

Universidad de Valparaíso

Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales

Carrera de Biología Marina

"Variabilidad en el crecimiento larval de los pejesapos Gobiesox marmoratus y Sicyases sanguineus (Gobiesocidae), utilizando microestructura de otolitos, en bahía El Quisco"

Jorge Enrique Contreras Herrera

Jorge Enrique Contreras Herrera

Tesis de grado para obtener según los requisitos el título de Profesional de Biólogo Marino

Comisión Tesis

Dr. Mauricio Fabián Landaeta Díaz

Director Tesis

Universidad de Valparaíso

Prof. Fernando Balbontín Cavada

Miembro comisión

Universidad de Valparaíso

Dr. Guido Plaza Pastene

Miembro comisión

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Tabla de contenidos

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	. 5
INDICE DE TABLAS	7
INDICE DE FIGURAS	. 8
INDICE DE ANEXOS	. 12
RESUMEN	13
1. INTRODUCCION	16
1.1 Fases lunares	16
1.2 Los otolitos	17
1.3 Tasas de crecimiento	19
1.4 Familia Gobiesocidae	. 19
1.4.1 Gobiesox marmoratus (Jenyns, 1842)	21
1.4.2 Sicyases sanguineus (Muller y Troschel, 1843)	23
1.4.3 <i>Tomicodon chilensis</i> (Brisout de Barneville, 1846)	25
2. OBJETIVOS	27
3. HIPÓTESIS	28
4. METODOLOGÍA	29
4.1 Trabajo en terreno	29
4.2 Trabajo en Laboratorio	32
4.3 Análisis de datos	34
4.3.1 Abundancia	34
4.3.2 Análisis de microestructura de otolitos	35
4.3.2.1 Crecimiento somático	35

4.3.2.2 Tasas de crecimiento	36
a) Modelo lineal	36
b) Modelo Laird-Gompertz	37
4.3.3 Fases lunares	39
4.3.3.1 Distribución de frecuencias de fecha de eclosión	39
4.3.3.2 Estadística Circular	40
5. RESULTADOS	41
5.1 Abundancia y diversidad de las muestras de zooplancton	41
5.2 Morfometria larval	42
5.3 <i>Morfología de otolitos</i>	46
5.4 Tasas de crecimiento	52
5.5 Fases lunares	60
5.5.1 Gráfico de frecuencias según ciclo lunar	60
5.5.2 Retrocálculo de fecha de eclosión según días julianos	62
5.5.3 Estadística circular	66
6. DISCUSIÓN	68
7. CONCLUSIÓNES	79
8. LITERATURA CITADA	80
9. ANEXOS	89

Agradecimientos

Este gran paso nunca se hubiera podida realizar gracias a mi familia, mi madre Elsa, mi padre Jorge, y mi hermana Marcela, que siempre me han apoyado durante todos estos años, manteniéndose siempre preocupados y confiados para alcanzar el titulo de Biologo Marino, como también a mis familiares mas cercanos, tios, tias y mi abuela Olga, que dedicaron muchas palabras y apoyo para lograr tal alegría que convertirme en un profesional.

Al Team LABITI, Maria Jose, Pamela, Franco, Carlos y Camilo que me entregaron todo su apoyo durante todo el periodo de tesis, encontrando buenos amigos y compañeros. Como olvidar aquellos asados o festividades, que nos unieron, generando buenos lazos de amistad.

Agradezco al profesor Mauricio Landaeta, por sus consejos, ayuda y entusiasmo que demostraba cada dia para continuar de la mejor manera en el desarrollo de la tesis. Se valora la entrega y buenas vibras, abriendo las puertas de su laboratorio, el cual gratamente encontré un muy buen profesor y amigo.

A todos mis amigos y primos tanto como los de Los Andes, como de la Universidad y Viña del Mar, que me apoyaron y ayudaron en diferentes ámbitos durante el transcurso para obtener el titulo profesional. No olvido especialmente al Oscar, al Ricardo "Wallace", y al Cristian, que fueron parte de los años de carrera, compartiendo varias noches de estudios y amistad.

Al proyecto Fondecyt 1100424 "Early life history traits of Young-of-the-year

intertidal fishes of Central Chile, as revealed by otolith microstructure analysis", por el financiamiento de esta tesis, como también a los conocimientos adquiridos producto del desarrollo de este proyecto.

Finalmente agradezco a Montemar, a los profesores que impartieron de muy buena forma y con profesionalismo, sus conocimientos adquiridos durante años. Tambien a los funcionarios de nuestra facultad, que siempre nos ayudan en todo lo que necesitemos. Me llevo un gran recuerdo de esta institución, por su gente, por su ambiente universitario, y por crear una gran familia, en donde cada rincón será un recuerdo grato en mi corazón, y científicamente en mi cerebro.

Índice de Tablas

Pág.

41

Tabla 2. Datos morfométricas de Gobiesox marmoratus y Sicyases sanguineus. Se muestran medidas de longitud corporal promedio (Lc (X)), altura corporal promedio (AC (X)); y ancho corporal promedio (AnC 43 (X)).....

muestreo.....

larvas

Tabla 3. Datos morfométricos en otolitos para G. marmoratus y S. sanguineus. Se indica el promedio y la desviación estándar para cada 48 medida

Tabla 4. Datos de otolitos de G. marmoratus y S. sanguineus. Se observa el Nº de otolitos analizados, la medición promedio y desviación estándar de los microincrementos la edad mínima V У 52 máxima.....

