupo 2
Lst (mm)	11,5-60	>60
n	55	17

Tabla 2: Rango de longitud estándar (Lst) y número de individuos (n) de los grupos morfológicos establecidos para el análisis del desarrollo de la *sagitta* de *A. facetus*.

Los valores de los caracteres morfométricos de las *sagittae* de estos grupos (longitud y ancho máximo, perímetro y superficie del otolito, del *sulcus* y del *ostium*) fueron comparados aplicando un análisis discriminante (AD). Previamente se evaluó la significación de las variables por medio de análisis univariado de la varianza con el programa estadístico Infostat (2007). Se analizaron mediante el coeficiente de correlación (r), y la ecuación de regresión de crecimiento alométrico las siguientes relaciones morfométricas: Lst vs. LO, Lst vs. AO, Lst vs. SO, Lst vs. SS, Lst vs. SOS, Lst vs. PO.

2.3- Determinación de las variaciones morfológicas, morfométricas y de composición química de los otolitos de *Australoheros facetus* ante factores ambientales extremos (altos niveles de salinidad y dureza).

2.3.1- Tolerancia de *A. facetus* a niveles máximos de salinidad y comparándolo con otra especie Neotropical *Cichlasoma biocellatum*

En los ensayos críticos de letalidad la concentración letal para el 50% de los individuos (CL50) depende del tiempo, tendiendo hacia un valor asintótico denominado *nivel letal incipiente* (NLI). El NLI normalmente se alcanza a las 96 hs de exposición (USEPA, 1975; Ward & Parrish, 1982; Sprague, 1990) y se estima como promedio de los valores obtenidos de la aplicación de tres *modelos*: *asintótico*, *potencial*, *transformación probit*, que se basaron en los datos de concentración y tiempo de resistencia del 50% (tR50), o en la técnica de “*dosificación de mortalidad*” (Daye & Garside, 1975; Gómez, 1998) utilizando siempre grupos de 5 individuos, expuestos a condiciones fijas de salinidad ($S = \text{g l}^{-1}$) a temperatura constante ($25 \pm 1^\circ\text{C}$).

Los experimentos de nivel letal permiten establecer los valores subletales donde no se registra mortalidad de manera de que se puedan diseñar experimentos crónicos de larga duración para determinar las modificaciones morfológicas, morfométricas y de la composición química del otolito.

Previamente, se realizaron 9 experiencias piloto con salinidad fija ($45,11 \text{ g l}^{-1}$) y utilizando grupos de distinto tamaño corporal, para determinar el efecto de esta variable en el tiempo de resistencia y la pérdida de peso por deshidratación.

Las experiencias definitivas para la determinación del nivel letal incipiente se llevaron a cabo con siete grupos de *C. biocellatum* y cinco de *A. facetus* con tamaño corporal similar exponiéndolos a distintas concentraciones de salinidad. Sobre los pares de datos tR50 - S se aplicó el modelo curvilíneo:

$$tR50 = \frac{C}{(S - NLI)}$$

Esta ecuación puede ser escrita en su forma lineal como:

$$\frac{1}{tR50} = \left(\frac{1}{C}\right) \times S - \left(\frac{NLI}{C}\right)$$

donde S es la variable independiente controlada por el experimentador y 1/tR50 la variable dependiente; NLI y C son constantes específicas; la recta de regresión lineal simple fue ajustada por el método de cuadrados mínimos.

2.3.2- Variaciones del otolito en relación a altos niveles de salinidad en condiciones de laboratorio.

Una vez obtenido el nivel letal incipiente para *A. facetus*, para determinar las variaciones del otolito en relación a altos niveles de salinidad se expusieron juveniles de la misma cohorte en agua con salinidad de 13 g l⁻¹. A medida que morían, a los ejemplares se les registraron distintos parámetros morfométricos: longitud total (LT), longitud estándar (Lst), altura del cuerpo (AC) y diámetro del ojo (DO) en mm; con error menor que 1 mm y peso (en gramos). Se extrajeron las *sagittae*, registrándose sus caracteres morfométricos (LO, AO, PO, SO, SOS y SS). Se determinó su

composición química mediante espectrometría atómica por plasma inductivo (ICP) empleando un equipo PERKIN ELMER Optima 2000 DV. Para lo cual, las muestras previamente fueron pesadas en una balanza analítica y digeridas en ácido nítrico 10%. Los elementos traza analizados fueron Cd, Cr, Cu, Mg, Mn, Pb, Sr y Zn. Para la calibración del equipo se utilizó materiales de referencia con certificado de trazabilidad. Los límites de detección son: Cd: $4 \mu\text{g l}^{-1}$, Cr: $5 \mu\text{g l}^{-1}$, Cu: $5 \mu\text{g l}^{-1}$, Mg: $10 \mu\text{g l}^{-1}$, Mn: $5 \mu\text{g l}^{-1}$, Pb: $12 \mu\text{g l}^{-1}$, Sr: $5 \mu\text{g l}^{-1}$ y Zn: $8 \mu\text{g l}^{-1}$. Además se determinó Ca por titulación con EDTA utilizando la técnica propuesta por Volpedo y Fernández Cirelli (2006). Se calculó la relación “elemento/Ca” en “micromoles/moles de Ca a fin de normalizar las determinaciones.

Para comparar la tasa de incorporación de los elementos en el otolito de las diferentes especies estudiadas y en los diferentes tratamientos, se calculó el coeficiente de distribución (D) de cada elemento de acuerdo a la ecuación de Campana (1999).

$$D = (\text{Elemento/Ca})_{\text{otolito}} / (\text{Elemento/Ca})_{\text{agua}}$$

Esta relación considera al otolito como un sistema de carbonato de calcio con una fase disuelta y una fase sólida y una relación proporcional esperada entre el elemento en el otolito y el elemento disuelto en el agua (Zimmerman, 2005).

El coeficiente de distribución estima la tasa de incorporación del elemento en el otolito y permite ser comparado con otros valores de la literatura.

Un coeficiente de distribución cuyo valor sea 0, puede indicar que un elemento disponible en el agua no es incorporado al otolito mientras que un valor de 1 indica que

el elemento es incorporado directamente en el otolito (Campana, 1999).

Una vez finalizada la experiencia, se estableció la presencia de variaciones morfológicas, morfométricas y de composición química de los otolitos en función del tiempo de exposición a altas salinidades.

A fin de comparar las variaciones del otolito en relación a altos niveles de salinidad en otra especie Neotropical, se expusieron 6 juveniles de *Cichlasoma dimerus* pertenecientes a la misma cohorte en agua con altos niveles de salinidad (13 g l⁻¹). Se registraron las variables morfométricas de los individuos y una vez finalizada la experiencia se determinó la presencia de variaciones morfológicas, morfométricas y la composición química de los otolitos en función del tiempo de exposición a altas salinidades.

2.3.3- Variaciones del otolito en relación con la dureza del agua en condiciones de laboratorio.

Para determinar en qué medida la química del agua se refleja en la composición química de los otolitos, se desarrolló un experimento de 258 días (=9 meses) de duración, con 50 ejemplares juveniles de *A. facetus* pertenecientes a una misma cohorte.

El experimento se llevó a cabo a una temperatura constante de 25 °C y los ejemplares fueron distribuidos al azar en dos acuarios idénticos, uno con agua moderadamente dura con una conductividad de 330 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y una dureza de 165 mg l⁻¹ de CaCO₃ (similar al agua del Río Paraná) y el otro con agua muy dura con una

conductividad de $947 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y una dureza de 475 mg l^{-1} de CaCO_3 (similar al agua de las lagunas pampásicas). La calidad del agua fue reconstituida bajo normas de la USEPA (1975), con agua bidestilada. El agua muy dura, fue preparada con las siguientes sales: NaHCO_3 , CaSO_4 , MgSO_4 , KCl . Cada 28 días se extrajeron 2 ejemplares de cada acuario, a cada individuo se le registró la longitud estándar (Lst), la longitud total (Lt), la altura del cuerpo (AC), el diámetro ojo (DO); en mm y peso (en gramos) y luego se extrajeron los otolitos *sagitta*, midiéndose su longitud y ancho máximo, perímetro y superficie del otolito, del *sulcus* y del *ostium*.

Se estudió la presencia de variaciones morfológicas y morfométricas de sus *sagittae* y se determinó su composición química mediante espectrometría atómica por plasma inductivo (ICP). Previamente las muestras fueron pesadas en una balanza analítica y digeridas en ácido nítrico 10%. Los elementos traza analizados son Cr, Mg, Mn, Pb, Sr y Zn. Para la calibración del equipo se utilizaron materiales de referencia con certificado de trazabilidad. El contenido de Ca se determinó por titulación con EDTA utilizando la técnica propuesta por Volpedo & Fernández Cirelli (2006). Se calculó la relación “elemento/Ca” en “micromoles por moles de Ca” a fin de normalizar las determinaciones.

Para comparar la tasa de incorporación de los elementos en el otolito de las diferentes especies estudiadas y en los diferentes tratamientos, se calculó al igual que en la experiencia con altos niveles de salinidad (item 2.3.2), el coeficiente de distribución (D) de cada elemento de acuerdo a la ecuación de Campana (1999).

Una vez finalizada la experiencia, se estableció la presencia de variaciones morfológicas, morfométricas y de composición química de los otolitos en función del tiempo de exposición a las diferentes durezas.

2.4- Relaciones entre la morfología del otolito, la silueta del pez, la morfología de la aleta caudal y la capacidad de natación en distintas especies dulceacuícolas.

Para analizar las relaciones entre la morfología del otolito, la silueta del pez, la forma de la aleta caudal y la capacidad de natación se midieron ejemplares de distintas especies, registrándose la longitud total (LT), la longitud estándar (Lst) y altura cuerpo (AC) en mm; con error menor a 1 mm. Se fotografió a los individuos a fin de analizar la imagen de su silueta aplicando un programa de análisis de imágenes (Image-Pro Plus). Se midió la superficie de la aleta caudal utilizando una técnica similar a la usada por Reidy *et al.* (2000) utilizando un scanner y el procesador de imágenes.

La capacidad de natación es una variable medible en laboratorio bajo condiciones experimentales mediante la técnica de “tiempo de arrastre” (TA: min). Para las mediciones de TA se utilizó la metodología y el túnel de corriente de agua descritos por Trenti *et al.* (1999). El túnel está compuesto por un tubo de acrílico de 105 cm de longitud y 5,60 mm de diámetro por donde el agua circula, impulsada por bomba a una velocidad constante. La técnica básicamente consiste en introducir un ejemplar en el túnel sin circulación de agua, se aumenta la velocidad de corriente muy rápidamente hasta un valor prefijado y constante, el valor de la velocidad mínima es de $6,77 \text{ cm s}^{-1}$ (DE = 0,089) y en máxima de $15,43 \text{ cm s}^{-1}$ (DE = 0,0818) y se mide el tiempo que transcurre hasta que el animal es arrastrado fuera del túnel (Fisher & Wilson, 2004).

Se calcularon índices que permiten estimar la orbicularidad del otolito (LO/AO) y de la silueta del pez (Lst/AC). A partir de los parámetros analizados se plantearon asociaciones entre la morfología del otolito, la silueta del pez, la forma de la aleta caudal y la capacidad de natación.

3.- RESULTADOS

3.1- Morfología y morfometría del otolito sagitta de *Australoheros facetus*.

3.1.1- Morfología.

La forma de la *sagitta* es oblonga, con borde dorsal ligeramente dentado y borde ventral de aspecto regular. La cara interna es convexa. El *sulcus* está dividido en *ostium* y *cauda*. El *ostium* tiene forma de embudo, es más profundo que la *cauda* y representa aproximadamente el 50 % del largo del *sulcus*. Presenta un *pseudocolliculum* anterocaudal. La cisura y rostro son evidentes. La *cauda* es ancha, sinuosa y abierta en su extremo distal. La depresión areal dorsal se encuentra asociada al *sulcus* y abarca el *ostium* y la primera mitad de la *cauda*. El extremo posterior del otolito es mixto y presenta una escotadura a la altura del extremo distal de la *cauda*. La cara externa es ligeramente cóncava con pliegues y estrías radiales. El ancho del otolito representa el 73 % del largo total del otolito (Figura 6).

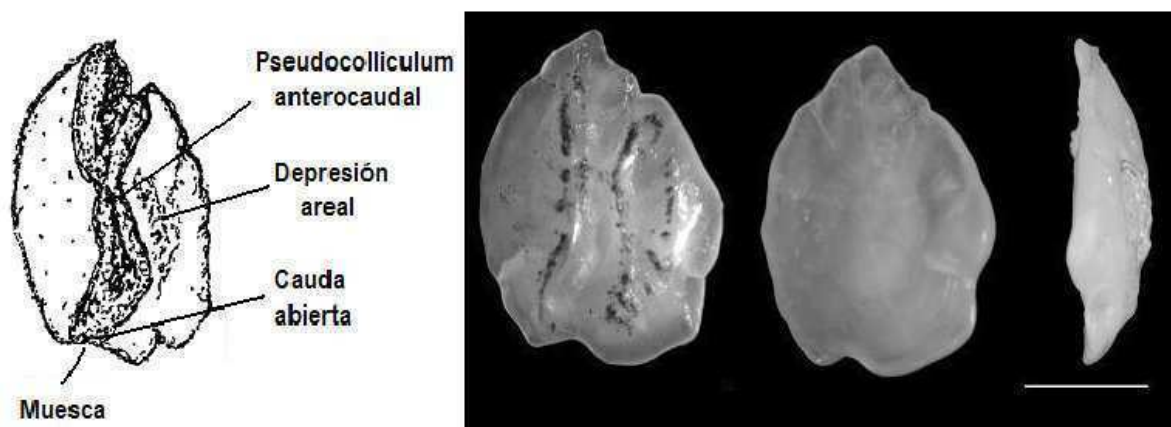


Figura 6: Morfología de la *sagitta* de *A. facetus*. (Lst= 76,3 mm, LO= 2,92 mm). De izquierda a derecha: Dibujo de la cara interna de la *sagitta* derecha. Fotografía: cara interna *sagitta* derecha, cara externa y vista lateral de la *sagitta* izquierda. Escala 1 mm.

3.1.2- Morfometría.

La *sagitta* derecha e izquierda de *A. facetus* no presentan diferencias significativas ($p > 0,05$) siendo morfométricamente iguales (Tabla 3).

Caracteres morfométricos de la <i>sagitta</i>	<i>Sagitta</i> izquierda	<i>Sagitta</i> derecha	t	p
LO (mm)	3,018 ± 0,459	3,019 ± 0,460	0,008	0,993 ns
AO (mm)	2,193 ± 0,339	2,194 ± 0,339	0,004	0,996 ns
PO (mm)	10,033 ± 2,639	10,075 ± 2,649	0,044	0,964 ns
SO (mm ²)	5,457 ± 2,319	5,457 ± 2,319	0,001	0,999 ns
SS (mm ²)	1,488 ± 0,633	1,493 ± 0,638	0,023	0,981 ns
SOS (mm ²)	0,707 ± 0,293	0,709 ± 0,293	0,017	0,986 ns

Tabla 3. Caracteres morfométricos de las *sagittae* derecha e izquierda de *A. facetus*. AO: Ancho máximo, LO: Longitud máxima, PO: Perímetro del otolito, SO: Superficie del otolito, SOS: Superficie del *ostium*, SS: Superficie del *sulcus*. Prueba de t, ns.: no existen diferencias significativas ($p > 0,05$).

3.2- Patrones morfológicos y morfométricos del otolito *sagitta* de otras especies de cíclidos Neotropicales.

3.2.1- Morfología

Patrones morfológicos de las *sagittae* de otras especies Neotropicales de la familia Cichlidae: *Cichlasoma dimerus*, *Gymnogeophagus meridionalis*, *Crenicichla lepidotta* y *C.scotti*.

- *Cichlasoma dimerus*

La *sagitta* es circular, con borde dorsal regular y borde ventral dentado. El extremo posterior del otolito es redondeado. La cisura y el rostro son evidentes. La cara interna es convexa. El *sulcus* está dividido en *ostium* y *cauda*, *ostium* en forma de embudo, la *cauda* es ancha, cerrada y curvada en su extremo distal hacia el borde ventral, presenta una depresión areal dorsal asociada a la *cauda* y un *pseudocolliculum* anterocaudal. La cara externa es ligeramente cóncava, con pliegues y estrías radiales. El ancho del otolito representa el 79 % del largo total del otolito (Figura 7).

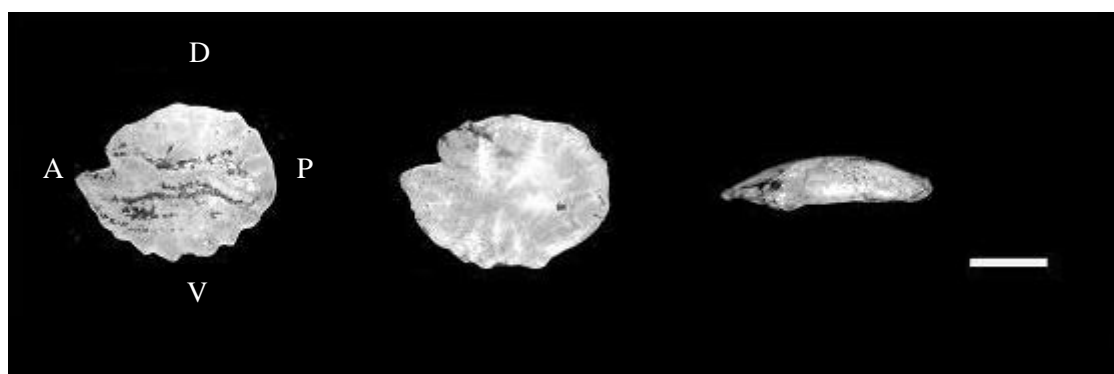


Figura 7: Morfología de la *sagitta* de *Cichlasoma dimerus*. Fotografía: cara interna *sagitta* derecha, cara externa y vista lateral de la *sagitta* izquierda. A: Anterior, P: posterior, D: dorsal, V: ventral. Escala 1 mm.

- *Gymnogeophagus meridionalis*

La *sagitta* es subcircular, con bordes dorsal y ventral dentados. El extremo posterior del otolito es mixto. La cisura y rostro son evidentes. La cara interna es convexa. El *sulcus* está dividido en *ostium* y *cauda*, el *ostium* tiene forma de embudo, la *cauda* es ancha, abierta y se curva en su extremo distal hacia el borde ventral. La depresión areal dorsal se encuentra asociada a la *cauda*. Presenta *pseudocolliculum* anterocaudal. La cara externa es ligeramente cóncava a plana, con pliegues y estrías radiales. El ancho del otolito representa el 75% del largo total del otolito (Figura 8).



Figura 8: Morfología de la *sagitta* de *Gymnogeophagus meridionalis*. Fotografía: cara interna *sagitta* derecha, cara externa y vista lateral de la *sagitta* izquierda. Escala 1 mm.

- *Crenicichla lepidotta*

La *sagitta* es alargada, con bordes dorsal y ventral irregulares. El extremo posterior del otolito es redondeado. La cisura y rostro son muy evidentes. La cara interna es convexa. El *sulcus* está dividido en *ostium* y *cauda*, *ostium* en forma de embudo. La *cauda* es ancha, recta, cerrada y curvada en su extremo distal hacia el borde ventral. La depresión areal dorsal se encuentra paralela y asociada a la *cauda*. Presenta un *pseudocolliculum* anterocaudal. La cara externa es ligeramente cóncava

con pliegues y estrías radiales. El ancho del otolito representa el 56% del largo total del otolito (Figura 9).

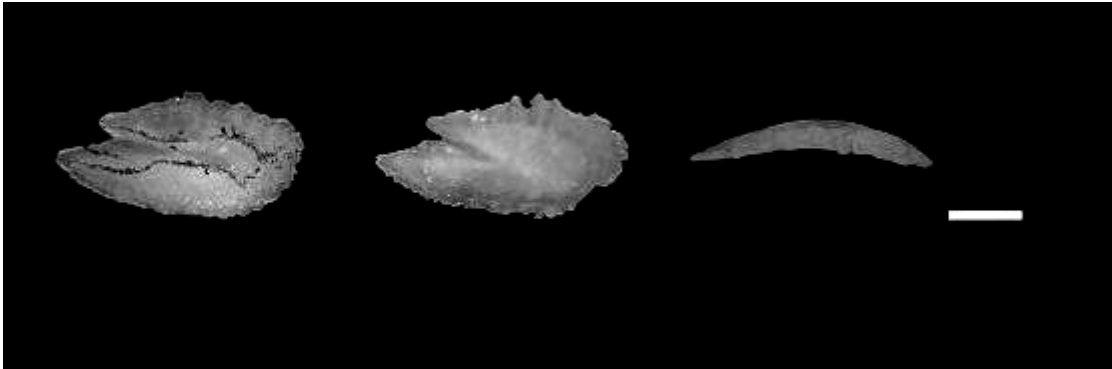


Figura 9: Morfología de la *sagitta* de *Crenicichla lepidotta*. Fotografía: cara interna *sagitta* derecha, cara externa y vista lateral de la *sagitta* izquierda. Escala 1 mm.

- *Crenicichla scotti*

La *sagitta* es alargada, con borde dorsal dentado y borde ventral de aspecto regular. El extremo posterior del otolito es mixto. La cisura y rostro son muy evidentes. La cara interna es lisa y convexa. El *sulcus* está dividido en *ostium* y *cauda*, *ostium* en forma de embudo, la *cauda* es ancha, abierta y se curva en su extremo distal hacia el borde ventral. La depresión areal dorsal se encuentra asociada a la *cauda*. Presenta un *pseudocolliculum* anterocaudal. La cara externa es ligeramente cóncava con pliegues y estrías radiales. El ancho del otolito representa el 44% del largo total del otolito (Figura 10).



Figura 10: Morfología de la *sagitta* de *Crenicichla scotti*. Fotografía: cara interna *sagitta* derecha, cara externa y vista lateral de la *sagitta* izquierda. Escala 1 mm.

3.2.2- Morfometría

Caracteres morfométricos de la <i>sagitta</i>	<i>Cichlasoma dimerus</i>	<i>Gymnogeophagus meridionalis</i>	<i>Crenicichla lepidotta</i>	<i>Crenicichla scotti</i>
n	15	8	5	5
Rango Lst (mm)	21,6 - 100	47,5 – 70,4	29,1 - 91,0	85,7 - 120
LO (mm)	2,49 ± 1,11	2,63 ± 0,62	2,22 ± 0,79	3,52 ± 1,24
AO (mm)	1,82 ± 0,68	1,84 ± 0,29	1,30 ± 0,47	1,88 ± 0,74

Tabla 4: Valores de los caracteres morfométricos de las *sagittae* de otras especies de cíclidos Neotropicales. n: Número de individuos, Longitud estándar de los individuos (Lst), LO: Longitud máxima, AO: Ancho máximo (media ± desvíos estándar).

3.3- Clave de identificación de algunos Cíclidos de ambientes continentales de Argentina, utilizando las *sagittae* (Figura 11).

- 1- *Sagittae* de forma alargada.....2
- 1'- *Sagittae* de otras formas.....3
- 2- *Sagitta* con borde dorsal y ventral irregulares. La depresión areal dorsal se encuentra paralela y asociada a la *cauda*. El extremo posterior del otolito es redondeado. El ancho del otolito representa el 56% del largo total del otolito. ***Crenicichla lepidotta*** (Figura 11a)
- 2'- *Sagitta* con borde dorsal dentado y borde ventral regular. La depresión areal dorsal se encuentra asociada a la *cauda*. El extremo posterior del otolito es mixto. La *cauda* es ancha, abierta y se curva en su extremo distal hacia el borde ventral El ancho del otolito representa el 44% del largo total del otolito
..... ***Crenicichla Scotti*** (Figura 11b)
- 3- *Sagittae* de forma circular. La *cauda* es ancha, cerrada y se curva en su extremo distal hacia el borde ventral. El extremo posterior del otolito es redondeado. El ancho del otolito representa el 79 % del largo total del otolito. ***Cichlasoma dimerus*** (Figura 11c)
- 3'- *Sagittae* subcircular u oblonga.....4
- 4- *Sagittae* subcircular. La *cauda* es ancha, abierta y se curva en su extremo distal hacia el borde ventral. El extremo posterior del otolito es mixto. El ancho del otolito representa el 75% del largo total del otolito. ***Gymnogeophagus meridionalis*** (Figura 11d)
- 4'- *Sagittae* de forma oblonga, con borde dorsal ligeramente dentado y borde ventral regular. El extremo posterior del otolito es mixto y presenta una escotadura a la altura del extremo distal de la *cauda*. La *cauda* es ancha, sinuosa y abierta en su extremo distal. El ancho del otolito representa el 73% del largo total del otolito..... ***Australoheros facetus*** (Figura 11e)

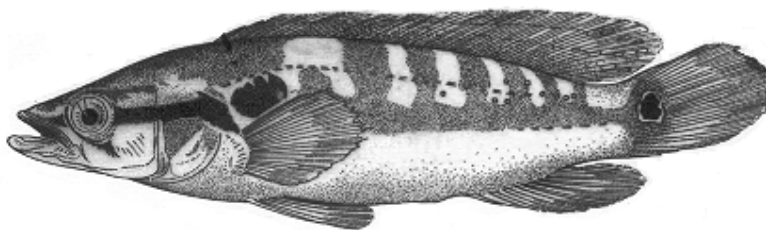


Figura a) *Crenicichla lepidotta*

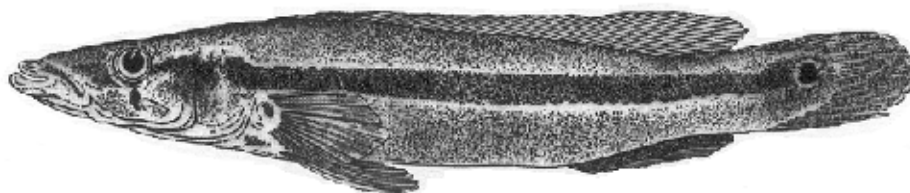
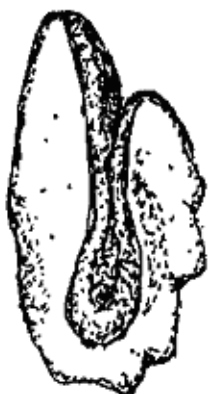


Figura b) *Crenicichla scotti*

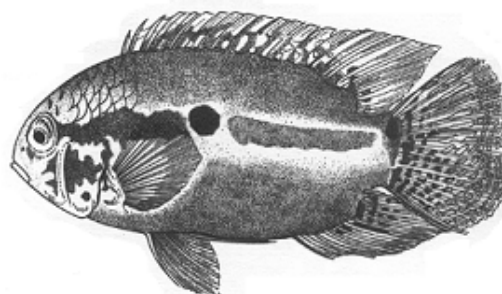


Figura c) *Cichlasoma dimerus*

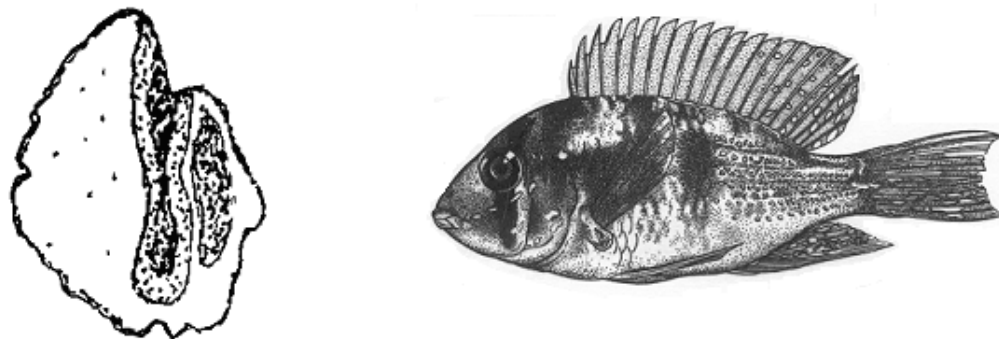


Figura d) *Gymnogeophagus meridionalis*

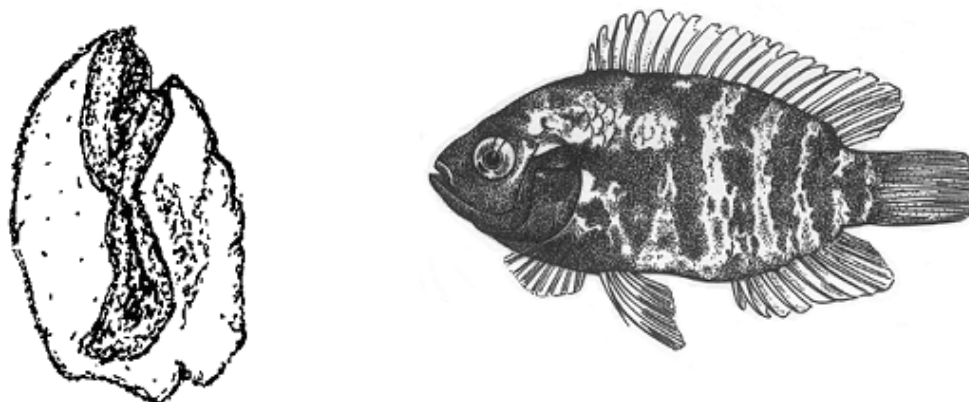


Figura e) *Australoheros facetus*

Figura 11: Esquema de la morfología de la sagitta derecha de a) *Crenicichla lepidotta*, b) *Crenicichla scotti*, c) *Cichlasoma dimerus*, d) *Gymnogeophagus meridionalis* y e) *Australoheros facetus*. Imágenes de los otolitos realizada por la autora; imágenes de los peces a), c), d) y e) tomados de Casciotta *et al.*, (2005) y b) realizada por la autora.

3.4- Determinación de las modificaciones morfológicas y morfométricas de los otolitos *sagitta* durante las etapas del desarrollo de *Australoheros facetus*.

El análisis de t de Student no evidenció diferencias significativas entre los caracteres morfométricos de las *sagittae* derecha e izquierda de *A. facetus* ($p > 0,05$) (Tabla 5).

Caracteres morfométricos de la <i>sagitta</i>	<i>Sagitta</i> izquierda	<i>Sagitta</i> derecha	t	p
LO (mm)	2,011 ± 0,665	2,015 ± 0,664	0,029	0,976 ns
AO (mm)	1,469 ± 0,482	1,471 ± 0,482	0,008	0,993 ns
PO (mm)	6,205 ± 2,549	6,219 ± 2,562	0,033	0,974 ns
SO (mm ²)	2,451 ± 2,013	2,450 ± 2,012	0,003	0,997 ns
SS (mm ²)	0,663 ± 0,555	0,663 ± 0,560	-0,001	0,998 ns
SOS (mm ²)	0,303 ± 0,268	0,305 ± 0,268	0,031	0,975 ns

Tabla 5: Caracteres morfométricos de la *sagitta* derecha e izquierda de *A. facetus* (media ± desvíos estándar) y resultados de la prueba de t. LO: Longitud máxima, AO: Ancho máximo, PO: Perímetro del otolito, SO: Superficie del otolito, SS: Superficie del *sulcus*, SOS: Superficie del *ostium*, ns: no existen diferencias significativas ($p > 0,05$).

El análisis morfométrico y morfológico de las *sagittae* de *A. facetus* permitió obtener dos grupos en relación con la longitud estándar del pez (Tabla 6), los cuales coincidieron con los hallados en el análisis discriminante (AD). El primer grupo está definido entre 11,5 mm y 60 mm de Lst, y el segundo grupo para individuos mayores a

60 mm de Lst. La primera componente explica el 100 % de la variabilidad y esta definida principalmente por SO siendo su autovector 0,85. La tabla de clasificación cruzada del análisis discriminante verifica que la asignación de los individuos a los grupos definidos presenta un valor de error bajo, por lo que dicha asignación es consistente (Tabla 7).

	Grupo 1	Grupo 2
Lst (mm)	11,5-60	>60
n	55	17
	X ± DE	X ± DE
Lst (mm)	39,69 ± 8,73	80,25 ± 18,62
LO (mm)	1,72 ± 0,35	3,26 ± 1,08
AO (mm)	1,26 ± 0,26	2,30 ± 0,56
PO (mm)	5,06 ± 0,94	10,56 ± 3,36
SO (mm²)	1,58 ± 0,55	6,35 ± 4,26
SS (mm²)	0,42 ± 0,16	1,78 ± 1,33
SOS (mm²)	0,19 ± 0,08	0,87 ± 0,71

Tabla 6: Caracteres morfométricos registrados en los dos grupos de *Australoheros facetus*. Rango de Longitud estándar (Lst), Número de individuos (n), las medias y desvíos estándar de cada variable. LO: Longitud máxima, AO: Ancho máximo, PO: Perímetro del otolito, SO: Superficie del otolito, SS: Superficie del *sulcus*, SOS: Superficie del *ostium*.

Autovalores		
Lambda	valor	proporción
1	2,48	100

Autovectores	
variables	e ¹
LO	0,45
AO	0,25
PO	-0,47
SO	0,85
SS	-0,45
SOS	0,46

Tabla de clasificación cruzada

Grupo	1	2	Total	Error (%)
1	54	1	55	1,82
2	1	15	16	6,25
Total	55	16	71	2,82

Tabla 7: Autovalores, autovectores y tabla de clasificación cruzada del análisis discriminante para los grupos de tallas analizados. LO: Longitud máxima, AO: Ancho máximo, PO: Perímetro del otolito, SO: Superficie del otolito SS: Superficie del *sulcus*, SOS: Superficie del *ostium*.

Con un modelo multiplicativo de regresión se estableció una correlación positiva y significativa ($p < 0,05$, $n = 71$) entre las siguientes relaciones morfométricas: Lst vs. LO (Figura 12), Lst vs. AO (Figura 13), Lst vs. PO (Figura 14), Lst vs. SO (Figura 15), Lst vs. SOS (Figura 16), Lst vs. SS (Figura 17).

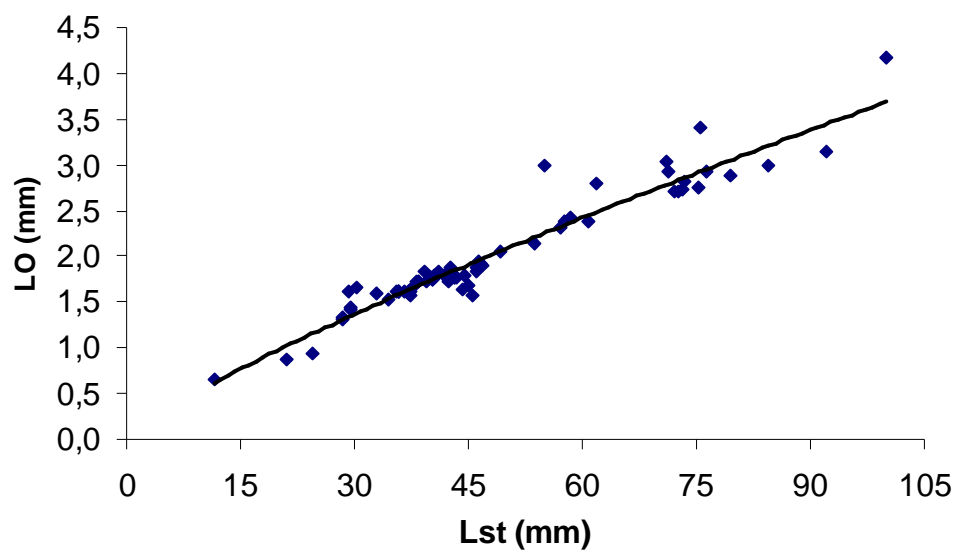


Figura 12: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre la longitud máxima de la *sagitta* (LO) y la longitud estándar (Lst) para *Australoheros facetus*. $LO=0,083.Lst^{0,823}$; $R^2 = 0,935$; $r = 0,967$.

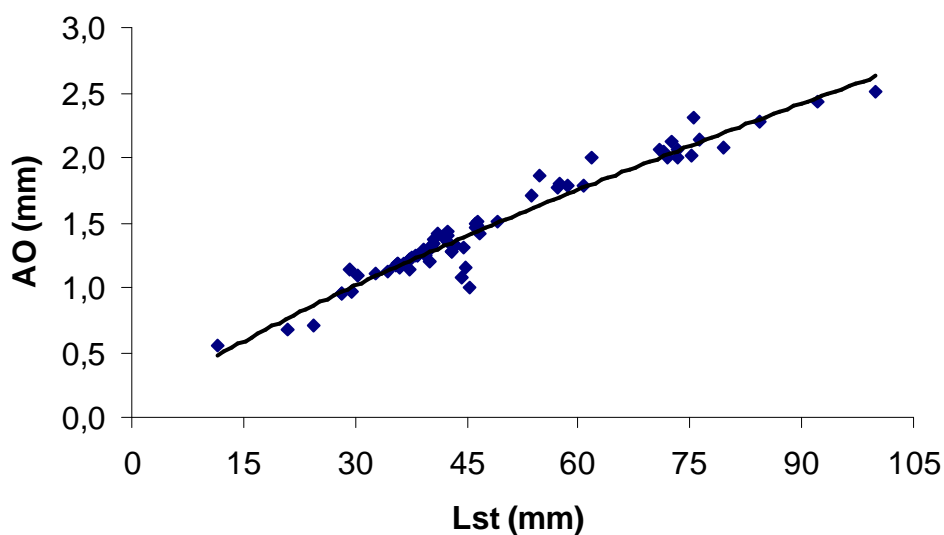


Figura 13: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre el ancho de la *sagitta* (AO) y la longitud estándar (Lst) para *Australoheros facetus*. $AO= 0,065.Lst^{0,813}$ $R^2=0,929$; $r = 0,963$

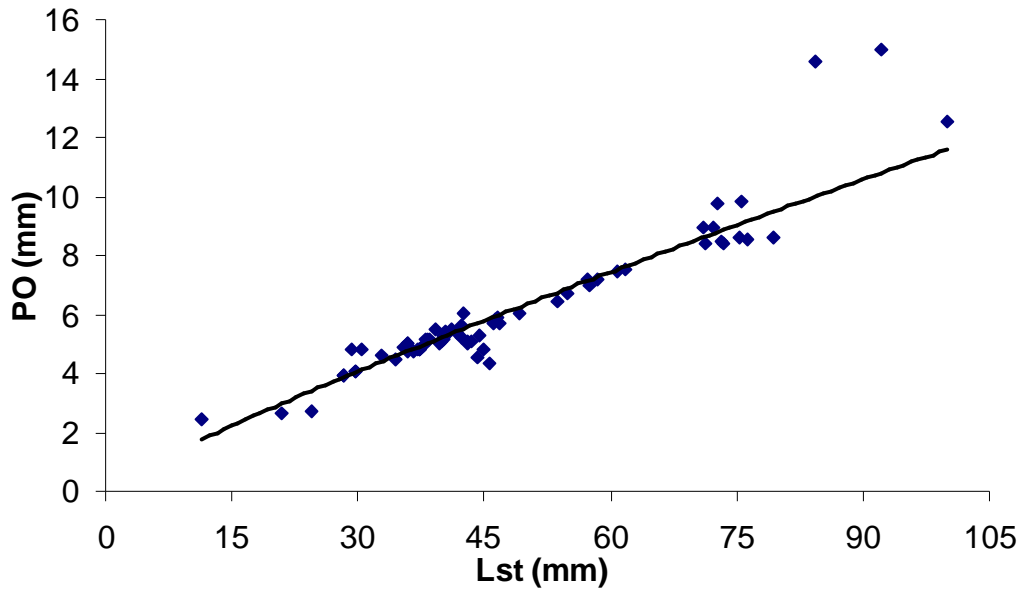


Figura 14: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre el perímetro de la *sagitta* (PO) y la longitud estándar (Lst) para *Australoheros facetus*. $PO = 0,2102 \cdot Lst^{0,871}$; $R^2=0,898$; $r= 0,947$.

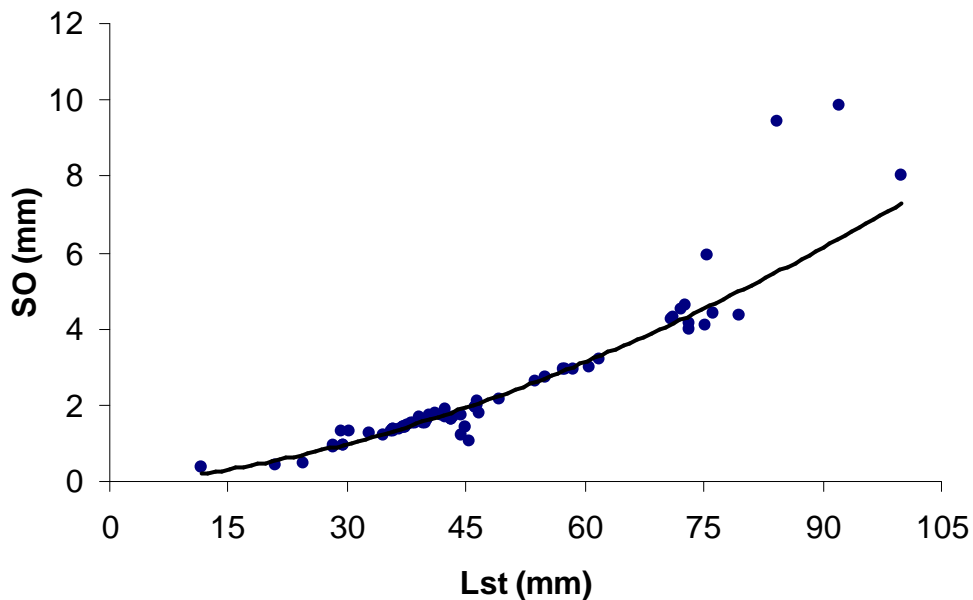


Figura 15: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre la superficie de la *sagitta* (SO) y la longitud estándar (Lst) para *Australoheros facetus*. $SO = 0,0034 \cdot Lst^{1,663}$; $R^2=0,923$; $r= 0,961$.

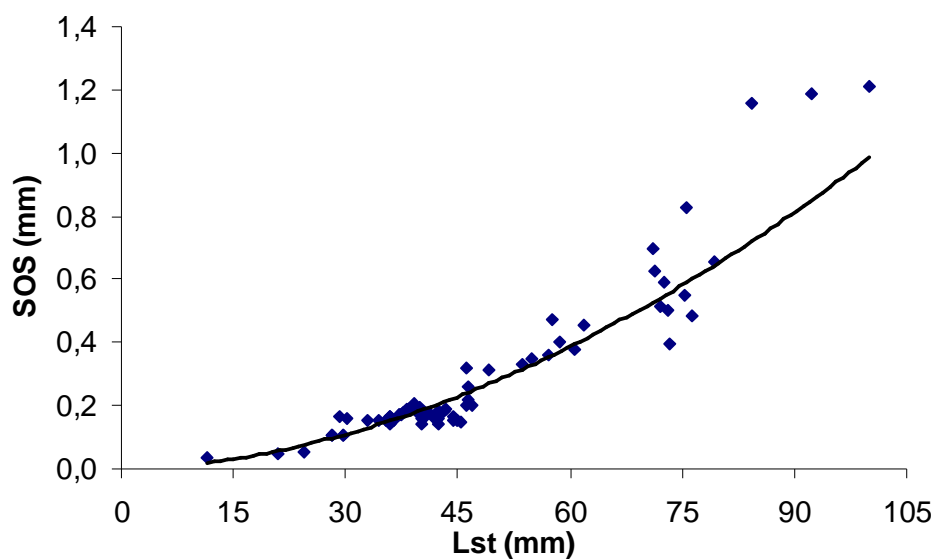


Figura 16: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre la superficie del ostium (SOS) y la longitud estándar (Lst) para *Australoheros facetus*. $SOS = 0,0002 \cdot Lst^{1,826}$; $R^2 = 0,904$; $r = 0,951$.

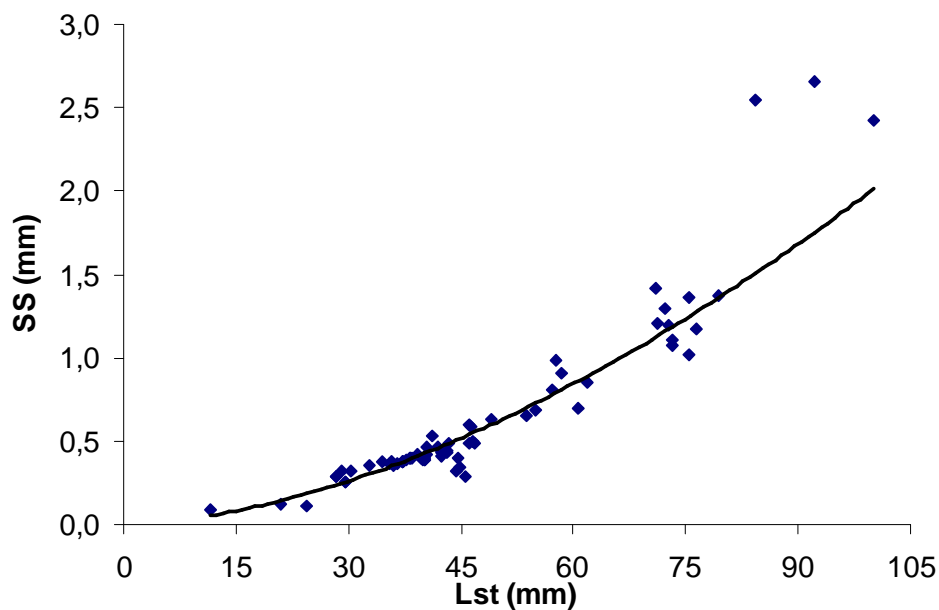


Figura 17: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre la superficie del sulcus ostium (SS) y la longitud estándar (Lst) para *Australoheros facetus*. $SS = 0,0007 \cdot Lst^{1,729}$; $R^2 = 0,913$; $r = 0,955$.

A partir de los grupos de tallas seleccionados se describió la morfología de las dos etapas en el desarrollo de las *sagittae*.

En el grupo 1 la forma de la *sagitta* es subcircular, con bordes dorsal y ventral regulares. La cisura y rostro son muy evidentes. El extremo posterior del otolito es redondeado y presenta un esbozo de escotadura a la altura de la cauda. El borde dorsal presenta una hendidura en posición medial. La cara interna es convexa. El *sulcus* está dividido en *ostium* y *cauda*. El *ostium* tiene forma de embudo y es más profundo que la *cauda*. La *cauda* es ancha, cerrada y se curva en su extremo distal hacia el borde ventral. Presencia de *pseudocollicum anterocaudal*. La depresión areal dorsal se encuentra asociada al *sulcus*, abarca el *ostium* y la primera mitad de la cauda. La cara externa es ligeramente cóncava con pliegues y estrías radiales. El ancho del otolito representa el 73 % del largo total del otolito (Figura 18).

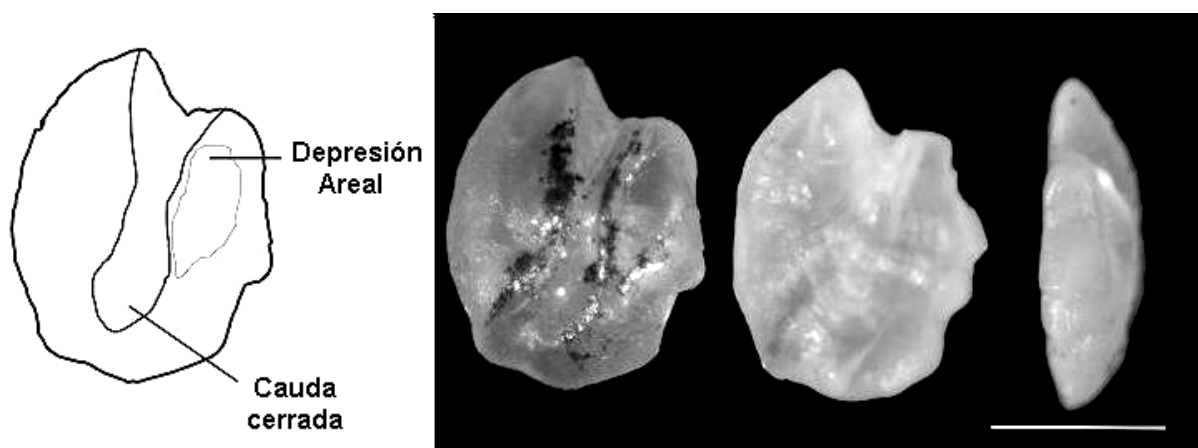


Figura 18: Morfología de la *sagitta* de *A. facetus* Grupo 1 Lst < 60 mm (44,1 mm). De izquierda a derecha: Esquema de la cara interna de la *sagitta* derecha. Fotografía: cara interna *sagitta* derecha, cara externa y vista lateral de la *sagitta* izquierda. Escala 1 mm.

El grupo 2 corresponde a la descripción morfológica del otolito *sagitta* mencionado en el ítem 3.1.1 de esta tesis (página 45), con el agregado de que el ancho del otolito representa el 70 % del largo total del otolito. A fin de facilitar la comprensión de las diferencias entre los otolitos de juveniles y adultos, se reitera la imagen de la morfología de la *sagitta* del adulto (Figura 19).

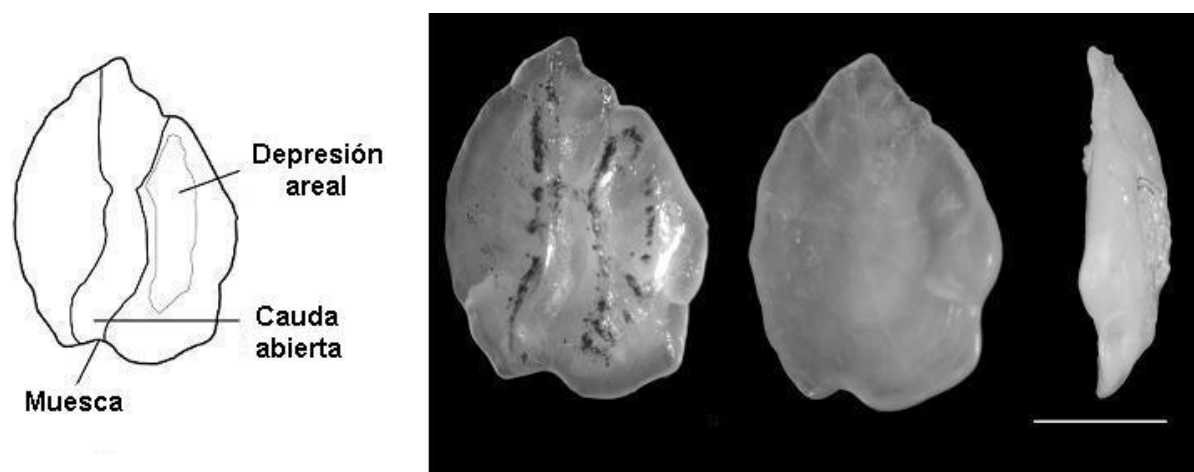


Figura 19: Morfología de la *sagitta* de *A. facetus* Grupo 2 Lst > 60 mm (76,3 mm). De izquierda a derecha: Esquema de la cara interna de la *sagitta* derecha. Fotografía: cara interna *sagitta* derecha, cara externa y vista lateral de la *sagitta* izquierda. Escala 1 mm.

3.5- Determinación de las variaciones morfológicas, morfométricas y de la composición química de los otolitos de *Australoheros facetus* ante factores ambientales extremos (altos niveles de salinidad y dureza)

3.5.1-Tolerancia de *A. facetus* principalmente a niveles máximos de salinidad y comparaciones con otra especie Neotropical, *Cichlasoma biocellatum*.

En las experiencias piloto se utilizaron 30 ejemplares de *C. biocellatum* (6 grupos) y 15 de *A. facetus* (3 grupos), expuestos a una salinidad fija de 45,11 g l⁻¹. El peso total inicial de cada grupo utilizado de *C. biocellatum* estuvo en el rango de 0,3 a 29,6 g siendo la media y el desvío de 14,61 ± 10,91 g y en *A. facetus* el rango estuvo entre 8,8 y 29,0 g y la media y el desvío de 19,61 g ± 10,17 (Tabla 8). El análisis de correlación entre peso inicial del grupo y tR50 en *C. biocellatum* fue significativo (p<0,05) y dando como resultado r = 0,978 (n=6). El ajuste de regresión lineal también resulto significativo, respondiendo a la ecuación:

$$tR50 = 30,732 + 3,094 \cdot \text{peso del grupo} \quad R^2 = 0,956$$

Para *A. facetus* la ecuación correspondiente es:

$$tR50 = 24,165 + 1,009 \cdot \text{peso del grupo} \quad R^2 = 0,941$$

A partir del análisis preliminar de datos obtenido de peso al inicio y final de algunos experimentos, se observó que el peso final del grupo disminuyó entre 6,52 y 12,5 % (Tabla 8) debido a la deshidratación sufrida por el shock osmótico ($\bar{X} =$

10,08%; DE=2,26).

<i>Cichlasoma biocellatum</i>	S (g l ⁻¹)	tR50 (min)	Peso inicial del grupo (g)	Peso final del grupo (g)	Lst (mm)	Te (°C)
1	45,11	26,07	0,3	----	12,06	25,0
2	45,11	54,24	4,8	----	28,02	25,0
3	45,11	50,92	9,2	8,6	33,64	25,0
4	45,11	80,59	14,4	13,0	39,24	25,0
5	45,11	100,05	20,8	18,2	45,38	25,0
6	45,11	117,50	29,6	25,9	59,50	25,0
<i>A. facetus</i>						
1	45,11	34,20	8,8	8,0	33,40	25,0
2	45,11	42,45	21,0	----	45,13	25,0
3	45,11	55,20	29,0	26,1	53,57	25,0

Tabla 8: Tiempo de resistencia del 50 % (tR50) en grupos de *C. biocellatum* y *A. facetus* expuestos a la salinidad fija indicada (S). Se señalan además el peso total inicial y final del grupo (5 individuos), la longitud estándar media del grupo (Lst) y la temperatura media de exposición (Te).