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1. Adulto de Gobiesox marmoratus, adherido a sustrato rocoso	21
Figura 2. Adulto de Sicyases sanguineus	23
Figura 3. Desembarque total anual (toneladas) de Sicyases sanguineus	
en Chile, en el periodo 1982-2010	24
Figura 4. Adulto de Tomicodon chilensis	25
Figura 5. Área de estudio, indicando zona de muestreos en la bahía El	
Quisco, V Región Chile	31
Figura 6. Larvas de pejesapo. Se observa larva de Gobiesox	
marmoratus y Sicyases sanguineus, caracterizados por sus	
melanóforos en la parte dorsal	32
Figura 7. Morfometria larval de pejesapo (Gobiesox marmoratus),	
usados en el estudio actual. Se indica la longitud corporal (Lc), altura	
corporal (AC), ancho corporal (AnC)	33
Figura 8: Histograma de frecuencia de distribución de tamaños y	
de volumen para: muestreo 1 (a y d), muestreo 2 (b y e), y	
muestreo 3 (c y f) de larvas de Gobiesox marmoratus	44
Figura 9. Histograma de frecuencia de distribución de tamaños y	
de volumen para: muestreo 1 (a y d), muestreo 2 (b y e), y	
muestreo 3 (c y f) de larvas de Sicyases sanguineus	45

Figura	10.	Sagitta	con	doble	núcleo	en	Gobiesox	marmoratus.	Se	
indican ambos primordios en el otolito (C1 y C2)										46

Figura 14. Modelo lineal de crecimiento para a) Muestreo 1 b) Muestreo2 c) Muestreo 3......55

 Figura 15. Modelos de crecimiento para S. sanguineus. a) Modelo de

 crecimiento lineal para la longitud, b) Modelo de crecimiento

 exponencial para el volumen larval.

 56

Figura 16. Modelo lineal de crecimiento para Sicyases sanguineus para	
a) Muestreo 1 b) Muestreo 2 c) Muestreo 3	57
Figura 17. Tasa de crecimiento instantánea según la edad para G.	
marmoratus y S. sanguineus	58
Figura 18. Relación entre el ancho de los microincrementos (μ m) y	
edad. Valores promedios del grosor de los microincrementos de los	
otolitos sagitales de G. marmoratus (a) y S. sanguineus (b), las barras	
verticales indican desviación estándar	59
Figura 19. Gráfico de frecuencia de eclosión de Gobiesox marmoratus	
(n = 187), según fases lunares	60
Figura 20. Gráfico de frecuencia de eclosión de Sicyases sanguineus	
según fases lunares	61
Figura 21. Fecha de eclosión de Gobiesox marmoratus, durante los	
días del año. Se observa las fases lunares, para cada fecha. a) Datos	
obtenidos en todos los ejemplares mediante modelo talla-edad, n= 187,	
b) Grafico con datos obtenidos a partir de retrocalculo talla-edad n=	
269	63

Figura 22. Fecha de eclosión de Sicyases sanguineus, durante los días								
del año. Se observa frecuencias acumuladas, indicando en qué fase								
lunar ha eclosionado el grupo de muestras. a) Datos obtenidos en todos								
los ejemplares mediante modelo talla-edad, n= 42, b) Gráfico con datos								
obtenidos a partir de retrocalculo talla-edad n=								
85	65							
Figura 23. Frecuencia de eclosión en el ciclo lunar para las larvas de Gobiesox marmoratus.								
Figura 24. Frecuencia de eclosión en el ciclo lunar para las larvas								
Sicyases sanguineus 6								

Índice de Anexos

Anexo 1 Otros resultados a partir de mediciones del ancho de las								
larvas de	G. marmorati	us y me	diciones, y	resultado	os basados	en		
ambos	análisis	de	otolitos	de	lapilus	de		
gobiesocidos								

Resumen

La abundancia de larvas de peces está fuertemente relacionada con los factores ambientales del lugar donde se encuentren, asociadas principalmente a variaciones en las condiciones meteorológicas, oceanográficas y últimamente estudiadas, a los ciclos lunares, importantes para el periodo reproductivo, eclosión larval y asentamiento, particularmente para especies de peces criptobentónicos, como miembros de la familia Blenniidae, Gobiidae y Gobiesocidae, pudiendo ser estos procesos de escala lunar o semi-lunar. Estos diferentes factores se pueden observar mediante la lectura de las microestructuras de los otolitos, estructuras calcáreas que aparecen tempranamente en la vida del pez, encontrándose en el oído interno.

El número de bandas de crecimiento de un otolito puede determinar la edad de la especie, basándose del supuesto que los microincrementos de crecimiento sean depositados diariamente. Estas bandas están representadas por una zona opaca, caracterizada por capas delgadas; y una translúcida que se caracteriza por ser capas gruesas.

En la presente tesis se estableció la variabilidad temporal del crecimiento y periodo de eclosión asociado a ciclos lunares, de larvas de 2 especies de gobiesócidos, *Gobiesox marmoratus* y *Sicyases sanguineus*. Ambas especies se caracterizan por ser dorsoventralmente aplanados, con presencia de un disco adhesivo ventral y piel desnuda. El estudio se llevo a cabo en la Bahía de El Quisco, entre fines de invierno y principios de primavera de 2010.