Para la determinación del nivel letal incipiente se utilizaron en total 35 ejemplares de *C. biocellatum* (7 grupos) y 25 de *A. facetus* (5 grupos), en todos los casos los grupos de individuos fueron de tamaño corporal semejante. Para *C. biocellatum* con salinidades de 27,0 a 49,62 g l⁻¹ se obtuvieron tR50 comprendidos entre 2151,75 y 56,29 minutos. En *A. facetus* con salinidades de 22,0 a 45,11 g l⁻¹ los tR50 estuvieron comprendidos entre 451,95 y 36,04 minutos. Los datos básicos para cada experiencia se indican en la Tabla 9.

<i>Cichlasoma biocellatum</i>	S (g l ⁻¹)	tR50 (min)	Peso del grupo (g)	Lst (mm)	Te (°C)
1	49,62	56,29	14,7	39,72	25,0
2	45,11	80,59	14,4	39,24	25,0
3	41,35	107,96	12,9	37,00	25,0
4	35,00	220,52	12,9	35,48	26,0
5	30,00	268,77	13,0	38,62	24,5
6	27,00	2151,75	14,3	38,86	24,5
7	20,00	-----	13,7	39,14	24,5
<i>A. facetus</i>					
1	45,11	36,04	13,0	40,20	25,0
2	35,00	84,70	10,9	34,34	25,0
3	30,00	214,33	11,7	38,90	25,0
4	24,00	120,12	12,5	39,10	25,0
5	22,00	451,95	14,5	42,50	24,0

Tabla 9: Tiempo de resistencia del 50 % (tR50) en grupos de *C. biocellatum* y *A. facetus* expuestos a la salinidad indicada (S). Se señalan además el peso total inicial del grupo (5 individuos), la longitud estándar media del grupo (Lst) y la temperatura media de exposición (Te). En la experiencia 7 no se registraron muertes a las 96 h.

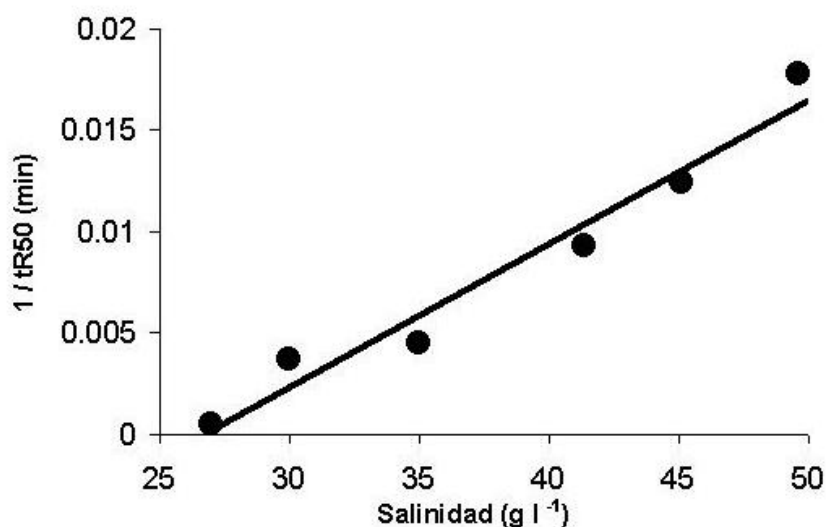


Figura 20a: Diagrama de dispersión y ajuste de regresión lineal simple entre la inversa del tiempo de resistencia del 50 % (1/tR50 en minutos) y la salinidad (g l⁻¹) en *Cichlasoma biocellatum*.

No se registraron diferencias significativas entre los pesos iniciales de los grupos de *C. biocellatum* y *A. facetus* (ANOVA, $F=3,669$, $p > 0,05$), por lo que los resultados obtenidos para ambas especies son comparables.

Considerando el modelo expuesto en su forma lineal se realizó para *C. biocellatum* el análisis de correlación entre salinidad y 1/tR50 que resultó significativo ($p < 0,05$; $r = 0,981$; $n = 6$). El ajuste de regresión lineal simple también resultó significativo (Figura 20a) respondiendo a la ecuación:

$$y = 0,0007 \cdot x - 0,0189 \quad R^2 = 0,962$$

A partir de estos datos el modelo en su forma curvilínea responde a la fórmula:

$$tR50 = 1413,17 / (S - 26,67)$$

Esta función se representa en la Figura 20b, donde el valor de 26,67 g l⁻¹ corresponde al nivel letal incipiente (NLI). En una experiencia a 20 g l⁻¹ no se observó mortalidad a las 96 horas (Tabla 9).

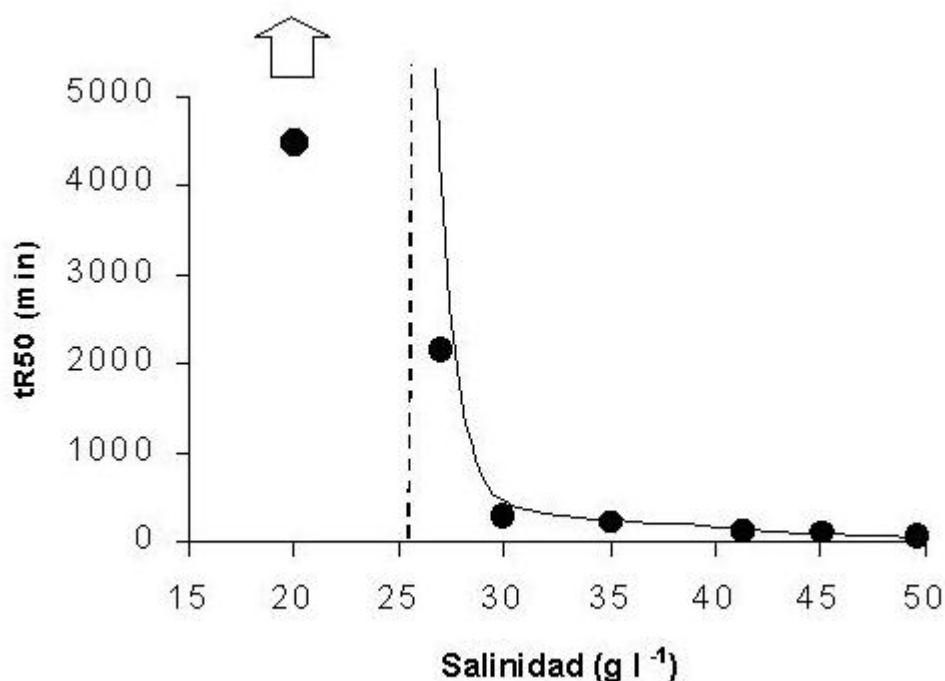


Figura 20b: Diagrama de dispersión y ajuste curvilíneo entre tiempo de resistencia del 50 % (tR50) en función de la salinidad (g l⁻¹) en *C. biozellatum*, La línea cortada vertical corresponde al valor asintótico o nivel letal incipiente (NLI) 26,67 g l⁻¹. El punto indicado con flecha corresponde a un experimento (7) con 100 % de sobrevivientes a las 96 horas de exposición (ver Tabla 9).

Utilizando la misma metodología, para *A. facetus* el análisis de correlación ($r=0,918$) y de regresión resultaron significativos ($p < 0,05$) (Figura 21a) respondiendo a la ecuación:

$$y = 0,0009 \cdot x - 0,0201$$

$$R^2 = 0,842$$

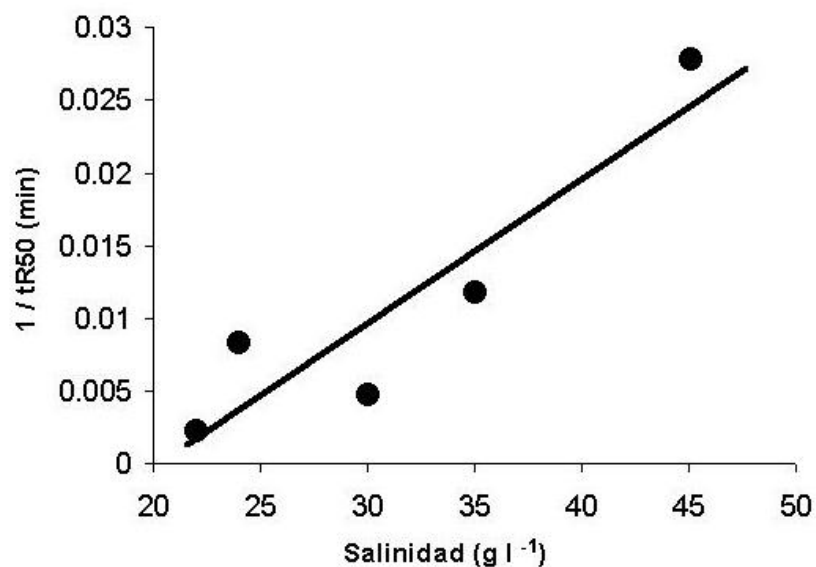


Figura 21a: Diagrama de dispersión y ajuste de regresión lineal simple entre la inversa del tiempo de resistencia del 50 % (1/tR50 en minutos) y la salinidad (g l⁻¹) en *A. facetus*.

El cálculo del NLI dio un valor de 20,20 g l⁻¹ (Figura 21b), siendo la función correspondiente:

$$tR50 = 1006,15 / (S - 20,20)$$

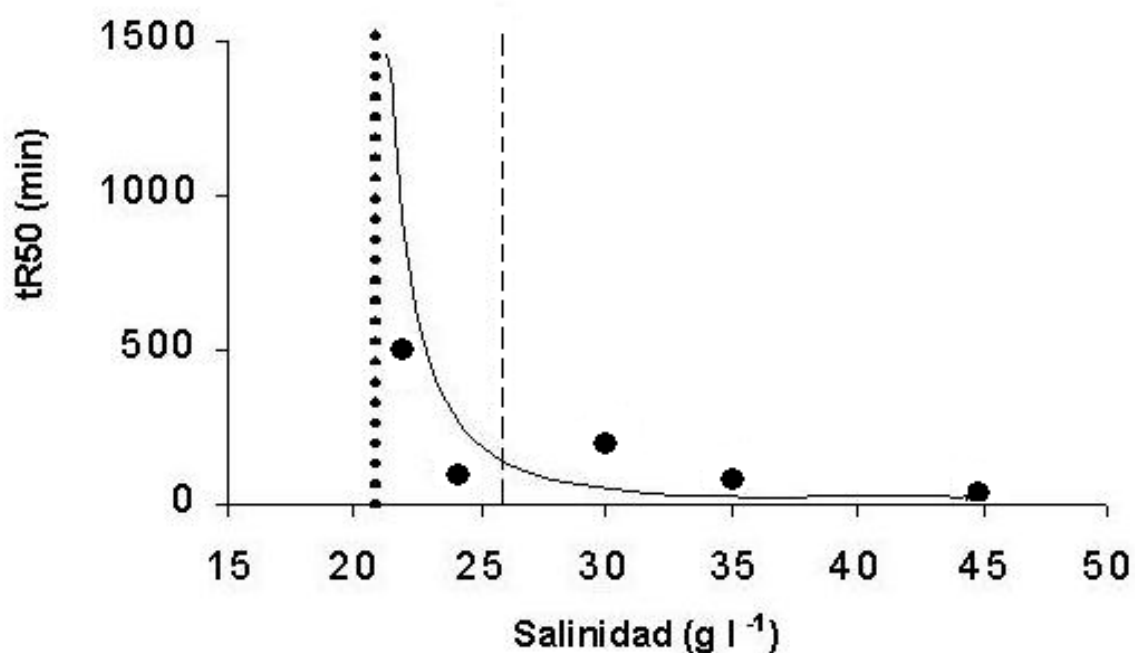


Figura 21b: Tiempo de resistencia del 50 % (tR50 en minutos) en función de la salinidad (g l⁻¹) para *A. facetus*. La línea punteada vertical corresponde al valor asintótico o nivel letal incipiente (NLI)= 20,20 g l⁻¹. Además se indica en línea cortada el valor asintótico (NLI)= 26,67 g l⁻¹ de *C. biocellatum* para su comparación.

3.5.2- Variaciones del otolito a niveles subletales de salinidad en condiciones de laboratorio.

Los resultados evidenciaron que a altos niveles de salinidad (13 g l^{-1}) los otolitos *sagittae* de *Australoheros facetus* y *Cichlasoma dimerus* no presentan variaciones morfológicas, ni morfométricas pero si evidenciaron modificaciones en su composición química.

En el caso de la morfometría de los individuos, los ejemplares del control y del tratamiento de *A. facetus* presentaron mínimas diferencias entre las Lst. La morfología del otolito no sufrió cambios notorios a lo largo del experimento (Figura 22).

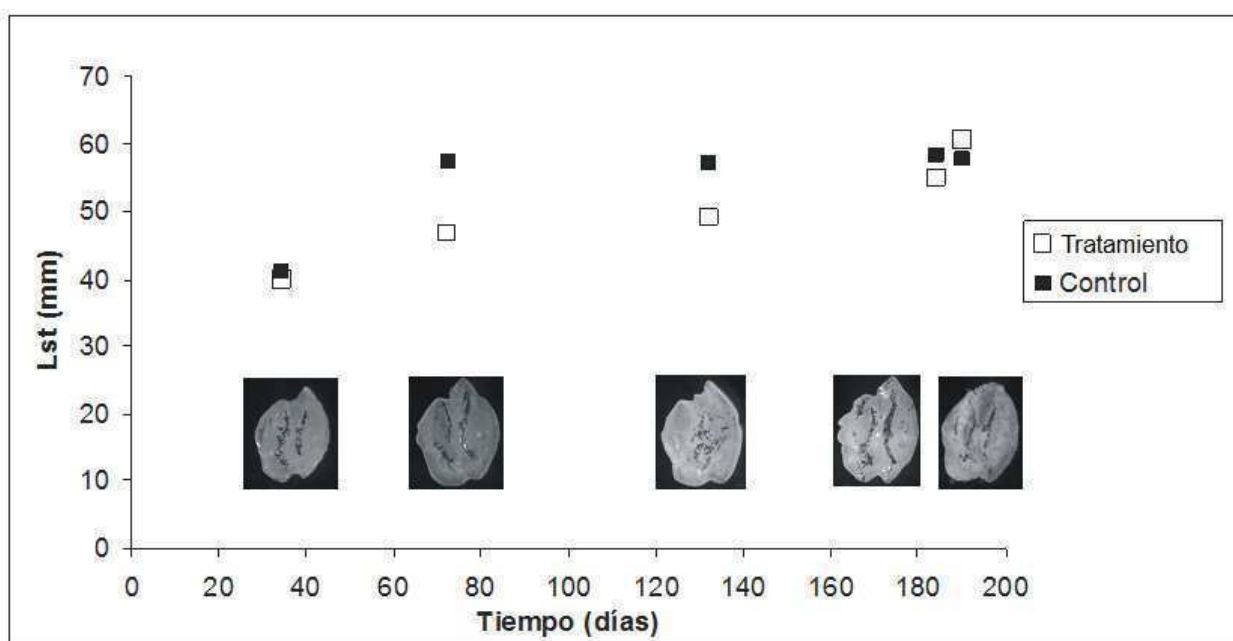


Figura 22: Longitud estándar de los individuos (Lst) y morfología del otolito *sagitta* de *A. facetus* durante el experimento.

Las variables morfométricas, LO, AO y PO, registradas en el otolito de *A.*

facetus del control y del tratamiento no mostraron diferencias (<1 mm) (Figura 23). Esto mismo ocurre con la superficie del *sulcus* y el *ostium* donde las diferencias no son relevantes. En el caso de la superficie del otolito, las diferencias entre los otolitos de los peces del control con los del tratamiento, no superaron los $1,5$ mm² (Figura 24).

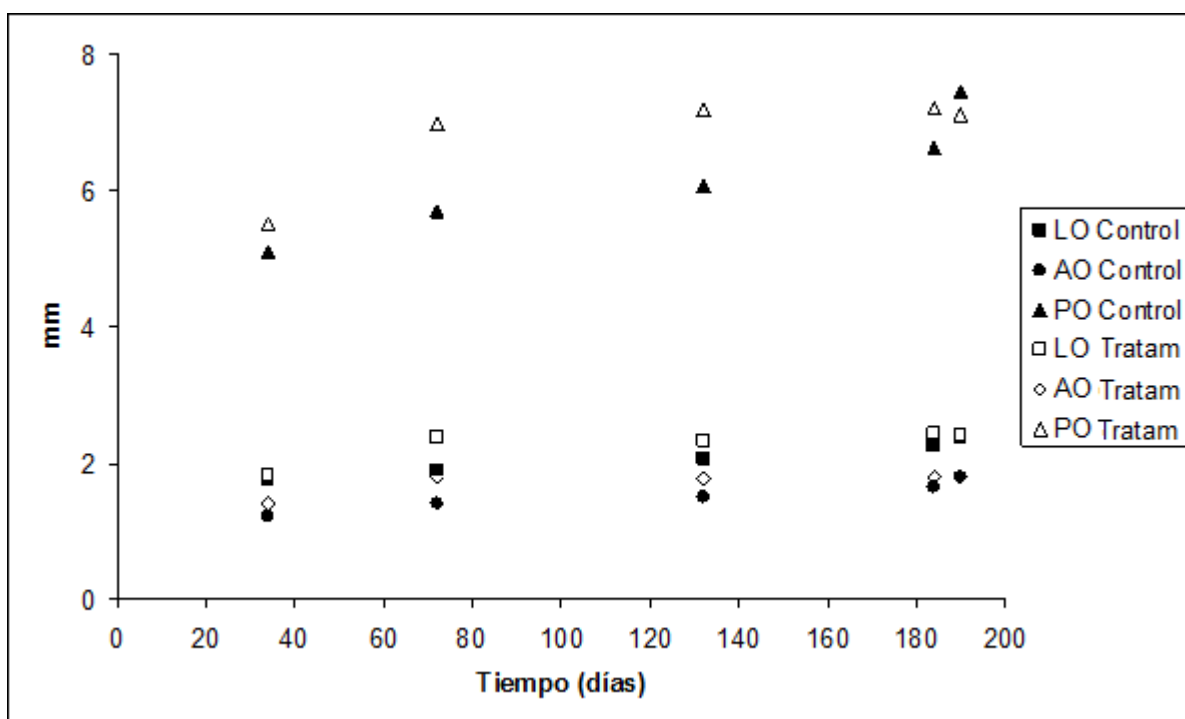


Figura 23: Variables morfométricas de la *sagitta* de *A. facetus* durante el experimento. AO: ancho máximo del otolito, LO: longitud máxima del otolito, PO: perímetro del otolito.

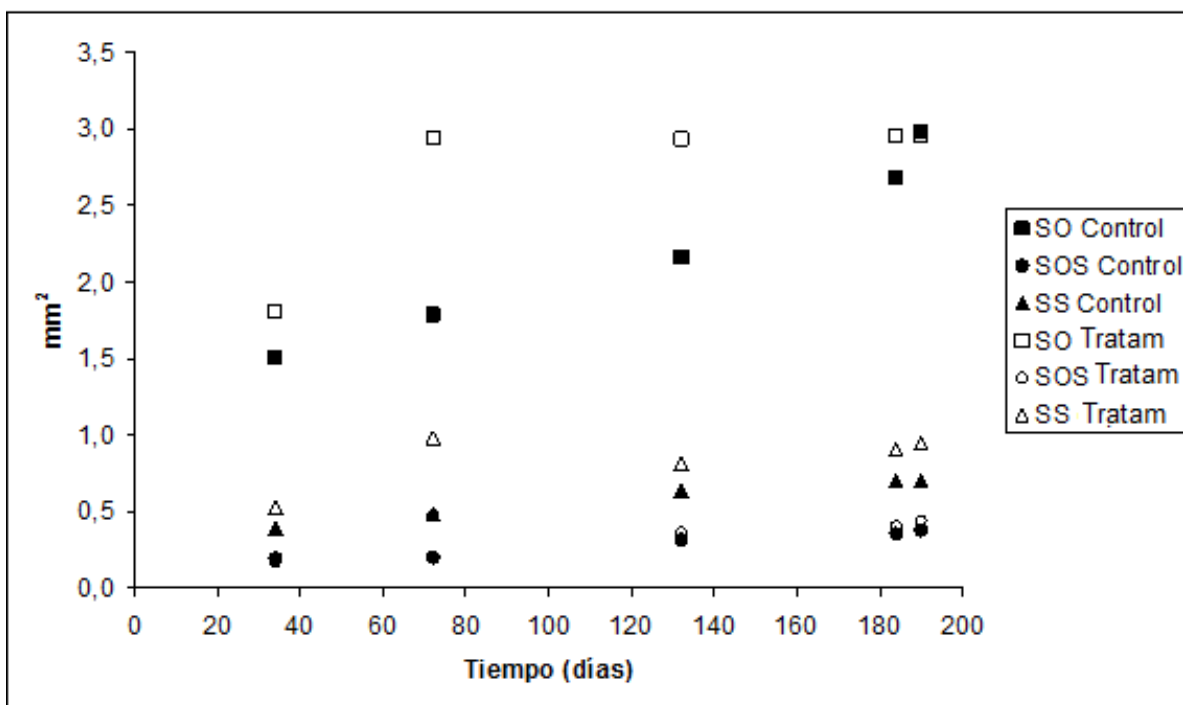


Figura 24: Superficie del otolito (SO), del *ostium* (SOS) y del *sulcus* (SS) de *A. facetus* durante el experimento.

En *C. dimerus* la Lst de los ejemplares del control y del tratamiento presentaron mínimas diferencias. La morfología del otolito no sufrió cambios notorios a lo largo del experimento (Figura 25).

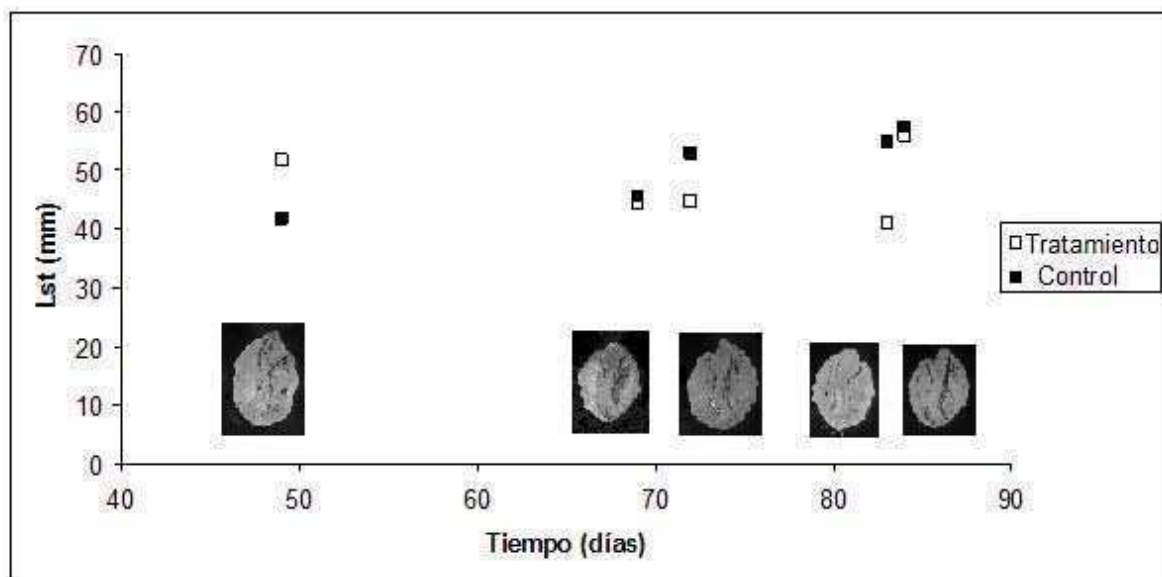


Figura 25: Longitud estándar de los individuos y morfología del otolito *sagitta* de *C. dimerus* durante el experimento.

Las variables morfométricas, LO, AO y PO, registradas en el otolito de *C. dimerus* del control y del tratamiento no mostraron diferencias relevantes (<1 mm) (Figura 26). La SS y la SOS no presentan diferencias. En el caso de la SO, las diferencias entre los otolitos de los peces del control con los del tratamiento, no superaron los 2 mm² (Figura 27).

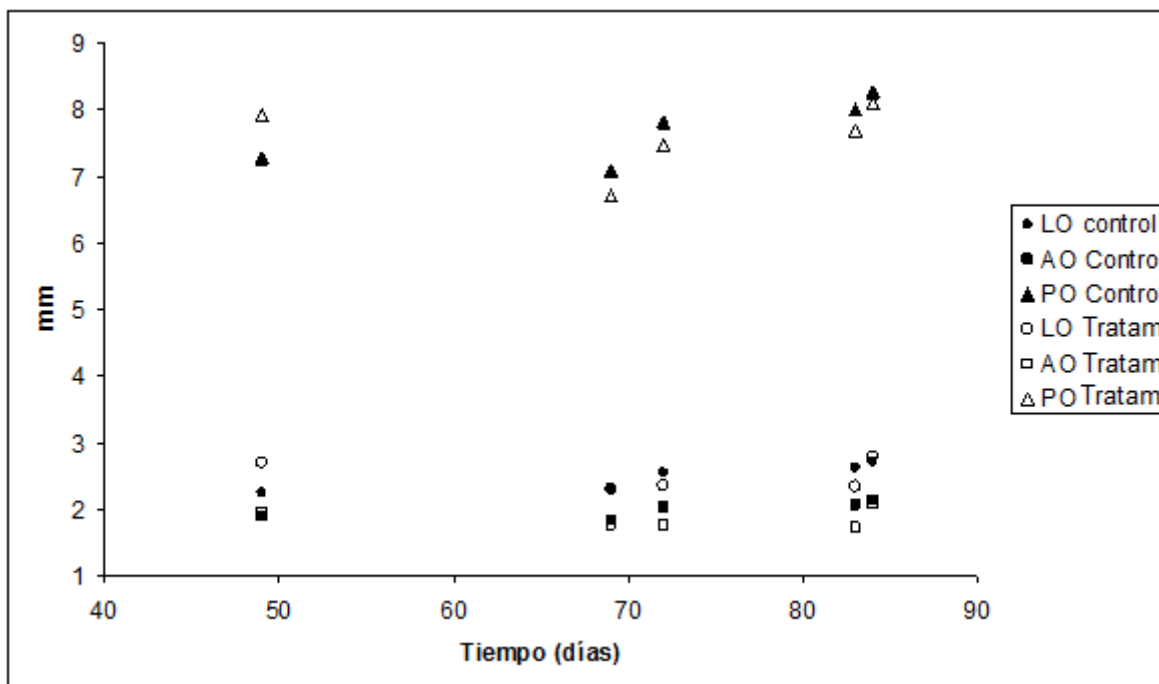


Figura 26: Variables morfométricas de la *sagitta* de *C. dimerus* durante el experimento. LO: longitud máxima del otolito, AO: ancho máximo del otolito, PO: perímetro del otolito.