Se realizaron 3 muestreos de zooplancton en estaciones localizadas entre 1 a 2 millas náuticas, recolectado mediante una red Bongo estándar a 20 m de profundidad. De las muestras obtenidas (269) se separaron las larvas de ambos gobiesócidos, las cuales fueron medidas, para luego extraer los otolitos, y realizar conteo de los microincrementos con ayuda de un microscopio equipado con un filtro de luz polarizada. Con los datos de las longitudes corporales y la medición y conteo de las microestructuras de los otolitos se establecieron, las tasas de crecimiento según longitud y volumen de las larvas, retrocálculo de fechas de eclosión, y la existencia de patrónes asociados a un ciclo lunar.

Los otolitos sagittas de *G. marmoratus* crecieron más rápido en radio, perímetro y área que los de *S. sanguineus*. Ambas especies mostraron diferencias significativas (P< 0,05) en el crecimiento de las larvas y la periodicidad lunar de las eclosiones. Se observó que las larvas de *G. marmoratus*, presentaron tamaños de eclosión más pequeños (2,67 mm), pero mayores tasas de crecimiento (0,24 mm dia⁻¹), que los de *S. sanguineus* (3,33 mm y 0,14 mm dia⁻¹) respectivamente. Esto también se observó en los volúmenes corporales de ambas especies, en donde las larvas de *G. marmoratus*, mostraron una tasa de aumento del volumen mayor (0,14 mm³ dia⁻¹) que las de *S. sanguineus* (0,08 mm³ día⁻¹). Estas especies, el proceso de eclosión estubo asociado a ciclos lunares, en donde *G. marmoratus*, se observan frecuencias de eclosión, más altas en cuarto menguante, presentando un patrón lunar, a diferencia de *S. sanguineus*, donde se observandose un patrón semilunar de eclosión. Pese a estos diferentes patrones lunares, en ambas

especies la eclosión se concentró principalmente en cuarto menguante. Estos resultados indican que la disgregación entre los acontecimientos de eclosión, como las diferentes tasas de crecimiento pueden ser tácticas para aumentar la concentración de larvas en la costa, disminuyendo la mortalidad por depredación visual, como también la disminución de la competencia alimentaria entre especies, producto de las diferencias entre patrones lunares, como también de los volúmenes corporales calculados.

1. INTRODUCCIÓN

Los peces óseos tienen diferentes estados de desarrollo durante su ciclo de vida. Una de las etapas más importantes es el estado larval, siendo el periodo de vida más complejo debido a sus altas tasas de mortalidad. La duración del estado larval de los peces varía considerablemente entre especies, siendo de algunos días a varios meses (Raventós & Macpherson 2001).

La abundancia de larvas de peces está fuertemente relacionado con los factores ambientales del lugar donde se encuentren (Hernández-Miranda *et al.* 2003), asociadas principalmente a variaciones en las condiciones meteorológicas y oceanográficas, como los eventos de surgencia, cuyos procesos están relacionados con una alta abundancia estacional de larvas de peces, particularmente durante primavera y otoño (Hernández-Miranda *et al.* 2003, Landaeta *et al.* 2008).

1.1 Fases lunares

Otros procesos de diferentes escalas espacio-temporales, como las fases lunares, son importantes para el periodo reproductivo, eclosión larval y asentamiento, particularmente para especies de peces criptobentónicos, como son los miembros de la familia Blenniidae, Gobiidae y Gobiesocidae, pudiendo ser estos procesos de escala lunar o semi-lunar (Robertson *et al.* 1990). En mareas sicigias, cuando se encuentra en la fase de luna llena o nueva, ocurre la mayor

amplitud de mareas (diferencia entre pleamar y bajamar), a diferencia de las mareas de cuadratura, periodo de luna menguante y creciente, en donde las mareas son de menor amplitud. A estos periodos se asocian diferentes tácticas en la reproducción de peces costeros, en donde en mareas sicigias se puede ocurrir mayor dispersión de larvas, pero una menor depredación visual (particularmente durante luna nueva), a diferencia de las mareas de cuadratura, donde puede existir una menor dispersión de las larvas, pero una mayor depredación visual.

1.2 Los Otolitos

El tiempo en que las larvas planctónicas permanecen en la columna de agua se denomina duración pelágica larval (pelagic larval duration, PLD), y puede calcularse mediante la lectura de los otolitos, estructuras calcáreas que aparecen tempranamente en la vida del pez, encontrándose en el oído interno, siendo piezas importantes en los peces óseos, ya que son parte del sistema acústico lateral y sirven como órganos de audición y del equilibrio (Merchant *et al.* 2008). Estas estructuras se encuentran embebidas en el líquido endolinfático, alojándose en dos cavidades adyacentes al neurocráneo, llamadas cápsulas óticas. Los otolitos están formados de carbonato de calcio en forma de aragonita, o de fosfato de calcio en forma de calcita y/o apatita.

Los peces teleósteos cuentan con 3 pares de otolitos, recibiendo cada uno diferente nombre, dependiendo de la cavidad ótica en que se encuentren: el más

anterior, localizado dentro del utrículo es llamado lapilus; el ubicado en la lagena es llamado asteriscus y el alojado en el sáculo, sagitta (Martínez *et al.* 2007), siendo este último, el más importante y utilizado principalmente en trabajos relacionados con la determinación de la edad y morfología. Los otolitos también pueden brindar importantes datos paleontológicos, sobre migración de especies, cambio en las condiciones del hábitat como temperatura y salinidad, líneas filogenéticas y estudios de trama trófica, gracias a su tamaño y a las ornamentaciones que presentan (Merchant *et al.* 2008).

Inicialmente en los otolitos se forma un núcleo alrededor del cual se depositan capas, en donde se acumulan proteínas y/o aragonita, y creando bandas concéntricas a medida que el pez crece e interactúa con los cambios ambientales. El número de bandas de crecimiento de un otolito puede determinar la edad de la especie. Estas bandas están representadas por una zona opaca, caracterizada por capas delgadas; y una translúcida que se caracterizan por ser capas gruesas (Quiñonez-Velázquez et al. 2002). La diferente opacidad de las bandas obedece a la cantidad de calcio y proteína que se deposita, así la zona hialina contiene gran cantidad de cristales de carbonato de calcio, mientras que en la zona opaca, se encuentra poca cantidad. Por ello, cuando se deposita poca cantidad, los cristales de carbonato de calcio son pequeños y el espacio existente entre los mismos es llenado por proteínas, lo que aumenta la opacidad. De este modo, los otolitos aumentan su tamaño añadiendo zonas alternadas de diferente opacidad (FAO 1982). La presencia de microincrementos en los otolitos ha apoyado la determinación de la edad, crecimiento, mortalidad e historia de la vida

temprana, estos estudios se basan del supuesto que los microincrementos de crecimiento sean depositados diariamente (Panella 1971), también puede ser con alguna tasa constante (Lough *et al* 1982); que la fecha de formación de microincrementos inicial sea conocida y que exista una relación funcional entre el crecimiento del otolito y la longitud corporal.

1.3 Tasas de crecimiento

El aumento corporal larval no es constante en la mayoría de los peces; hay peces que crecen con mayor rapidez en la longitud corporal que el ancho corporal, siendo alargadas y con elevadas tasas de crecimiento, como las sardinas (0,4-0,85 mm día⁻¹, Serra & Tsukayama 1988; 0,4-0,65 mm día⁻¹, Castillo *et al.* 1985) y anchovetas (0,4-0,57 mm día⁻¹, Hernández & Castro 2000; 0,68-0,79 mm día⁻¹ Castro & Hernández 2000); y otros con tasas relativamente bajas, como *Sebastes oculatus* (0,15 mm día⁻¹, Landaeta & Castro 2006), *Normanichthys crockeri* (0,15-0,2 mm día⁻¹, Landaeta *et al.* 2010) y *Merluccius australis* (0,08–0,15 mm día⁻¹, Bustos & Landaeta 2005).

1.4 Familia Gobiesocidae

Hasta la fecha hay escasa información sobre tasas de crecimiento larval en la Familia Gobiesocidae, lo cual está integrado por 43 géneros y 150 especies alrededor del mundo (Sampaio *et al.* 2004). Los miembros de esta familia habitan sectores tropicales y templados en el Océano Atlántico, Indico y Pacífico (Allen 1984). Estos peces se caracterizan por ser dorsoventralmente aplanados, con presencia de un disco adhesivo ventral y piel desnuda (Yáñez 1953), llegando a medir 30 cm de longitud. Su color principalmente verdoso con tonos grices y marrón oscuro en la parte dorsal, y a menudo con dibujos de manchas o reticulaciones; su área ventral posee un color blanco. Usualmente habitan superficies rocosas, u otros sustratos duros gracias a su disco ventoso. Presentan actividad alimentaria nocturna, presentando dos tácticas: avanzando entre las rocas, o aprovechando la energía de las mareas para avanzar 4 veces su tamaño y alimentándose principalmente de crustáceos bentónicos (Pires & Gibran 2011). Las especies del Oceano Indo-Pacífico pueden convivir con equinodermos y podrían ser encontrados en zonas profundas (Leis & Rennis 2000). Estudios en Brasil, sobre Gobiesox barboratus, han evidenciado que la especie posee una época reproductiva que transcurre entre finales de primavera y comienzos de verano, depositando alrededor de 2000 huevos demersales adhesivos, esféricos, de 1 mm de diámetro en una única camada sobre las rocas. Cuentan con más de una sesión de puestas de huevos por temporada reproductiva, por lo tanto muestra varias etapas de diferente desarrollo (Pires & Gibran 2011). Los adultos (principalmente el macho), protege los huevos durante el desarrollo. Los huevos tienen de 1 a 100 glóbulos de aceite, dependiendo de la especie y la etapa de desarrollo. Las larvas son alargadas, y a medida que crecen se tornan más robustas. La mayoría de las larvas de Gobiesocidae son muy pigmentadas (Allen 1984). Estudios llevados a cabo en especies del Mediterráneo, han indicado que esta familia tiene una duración planctónica relativamente corta, con periodos de

permanencia en la columna de agua de 14 y 15 días, antes de su asentamiento (Beldade *et al.* 2007).

En Chile los miembros de esta familia, son comúnmente llamados pejesapos, los cuales son muy apreciados por la calidad de su carne. Están representados por *Gobiesox marmoratus* Jenyns (1842), *Sicyases sanguineus* Műller y Troschel (1843), y *Tomicodon chilensis* Brisout de Barneville (1846). Una cuarta especie *Sicyases hildebrandi* Schultz (1944), ha sido reportada solo en el Archipiélago de Juan Fernández (Vera & Pequeño 2001).

1.4.1 Gobiesox marmoratus (Jenyns, 1842)



Figura 1. Adulto de Gobiesox marmoratus, adherido a sustrato rocoso.

La especie *Gobiesox marmoratus* (Jenyns, 1842), se distribuye geográficamente desde Bahía Independencia (Perú) hasta el extremo austral de Chile (Mann 1954). Es de cuerpo muy deprimido, ancho en la región cefálica con

borde redondeado, aberturas nasales próximas a los ojos, labio superior delgado y labio inferior con dos pliegues por lado, su epidermis lisa con ausencia total de escamas, las aletas no están cubiertas por piel (de Buen 1960).