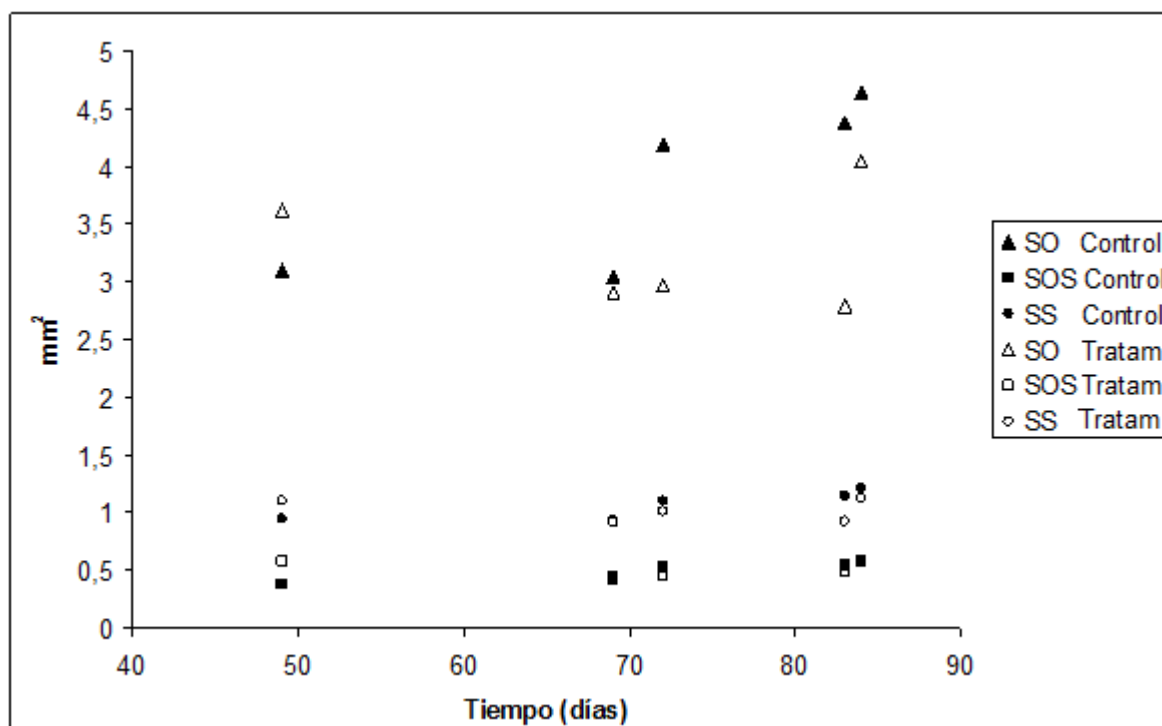


Figura 27: Superficie del otolito (SO), del *ostium* (SOS) y del *sulcus* (SS) de *C. dimerus* durante el experimento.

La composición química de los otolitos de *A. facetus* presentó un 99% de su peso en carbonatos y trazas de los siguientes elementos: Mg, Mn, Sr y Zn. El Cd, Cr, Cu y Pb en los otolitos estuvieron en concentraciones menores al límite de detección¹.

La relación entre los elementos determinados y el calcio en *A. facetus* se presenta en las figuras 28 a 31.

Las relaciones Mn/Ca y Zn/Ca son las menores difiriendo aproximadamente en dos órdenes de magnitud con la relación Mg/Ca y en tres órdenes de magnitud con la relación Sr/Ca.

La relación Mg/Ca presentó un rango entre 41,25 y 52,18 $\mu\text{m}/\text{moles}$ de Ca para los individuos expuestos a altos niveles de salinidad (13 g l^{-1}) y de 19,19 y 24,27 $\mu\text{m}/\text{moles}$ de Ca para los individuos del control. La experiencia evidencia que a lo largo de los 190 días la relación Mg/Ca presenta una tendencia al incremento tanto en los otolitos de los individuos del tratamiento como los individuos del control. Sin embargo los individuos tratados presentaron una relación Mg/Ca en sus otolitos que es aproximadamente el doble de los individuos del control (Figura 28).

¹ (Límites de detección: Cd: $4 \mu\text{g l}^{-1}$, Cr: $5 \mu\text{g l}^{-1}$, Cu: $5 \mu\text{g l}^{-1}$, Mg: $10 \mu\text{g l}^{-1}$, Mn: $5 \mu\text{g l}^{-1}$, Pb: $12 \mu\text{g l}^{-1}$, Sr: $5 \mu\text{g l}^{-1}$ y Zn: $8 \mu\text{g l}^{-1}$).

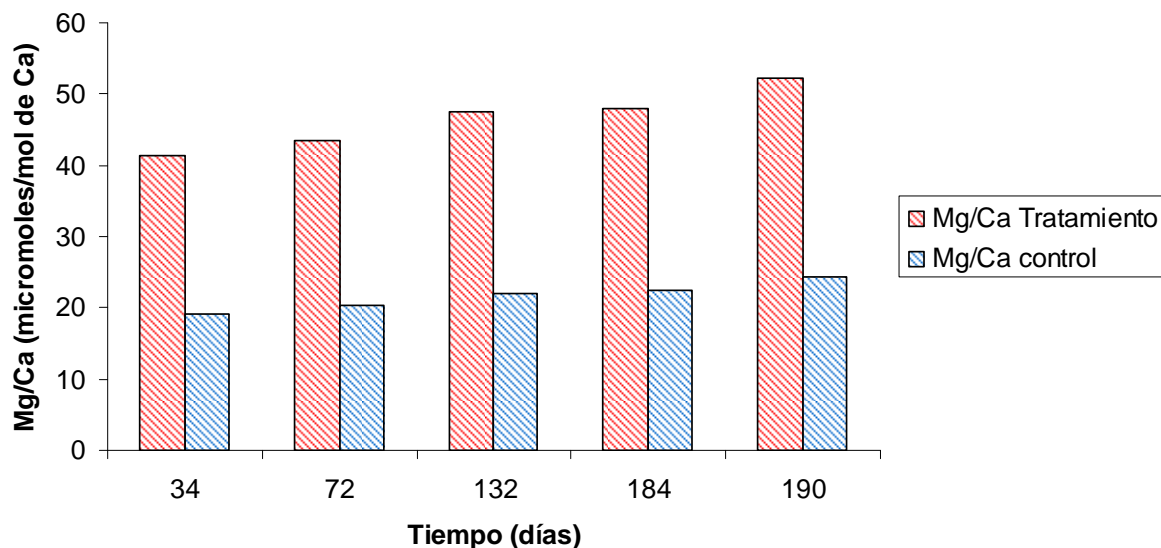


Figura 28: Relación Mg/Ca en otolitos de *A. facetus* en el tratamiento y en el control, a lo largo del experimento.

La relación Mn/Ca en los otolitos de *A. facetus* posee un rango entre 1,65 y 2,12 $\mu\text{m}/\text{moles}$ de Ca para los individuos del tratamiento y de entre 0,70 y 0,90 $\mu\text{m}/\text{moles}$ de Ca para los individuos del control. Nuevamente se evidencia que a lo largo del experimento la relación Mn/Ca presenta una tendencia al incremento en los otolitos de los individuos sometidos al tratamiento y en los del control. Sin embargo los valores de la relación Mn/Ca de los individuos criados a una salinidad de 13 g l^{-1} es aproximadamente el doble que las de los individuos del control (Figura 29).

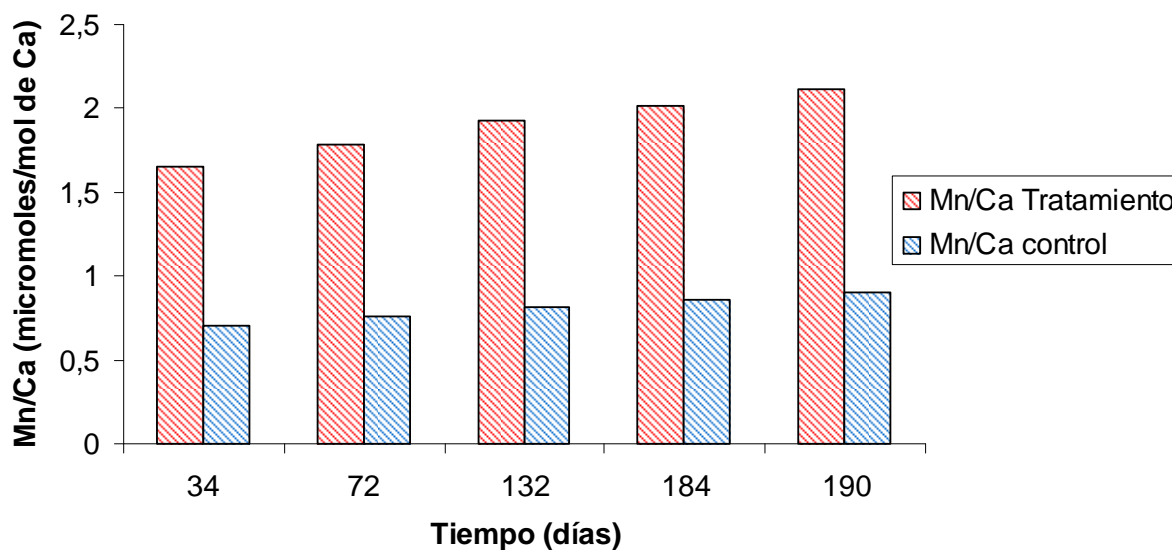


Figura 29: Relación Mn/Ca en otolitos de *A. facetus* en el tratamiento y en el control, a lo largo del experimento.

En los otolitos de *A. facetus*, la relación Sr/Ca posee un rango entre 723 y 1015 $\mu\text{m}/\text{moles}$ de Ca para los individuos del tratamiento y de entre 336 y 472 $\mu\text{m}/\text{moles}$ de Ca para los individuos del control. La experiencia evidencia que a lo largo de los 190 días la relación Sr/Ca aumenta en los otolitos de los individuos sometidos al tratamiento y los del control. Sin embargo los individuos del tratamiento presentaron una relación Sr/Ca en sus otolitos de aproximadamente el doble de los individuos del control (Figura 30).

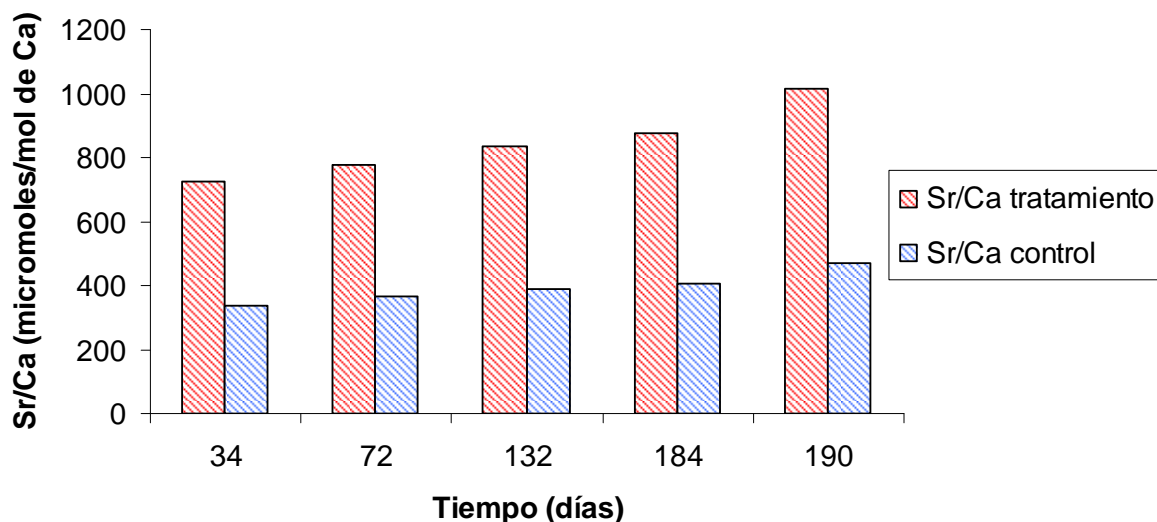


Figura 30: Relación Sr/Ca en otolitos de *A. facetus* en el tratamiento y en el control, a lo largo del experimento.

La relación Zn/Ca presentó un rango entre 0,234 y 0,834 $\mu\text{m}/\text{moles}$ de Ca para los individuos del tratamiento y de entre 0,202 y 0,464 $\mu\text{m}/\text{moles}$ de Ca para los individuos del control. A diferencia de lo que ocurrió con los otros elementos, la relación Zn/Ca decrece en los otolitos de los individuos del tratamiento y del control durante el experimento. Los individuos del tratamiento tienen una relación Zn/Ca en sus otolitos de aproximadamente el doble que la de los individuos del control hasta los 72 días, esta diferencia disminuye con el tiempo, siendo escasa al finalizar la experiencia (Figura 31).

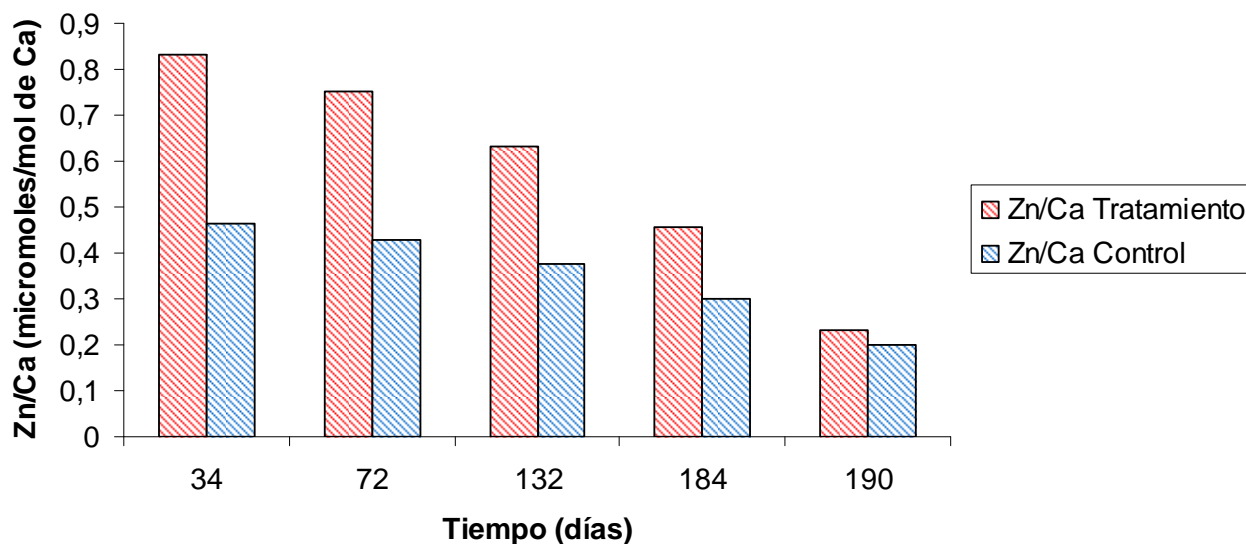


Figura 31: Relación Zn/Ca en otolitos de *A. facetus* en el tratamiento y en el control a lo largo del experimento.

Los coeficientes de distribución de los diferentes elementos traza entre el otolito y el agua de los tratamientos realizados en *A. facetus* se presentan en la tabla 10.

Relación en el Otolito (media ± DE)		Relación en el Agua (media ± DE)		Coeficiente de distribución	
				Tratamiento	Control
Sr/Ca Tratam	Sr/Ca control	Sr/Ca Tratam	Sr/Ca control	$D = (Sr/Ca)_{otolito} / (Sr/Ca)_{agua}$	
845,4 ±110,837	393,212±51,566	7490±25,32	2894±23,41	0,112	0,136
Mn/Ca Tratam	Mn/Ca control	Mn/Ca Tratam	Mn/Ca control	$D = (Mn/Ca)_{otolito} / (Mn/Ca)_{agua}$	
1,9002±0,184	0,8082±0,078	27,77±1,28	11,894±0,87	0,068	0,067
Mg/Ca Tratam	Mg/Ca control	Mg/Ca Tratam	Mg/Ca control	$D = (Mg/Ca)_{otolito} / (Mg/Ca)_{agua}$	
46,5032±4,232	21,629±1,968	349,57±22,783	159,28±10,254	0,133	0,136
Zn/Ca Tratam	Zn/Ca control	Zn/Ca Tratam	Zn/Ca control	$D = (Zn/Ca)_{otolito} / (Zn/Ca)_{agua}$	
0,5826±0,241	0,354±0,105	4,48±0,18	3,15±0,19	0,130	0,112

Tabla 10: Relaciones entre las concentraciones de los diferentes elementos presentes en los otolitos y en el agua para *A. facetus* en el tratamiento y en el control.

Los coeficientes de distribución de los elementos tanto en el tratamiento como en el control fueron similares. Las relaciones Sr/Ca, Mg/Ca y Zn/Ca en el agua son aproximadamente 10 veces mayores que en el otolito, en cambio para la relación Mn/Ca es de siete veces aproximadamente.

En *C. dimerus* la composición química de los otolitos presentó un 99% de su peso en carbonatos y trazas de los siguientes elementos: Mg, Mn, Sr y Zn. El Cd, Cr, Cu y Pb en los otolitos estuvieron en concentraciones menores al límite de detección.

La relación entre los elementos determinados y el calcio a lo largo del experimento se presenta en las figuras 32 a 35.

Las relaciones Mn/Ca y Zn/Ca fueron las menores difiriendo aproximadamente en dos órdenes de magnitud con la relación Mg/Ca y en tres órdenes de magnitud con la relación Sr/Ca.

La relación Mg/Ca presentó un rango entre 39,23 y 49,78 $\mu\text{m} / \text{moles de Ca}$ para los individuos del tratamiento y de 18,72 y 23,75 $\mu\text{m} / \text{moles de Ca}$ para los individuos del control. La experiencia evidencia que a lo largo de los 84 días la relación Mg/Ca presenta una tendencia al incremento tanto en los otolitos de los individuos sometidos a al tratamiento como los individuos del control. Sin embargo los individuos del tratamiento mostraron una relación Mg/Ca en sus otolitos de aproximadamente el doble que la que presentan los individuos del control (Figura 32).

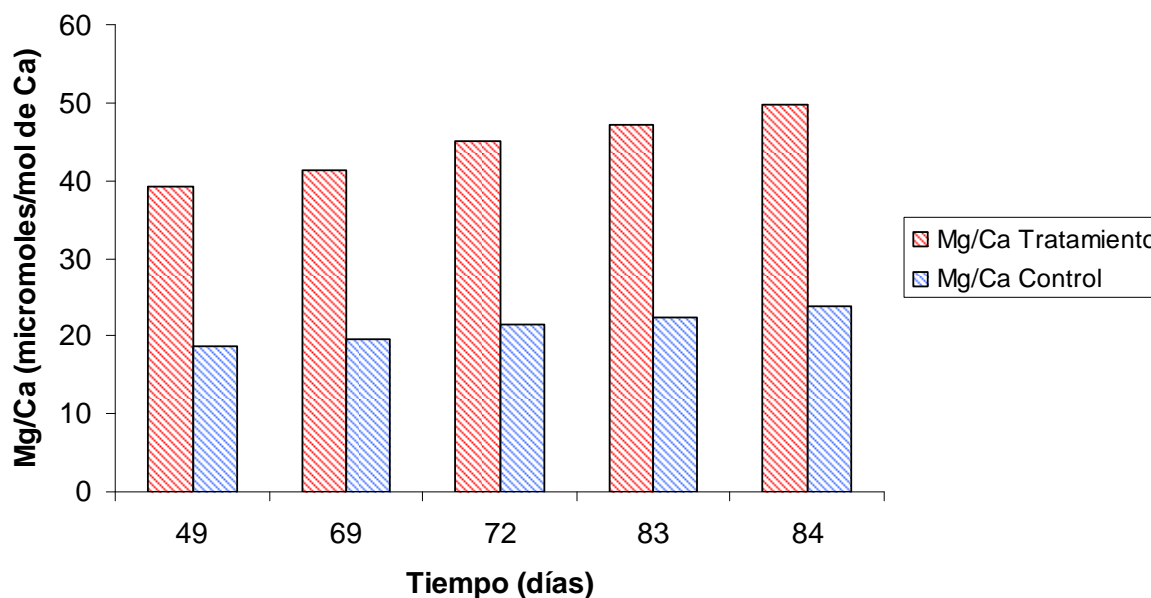


Figura 32: Relación Mg/Ca en otolitos de *C. dimerus* en el tratamiento y en el control a lo largo del experimento.

La relación Mn/Ca en los otolitos de *C. dimerus* mostró un rango entre 1,62 y 2,08 μm /moles de Ca para los individuos del tratamiento y de entre 0,79 y 1,03 μm /moles de Ca para los individuos del control. La experiencia evidencia que a lo largo de los 84 días la relación Mn/Ca presenta una tendencia al incremento en los otolitos de los individuos sometidos a al tratamiento y los del control. Sin embargo los valores de la relación Mn/Ca de los individuos criados a una salinidad e 13 g l^{-1} es aproximadamente el doble que las de los individuos del control (Figura 33).

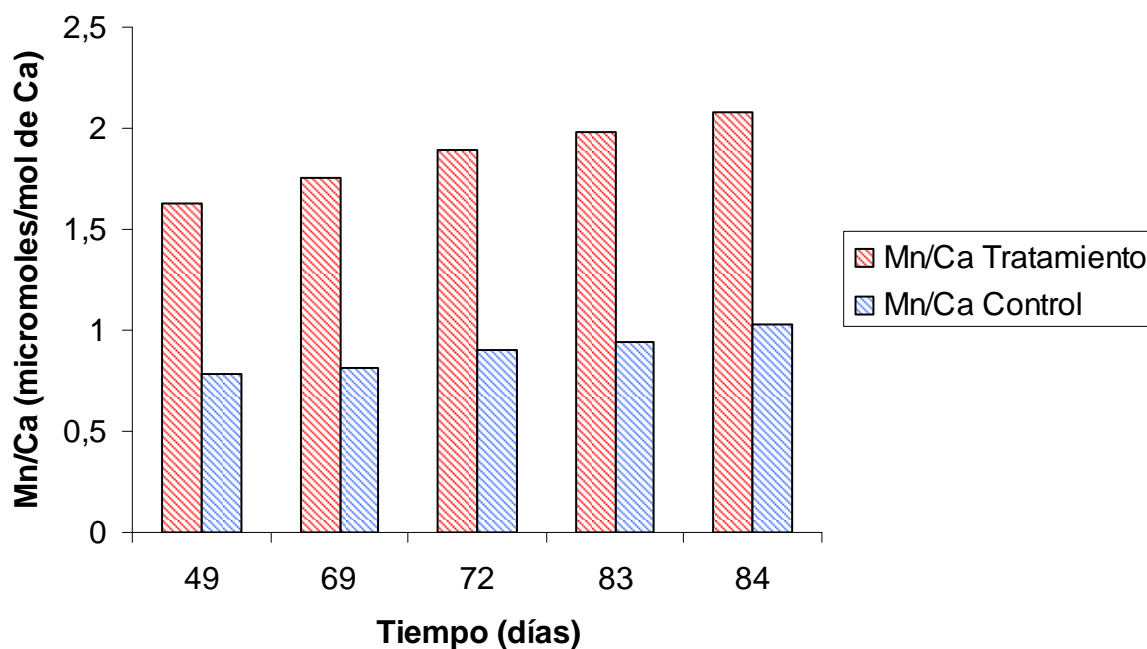


Figura 33: Relación Mn/Ca en otolitos de *C. dimerus* en el tratamiento y en el control a lo largo del experimento.

La relación Sr/Ca presentó un rango entre 754 y 912 $\mu\text{m}/\text{moles}$ de Ca para los individuos del tratamiento y de entre 359 y 463 $\mu\text{m}/\text{moles}$ de Ca para los individuos del control. Durante el experimento la relación Sr/Ca aumenta en los otolitos de los individuos sometidos al tratamiento y los del control. Sin embargo los individuos del tratamiento tiene una relación Sr/Ca en sus otolitos de aproximadamente el doble de los individuos del control (Figura 34).

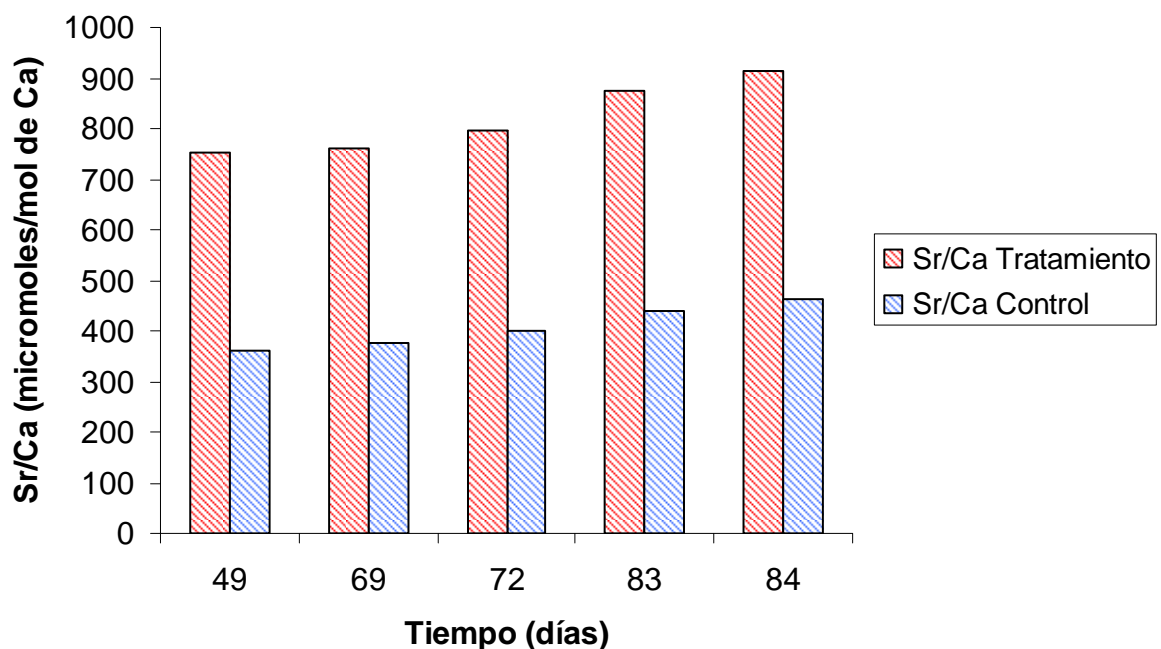


Figura 34: Relación Sr/Ca en otolitos de *C. dimerus* en el tratamiento y en el control a lo largo del experimento.

La relación Zn/Ca posee un rango entre 0,348 y 0,814 μm /moles de Ca para los individuos del tratamiento y de entre 0,388 y 0,164 micromoles /moles de Ca para los individuos del control. La experiencia evidencia que a lo largo de los 84 días la relación Zn/Ca decrece tanto en los otolitos de los individuos del tratamiento y del control. Los individuos del tratamiento tiene una relación Zn/Ca en sus otolitos de aproximadamente el doble de los individuos del control. (Figura 35).