G. marmoratus recluta al sustrato rocoso desde el estado juvenil en sectores bañados por un oleaje medianamente intenso. Su vida bentónica puede iniciarse entre los 10 y 19 mm longitud total (LT). Mantiene una dieta carnívora durante toda su vida, aunque ésta varía durante la ontogenia, donde los juveniles consumen principalmente anfípodos, mientras que los adultos incorporan crustáceos decápodos (Muñoz & Ojeda 1997).

Al momento de la eclosión, la LT de *G. marmoratus* mide entre 4,1 a 4,3 mm de longitud. La flexión notocordal se inicia entre los 5,5 a 6,0 mm LT, donde se esbozan los primeros radios. A los 6,4 mm LT la longitud preanal representa un 62% de la longitud estándar. El vitelo es totálmente reabsorbido en las larvas entre los 4,4 y 4,6 mm LT, entre 1 y 3 días. Presentan pigmentación desde el desarrollo embrionario en la fase V del huevo, observándose escasamente cromatóforos en el largo del vientre y en la región adyacente del vitelo (Pérez 1981). En su etapa adulta llegan a medir 16 cm de longitud total (Pardo-Gandarillas *et al.* 2004).

1.4.2 Sicyases sanguineus (Muller y Troschel, 1843)



Figura 2. Adulto de Sicyases sanguineus.

Se distribuye desde Salaverry (Perú) a Punta Arenas, encontrándose fundamentalmente en aguas costeras, entre el submareal e intermareal rocoso, ocurriendo en lugares bentónicos adheridos a la superficie de sectores expuestos a un intenso oleaje. Los individuos de esta especie pueden sobrevivir un par de horas si se encuentra en charcos o aguas estancadas (Ebeling *et al.* 1970). Empiezan a reclutar al bentos a comienzo de su estado juvenil, adhiriéndose con su ventosa a sustratos rocosos. Por su exposición permanente, esta especie siempre está alerta, pudiendo detectar movimiento de objetos a distancias entre 10 y 15 m (Paine & Palmer 1978). Es la única de la familia que alcanza los 30 cm de longitud estándar y desarrolla una gran musculatura, por lo que otorga un valor adicional para consumo humano (Castillo de Maruenda 1962). Este organismo es importante recurso de pesca artesanal desde 1982 en desembarques oficial, entre la IV y V Región. El promedio de desembarques en el periodo 1982-2002, fue de 6,95 toneladas; su mayor cifra de desembarque correspondió a 22 ton en 1997

(Figueroa 2005). Como se observa en la fig 3, desde 1999 los desembarques han bajado considerablemente, teniendo desembarques promedio hasta el año 2010 de 1 ton (SERNAPESCA 2010).



Figura 3. Desembarque total anual (toneladas) de *Sicyases sanguineus* en Chile, en el periodo 1982-2010.

La alimentación de los adultos es a base de mitílidos que ingieren incluso con valvas, pero también pueden consumir otros organismos como gasterópodos, pequeños crustáceos y algas (Paine & Palmer 1978). En el ambiente acuático los juveniles son notoriamente más activos que los adultos. Los adultos cuentan con el sentido de la vista muy desarrollado, divisando presas desde los 10 m aproximadamente (Castillo de Maruenda 1962; Paine & Palmer 1978). Estudios llevados a cabo en Perú han demostrado que los principales depredadores de esta especie son: el pulpo *Polypus fontaineaus*, el chungungo (*Lontra felina*) y el lobo marino (*Otaria flavescens*) (Castillo de Maruenda 1962).

Las larvas de *Sicyases sanguineus*, eclosionan aproximadamente entre los 5,0 y 5,5 mm. La flexión notocordal se inicia entre los 7,0 y 7,2 mm LT, a pratir del cual aparecen los primeros radios caudales. Durante esta fase la longitud pre-anal alcanza el mayor porcentaje en la longitud estándar (62 a 73%), disminuyendo en las fases siguientes. Al llegar a los 11,2 mm LT se ha completado la flexión notocordal. Los miembros de esta especie presentan pigmentación desde el desarrollo embrionario (eritróforos) (Pérez 1981).

1.4.3 Tomicodon chilensis (Brisout de Barneville, 1846)



Figura 4. Adulto de *Tomicodon chilensis*.

La especie Tomicodon chilensis, habita desde Perú a Valparaíso, encontrándose también en las Islas Galápagos. Presenta características demersales, llegando a medir 5 cm de longitud total. Similarmente los miembros de las otras especies, *T. chilensis* se encuentra también asociado a sectores rocosos (Grove & Lavenberg 1997).

De acuerdo con los antecedentes disponibles, la determinación de la edad, su verificación y validación son aspectos que no han sido abordados para Gobiesox marmoratus y Sicyases sanguineus en Chile. Asimismo, el crecimiento en longitud y la tasa de mortalidad natural son parámetros de la historia de vida correlacionados fuertemente dependientes de la exactitud de las y determinaciones de edad. Por ello es de vital importancia hacer una revisión de los métodos utilizados en la determinación de edad en ambas especies, al fin de validar y determinar con exactitud, las tasas de crecimiento en el estado larval y los cambios que han presentado al interactuar con las fases lunares y cambios del ambiente.

2. OBJETIVOS

General

 Determinar la variabilidad interespecífica en el crecimiento larval y periodo de eclosión de los pejesapos Gobiesox marmoratus y Sicyases sanguineus en bahía El Quisco Chile Central, utilizando la microestructura de los otolitos.

Específicos

- Identificar las larvas de pejesapo, Gobiesox marmoratus y Sicyases sanguineus de muestras de plancton recolectadas durante la primavera de 2010.
- Estimar la tasa de crecimiento larval y establecer si hay diferencias significativas entre *Gobiesox marmoratus* y *Sicyases sanguineus*, mediante el ajuste de modelos lineales.
- **3.** Determinar la fecha de eclosión y compararla con fases lunares, mediante gráficos de distribución de frecuencias.

3. HIPÓTESIS

H1: Según Robertson *et al.* (1990), los patrones de movimiento, alimentación y reproducción de peces teleósteos está estrechamente asociados con el régimen de mareas. Por lo tanto, se espera que las larvas de *Gobiesox marmoratus* y *Sicyases sanguineus*, presenten un patrón de eclosión asociada a una fase lunar.

H2: Hasta la fecha se ha reportado que las larvas de *S. sanguineus* (5 – 5,5 mm LT) eclosionan a tamaños mayores que en *G. marmoratus* (4,1 – 4,3 mm LT) (Pérez 1981). Un tamaño mayor de eclosión otorga ventajas adaptativas para la captura de alimento y escapar de los predadores. Por consiguiente, es razonable hipotetizar que el crecimiento larval sea mayor en *S. sanguinues* que en *G. marmoratus*.

Esta hipótesis se fundamenta también con lo observado en longitudes corporales en adultos de *Sicyases sanguineus*, que son mucho más grandes (30 cm, Castillo de Maruenda 1962), que lo observado en *G. marmoratus* (16 cm, Pardo-Gandarillas *et al.* 2004), esperado mayores tasas de crecimiento en larvas de *S. sanguineus* que en *G. marmoratus*.

4. METODOLOGÍA

Mediante el proyecto Fondecyt N° 1100424: "Early life history traits of young-of-the-year intertidal fishes of central Chile, as revealed by otolith microestructure analysis", a cargo del Dr. Patricio Ojeda de la Pontificia Universidad Católica de Chile, y como co-investigadores, Mauricio Landaeta de la Universidad de Valparaíso y Guido Plaza de la Pontificia Universidad Católica de identificar y estudiar 7 especies de peces en Chile Central: *Gobiesox marmoratus, Sicyases sanguineus, Graus nigra, Girella laevifrons, Scartichthys viridis, Auchenionchus microcirrhis y Helcogrammoides chilensis.*

Se tomó como objetivo en la presente tesis, las especies de pejesapos, *Gobiesox marmoratus* y *Sicyases sanguineus*, ya que estas especies son objetivo de estudio en el proyecto descrito, como también hay un gran desconocimiento sobre su historia de vida.

4.1 Trabajo en Terreno

Para la obtención de las larvas de pejesapos, se realizaron 3 muestreos de zooplancton realizados entre los meses de septiembre y octubre de 2010, en estaciones localizadas entre 1 a 2 millas náuticas de la bahía del Quisco, Chile central (Fig 5). Esta sector corresponde a una costa rocosa, designada como un área de gestión de recursos bentónicos, que es un área marina protegida, en

donde se explota de manera controlada por pescadores artesanales (Hernández-Miranda *et al.* 2003). Las características oceanográficas y meteorológicas de esta zona muestran un claro patrón estacional, típica de estas latitudes, con periodos intermitentes de surgencia y la relajación entre el final de la primavera y comienzo del otoño. Esta zona se caracteriza también por los altos niveles de estratificación y la intrusión de las aguas oceánicas durante el verano y las tormentas fuertes durante el invierno (Hernández-Miranda *et al.* 2003).

Los muestreos se llevaron a cabo desde el atardecer hasta la media noche, consistiendo de 5 a 8 transectos situados en paralelo a la bahía de El Quisco (Fig 1). El ictioplancton fue recolectado mediante una red Bongo (60 cm de diámetro, red de 300 µm de apertura de malla), equipado con flujómetro TSK, para cuantificar el volumen de agua filtrada. Cada red, en su extremo más angosto, esta equipada por 1 copo con una malla de 300 µm de apertura de malla. Los arrastres en cada estación se realizaron a una velocidad de 1 a 2 nudos, usando la lancha científica "Ilán" de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

En cada estación se realizaron arrastres horizontales desde la superficie hasta aproximadamente los 20 m de profundidad, según las condiciones de viento y observando la profundidad oceánica. Los arrastres tuvieron una duración de 15 min aproximadamente, dependiendo de la cantidad de plancton recolectado por las redes. Cada red se limpió con ayuda de pisetas con agua de mar, y cada muestra, con su réplica, se almacenó en un frasco de medio litro, fijándolo en una

solución de formalina al 4%, tamponada con borato de sodio, para su posterior análisis.



Figura 5. Área de estudio, indicando zona de muestreos en la bahía El Quisco, V

Región Chile.

4.2 Trabajo en Laboratorio

En el laboratorio de Ictioplancton (LABITI) de la Universidad de Valparaíso, las muestras se fijaron en etanol al 96%, ciertas horas después de su fijación en formalina, para luego separar bajo lupa, las larvas de peces, del resto del zooplancton recolectado. Del total de larvas separadas se identificaron las especies de Gobiesocidae, *Gobiesox marmoratus* y *Sicyases sanguineus* según Pérez (1981), los cuales se caracterizan por las líneas de melanóforos en el sector dorsal, que para *G. marmoratus* se observa una línea y para *S. sanguineus* 2 líneas de melanóforos (Figura 6).