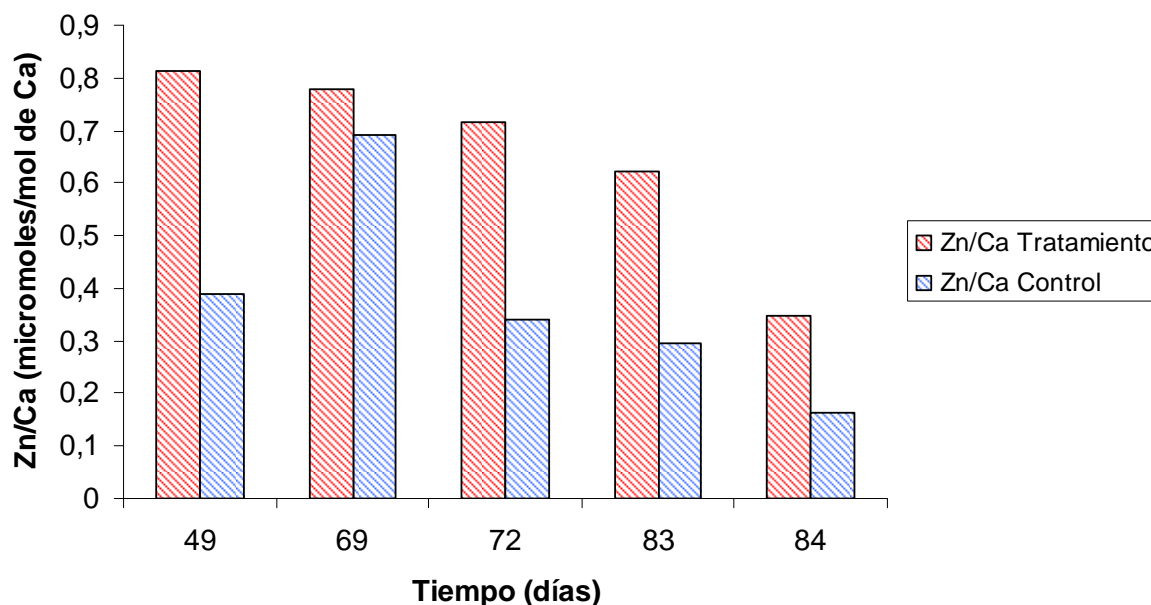


Figura 35: Relación Zn/Ca en otolitos de *C. dimerus* en el tratamiento y en el control a lo largo del experimento.

Los coeficientes de distribución de los diferentes elementos traza entre el otolito y el agua de los tratamientos realizados en *C. dimerus* se presentan en la tabla 11.

Relación en el Otolito (media ± DE)		Relación en el Agua (media ± DE)		Coeficiente de distribución	
				Tratamiento	Control
Sr/Ca Tratam	Sr/Ca control	Sr/Ca Tratam	Sr/Ca control	$D = (Sr/Ca)_{otolito} / (Sr/Ca)_{agua}$	
819,6 ±69,412	406,84±39,372	7359±15,789	3587±13,457	0,111	0,113
Mg/Ca Tratam	Mg/Ca control	Mg/Ca Tratam	Mg/Ca control	$D = (Mg/Ca)_{otolito} / (Mg/Ca)_{agua}$	
44,552±3,604	21,244±1,702	475,89±22,75	258,56±10,224	0,093	0,082
Mn/Ca Tratam	Mn/Ca control	Mn/Ca Tratam	Mn/Ca control	$D = (Mn/Ca)_{otolito} / (Mn/Ca)_{agua}$	
1,864±0,138	0,894±0,087	28,79±1,28	13,57±0,871	0,064	0,065
Zn/Ca Tratam	Zn/Ca control	Zn/Ca Tratam	Zn/Ca control	$D = (Zn/Ca)_{otolito} / (Zn/Ca)_{agua}$	
0,655±0,190	0,376±0,225	4,58±0,07	3,15±0,092	0,146	0,119

Tabla 11: Relaciones entre las concentraciones de los diferentes elementos presentes en los otolitos de *C. dimerus* y en el agua en el tratamiento y en el control.

Los coeficientes de distribución de los elementos tanto en el tratamiento como en el control fueron similares. La relación Sr/Ca y Mg/Ca en el agua es aproximadamente diez veces más que en el otolito, en cambio para la relación Mn/Ca es de seis veces aproximadamente. La relación Zn/Ca en el agua es aproximadamente 12 veces mayor que la que presenta el otolito tanto en el tratamiento como en el control.

3.5.3- Variaciones del otolito en relación con la dureza del agua en condiciones de laboratorio

Los otolitos *sagittae* de *Australoheros facetus* criados en aguas de diferente dureza no presentan variaciones morfológicas durante los 258 días del experimento.

La Lst de *Australoheros facetus* de los ejemplares criados en agua moderadamente dura (165 mg l⁻¹ de CaCO₃) y muy dura (475 mg l⁻¹ de CaCO₃) no presentaron diferencias (Figura 36).

Las variables morfométricas, LO y AO, registradas en el otolito de ejemplares criados en los dos tipos de agua no mostraron diferencias relevantes (<1 mm) (Figura 36).

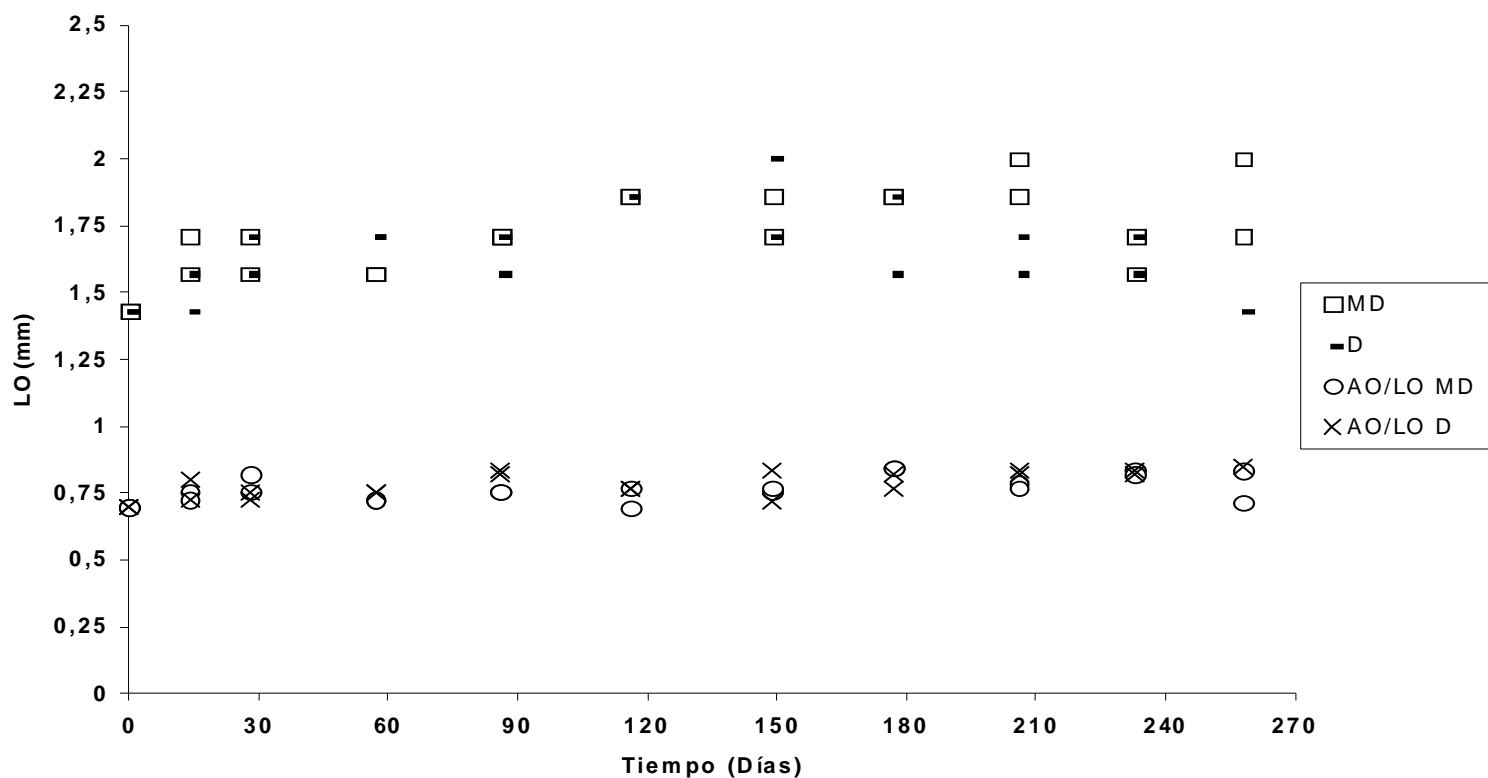


Figura 36: Tiempo de exposición (en días) vs el índice AO/LO (ancho y largo del otolito, en mm) de los dos acuarios de experimentación, datos representados por debajo del valor 1, por encima de este valor representa el Tiempo vs. LO (largo otolito). Cada símbolo representa un ejemplar (un total de 4 por día de extracción, 2 de agua dura y 2 de agua blanda), en los casos donde no se observan los 4 símbolos se debe a que hay superposición de valores. MD: agua moderadamente dura, D: agua muy dura.

La composición química de los otolitos de *Australoheros facetus* presentaron los siguientes elementos traza: Mg, Mn, Sr y Zn. El Cd, Cr, Cu y Pb en los otolitos estuvieron en concentraciones menores al límite de detección. La composición química de los otolitos difirió en relación a los días del experimento y a la diferente calidad de agua.

La relación entre los elementos determinados y el calcio durante el experimento se presenta en las figuras 37 a 40.

Las relaciones Mn/Ca y Zn/Ca son las menores difiriendo aproximadamente en

dos órdenes de magnitud con la relación Mg/Ca y en tres órdenes de magnitud con la relación Sr/Ca.

La relación Mg/Ca posee un rango entre 38,34 y 46,52 $\mu\text{moles/moles}$ de Ca para los otolitos de los individuos criados en aguas moderadamente duras, mientras que los otolitos de los individuos criados en aguas muy duras presentaron una relación entre 39,4 y 117,5 $\mu\text{moles/moles}$ de Ca. La experiencia evidencia que a lo largo de los 258 días, la relación Mg/Ca presenta una tendencia al incremento en los otolitos de los individuos sometidos a aguas muy duras mientras que en las aguas MD se mantiene constantes. Sin embargo a partir del día 86 la relación Mg/Ca de los otolitos de los peces criados en agua muy dura aumenta en forma curvilínea alcanzando más del doble del valor (aproximadamente 140%) al finalizar la experiencia (Figura 37).

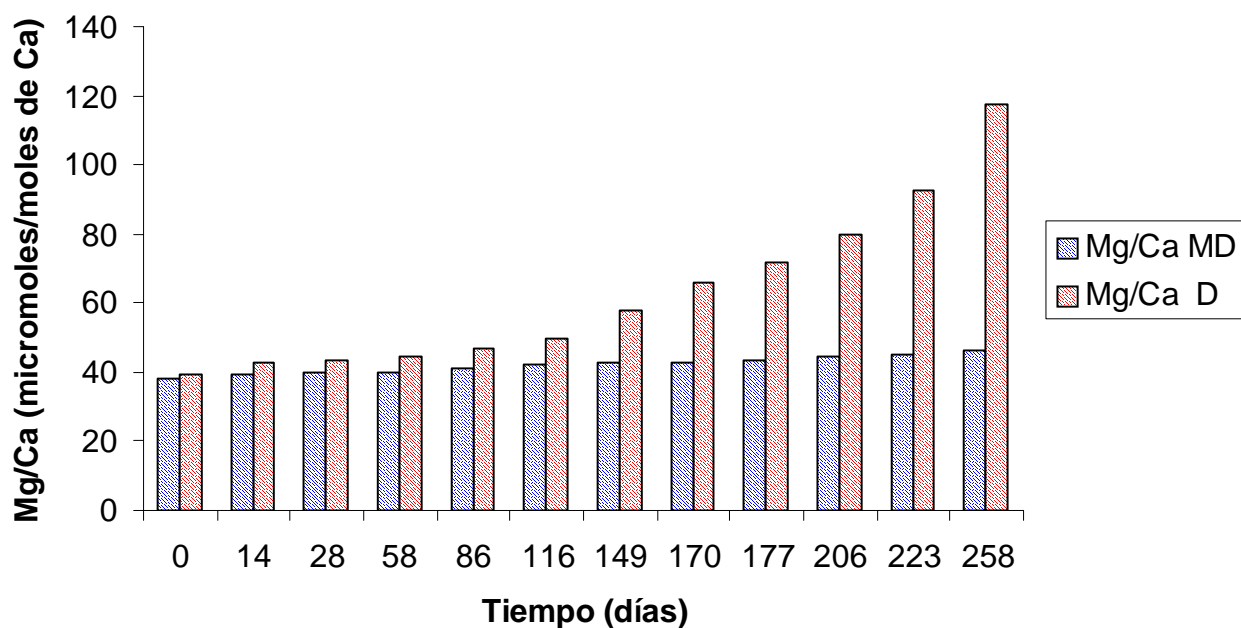


Figura 37: Relación Mg/Ca en otolitos de *A. facetus* en ambos tratamientos a lo largo del experimento (MD: moderadamente dura; D: muy Dura).

La relación Mn/Ca en los otolitos de individuos criados en agua muy dura mostró un rango entre 0,75 y 2,37 $\mu\text{moles/moles}$ de Ca, mientras que en los otolitos de los peces criados en agua moderadamente dura resultó entre 0,72 y 1,81 $\mu\text{moles/moles}$ de Ca. La experiencia evidencia que a lo largo de los 258 días la relación Mn/Ca se incrementó en los otolitos de los peces criados en agua con ambos tipos de dureza. Sin embargo, a partir de los 28 días la relación Mn/Ca en los otolitos de los peces criados en agua muy dura se incrementó de manera marcada alcanzando al finalizar la experiencia un valor medio 25% mayor que el correspondiente al agua moderadamente dura (Figura 38).

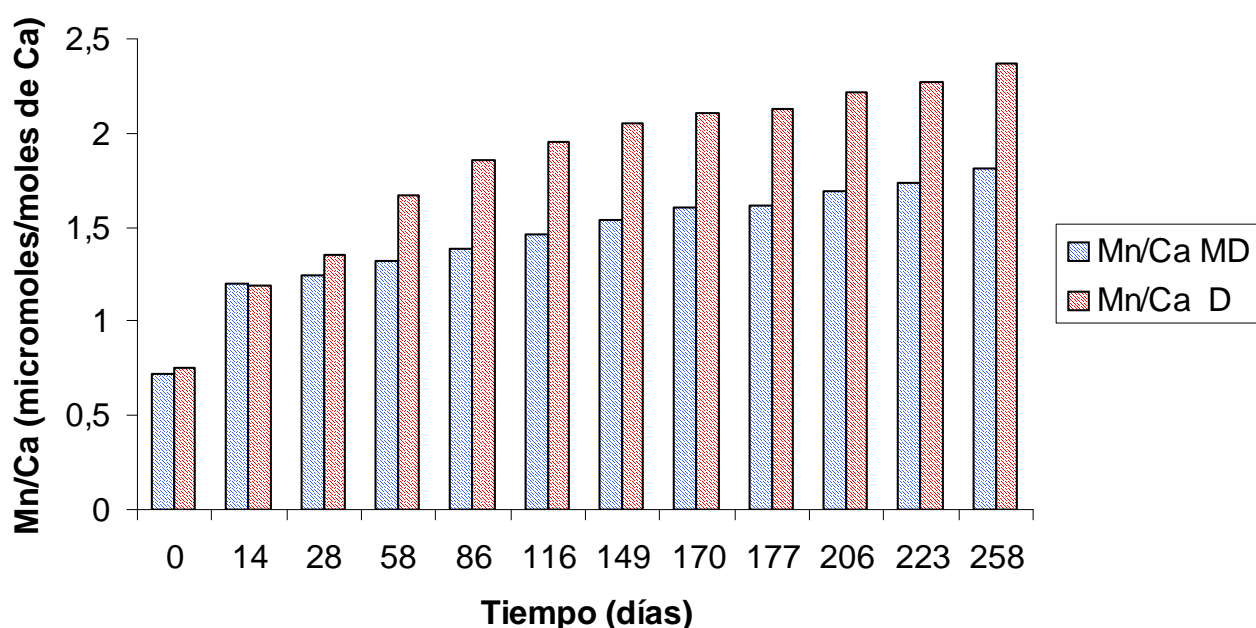


Figura 38: Relación Mn/Ca en otolitos de *A. facetus* en ambos tratamientos a lo largo del experimento (MD: moderadamente dura; D: muy Dura).

Con respecto a la relación Sr/Ca, la misma presentó un rango entre 299,78 y 478,26 $\mu\text{moles/moles}$ de Ca para los individuos criados en agua moderadamente dura

y de 300,15 a 1014,23 $\mu\text{moles/moles}$ de Ca para los individuos criados en agua muy dura. Durante el transcurso del experimento, dicha relación aumentó de forma marcada en los otolitos de los peces criados en agua muy dura, alcanzando al final del experimento el doble del valor que en los otolitos de los peces criados en agua moderadamente dura (Figura 39).

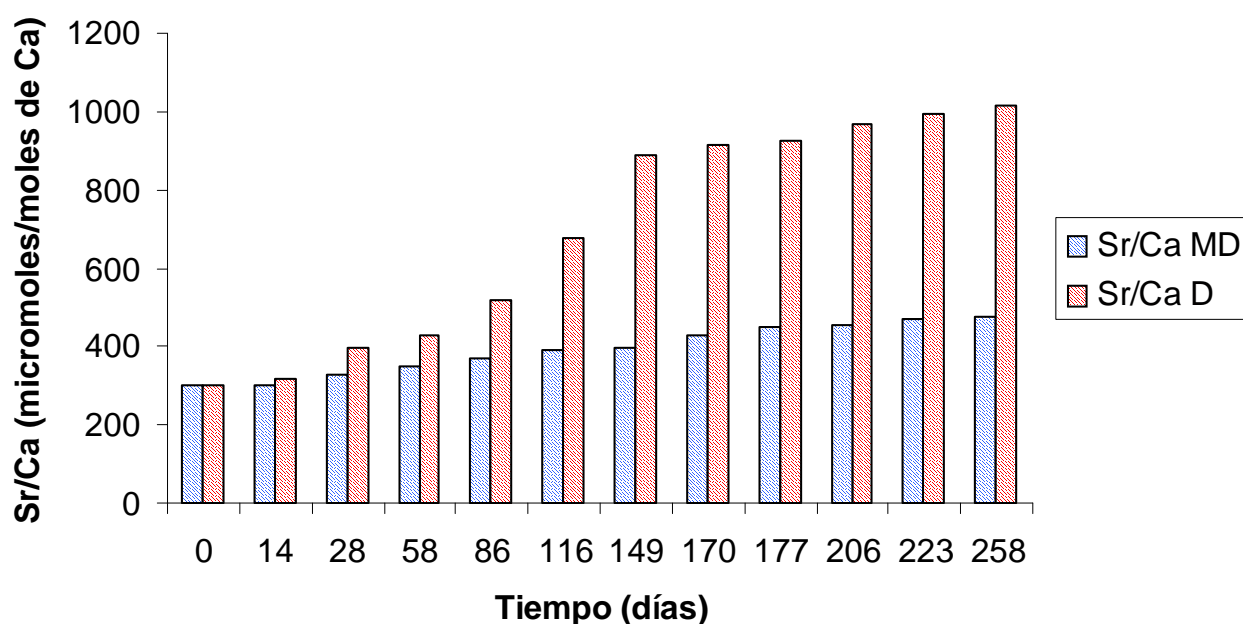


Figura 39: Relación Sr/Ca en otolitos de *A. facetus* en ambos tratamientos a lo largo del experimento (MD: moderadamente dura; D: muy Dura).

La relación Zn/Ca posee un rango similar en ambos tratamientos: entre 0,240 y 0,478 $\mu\text{moles/moles}$ de Ca para los otolitos de los individuos criados en agua moderadamente dura y de 0,254 a 0,498 $\mu\text{moles/moles}$ de Ca para los otolitos de los individuos criados en agua muy dura. La experiencia evidencia que la relación Zn/Ca

decrece en los otolitos de los individuos de ambos tratamientos haciéndose más notorio a partir del día 116 de la experiencia. En los otolitos de los peces criados en aguas muy duras, a partir del día 149 la relación Zn/Ca se mantiene constante con un valor mayor (15 a 20%) a los otolitos de los peces criados en agua moderadamente dura (Figura 40).

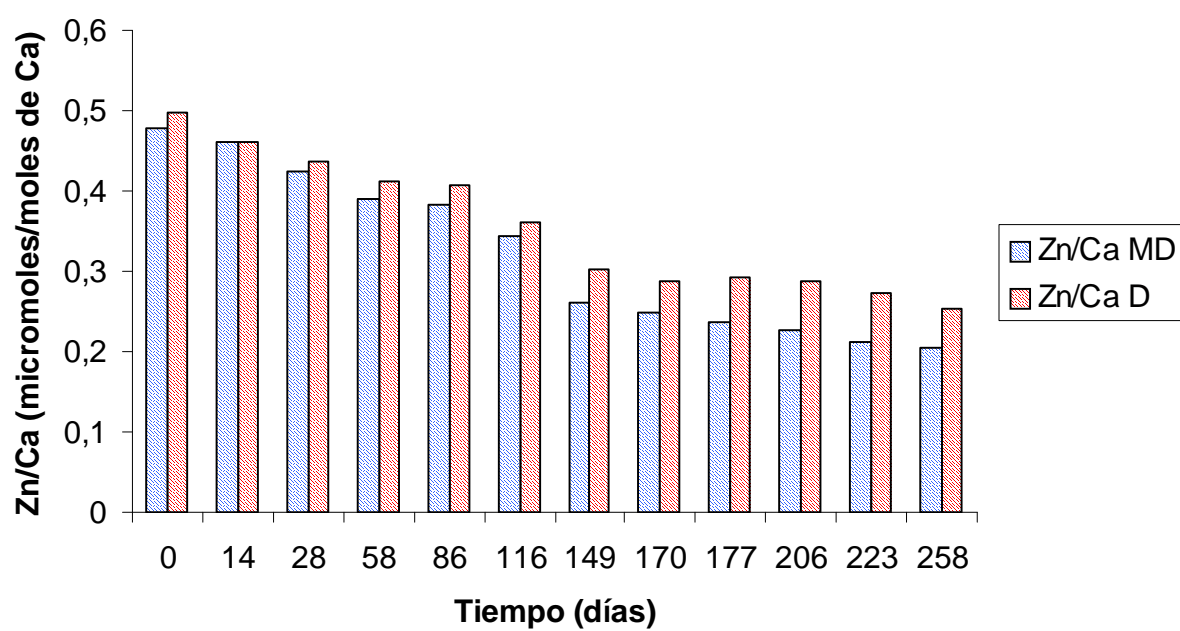


Figura 40: Relación Zn/Ca en otolitos de *A. facetus* en ambos tratamientos a lo largo del experimento (MD: moderadamente dura; D: muy Dura).

Los coeficientes de distribución de los diferentes elementos traza entre el otolito y el agua de los tratamientos realizados en *A. facetus* se presentan en la tabla 12.

Relación en el Otolito (media ± DE)		Relación en el Agua (media ± DE)		Coeficiente de distribución	
				Agua muy Dura (D)	Agua Moderadamente Dura (MD)
Sr/Ca D	Sr/Ca MD	Sr/Ca D	Sr/Ca MD	D = (Sr/Ca)_{otolito} / (Sr/Ca)_{agua}	
392,26 ±64,26	695,36±285,01	6210,24±15,35	2994±23,41	0,11	0,13
Mn/Ca D	Mn/Ca MD	Mn/Ca D	Mn/Ca MD	D = (Mn/Ca)_{otolito} / (Mn/Ca)_{agua}	
1,83±0,496	1,44±0,30	26,10±1,37	21,94±0,67	0,07	0,065
Mg/Ca D	Mg/Ca MD	Mg/Ca D	Mg/Ca MD	D = (Mg/Ca)_{otolito} / (Mg/Ca)_{agua}	
62,65±13,42	41,83±1,06	380,30±9,36	417,64±12,78	0,11	0,15
Zn/Ca D	Zn/Ca MD	Zn/Ca D	Zn/Ca MD	D = (Zn/Ca)_{otolito} / (Zn/Ca)_{agua}	
0,36±0,08	0,32±0,10	3,57±0,16	3,15±0,19	0,09	0,10

Tabla 12: Relaciones entre las concentraciones de los diferentes elementos presentes en los otolitos de *A. facetus* y en el agua de ambos tratamientos.

Los coeficientes de distribución de los elementos tanto en el tratamiento como en el control son similares. Las relaciones Sr/Ca, Mg/Ca y Zn/Ca en el agua son aproximadamente 10 veces mayores que en el otolito, en cambio la relación Mn/Ca es de siete veces aproximadamente.

Lo observado en este experimento indicaría que la dureza del agua no influye sobre la morfología y morfometría de los otolitos de los peces criados en dicho ambiente, pero si sobre su composición química.

3.6- Relaciones entre la morfología del otolito, la silueta del pez, la morfología de la aleta caudal y la capacidad de natación en distintas especies dulceacuícolas.

La morfología del otolito de los cíclidos estudiados se ve reflejada en la silueta del pez, la forma de la aleta caudal y la capacidad de natación (Figura 41).

En las especies cuyos otolitos son de forma circular a oblonga (*Cichlasoma dimerus*, *Gymnogeophagus meridionalis*, *G. balzanii*, *A. facetus*), los valores de la relación Lst/AC son menores a 3,5 coincidiendo con la forma orbicular de la silueta del cuerpo y aletas caudales redondeadas (Tabla 13).

Los peces que poseen otolitos alargados (Genero *Crenicichla*) poseen una relación Lst/AC mayor a 3,5 y corresponden a especies con siluetas elongadas (Figura 41) y aletas caudales redondeadas a sublanceoladas (Tabla 13).

La morfología de las aletas caudales pueden ser variables (profundamente ahorquilladas a suavemente ahorquilladas y de redondeadas tendiendo a lanceoladas a directamente redondeadas) esto se observó en las diferentes especies estudiadas (Tabla 13). Los índices presentan valores que van de 0,98 a 9,116 (LO/AO) y de 2,09 a 7,98 (Lst/AC). Es de destacar que los valores más altos de LO/AO, corresponden a las sagittae de especies de Siluriformes y Characiformes (9,116) mientras que los ordenes Atheriniformes, Ciprinodontyformes y Perciformes presenten valores inferiores a 1,821.

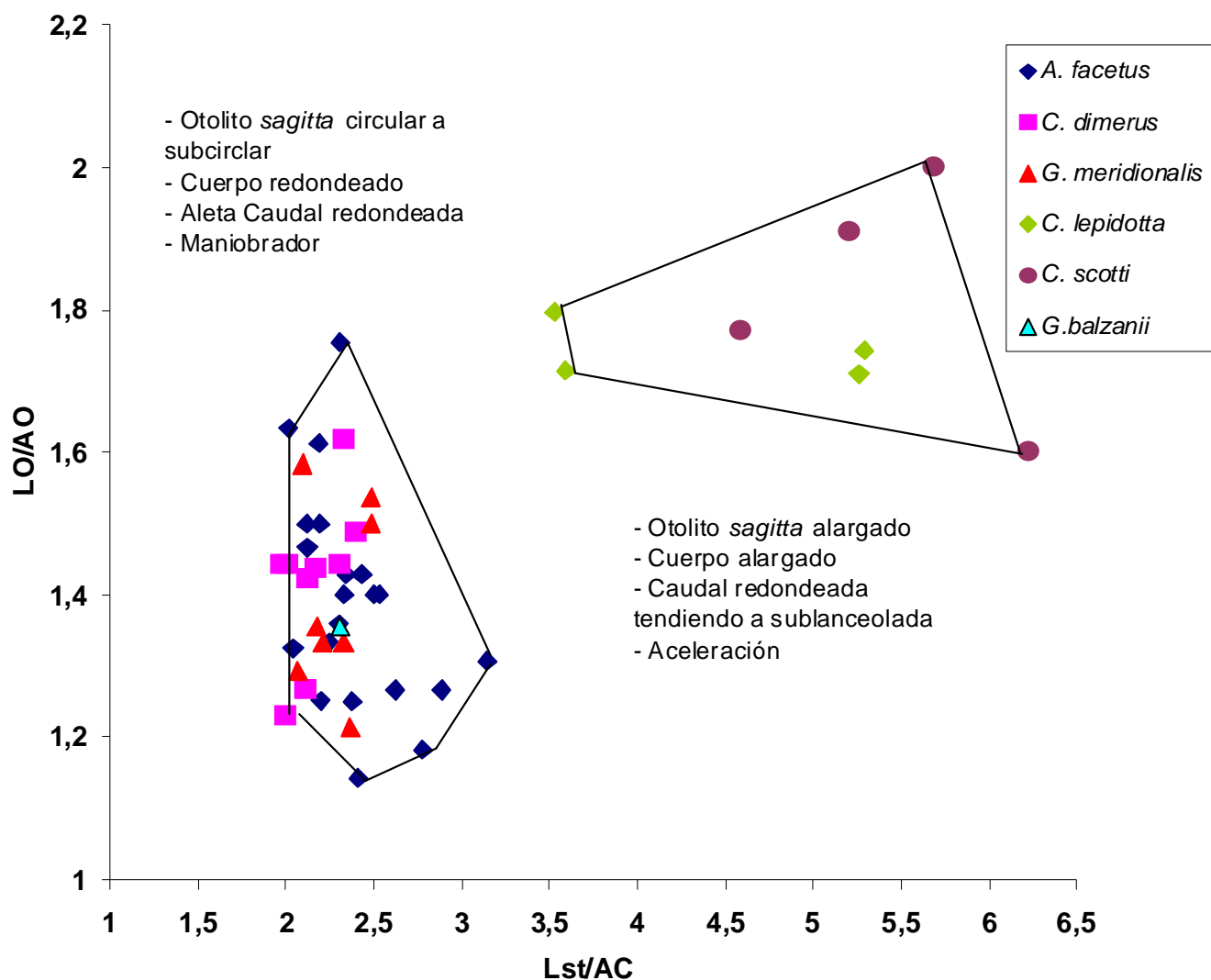


Figura 41: Diagrama de dispersión entre el índice LO/AO (largo y ancho del otolito, en mm) vs el índice Lst/AC (Longitud estándar y altura del cuerpo en mm) entre especies de la familia Cichlidae. Cada símbolo representa un ejemplar.



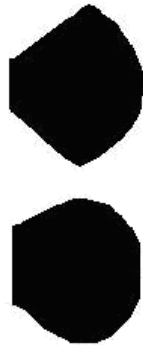
Especie	LO/AO	Lst/AC	Aleta caudal
<i>Pimelodella sp.</i>	9,116	4,975	Profundamente ahorquillada 
<i>Hypostomus sp.</i>		4,755	
<i>Pimelodus maculatus</i>		3,511	
<i>Bryconamericus sp.</i>		3,131	
<i>Astyanax sp.</i>		3,044	
<i>Cheirodon sp.</i>		2,752	
<i>Thoracocharax sp.</i>		2,093	
<i>Percichthys trucha</i>	1,751	7,981	Suavemente ahorquillada 
<i>Pantaneiro sp.</i>	1,286	6,242	
<i>Odontesthes sp.</i>	1,557	4,452	
<i>Oligosarcus jenynsii</i>	1,307	4,334	
<i>Triportheus sp.</i>	—	2,655	
<i>Pigocentrus nattereri</i>	1,286	1,892	Redondeada tendiendo a sub lanceolada 
<i>Crenicichla scottii</i>	1,821	5,417	
<i>Jenynsia lineata</i>	1,322	4,566	
<i>Crenicichla lepidotta</i>	1,741	4,418	
<i>Cnesterodon decenmaculatus</i>	0,982	4,089	
<i>Tilapia sp.</i>	1,457	2,753	
<i>Australoheros facetus</i>	1,391	2,385	
<i>Gymnogeophagus balzanii</i>	1,355	2,31	
<i>Gymnogeophagus meridionalis</i>	1,394	2,277	
<i>Cichlasoma dimerus</i>	1,422	2,15	

Tabla 13: Los índices Lst/AC (Longitud estándar y altura del cuerpo en mm) y LO/AO (largo y ancho del otolito sagitta, en mm) para 22 especies dulceacuícolas y se muestra la morfología de la aleta caudal en forma de complejidad decreciente. El índice del otolito (9,116) de Siluriformes y Characiformes se calculó a partir de la imagen de Mollo (1981).

Si analizamos la capacidad de natación mediante un diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre el Tiempo de arrastre (TA: en minutos) y la Longitud estándar (Lst: en milímetros) en velocidad mínima (6,8 cm/seg) (Figura 42) se encontró una relación positiva y significativa ($p < 0,01$) para *Gymnogeophagus meridionalis* ($R^2=0,966$), *A. facetus* ($R^2= 0,766$), y *Crenicichla sp.* ($R^2=0,949$) y datos puntuales preliminares para *Corydora sp.*, *Hypostomus sp.*, *Rhinodoras d'orbignyi* (Armado) y *Gambusia affinis*. Se puede observar que a mayor Lst le corresponden TA mayores. En dicha figura se observa comparativamente que *Crenicichla sp.* posee los valores de TA mayores, los valores obtenidos para *G. meridionalis* fueron significativamente mayores que los mencionados para ejemplares de *A. facetus* de similar Lst. El dato de *Hypostomus sp.* es muy interesante ya que muestra un tiempo de arrastre muy alto, esto se debe a que esta especie se “traba” con las pectorales y la ventosa bucal en el sustrato y no realiza movimientos de natación.

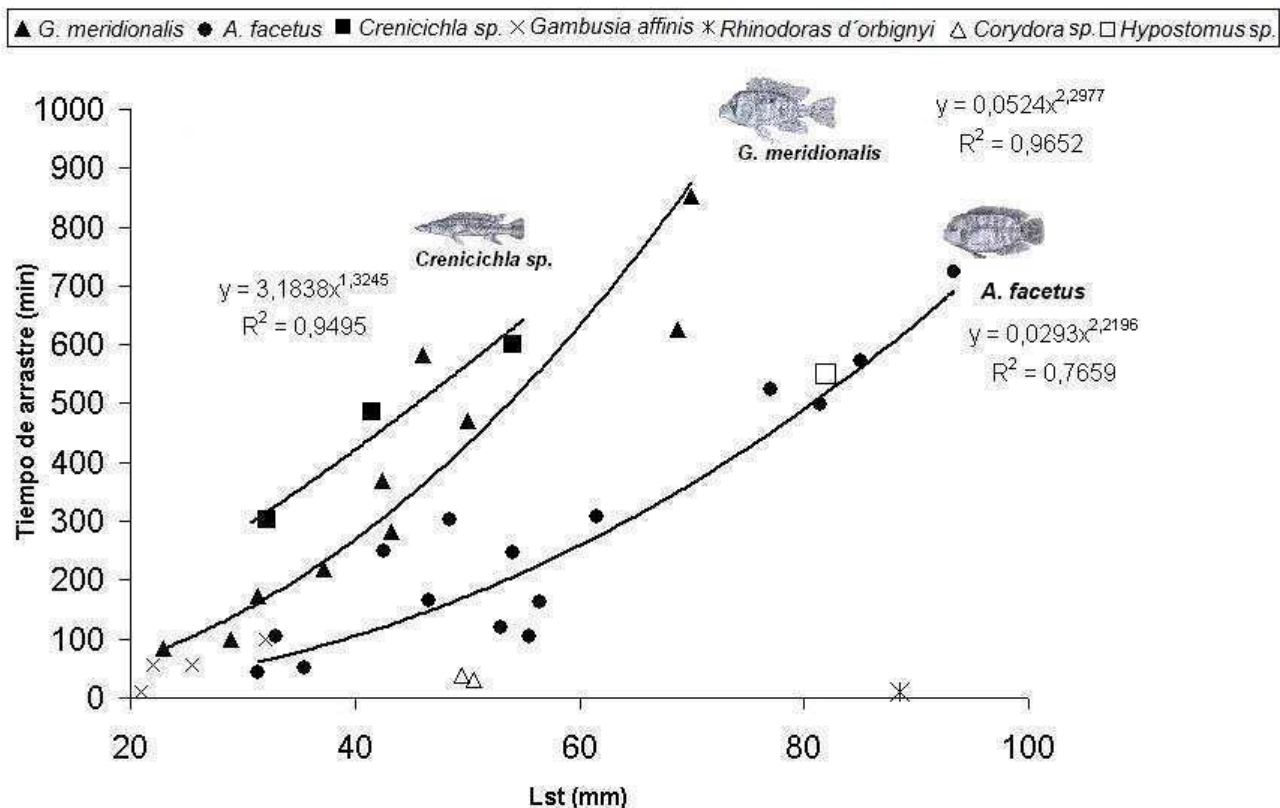


Figura 42: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre el Tiempo de arrastre (en minutos) y la Longitud estándar (en milímetros) en velocidad mínima (6,8 cm/seg) para *Gymnogeophagus meridionalis* (triángulos), *Australoheros facetus* (círculos), y *Crenicichla sp.* (cuadrados). Se presentan además datos puntuales preliminares para *Corydora sp.*, *Hypostomus sp.*, *Rhinodoras d'orbignyi* (Armado) y *Gambusia affinis*.

En la figura 43 se presenta un diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre el Tiempo de arrastre (TA: en minutos) y la Longitud estándar (Lst: en milímetros) en velocidad máxima (15,8 cm/seg). Se encontró una correlación positiva y significativa para *Crenicichla sp.* ($R^2= 0,992$), *Gymnogeophagus meridionalis* ($R^2= 0,965$), *Australoheros facetus* ($R^2= 0,945$), y se muestran algunos datos preliminares de *Cichlasoma dimerus*, *Cheirodon sp.*, *Bryconamericus sp.*, *Pimelodus sp.* (bagre amarillo), *Pigocentrus nattereri* (piraña) y *Pimelodella sp.*. Se puede observar que a mayor Lst le corresponden TA mayores. Los valores de TA obtenidos para *G. meridionalis* fueron significativamente mayores que para ejemplares de *A. facetus* de similar Lst, y menores que valores correspondientes a *Crenicichla sp.* Los tiempos de arrastre obtenidos para *Cichlasoma dimerus* son similares a la de algunos cíclidos como *Gymnogeophagus meridionalis*. Otras especies como *Pigocentrus nattereri* (piraña), *Pimelodus sp.* (bagre amarillo) y *Pimelodella sp.* muestran una capacidad de natación mayor que la de los cíclidos. En el caso de *Cheirodon sp.* y *Bryconamericus sp.* (mojarras) en las tallas estudiadas se observa que tienen una mayor capacidad de natación que los cíclidos.

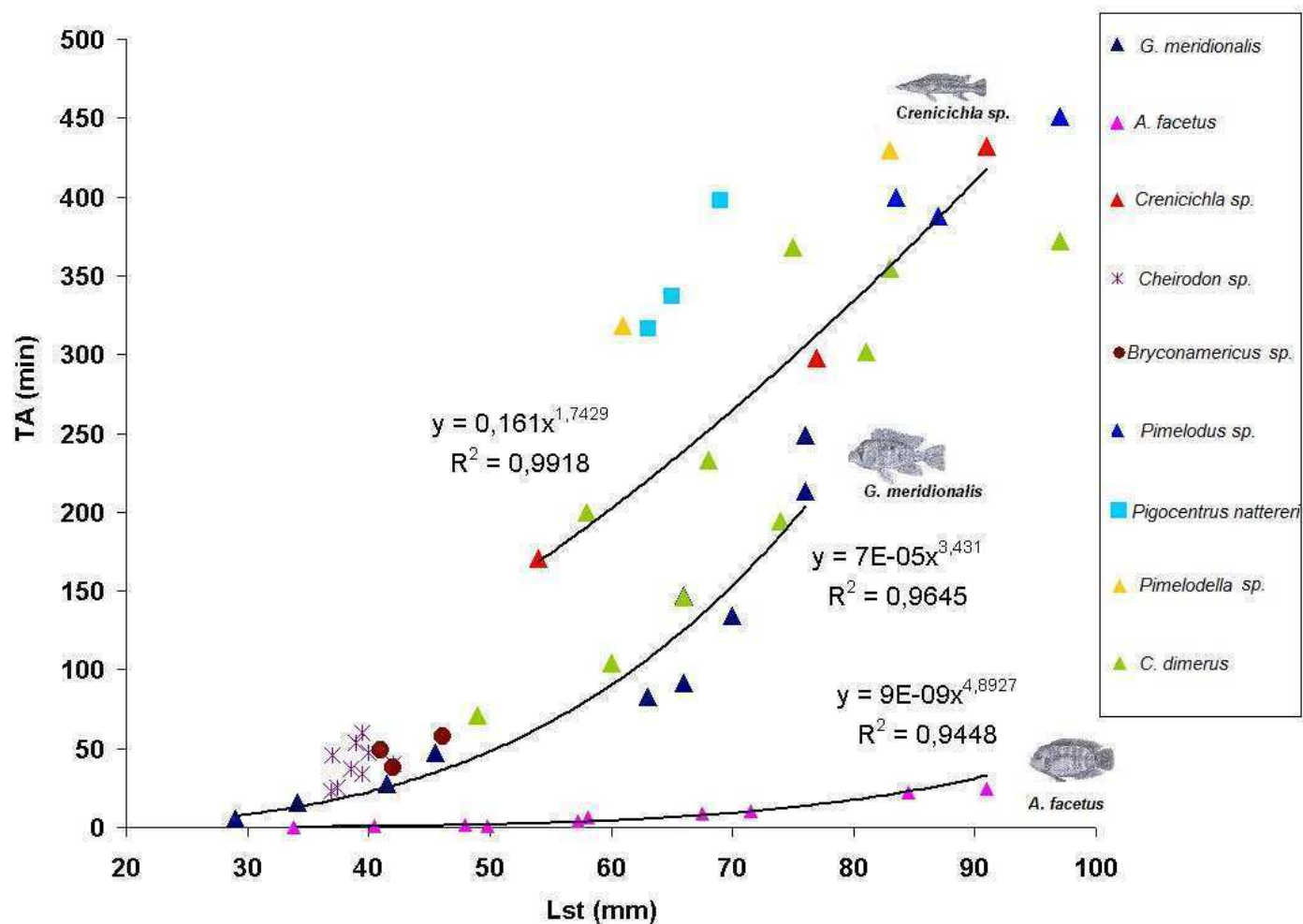


Figura 43: Diagrama de dispersión y curva de regresión multiplicativa entre el Tiempo de arrastre (TA: en minutos) y la Longitud estándar (Lst: en milímetros) en velocidad máxima ($15,8 \text{ cm seg}^{-1}$) para distintas especies dulceacuícolas.

4- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1- Morfología y morfometría de los otolitos de las especies estudiadas.

Se describe por primera vez el patrón morfológico de las *sagittae* de diferentes especies Neotropicales de la familia Cichlidae: *Cichlasoma dimerus*, *Gymnogeophagus meridionalis*, *Crenicichla lepidotta* y *C. Scotti*. En el caso de la descripción de la *sagitta* de *Australoheros facetus*, la morfología de la cara interna coincide con la descripción realizada por Mollo (1981) para especímenes de la laguna de Chascomús (35°36`S, 58°00`W), que se encuentra incluida en el sistema de las Encadenadas del Este.

Las *sagittae* de la familia Cichlidae se caracterizan por su forma alargada a circular, los bordes dorsal y ventral de forma variable, la cara interna convexa, el *sulcus* se encuentra dividido en *ostium* y *cauda*, el *ostium* posee forma de embudo. La existencia de *pseudocolliculum* anterocaudal, la cisura y el rostro son evidentes. La *cauda* es ancha, y se curva en su extremo distal hacia el borde ventral, presentando una depresión areal dorsal. La cara externa es ligeramente cóncava y posee pliegues y estrías radiales. Estos caracteres coinciden con la descripción general de la *sagitta* de la familia Cichlidae realizada por Gaemers (1984), y con la presencia de un tipo particular de *pseudocolliculum* anterocaudal que es propuesto por este autor como un carácter sinapomórfico que indica la monofilia de la familia.

El análisis morfométrico de las *sagittae* de *A. facetus* confirma que la *sagitta* derecha e izquierda, son imágenes especulares morfológicamente y morfométricamente son iguales. Esto permite utilizar indistintamente, en estudios de

ecología trófica de ictiófagos predadores de ciclidos, cualquiera de los otolitos del par. Si bien la familia Cichlidae presenta un patrón morfológico general en sus otolitos, morfométricamente cada especie posee sus particularidades. Dichas diferencias morfométricas se han hallado entre *A. facetus*, *Gymnogeophagus sp.*, *Cichlasoma sp.* y *Crenicichla sp.* La característica morfométrica distintiva más notoria es la relación entre el largo y el ancho del otolito, donde el ancho del otolito puede representar la mitad del largo como en el caso de las especies del género *Crenicichla*, *C. scotti* (44%) y *C. lepidotta* (56%) o con otolitos cuyo ancho representa más del 70% del largo como es el caso de *A. facetus* (73%), *Gymnogeophagus meridionalis* (75%) y *Cichlasoma dimerus* (79%). Estas variaciones morfométricas podrían estar asociadas a diferencias en el uso del hábitat realizado por estas especies.

4.2. Morfología y morfometría de las *sagittae* de *Australoheros facetus* durante las etapas del desarrollo

Los otolitos *sagittae* de *A. facetus* presentan variaciones morfométricas y morfológicas durante su desarrollo.

El largo y el ancho del otolito en relación a la Lst presentan una leve alometría negativa, estando el punto de inflexión a partir de los 50-60 mm de Lst. Este valor permite distinguir entre los otolitos de dos grupos de peces (los menores y los mayores a 60 mm). El área del otolito, su longitud y su perímetro contribuyen en gran medida a la discriminación entre dichos grupos. Esto se produce en parte por la presencia de una escotadura y el incremento de las irregularidades en los bordes de los otolitos del grupo cuya Lst es mayor a 60 mm (Tabla 6). Esto podría deberse a que

a partir de los 60 mm de Lst la precipitación del calcio sobre el otolito seguiría otro tipo de patrón, incrementándose la complejidad morfológica en la cara interna de la *sagitta*. Morfológicamente también se hallaron diferencias entre los otolitos de los peces con Lst menores y mayores a 60 mm. Las principales diferencias morfológicas entre ambos grupos son la terminación de la cauda siendo cerrada en las tallas menores a 60 mm y abierta en tallas mayores a 60 mm y la presencia de una escotadura en el extremo posterior en individuos mayores a 60 mm mientras que los ejemplares menores dicha escotadura se encuentra ausente. La forma general del otolito y el tipo de bordes (dorsal y ventral) también varía en ambos grupos. Las características morfológicas del otolito, que aparecen desde las etapas más tempranas del desarrollo son la presencia de un *sulcus* dividido en *ostium* y *cauda*, el *pseudocolliculum* antero-caudal, la depresión areal dorsal, el rostro y la cisura.

Las variaciones morfológicas y morfométricas observadas durante el desarrollo de *A. facetus* podrían estar asociadas principalmente a factores biológicos (madurez sexual, crecimiento) y ecológicos (tipo biológico, uso de la columna de agua). La *sagitta* de *Australoheros facetus* alcanza la forma definitiva a partir de 60 mm de Lst del pez, valor que se encuentra cercano al rango en que la especie alcanza su madurez sexual, 80-100 mm de Lst (Sterba, 1973), aunque a partir de observaciones preliminares se determinó que la talla de primera madurez sexual es variable y depende de las condiciones ambientales (Gonzalez Naya & Gómez, *com. pers.*). Por lo que los dos grupos de otolitos encontrados en este estudio, corresponderían a juveniles (<60 mm) y adultos (> 60 mm), respectivamente.

La variación observada en el desarrollo de los otolitos de *A. facetus* es una herramienta importante para evitar sobreestimar el número de componentes de la

dieta (especie-presa) de ictiófagos continentales, ya que permite identificar dos otolitos de la misma especie pero de diferentes etapas de desarrollo.

4.3- Variaciones morfológicas, morfométricas y de composición química de los otolitos ante factores ambientales extremos (altos niveles de salinidad y dureza).

La presencia y acumulación de elementos traza en las *sagittae* depende de numerosos factores (Wright, 1991; Mugiya, 1986; 1987), incluyendo la concentración de los mismos en el ambiente, la biodisponibilidad, el estado fisiológico del pez, los diferentes mecanismos que utiliza la especie para intentar “desintoxicarse” y su eficiencia, la tasa de crecimiento y la afinidad del carbonato de calcio por los elementos traza (Geffen *et al.*, 1998). En general, los elementos traza se incorporan al organismo porque sustituyen al calcio. Aún no se sabe el mecanismo de incorporación y acumulación de dichos elementos en la *sagitta*. El calcio llega al otolito a través del plasma (Wright, 1991) y esa misma ruta seguirían los elementos traza (Romanek y Gauldie, 1996). La precipitación de los elementos traza sobre la superficie del otolitos es homogénea, esto se desprende de los resultados hallados en los distintos experimentos, donde en la superficie de la cara interna no se evidenciaron diferencias significativas con los ejemplares de los testigos. Esto mismo fue observado por Volpedo (2001) en ejemplares silvestres de especies marinas.

4.3.1. Salinidad

La salinidad es uno de los factores ambientales a los que se pueden exponer los peces. En este sentido cuando los peces dulceacuícolas se exponen al agua de mar de alta salinidad se produce un shock osmótico con fuerte deshidratación, reflejada en la pérdida de peso, que puede conducir a la muerte. En estas condiciones, el tiempo de resistencia depende del tamaño del animal. La velocidad de pérdida de agua del pez se debe a la diferencia de presión osmótica, siendo los peces pequeños menos resistentes por su elevada relación superficie/volumen (Parry, 1966).

Los cíclidos junto con otras pocas familias de peces dulceacuícolas (Poeciliidae, Cyprinodontidae, Fundulidae) presentan una gran tolerancia a la salinidad. En estas familias se encuentran especies dulceacuícolas y también algunas especies estrictamente marinas. Si bien son diferentes los niveles de tolerancia a la salinidad en diferentes especies de cíclidos (Tabla 14) los mismos no son directamente comparables, debido a la variedad de tamaños corporales y metodologías empleadas, pero de estos valores se desprende que la tolerancia es elevada. Debido a esta característica, la familia ha sido categorizada dentro del grupo denominado “especies secundarias de agua dulce” (Myers, 1949; Wootton, 1998). Es por la alta tolerancia a la salinidad que Murray (2001) señala una posible dispersión oceánica para explicar su distribución actual, aunque en la actualidad las especies estén restringidas a las aguas dulces ($<1 \text{ g l}^{-1}$) y salobres ($1-10 \text{ g l}^{-1}$), y no poseen representantes marinos.

Especie	Nivel de tolerancia (g l ⁻¹)	Observaciones	Referencia
<i>Oreochromis niloticus</i>	> 30	Adaptación progresiva (E)	Avella & Doudet (1996)
<i>Oreochromis aureus</i> , <i>O. mossambicus</i> , <i>O. spirulus</i>	23,4 a 30,6	Transferencia directa (E)	Al – Amoudi (1987)
<i>Tilapia zillii</i>	23,4 a 27,3 39	Transferencia directa Adaptación progresiva (E)	Chervinsky & Hering (1973)
<i>Cichla ocellaris</i>	18	(N)	Shafland (1993)
<i>Cichlasoma biocellatum</i>	26,67	Transferencia directa (N)	Este trabajo.
<i>Cichlasoma facetum</i>	20,20	Transferencia directa (N)	Este trabajo.
<i>Cichlasoma synspilum</i>	14,5	CL50 (144 h), Juveniles (N)	Martinez Palacios <i>et al.</i> , (1996)
<i>Cichlasoma urophthalmus</i>	> 37	Juveniles a 25 °C (N)	Stauffer & Boltz (1993)
<i>Geophagus brasiliensis</i>	35	Sobrevive varias horas (N)	Haseman (1911)

Tabla 14: Niveles de tolerancia a la salinidad en algunas especies de cíclidos de distribución Etiópica (E) o Neotropical (N).

Las especies etiópicas presentan un rango de tolerancia a la salinidad muy alto, alcanzando valores mayores a 30 g l⁻¹. En las especies Neotropicales existe un rango importante de tolerancia a la salinidad (14,5 a más de 37 g l⁻¹) determinado por diferentes autores (Tabla 14). *Cichlasoma biocellatum* parece tener una limitada tolerancia a la salinidad, Dial & Wainright (1983) indican que esta especie está presente en aguas de hasta 8 g l⁻¹ y ausente en cuerpos de agua contiguas de

mayores salinidades en el condado Brevard (Florida). La población de distribución más septentrional se encuentra en Gainesville (Florida) a los 30°N (Hogg, 1976).

En Sudamérica meridional *Australoheros facetus* es muy común en lagunas pampásicas de la cuenca del río Salado con salinidades de 0,4 a 0,6 g l⁻¹ (Ringuelet, 1975). En el oeste de la pampasia, en la zona extrema de su distribución, donde el factor limitante es la temperatura (Gómez, 1996), se lo encuentra en salinidades de hasta 4,3 g l⁻¹ y está ausente a salinidades mayores a 5,02 (Tabla 15).