Figura 6. Larvas de pejesapos de *Gobiesox marmoratus* y *Sicyases sanguineus*, caracterizados por sus melanóforos en la parte dorsal.

A cada individuo se midió la longitud corporal (Lc): la longitud notocordal (desde la punta del hocico hasta la punta del notocordo) en larvas en preflexión, o longitud estándar (desde la punta del hocico hasta la base de los radios hipurales), en larvas en flexión y postflexión; además se midió la altura del cuerpo al nivel de la base de la aleta pectoral; se midió el ancho (desde la base de la aleta pectoral derecha, hasta la base de la aleta pectoral izquierda) (Figura 7). Las medidas se realizaron con ayuda de una lupa estereomicroscópica Olympus SZ61 equipada con una cámara Moticam 2000 (5MPx) conectada a un PC, utilizando el software Moticam Images Plus 2.0.



Figura 7. Morfometría larval de pejesapo (*Gobiesox marmoratus*), usados en el estudio actual. Se indica la longitud corporal (Lc), altura corporal (AC), ancho corporal (AnC).

Se extrajeron los otolitos sagitta y lapilus, con ayuda de una lupa Olympus SZ61, equipada con un filtro de luz polarizada de alta calidad, para observar con mayor facilidad los otolitos con respecto al tejido del organismo, y ambos sagitta y lapilus, se fijaron en un portaobjetos con resina epóxica transparente.

Cada otolito fijado, se observó en un microscopio Motic BA310, equipado con una cámara Moticam 2500 de 5.0 (MPx), conectado a un computador. Se

captó cada otolito extraído a 1000x con ayuda del programa Motic Images Plus 2.0.

Con las imágenes de cada otolito, se obtuvo el radio, perímetro y área. Para el radio, se calculó la media de 3 mediciones del sector radial con mayor longitud en el otolito, desde el núcleo al margen posterior y así obtener el radio promedio. Además, se contaron los microincrementos, y se midieron a partir de una marca notoriamente más oscura que los otros microincrementos, que correspondió a la marca de eclosión (hatch mark). Finalmente se midió la anchura de los últimos 3 microincrementos.

4.3 Análisis de Datos

4.3.1 Abundancia:

Según los datos obtenidos del flujómetro y el número de larvas encontradas, se determinó el número de individuos por 1000 m⁻³. Los datos entre especies fueron comparados mediante un test Mann-Whitney, y así determinar si existieron diferencias en la abundancia entre especies. Los datos obtenidos durante los 3 muestreos en ambas especies, fueron comparados mediante un test no paramétrico Shapiro Wilk, para determinar si en alguna estación se observó frecuencias significativamente más altas que en las otras estaciones (p<0,001) 4.3.2 Análisis de microestructura de otolitos:

4.3.2.1 Crecimiento somático

Mediante el programa STATISTICA 7 se ajustó una regresión lineal por mínimos cuadrados entre la longitud corporal versus el radio promedio y el perímetro de los otolitos analizados; luego se realizó un modelo exponencial entre la longitud corporal y el área del otolito. Estos análisis fueron como objetivo determinar si el crecimiento del otolito, es un buen indicador del crecimiento corporal en la larva. Luego se compararon los otolitos derecho e izquierdo mediante un test de pendientes múltiples, para determinar si las lecturas coincidían estadísticamente. 4.3.2.2 Tasas de crecimiento:

Las tasas de crecimiento de las larvas de pejesapos, *Gobiesox marmoratus y Sicyases sanguineus,* se estimaron mediante 2 modelos:

a) Modelo lineal:

Considerando que la edad de las larvas se asimila al número de incrementos en los otolitos, las tasas de crecimiento se establecerán mediante un ajuste de modelo lineal por mínimos cuadrados:

$$L(t) = \alpha + \beta t$$

La longitud corporal no es siempre un buen indicador de crecimiento, para ello se utilizó el producto entre la longitud corporal y la altura del cuerpo al cuadrado (AC^2), y así observar el crecimiento corporal en dos dimensiones. Se obtuvo la ecuación LC x AC^2 y a la relación de esta ecuación, con el número de microincrementos del otolito, se aplicaron ajustes lineales por mínimos cuadrados (Hovenkamp & Witte 1991).
Los valores de los caracteres morfométricos de los otolitos fueron comparados aplicando un análisis de covarianza (test ANCOVA) (Zar 1999), utilizando como co-variables dependientes la longitud corporal y el número de microincrementos como variable explicatoria, y así probar si hay diferencias significativas en las tasas de crecimiento larval de ambas especies. Se aplicó un test de comparaciones múltiples a posteriori (Tukey) para diseños no balanceados con una significancia del 5%, y determinar qué pendientes son diferentes.

b) Modelo Laird-Gompertz:

Un gran número de funciones matemáticas han sido diseñadas para describir el crecimiento, entre ellas el modelo Gompertz. Este modelo asume que la tasa de crecimiento postnatal se incrementa monotónicamente hasta cuando alcanza un máximo y después decrece en forma monótona asintóticamente (Casas *et al.* 2010). Este modelo ha sido ocupado para estudios en crecimiento en larvas de peces de *Syacium gunteri*, en donde justifican la elección del modelo gracias a la mejor aproximación para la longitud de eclosión (Sánchez Iturbe *et al.* 2006). En la fase inicial de la curva se observa un periodo donde la tasa de crecimiento es cercana a cero, y a medida que la especie va creciendo, se van creando promedios de tasas de crecimiento para cada edad.