Localidad	Salinidad (g l ⁻¹)	Presencia Ausencia	Referencia
Lagunas Vitel y Chascomús	0,39 a 0,59	P	Gómez & Menni (1995)
Laguna de Lobos	0,37 a 2,17	P	Mariñelarena & Conzonno (1997)
Laguna Alsina (*)	0,83	P	Miquelarena & López (1995)
Laguna Cochicó (*)	1,32	P	Miquelarena & López (1995)
Lagunas en Gral. Villegas	1,34 a 4,30	P	Gómez <i>et. al.</i> (2004)
Río Salado y Ayo. Vallimanca	1,70 y 1,78	P	Miqueralena & López (1995)
Laguna Del Monte(*)	5,02	A	Miqueralena y López (1995)
Laguna Del Venado(*)	5,59	A	Miquelarena & López (1995)
Laguna el Hinojo (Trenque Lauquen)	7,27	A	López <i>et al.</i> (1991)
Laguna Epecuén (*)	24,14	A	Miquelarena & López (1995)

Tabla 15: Valores de salinidad en algunas localidades pampásicas entre los 34° y 36°S, con presencia (P) o ausencia (A) de *A. facetus*. Además se indican con (*) las lagunas que pertenecen al grupo de las Encadenadas del Oeste (36° 30'- 37° 30'S; 61° 00'- 63° 30'W), Provincia de Buenos Aires, Argentina.

El grado en el cual la tolerancia a la salinidad medida en laboratorio refleja la distribución en el campo de la biota de agua dulce es incierta (Kefford *et al.*, 2004). Si se considera el bajo valor de salinidad (0,5 – 10 g l⁻¹) de las aguas continentales de

América Neotropical (Golterman, 1975) donde habitan estos cíclidos, su alta tolerancia a la salinidad ($NLI^2 > a 20 g l^{-1}$) es un carácter fisiológico de poco o ningún valor adaptativo, por lo que esta característica de poseer un nivel letal incipiente alto, el cual supera ampliamente los límites de variación ambiental, puede ser considerada como un relicto fisiológico de sus ancestros marinos.

Los otolitos *sagittae* de especies marinas son buenos indicadores de los ambientes que los peces frecuentan (Volpedo y Echeverría, 2003; Lombarte y Cruz, 2007; Reichenbacher *et al.*, 2008; Volpedo *et al.*, 2008). Si se considera que el ambiente marino es más estable que el continental, los individuos de una misma especie que habiten aguas de diferentes características y posean otolitos con variaciones morfológicas, morfométricas y composición química pueden ser discriminados en diferentes grupos (Volpedo y Fernández Cirelli, 2006; Volpedo *et al.*, 2007; Avigliano *et al.*, 2011).

Los peces de agua dulce manifiestan estrechas asociaciones con los factores ambientales (Ringuelet, 1962) y dicha relación puede reflejarse en diferentes características de los otolitos.

La salinidad a niveles subletales en condiciones de laboratorio no influye sobre la morfología y la morfometría del otolito de *A. facetum* y *C. dimerus*. Esto se debe a que la morfología de las *sagittae* de estas especies tanto en el tratamiento con altas concentraciones de salinidad como en el control no presentó diferencias con el patrón morfológico establecido en este trabajo para su otolito. Tampoco se observaron diferencias morfométricas relevantes. Esto permite concluir que la precipitación del

² NLI: Nivel letal incipiente

carbonato de calcio, principal constituyente de los otolitos sigue el patrón específico de la especie independientemente de la concentración de salinidad presente en el agua.

La relación entre el ambiente y la composición química del otolito es una de los paradigmas generados en las última década (Campana, 1999), el cual se ha empezado a estudiar en años recientes (Diouf *et al.*, 2006; Randy *et al.*, 2009, Gao *et al.*, 2010).

En este sentido este trabajo estudia por primera vez en especies dulceacuícolas nativas de amplia distribución como son *A. facetus* y *C. dimerus*, el efecto de la salinidad en la composición química de los otolitos en condiciones de laboratorio.

Los elementos determinados en *A. facetum* y *C. dimerus* fueron Cd, Cr, Cu, Mg, Mn, Pb, Sr y Zn, estando los tres primeros y el Pb en concentraciones menores al límite de detección.

Los valores obtenidos de las relaciones Mg/Ca, Mn/Ca, Sr/Ca y Zn/Ca en general están en el rango de los determinados para otras especies (Tabla 16). Es de destacar que en el experimento realizado las relaciones Mg/Ca, Mn/Ca, Sr/Ca aumentaron a lo largo del tiempo, mientras que la relación Zn/Ca tanto en *A. facetus* como en *C. dimerus* disminuyó. Estas tendencias también fueron observadas en la relación Sr/Ca por Zimmerman (2005) y Diouf *et al.* (2006), y en la relación Sr/Ca y Zn/Ca por Arai *et al.* (2007) para otras especies.

Relación	Especie	Salinidad (g l ⁻¹)	Valor (μmoles/mol de Ca)	Autor
Mg/Ca	<i>A. facetum</i>	13	41,25 - 52,18	Este trabajo
	<i>C. dimerus</i>	13	39,23 - 49,78	Este trabajo
Mn/Ca	<i>Leiostomus xanthurus</i>	15	6,32 - 101,01	Martin <i>et al.</i> (2004)
	<i>A. facetum</i>	13	1,652 - 2,118	Este trabajo
	<i>C. dimerus</i>	13	1,623 - 2,078	Este trabajo
Sr/Ca	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> , <i>O. kisutch</i> , <i>O. nerka</i> , <i>O.</i> <i>mykiss</i> y <i>Salvelinus alpinus</i>	12,7	736 – 750	Zimmerman (2005)
	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	18 a 30	450 - 690	Arai <i>et al.</i> (2002)
	<i>Mugil cephalus</i>	1- 34,9	290 - 1390	Chang <i>et al.</i> (2004)
	<i>Anguilla japonica</i>	15	364 - 786	Lin <i>et al.</i> (2007)
	<i>Hucho perryi</i>	15	750 - 900	Arai (2010)
	<i>A. facetum</i>	13	723 - 1015	Este trabajo
	<i>C. dimerus</i>	13	754 - 912	Este trabajo
	Zn/Ca	<i>O. keta</i>	-	0,350 - 0,680
<i>A. facetum</i>		13	0,234 - 0,834	Este trabajo
<i>C. dimerus</i>		13	0,348 - 0,814	Este trabajo

Tabla 16: Valores de los diferentes cocientes “Elemento/Ca” de los otolitos en relación a la salinidad en diferentes especies.

Las relaciones Mg/Ca, Mn/Ca, Sr/Ca y Zn/Ca en *A. facetus* y *C. dimerus* en aguas con alta salinidad (13 g l⁻¹) fueron aproximadamente el doble que en el control. Esto coincide con lo determinado por Arai (2010) en el salmónido *Hucho perryi*, indicando que la relación Sr/Ca se correlaciona positivamente con el incremento de la salinidad. Los valores de la relación Sr/Ca hallado para un valor de salinidad de 15 g l⁻¹ (750-900 μmoles/mol de Ca) fueron similares a los hallados en este trabajo.

La incorporación de los elementos traza en los peces ocurre directamente por absorción a través de las branquias y/o de las células intestinales y minoritariamente

por el alimento a través de la red trófica (Lin *et al.*, 2007; Randy *et al.*, 2009). Los elementos traza son metabolizados y recirculados por el organismo y finalmente son depositados en los tejidos (Gao *et al.*, 2010). Campana *et al.* (2000) postularon que la concentración de los elementos en el agua podía estar reflejada en la composición química del otolito.

En el mar la concentración de los diferentes elementos estudiados es relativamente constante pero en agua dulce es variable dependiendo de la existencia de fuentes antrópicas (Stumm & Morgan, 1970). En la tabla 16 se presentan los rangos de concentración de los elementos traza en la naturaleza sin considerar el enriquecimiento de las aguas por fuentes antrópicas.

	Océano (mg l ⁻¹)	Aguas Continentales (mg l ⁻¹)	Referencias
Mg	1322	3,35	Stumm & Morgan (1970)
Mn	0,2 x10 ⁻³	0,1 - 10	Stumm & Morgan (1970)
Sr	8	0,2 – 0,11	Angino <i>et al.</i> (1966); Rosenthal (1980), Stumm & Morgan (1970)
Zn	10 x10 ⁻⁶	0,5 x10 ⁻³ – 2x10 ⁻²	Stumm & Morgan (1970)

Tabla 17: Rango de concentración de elementos traza en agua de diferentes ambientes.

El Mg está en altas concentraciones en el océano y en tres órdenes de magnitud menor en aguas dulces. Los otolitos de peces marinos presentan altas concentraciones de Mg.

El Mn se encuentra en mayor concentración en aguas dulces sin embargo es acumulado tanto en otolitos de peces dulceacuícolas como marinos (Campana, 1999).

El Sr es relativamente constante en agua de mar y los peces marinos poseen altas concentraciones de este elemento en sus otolitos, mientras que los peces de

agua dulce poseen bajas concentraciones (Campana 1999). El Sr ingresa al pez directamente absorbido por las branquias y se encuentra en el otolito ya que puede sustituir al calcio en el carbonato de calcio (Arai *et al.*, 2007).

El Zn está en altas concentraciones en los otolitos de peces dulceacuícolas, mientras que en los peces que habitan aguas marinas o salobres están en bajas concentraciones (Arai *et al.*, 2007). Los resultados hallados en este trabajo evidencian que la salinidad afecta positivamente la incorporación de Sr en los otolitos y negativamente la incorporación de Zn. Esto podría aplicarse para discriminar individuos que realizan desplazamientos entre ambientes de diferentes salinidades.

Los coeficientes de distribución de los diferentes elementos traza entre el otolito y el agua indican que para el Mg, Mn, Sr y el Zn existe una relación directa entre la concentración de dichos elementos en el agua y la presencia de los mismos en el otolito. Es de destacar que tanto en el agua con alta salinidad como en el control los coeficientes de distribución fueron similares tanto para *A. facetum* como para *C. dimerus*.

Los resultados indican que altos niveles de salinidad no influye sobre la morfología y morfometría de los otolitos pero sí sobre su composición química.

4.3.2. Dureza

Uno de los principales factores que influye en la distribución de los peces es la dureza del agua, aunque no exista una relación biológica directa (Menni *et al.*, 1996). La disminución de los valores de riqueza y diversidad íctica corresponden a menudo al aumento en los valores de conductividad, cloruros, dureza y alcalinidad, y altos

valores de diversidad corresponderían a bajos niveles de estos factores. Aguas de dureza intermedia son menos productivas en términos de biomasa, pero sustentan una fauna y flora más variada. Determinadas especies se desarrollan mejor en aguas duras mientras que otras en aguas blandas (Bistoni *et al.*, 1999).

Los otolitos *sagittae* de *A. facetus* criados en aguas de diferente dureza no presentaron variaciones morfológicas ni morfométricas relevantes durante el experimento, pero sí se han observado diferencias en su composición química.

Los elementos determinados en el otolito de *A. facetus* son Mg, Mn, Sr y Zn, mientras que el Cd, Cr, Cu y Pb se encontraron en concentraciones menores al límite de detección.

Es de destacar que en el experimento realizado las relaciones Mg/Ca, Mn/Ca, Sr/Ca aumentaron a lo largo del tiempo, mientras que la relación Zn/Ca disminuyó, situación similar a la presentada en los experimentos realizados a altas concentraciones de salinidad.

Las relaciones Mg/Ca y Sr/Ca en individuos criados en aguas muy duras (475 mg l⁻¹ de CaCO₃) fueron el doble que en las aguas moderadamente duras (165 mg l⁻¹ de CaCO₃).

Los resultados hallados en este trabajo evidencian que la dureza afecta positivamente la incorporación de Sr, Mn y Mg en los otolitos y negativamente la incorporación de Zn.

Los coeficientes de distribución de los diferentes elementos traza entre el otolito y el agua indican que para el Mg, Mn, Sr y el Zn existe una relación directa entre la concentración de dichos elementos en el agua y la presencia de los mismos en el otolito. Es de destacar que tanto en el agua moderadamente dura como muy dura los

coeficientes de distribución fueron similares.

Lo observado en este experimento indicaría que la dureza del agua no influye sobre la morfología y morfometría de los otolitos de *A. facetum* criados en dichos ambientes, pero si sobre su composición química. Esta característica química, dada la gran variedad de ambientes continentales argentinos con distintas durezas, permitiría inferir la procedencia o parte de la historia de vida de un ejemplar o población.

Por otro lado podemos sugerir que la composición química del otolito podría ser un efectivo bioindicador en diferentes situaciones. Por ejemplo, en peces sedentarios que han nacido y crecido en un ambiente léntico cerrado, la composición química de sus otolitos comparada con la química del agua de dicho ambiente, permitiría determinar si existen elementos traza presente a lo largo del tiempo. También podría ser un efectivo bioindicador en peces que han crecido en un ambiente potencialmente prístino, donde los niveles de metales en el agua son menores a los límites de detección, si en estas circunstancias se hallan otolitos con presencia de metales se deberán analizar las posibles fuentes de contaminación de ese ambiente.

4.4- Relaciones entre la morfología del otolito, la silueta del pez, la morfología de la aleta caudal y la capacidad de natación en distintas especies dulceacuícolas.

El conocimiento de la capacidad de natación de los peces tiene interés por distintos motivos: en estudios ecológicos determina, entre otros factores, si una especie puede colonizar un ambiente de aguas torrentosas, o la posibilidad de alimentarse o bien ser presa, dependiendo de la velocidad a la que se desplaza. La

capacidad de natación es considerada un importante factor de supervivencia (Wardle, 1980). En términos generales, la reofilia en los peces de agua dulce implica la conservación de una determinada posición geográfica, impidiendo su deriva aguas abajo hacia ambientes potencialmente desfavorables (Tablado & Oldani, 1984). Hay peces especializados que realizan natación de crucero, aceleran o maniobran, pero en general las especies en su desplazamiento presentan una mezcla de éstas tres cualidades locomotoras. Además la morfología del cuerpo de cada pez generalmente se relaciona con su forma de natación (Webb, 1984).

La superficie total y/o parcial de las aletas, su complejidad morfológica, junto a las características de la cintura pectoral, el pedúnculo caudal y otras estructuras como el otolito, guardan estrecha relación con la capacidad de natación.

El índice Lst/AC estima el grado de orbicularidad del pez. Un individuo que posee un perfil de disco o romboidal, y un cuerpo relativamente alto, corto y comprimido, presenta menor resistencia a la rotación en el plano vertical medio del cuerpo. Las aletas pectorales se ubican cerca del centro de masa corporal de manera que en cualquier plano pueden ejercerse empujes pequeños y precisos. La fuerza impulsora es generada por el pedúnculo caudal.

Los peces de la Familia Cichlidae presentan un modo de natación que los ubica como “especialistas en maniobra”. La capacidad de maniobra en peces de hábitos sedentarios y con complejos comportamientos sociales y reproductivos, es una mezcla de cualidades locomotoras relacionadas con la morfología comprimida de su cuerpo y la posición e inserción de las aletas. La inserción vertical de las aletas pectorales permite ampliar las capacidades de movimiento. Una de ellas es la habilidad de mantenerse en una posición fija en el agua por medio del movimiento de

“remo o abanicado”. Otra es la capacidad de acelerar a partir de una posición inicial de reposo sin utilizar el pedúnculo caudal realizando un movimiento simultáneo de ambas aletas pectorales de forma repentina, como de palmada, hacia los lados del cuerpo (Gosline, 1973). La inserción vertical también permite la maniobra precisa en hábitats estructuralmente complejos como son los litorales vegetados donde estos peces viven. En tales ambientes, estos peces utilizan refugios y se alimentan en superficies orientadas en cualquier dirección de modo que para alcanzarlas el pez debe realizar pequeños impulsos propulsores de considerable precisión. La capacidad de maniobra, usualmente se estima a través del “tiempo de arrastre” y se caracteriza por una baja velocidad de crucero y cierta capacidad de aceleración.

Considerando el hábitat que frecuentan las especies, su morfología corporal y su comportamiento, es posible diferenciar entre los peces de aguas continentales varios tipos o grupos “biológicos”. Estos grupos se manifiestan en su arquitectura corporal y muchos aspectos de su biología (Ringuelet *et al.*, 1967). Posteriormente, Ringuelet (1975) desarrollo este concepto ampliamente.

Los cíclidos pertenecen al tipo de peces de aguas quietas y vegetadas. Se han reconocido dos subtipos según lo propuesto por Menni (2004): los cíclidos predadores (*Crenicichla sp.*) y los cíclidos orbiculares (*A. facetus*, *Cichlasoma sp.*, *Gymnogeophagus sp.*).

Existen diferencias en la capacidad de natación, al menos a nivel genérico, relacionadas con las características morfológicas de cada especie. Estas diferencias se relacionan con la morfología corporal, morfología de la aleta caudal y con el otolito.

Los cíclidos predadores (*Crenicichla sp.*) presentan la forma del cuerpo más elongada y ligeramente comprimido, la altura del cuerpo representa entre 4 y 5,5

veces en la longitud estándar (Lst/AC), la aleta caudal es redondeada tendiendo a subanceolada y el otolito es alargado. Entre los cíclidos orbiculares, *G. meridionalis* es más elongado que *A. facetus*, y que *Cichlasoma dimerus* presentando Lst/AC 2,27; 2,385 y 2,15 respectivamente, la aleta caudal es redondeada y poseen el otolito de forma subcircular a circular (Tabla 13).

Los resultados de los tiempos de arrastre tanto en velocidad mínima (Figura 42) como en velocidad máxima (Figura 43) muestran la misma respuesta donde los datos de *G. meridionalis* fueron significativamente mayores que para ejemplares de *A. facetus*. de similar Lst, y menores que *Crenicichla sp.* Los tiempos de arrastre obtenidos para *Cichlasoma dimerus* son similares al de los otros cíclidos cercano a *Gymnogeophagus meridionalis*. Otras especies pertenecientes a los Géneros *Serrasalmus* (piraña), *Pimelodus* (bagre amarillo) y *Pimelodella*, muestran una mayor capacidad de natación que los cíclidos (Tabla 13). En el caso de *Cheirodon sp.* y *Bryconamericus sp.* (mojarras) cuyas tallas fueron similares a las de los cíclidos estudiados, se observa que tienen una mayor capacidad de natación que estos.

Las aletas caudales pertenecientes a distintas especies, que poseen una mayor complejidad morfológica, generalmente están asociadas a peces con una mayor capacidad de natación y con sagittae pequeñas cuyo eje antero-posterior es el de mayor desarrollo. Esto coincide con lo hallado por Volpedo & Echeverría (2003) en peces marinos.

Considerando el esquema de natación propuesto por Webb (1984) y de acuerdo con lo anteriormente mencionado en el contexto de esta tesis en relación a la morfología del otolito, la forma de la aleta caudal y la capacidad de natación se elaboró el siguiente diagrama (Figura 44):

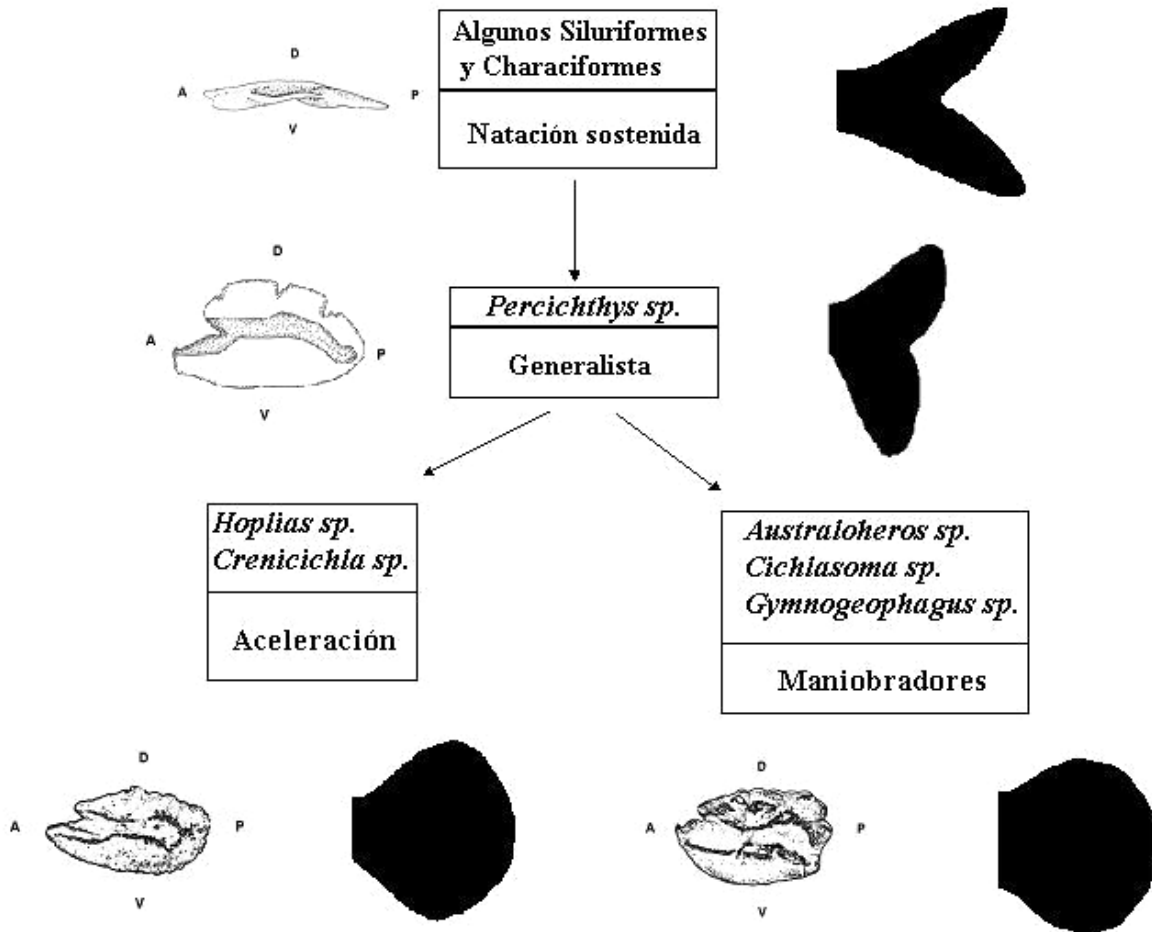


Figura 44: Diagrama de la relación entre la morfología del otolito, la forma de la aleta caudal y la capacidad de natación para peces autóctonos continentales.

5- CONCLUSIONES GENERALES

- La morfología del otolito representa un carácter importante para la identificación específica de las especies estudiadas.
- El patrón morfológico de los otolitos *sagittae* de los ciclidos Neotropicales estudiados (*Australoheros facetus*, *Cichlasoma dimerus*, *Gymnogeophagus meridionalis*, *Crenicichla lepidotta* y *C. scotti*) evidencia las características diagnósticas de los otolitos de la familia Cichlidae.
- Los otolitos *sagittae* de *Australoheros facetus* presentan variaciones morfométricas y morfológicas durante su desarrollo. Las características morfológicas del otolito, que aparecen desde las etapas más tempranas del desarrollo son la presencia de un *sulcus* dividido en *ostium* y *cauda*, el *pseudocolliculum* anterocaudal, la depresión areal dorsal, el rostro y la cisura. Las principales diferencias morfológicas entre los otolitos de juveniles y adultos son: la terminación de la cauda, cerrada en los juveniles y abierta en adultos y la presencia o ausencia de una escotadura en el extremo posterior.
- Es posible la identificación de ciclidos de ambientes continentales utilizando la clave presentada en esta tesis mediante la morfología de los otolitos *sagittae*

- Los cíclidos presentan alta tolerancia a la salinidad que supera ampliamente los límites de variación ambiental, esta adaptación puede ser considerada como un relicto fisiológico de sus ancestros marinos, esto también podría estar reflejado en la composición química de sus otolitos.
- Los factores ambientales (altos niveles de salinidad y dureza) influyen en la composición química de los otolitos *sagitta* de *Australoheros facetus*.
- Existe una estrecha relación entre la morfología del otolito, la silueta del pez, la aleta caudal y la capacidad de natación en las especies estudiadas. Los peces de cuerpo comprimido, aleta caudal ahorquillada, *sagitta* alargada pequeña con un eje antero-posterior mayor, son buenos nadadores; mientras que los peces de cuerpo elongado, caudal redondeada tendiendo a sublancoleada, otolito alargado son buenos nadadores y aceleradores y los peces de cuerpo orbicular, caudal redondeada, otolito subcircular a circular y bien desarrollado, son especialistas en maniobra.
- Un estudio detallado de la morfología, morfometría y de la química del otolito *sagittae* de especies dulceacuícolas permitiría reconstruir gran parte de la historia de vida del pez y su asociación con el ambiente. Por lo que puede ser considerada la *sagitta* como un muy buen bioindicador.

6- BIBLIOGRAFÍA

- Al-Amoudi, M. M., 1987. Acclimation of commercially cultured *Oreochromis* species to sea water- an experimental study. *Aquaculture*, 65(3-4): 333-342.
- Angino, E. E., Billings G. K. & N. Andersen, 1966. Observed variations in the strontium concentration of sea water. *Chemical Geology*, 1, 145-153.
- Arai T., Kotake A., Aoyama T., Hayano H. & N. Miyazaki, 2002. Identifying sea-run brown trout, *Salmo trutta*, using Sr:Ca ratios of otolith. *Ichthyological Research*, 49:380-383
- Arai T., Ohji M. & T. Hirata, 2007. Trace metal deposition in teleost fish otolith as an environmental indicator. *Water, Air, & Soil Pollution*, 179(1-4): 255-263.
- Arai, T., 2010. Effect of salinity on strontium:calcium ratios in the otoliths of Sakhalin taimen, *Hucho perryi*. *Fisheries Science*, 76:451-455.
- Assis, C.A., 2003. The lagenar otoliths of teleosts: their morphology and its application in species identification, phylogeny and systematics. *Journal of Fish Biology*, 62: 1268-1295.
- Assis, C. A., 2005. The utricular otoliths, lapilli, of teleosts: their morphology and relevance for species identification and systematics studies. *Scientia Marina*, 69(2):

259-273.

- Avella, M. & T. Doudet, 1996. Physiological adaptation of *Oreochromis niloticus* and *O. aureus* to salinity. The 3rd Internat. Symposium on Tilapia in aquaculture. ICLARM Conf. Proc. (41): 461-470.

- Avigliano, E., Tombari, A. & A. Volpedo, 2011. "¿Los otolitos reflejan el estrés ambiental?" *Biología Acuática*. (En prensa).

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

- Bistoni, M. A, Hued A. C., Videla M. & L. Sagretti, 1999. Efecto de la calidad del agua sobre las comunidades ícticas de la región central de Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, 72: 325-335.

- Bordino, P., Thompson G. A. & M. Iñiguez, 1999. Ecology and behavior of the franciscana (*Pontoporia blainvillei*) in Bahía Anegada, Argentina. *Journal of Cetacean Research and Management*, 1 (2): 213-222.

- Brett ,J. R., 1946. Rate of gain of heat-tolerance in goldfish (*Carassius auratus*). University of Toronto Studies Biololy Series, 53: 1-28.

-
- Brown, D. R. & C. M. Fuentes, 2001. Validación de los depósitos diarios de incrementos en otolitos de larvas del pejerrey bonaerense *Odontesthes bonariensis* (Pisces, Atherinidae). Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. Informe Técnico, 69: 1-13.

 - Brownell, R. L., 1989. Franciscana - *Pontoporia blainvillei* (Gervais and d'Orbigny, 1844). En: Handbook of Marine Mammals (Ridgway SH, Harrison SR eds.) Vol. 4: River Dolphins and the Larger Toothed Whales. Academic Press, London. pp. 45-68.

 - Burke, J. S., D. S. Peters & G. Y. Hanson, 1993. Morphological indices and otolith microstructure of Atlantic croaker, *Micropogonias undulatus*, as indicators of habitat quality along an estuarine pollution gradient. *Environmental Biology of Fishes*, 36: 25-33.

 - Campana, S. E. & J. D. Neilson, 1985. Microstructure of fish otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42: 1014-1032.

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

 - Campana, S. E., 2005. Otolith elemental composition as a natural marker of fish stocks. En: Cadrin, S.X., K.D. Friedland and J.R. Waldman [eds]. Stock Identification Methods. Academic Press, N.Y. pp. 227-245.

-
- Campana, S. E., Chouinard, G. A. & M. I. Hanson, 2000. Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fisheries Research*, 46:343-357.

 - Campana, S. E., A. Valentín, J. M. Sevigny & D. Power, 2007. Tracking seasonal migrations of redbfish (*Sebastes spp.*) in and around the Gulf of St. Lawrence using otolith elemental fingerprints. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 64: 6-18.

 - Cardinale, M., P. Doering-Arjes, M. Kastowsky & H. Mosegaard, 2004. Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61: 158-167.

 - Carlström, P., 1963. A crystallographic study of vertebrate otolith. *The Biological bulletin* (Woods Hole), 125: 441-463.

 - Casciotta, J. R., S. E. Gómez & N. I. Toresani, 1995. *Cichlasoma tembe*, a new cichlid species from the río Paraná basin, Argentina (Osteichthyes: Labroidei). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 6(3): 193-200.

 - Casciotta, J. R., Almirón A. E. & J. Bechara, 2005. Peces del Iberá. Hábitat y diversidad. UNDP, Fundación Ecos, UNLP, UNNE, La Plata. 244 pp.

 - Casselman, J. M., 1990. Growth and relative size of calcified structures of fish. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119: 673 - 688.

-
- Chaîne, J. & J. Duvergier, 1934. Recherches sur les otolithes poissons. Étude descriptive et comparative de la sagitta des téléostéos. *Actes de la Société Limnienne de Bordeaux*, 86: 7254.

 - Chang, C. W., Lin S. H., Iizuka Y. & W. N. Tzeng, 2004. Relationship between Sr:Ca ratios in otoliths of grey mullet *Mugil cephalus* and ambient salinity: validation, mechanisms, and applications. *Zoological Studies*, 43 (1): 74-85.

 - Chervinski, J. & E. Hering. 1973. *Tilapia zillii* (Gervais) (Pisces, Cichlidae) and its adaptability to various saline conditions. *Aquaculture*, 2: 23-29.

 - Daye, P. G. & E. T. Garside, 1975. Lethal levels of pH for brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53: 639-641.

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

 - Dial, R. S. & S. C. Wainright. 1983. New distributional records for non-native fishes in Florida. *Florida Scientist*, 46(1): 8-16.

 - Diouf, K., J. Panfili, M. Labonne, C. Aliaume, J. Toma's & Thang Do Chi, 2006. Effects of salinity on strontium:calcium ratios in the otoliths of the West African

black-chinned tilapia *Sarotherodon melanotheron* in a hypersaline estuary. *Environmental Biology of Fishes*, 77:9-20.

- Doudoroff, P., 1938. Reactions of marine fishes to temperature gradients. *Biology Bulletin*, 75: 494-509.

- Dunson, W., Swarts F. & M. Silvestri, 1977. Exceptional tolerance to low pH of some tropical blackwater fish. *Journal of Experimental Zoology*, 201: 157-162.

- Elder, K. L., G. A. Jones & G. Bolz, 1996. Distribution of otoliths in superficial sediment of the US. Atlantic continental shelf and slope and potential for reconstructing Holocene fish stocks. *Paleoceanography*, 11 (3): 359- 367.

- Fisher, R. & S. K. Wilson. 2004. Maximum sustainable swimming speeds of late-stage larvae of nine species of reef fishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 312 (1): 171-186.

- Francis, R. I. C. C. & S. E. Campana, 2004. Inferring age from otolith measurements: a review and a new approach. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61: 1269-1284.

- Fry, F. E. J., 1947. Effects of the environment on the animal activity. Univ. of Toronto Studies Biology Series, 55: 1-62.

-
- Fry, F. E. J., 1971. Effects of environmental factors on the physiology of fish. En: Fish Physiology Vol VI (1). Ed. Hoar W.S. & D.J.Randall. Academic Press, New York. pp 1-97.
- Fuchs, D. V. 2008. Patrones ecomorfológicos del otolito en Siluriformes Parano-platenses. Tesis de Licenciatura, FCEN-UBA.
- Gaemers, P. A. M., 1984. Taxonomic position of the Cichlidae (Pisces, Perciformes) as demonstrated by the morphology of their otoliths. *Netherlands Journal of Zoology*, 34:566-595.
- Gao Y., Feng Q., Ren D., Li Q. & S. Li, 2010. The relationship between trace elements in fish otoliths of wild carp and hydrochemical conditions. *Fish Physiology and Biochemistry*, 36:91-100.
- Gauldie, R. W., 1993. Polymorphic crystalline structure of fish otoliths. *Journal of Morphology*, 218: 1-28.
- Geffen, A. J., Perace N. J. G. & W. T. Perkins, 1998. Metal concentrations in fish otoliths in relation to body composition after laboratory exposure to mercury and lead. *Marine Ecology Progress Series*, 165: 335-245.
- Giusto, A, Gómez S. E., Cassará C. & R. A. Ferriz, 1998. Resistencia a la temperatura y salinidad en *Poecilia reticulata* Peters, 1859. *Bioikos* (Campinas),

12(2):45-52.

- Golterman, H. L., 1975. Chemistry. En: Whitton B.A. (ed.) "River Ecology", Blackwell Scient. Publ. pp 39-80.

- Gómez, S. E., 1996. Resistenza alla temperatura e salinit in pesci della provincia di Buenos Aires (Argentina), con implicazioni zoogeografiche. In: Atti 4 Convegno Nazionale Assoc. Ital. Ittiol. *Acque dolci*, Trento, Italy. pp. 171-192.

- Gómez, S. E., 1998. Niveles letales de pH en *Odonthestes bonariensis* (Atheriniformes, Atherinidae) *Iheringia Sér. Zool.*, (85): 101-108.

- Gómez, S. E. & R. A. Ferriz, 2001. Algunos aspectos de la ecofisiología del pejerrey. En: Fundamentos biológicos, económicos y sociales para una correcta gestión del recurso pejerrey. Ed. F. Grosman, Editorial Astyanax (Azul). pp. 46-52.

- Gómez, S. E.; Gonzalez Naya J. & A. Giusto, 2003. Velocidad de natación de un especialista en maniobra, *Cichlasoma facetum* (Jenyns) (Pisces, Cichlidae), en condiciones experimentales. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, n.s. 5(1): 87-92.

- Gómez, S. E., P. S. Trenti & R. C. Menni, 2004. New fish populations as evidence of climate change in former dry areas of the pampean region (Southern South America), *Physis*, 59(136-137): 43-44.

-
- Gómez, S. E. & R. C. Menni, 2005. Cambio ambiental y desplazamiento de la ictiofauna en el oeste de la Pampasia (Argentina Central). *Biología Acuática*, 22:151-156
- Gómez, S. E. & J. Gonzalez Naya, 2007. Resistencia a la salinidad en dos especies Neotropicales de la familia Cichlidae (Pisces, Perciformes). *Revista Memoria de la Fundación de Ciencias Naturales La Salle, Caracas*, 116(46): 45-54.
- Gómez S. E., Gonzalez Naya M. J & L. Ramírez, 2009. "Río Iguazú Superior: química del agua y comentarios biológicos sobre alguno de sus peces". En: Parque Nacional Iguazú, Conservación y desarrollo en Selva Paranaense de Argentina. APN. Eds: Carpineti, Garciarena y Almirón. pp. 211-222.
- Gonzalez Naya, M. J., Gómez, S. E. & L. Ramirez, 2005. Capacidad de natación en *Gymnogeophagus meridionalis* (Pisces, Cichlidae). *Biología Acuática* 22, 163-167.
- Gonzalez Naya, M. J. A. Volpedo, S. E. Gómez, L. A. Carignano & M. V. Sánchez, 2008. Notas sobre cráneo, otolitos y biología de *Lepidosiren paradoxa* (PISCES, DIPNOI). *Biología Acuática*, 24: 21-26.
- Goodall, R. N. P. & I. S. Cameron, 1980. Exploitation of small cetacean off southern south America. Rep. International Whaling Commission, 30: 445-500.

-
- Gosline, W. A., 1973. Functional morphology and classification of teleostean fishes. The University Press of Hawaii, Honolulu, 208 pp.
- Grassé, P. P., 1958. L'oreille et sur anexes. En : Anatomie, sistematique, biologie Agnathes et poissons anatomie, éthologie, systématique 2 (13): 1063-1098.
- Grosman, F., Sanzano P., Agüería D. & G. González, 2001. Gestión del pejerrey *Odontesthes bonariensis* en una pesquería periurbana de argentina. *Revista AquaTIC*, nº 14.
- Gutiérrez, E. & B. Morales - Nin, 1986. Time series analysis of daily growth in *Dicentrarchus labrax* otoliths. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 103: 163 -179.
- Hart, J. S., 1947. Lethal temperature relations of certain fish of the Toronto region. *Transactions of the Royal Society Canadian*, 41(5): 57-71.
- Haseman, J. D., 1911. Description of some new species of fishes and miscellaneous notes on others obtained during the expedition of the Carnegie Museum to central South America. *Annals of Carnegie Museum*, 17(3-4): 315-328.
- Hetch, T., 1987. A Guide to the Otoliths of the Southern Ocean Fishes. South African *Journal of Antarctic Research*, 17(1):1-87.

-
- Hoar, W. S., 1956. Photoperiodism and thermal resistance of goldfish. *Nature*, 178 (4529): 364-365.

 - Hogg, R. G., 1976. Established exotic cichlid fishes in Dade County, Florida. *Florida Scientist*, 39(2): 97-103.

 - Hutchinson, G. E. 1959. Il concetto moderno di nicchia ecologica. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 11: 9-22.

 - Huxley, J. S. & G. Teisser, 1936. Terminology of relative growth. *Nature* 137(9), 780-781.

 - Jobling, M, 1995. Environmental Biology of fishes. Chapman and Hall, Fish and Fisheries Series 16. London, 455 pp.

 - Kefford, B. J., P. J. Papas, L. Metzeling & D. Nuggeoda, 2004. Do laboratory salinity tolerance of freshwater animals corresponds with their field salinity?. *Environmental Pollution*, 129(3): 355-362

 - Koerber, S., 2011. List of Freshwater Fishes from Argentina - Update 12. *Ichthyological Contributions of Peces Criollos* 17: 1-10.

 - Koen Alonso, M., 1999. "Estudio comparado de la alimentación entre algunos predadores de alto nivel trófico de la comunidad marina del norte y centro de

Patagonia". Tesis Doctoral (FCEN-UBA)

- Koken, U., 1884. Fisch- otolithen insbesondere uber diejenigen der nordeutschen Oligocan-Ablagerungen, *Zeitschrift der deutschen geologistchen*, 36: 1-507.

- Lin, Y. J., Lozys L., Shiao J. C., Iizuka Y. & W. N. Tzeng, 2007. Growth differences between naturally recruited and stocked European eel *Anguilla anguilla* from different habitats in Lithuania. *Journal of Fish Biology*, 71: 1-15.

- Liotta, J., 2006. Distribución geográfica de los peces de aguas continentales de la República Argentina. Serie Documentos N°3. *ProBiota* FCNyM, UNLP, 701 pp.

- Lombarte, A., G. J. Torres & B. Morales-Nin, 2003. Specific Merluccius otolith growth patterns related to phylogenetics and environmental. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 83: 277-281.

- Lombarte, A. & A. Cruz, 2007. Otolith size trends in marine fish communities from different depth strata. *Journal of Fish Biology*, 71(1): 53-76.

- López, H. L., Rodríguez Capitulo A., Casciotta J. R. & J. M. Iwaszkiw, 1991. Caracterización limnológica preliminar del complejo lagunar El Hinojo (Trenque Lauquen, Pcia. de Bs. As.). En: C. I. C.. Situación ambiental de la Provincia de Buenos Aires. A. *Recursos y rasgos naturales en la evaluación ambiental*. pp. 3- 23.

-
- López, H. L., Menni R. C. & A. M. Miquelarena, 2003. Lista comentada de los peces continentales de la Argentina. *ProBiotA* 5: 1-87.

 - Lowestein, O., 1978. The labyrinth. En: *Fish Physiology* 7. Academic Press. pp 207-240.

 - Lychakov, D. V & Y. T. Rebane, 2005. Fish otolith mass asymmetry: morphometry and influence on acoustic functionality. *Hearing Research*, 201: 55-69.

 - Mariñelarena, A. J. & V. H. Conzonno. 1997. Chemical characteristics and trophic status of Lobos pond (Bs. As., Argentina). *Natura Neotropicalis*, 28(1): 7-13.

 - Martin, G. B., Thorrold S. R. & C. M. Jones, 2004. Temperature and salinity effects on strontium incorporation in otoliths of larval spot (*Leiostomus xanthurus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61:34-42.

 - Martínez, V. & G. Monasterio de Gonzo, 1991. Clave de identificación de algunos peces Siluriformes en base al estudio de sus otolitos. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral*, 22 (2): 95-118.

 - Martinez-Palacios, C. A., L. G. Ross & V. H. Sanchez-Licea, 1996. The tolerance to salinity, respiratory characteristics and potential for aquaculture of the Central American cichlid, *Cichlasoma synspilum* (Hubbs, 1935). *Aquaculture Research*, 27(4): 215-220.

- Menni, R. C., Gómez S. E. & F. López Armengol, 1996. Subtle relationships: freshwater fishes and the chemistry of water in southern South America. *Hydrobiologia*, 328: 173-197.

- Menni, R. C., 2004. Peces y ambientes en la Argentina continental. *Monografías del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 316 pp.

- Miquelarena, A. M. & H. L. López. 1995. Fishes of the lagunas Encadenadas (Province of Buenos Aires, Argentina), a wetland of international importance. *Freshwater Forum*, 5(1):48-53.

- Mollo, S.M., 1981. Otolitos de peces de la laguna de Chascomús (provincia de Buenos Aires). Análisis y consideraciones para su identificación en estudios tróficos. *Limnobiología*, 2(4):253-263.

- Morales-Nin, B. Y. O., 1987. The influence of environmental factors on microstructure of otoliths of three demersal fish species caught off Namibia. En: *The Benguela and Comparable Ecosystems*. Payne, A. I. L., Gulland, J.A y K. H. Brink (Eds.). African Journal of Marine Science. 255-262.

- Morales-Nin, B. Y. O., 1998. Daily increments in otoliths: endogenous and exogenous growth regulation. 2nd International Symposium on Fish Otolith Research and Application Radisson SAS Royal Bryggen, Bergen, 20-25 June, p. 77.

-
- Mugiya, Y., 1986. Effects of calmodulin inhibitors and other metabolic modulators on in vitro otolith formation in the rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 84 A: 57-84.

 - Mugiya, Y., 1987. Phase difference between calcification and organic matrix formation in the diurnal growth of otoliths in the rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Fisheries Bulletin*, 85: 395-401.

 - Murray, A. M. 2001. The fossil record and biogeography of the Cichlidae (Actinopterygii: Labroidei). *Biological Journal of the Linnean Society*, 74: 517-532.

 - Myers, G. S., 1949. Salt tolerance of fresh water fish groups in relations zoogeographical problems. *Bijdragden tot de Dierkunde*, 28: 315-322.

 - Nelson, J. S., 2006. *Fishes of the world*. 4th ed. John Wiley & Sons, Hoboken. 601 pp.

 - Nolf, D., 1985. Otolith piscium. 1- 145. En: *Handbook of paleoichthyology* H. P. Schultze (Ed.), Fisher, Stuttgart, Nueva York.

 - Nolf, D., 1995. Studies on fossil otoliths: the state of the Art. En: *Recent Developments in Fish otolith research*, D. Secor, J. M. Dean y S. E Campana (Eds.), University of South Carolina Press. pp 513-544.

-
- Nonogaki, H., J. A. Nelson & W. P. Patterson, 2007. Dietary histories of herbivorous loriciid catfishes: evidence from ^{13}C values of otoliths. *Environmental Biology of Fishes*, 78:13-1.

 - Northridge, S. P., 1985. Estudio mundial de las interacciones entre los mamíferos marinos y la pesca. *FAO Inf. Pesca* 251: 234 pp.

 - Ortubay, S. G., Gómez S. E. & V. E. Cussac, 1997. Lethal temperatures of a Neotropical fish relict in Patagonia, the scale-less characinid *Gymnocharacinus bergi* Steindachner 1903. *Environmental Biology of Fishes*, Dordrech, 49 :341-350.

 - Parry, G. H. 1966. Osmotic adaptation in fishes. *Biology Reviews*, 41: 392-444.

 - Paxton, J. R., 2000. Fish otoliths: do sizes correlate with taxonomic group, habitat and/ or luminescence? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 355: 1299-1303.

 - Pierce, G. J., P. R. Boyle & J. S. W. Diack , 1991. Identification of fish otolith and bones in faces and digestive tracts of seals. *Journal of Zoology*, 224: 320-328.

 - Popper, A. N. & S. Coombs, 1982. The morphology and evolution of the ear in actinopterygian fishes. *American Scientist*, 22: 311-328.

 - Popper, A. N. & R. R. Fay, 1993. Sound detection and processing by fish: critical

review and major research questions. *Brain Behaviour Evolution*, 41 (1): 14-38.

- Popper, A. N. & Z. Lu, 2000. Structure-function relationship in fish otolith organs. *Fisheries Research*, 46: 15-25.

- Popper, A. N., J. Ramcharitar & S. E. Campana, 2005. Why otoliths? Insights from inner ear physiology and fisheries biology. *Marine and Freshwater Research*, 56: 497-504.

- Praderi, R., 1985. Relaciones entre *Pontoporia blaenvillei* (Mammalia: Cetacea) y tiburones (Selachii) en aguas uruguayas. *Comunicaciones Zoológicas del Museo de Historia Natural de Montevideo*, 11 (151): 1-19.

- Radtke, R. L. & D. J. Shafer, 1992. Environmental sensitivity of fish otolith microchemistry. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 43: 935-951.

- Randy, J. Brown & 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. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 66 (10): 1790-1808.

- Reidy, S. P., Kerr S. R. & J. A. Nelson, 2000. Aerobic and anaerobic swimming performance of individual Atlantic cod. *Journal of Experimental Biology*, 203, 347–357.

-
- Reichenbacher, B., Feulner G. R. & T. Schulz-Mirbach, 2008. Geographic variation in otolith morphology among freshwater populations of *Aphanius dispar* (Teleostei, Cyprinodontiformes) from the southeastern Arabian Peninsula. *Journal of Morphology*, 270: 469-484.
- Ringuélet, R. A., 1962. *Ecología Acuática Continental*. Eudeba, Buenos Aires, 126 pp.
- Ringuélet, R. A., 1975. Zoogeografía y ecología de los peces de aguas continentales de la Argentina y consideraciones sobre las áreas ictiológicas de América del Sur. *Ecosur*, 2(3): 1-122.
- Ringuélet, R. A., Aramburu A. A. & R. H. Aramburu, 1967a. Los peces de agua dulce de la República Argentina. Comisión de Investigaciones Científicas, La Plata, 602 pp.
- Romanek, C. R. & R. W. Gauldie, 1996. A predictive model of otolith growth in fish based on the chemistry of endolymph. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 114: 71-79.
- Romer, A. T. & T. S. Parsons, 1986. *The vertebrate body*. 6th ed. Saunders College Publishing, 863 pp.
- Rosenthal, H. L., 1981. Content of stable strontium in man and animal biota. En: Skoryna, S.C. (Ed), *Handbook of Stable Strontium*. Plenum Press, New York. pp.

503-514.

- Sasaki, K., 1989. Phylogeny of the family Sciaenidae with notes on its zoogeography (Teleostei Perciformes). *Memoirs of the Faculty of Fisheries. Hokkaido University*, 36: 137 pp.

- Schmidt, W., 1969. The otoliths is a means of differentiation between species of fish of very similar appearance. *FAO. Proc. Sym. Oceanog. Fisheris Research Tropical Atlantic*, 3: 393-396.

- Schuchert, P. C., Arkhipkin A. I. & A. E. Koenig, 2010. Traveling around Cape Horn: Otolith chemistry reveals a mixed stock of Patagonian hoki with separate Atlantic and Pacific spawning grounds. *Fisheries Research*. journal homepage: www.elsevier.com/locate/fisheries

- Shafland, P. L., 1993. An overview of Florida's introduced butterfly peacock bass (*Cichla ocellaris*) sportfishery. *Natura*, 96:26-28.

- Siccardi, E. M. & M. F. Soria, 1965 a. Pseudobranquia en *Fitzroyia lineata* (Cyprinodontiformes; Fitzroyidae). *Fac. de Cs. Ex. y Nat. Univ. de Buenos Aires, Contrib. Cientif. Series Zoologicas*, 1(5): 253-295.

- Sokal, R. R. & F. J., Rohlf, 1995. *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. 3rd ed., W. H. Freeman and Company, 887 pp.

- Sprague, J. B., 1990. Aquatic toxicology. En: C. B. Schereck & P. B. Moyle (Eds.), Methods for fish biology. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. pp 491-528.

- Stauffer, J. R. & S. E. Boltz, 1993. Effects of salinity on the temperature preference and tolerance of age-0 Mayan cichlids. *Transactions of the American Fisheries Society*, 123(1): 101-107.

- Sterba, G., 1973. Freshwater fishes of the world. Volume 2, T.F.H. Publications, Neptune City, N.J. U.S.A.

- Stumm, W. & J. Morgan, 1970. Aquatic Chemistry. An introduction Emphasizing Chemical Equilibrium in Natural Waters. John Wiley and Sons. Inc. New York. 583 pp.

- Tablado, A. & N. O. Oldani, 1984. Consideraciones generales sobre las migraciones de peces en el río Paraná. Boletín de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral, IV(3): 31-34.

- Tombari, A. D., 2008. Sistemática de atherinopsidae de la República Argentina utilizando caracteres morfológicos y morfométricos, con énfasis en el otolito *sagitta* Tesis Doctoral en Cs. Biológicas de la Universidad Nacional de Buenos Aires.

- Tombari, AD, Volpedo AV & 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). *Revista Chilena de Historia Natural*, 78: 623-633.

- Torno, A., 1976. Descripción y comparación de los otolitos de algunas familias de peces de la plataforma argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia"*, 12 (4): 1-18.

- Torres, G. J., A. Lombarte & B. Morales-Nin, 2000. Variability of the sulcus acusticus in the sagittal otolith of the genus *Merluccius* (Merluccidae). *Fisheries Research*, 46: 5-13.

- Trenti, P. S., Gómez, S. E. & R. A. Ferriz, 1999. Capacidad de natación en tres peces Pampásicos. *APRONA*, 13(38): 2 – 9.

- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1975. Methods for acute toxicity tests with fish, macroinvertebrates, and amphibians. USEPA, EPA-660/3-75-009. Committee on Methods for Toxicity test with aquatic organisms. Corvallis, Oregon, 62 pp.

- Volpedo, A. V., 2001. Estudio de la morfometría de las *sagittae* en poblaciones de sciaenidos marinos de aguas cálidas del Perú y aguas templado-frías de Argentina. Tesis Doctoral de la Facultad de Ciencias exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 244 pp.

- Volpedo, A.V. & G. A. Thompson, 1998. Diferencias en el crecimiento de las *sagittae* de *Prionotus nudigula* Ginsburg, 1950 (Piscis: Triglidae) en relación al sexo. *Boletín del Instituto Español de Oceanográfico*, 12 (1): 3-16.

- Volpedo, A. V & D. D. Echeverría, 1999. Morfología de los otolitos *sagittae* de juveniles y adultos de *Micropogonias furnieri* (Desmarest, 1823) (Sciaenidae). *Revista Internacional de Ciencias del Mar Thalassas*, 15: 19-24.

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

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

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

- Volpedo, A. V., P. Miretzky & A. Fernández Cirelli, 2007. Stocks pesqueros de *Cynoscion guatucupa* y *Micropogonia furnieri* de la costa atlántica de Sudamérica: comparación entre métodos de identificación. *Memorias de la Fundación La Salle de*

Ciencias Naturales, 165: 115-130.

- Volpedo, A. V., A. Tombari & D. D. Echeverría, 2008. Eco-morphological patterns of the *sagitta* of Antarctic fish. *Polar Biology*, 31 (5): 635-640.

- Volpedo, A. V. & D. V. Fuchs, 2010. Eco-morphological patterns of the lapillus of *Paranoplatenses Siluriforms* (South America). *Fisheries Research*, 102:160-165.

- Von Holst, E., 1950. Die Arbeitsweise des stato-lithen-apparates bei fischen. *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, 32:60-120.

- Ward, G. S. & P. R. Parrish, 1982. Manual de métodos de investigación del medio ambiente acuático. Parte 6. Ensayos de toxicidad. FAO, Doc. Téc. Pesca (185) 25 pp.

- Wardle, C. S., 1980. Effects of temperature on the maximum swimming speeds of fish. En: Ali, A. (ed.), *Environmental Physiology of Fishes*. Plenum Publishing Corporation, New York. pp. 519-531.

- Webb, P. W., 1984. Form and function in fish swimming. *Scientific American*, 251(1):72-82.

- Wimberg, G. G., 1960. Rate of metabolism and food requirements of fishes. *Fish. Res.* Bd. Canada, Translation Ser. 194, Biological Station, Nonaimo. 253 pp.

- Wootton, R.G., 1998. Ecology of teleost fishes. (2nd edition) Kluwer Academic Publishers, Fish and fisheries series N°24, London , 386 pp.

 - Wriqth, P. J., 1991. Calcium binding by soluble matrix of the otolith of atlantic salmon *Salmo salar*. L. Journal Fisheries Biology, 38: 625-627.

 - Xavier, J. C, Trathan P. N., Croxall J. P., Wood A. G., Podestá G. & P.G. Rodhouse, 2004. Foraging ecology and interactions with fisheries of wandering albatrosses (*Diomedea exulans*) breeding at South Georgia. *Fisheries Oceanography*, 13: 324-344.

 - Zar, J. H., 1999. Biostatistical Analysis. 4th ed. Prentice Hall, 929 pp.

 - Zimmerman, C. E., 2005. Relationship of otolith strontium-to-calcium ratios to salinity: experimental validation for juvenile salmonids. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(1): 88–97.
-