El modelo Laird- Gompertz es:

$$Lc(t) = L_x \exp \left\{ a(1 - \exp[-a t]) \right\}$$

En donde: Lc= Longitud corporal a la edad t

L_x = Tamaño de eclosión

- t = Edad
- a = Tasa de crecimiento exponencial

Mediante este modelo se estimó el crecimiento promedio de cada especies para cada edad, y así estimar las tasas instantáneas de crecimiento; a qué edad empiezan a crecer con mayor frecuencia y/o empiezan a desacelerar el crecimiento promedio; y en qué edad los individuos están creciendo con mayor rapidez. Se aplicó con ayuda del programa PAST 2.12 a los datos de edad y longitud corporal.

4.3.3 Fases lunares:

4.3.3.1 Distribución de frecuencias de fechas de eclosión

Con el número de microincrementos contados, se retrocalculó la fecha de eclosión en días julianos. Posteriormente, las fechas de eclosión se ajustaron a una fase del periodo lunar (29 días), tomando como día 1, el primer día de luna nueva. Mediante un gráfico de frecuencia se observó en qué periodo lunar los organismos eclosionaron eclosionando, y si existió una relación entre la fecha de eclosión y las fases lunares.

También se determinó mediante retrocálculo cuántas cohortes existieron en el periodo de muestreo. Para ello se obtuvo el día del año donde eclosionó cada larva, llevándolo a distribución de frecuencias.

4.3.3.2 Estadística circular

La estadística circular se aplica a aquellos datos que pueden representarse gráficamente sobre un círculo, es decir, aquellas variables en que dos valores coinciden en un mismo punto (Lahoz *et al.* 1994). Se calculó el periodo angular con ayuda del programa PAST 2.12, en donde se tomó como 0º la luna nueva. Se obtuvo mediante este análisis dos test de uniformidad:

- Test de Rayleigh, donde determina si las distribuciones de eclosión tuvieron un patrón uniforme dentro del ciclo lunar. Este test supone que un valor del módulo medio más largo implica una concentración mayor en torno a la media y por tanto menos probabilidad de que los datos estén uniformemente distribuidos (García & Pérez 2008).
- Test de Rao, se presenta como más robusto que el de Rayleigh, pudiendo ser un buen complejo en cualquier caso, es más sensible a distribuciones bimodales y multimodales para probar la uniformidad en la distribución de los datos (Russell & Levitin 1995; García & Pérez 2008).

5. RESULTADOS

3.1 Abundancia larval en las muestras de zooplancton.

En el total de las muestras analizadas predominaron las larvas de clínidos y cabrilla *Sebastes oculatus*. Las abundancias totales estandarizadas fueron significativamente mayores para *G. marmoratus* que para *S. sanguineus* (Mann-Whitney U=289, p=0,008). Para las larvas de *Gobiesox marmoratus* la abundancia en los tres muestreos realizados, varió entre $26,8 \pm 18,5 \text{ y } 190,7 \pm 324,4$ (ind 1000m^{-3}). Para *Sicyases sanguineus* la abundancia en los tres muestreos, varió entre $11,8 \pm 4,9 \text{ y } 70,2 \pm 124,7$ (ind 1000m^{-3}). En ambas especies las mayores abundancias ocurriéron en el segundo muestreo: 937,8 ind/1000m³ para *G. marmoratus* y 380,9 ind/1000m³ para *S. sanguineus* (Kruskal-Wallis H=7,4, p=0,023) (Tabla 1).

Tabla 1. Datos de abundancia para Gobiesox marmoratus y Sicyases sanguineusdurante los 3 muestreos. Se observa el número total de larvas encontradas y laabundancia para cada muestreo.

		Gobiesox n	narmoratus		Sicyases sanguineus			
Fecha	Ν	Abundancia	Rango	Ν	Abundancia	Rango		
		(ind. 1000 m ⁻³)	(ind. 1000 m ⁻³)		(ind. 1000 m ⁻³)	(ind. 1000 m ⁻³)		
02/09/2010	61	28,9 ± 18,5	5,9 – 73,9	17	11,8 ± 4,9	5,3 – 20,1		
09/09/2010	137	190,7 ± 324,4	18,9 – 937,8	48	70,2 ± 124,7	4,8 - 380,9		
04/10/2010	71	$26,8 \pm 26,8$	4,1 – 110,2	27	$20,0 \pm 22,8$	3,5 – 77,2		

5.2 Morfometría larval

Para las larvas de *G. marmoratus*, la longitud corporal promedio fue de 4,66 \pm 1,01 mm; la longitud corporal varió entre 2,67 y 8,62 mm. La altura corporal promedio fue de 0,80 \pm 0,19 mm y el ancho corporal promedio fue de 0,52 \pm 0,16 mm. Para *S. sanguineus* la longitud corporal promedio de las larvas fue de 5,45 \pm 0,88 mm; la longitud corporal mínima fue de 3,33 mm y máxima de 9,48 mm. La altura corporal promedio fue de 0,83 \pm 0,16 mm y el ancho corporal fue de 0,55 \pm 0,14 mm (Tabla 2).

Según la comparación de la distribución de tamaño, no siguieron una distribución normal en ambas especies (Shapiro-Wilks: *G. marmoratus* (W = 0,92, p < 0,01); *S. sanguineus* (W = 0,92, p < 0,01)) en los tres muestreos realizados. El test no paramétrico Kruskal-Wallis, mostro diferencia significativas entre los tres muestreos (Kruskal-Wallis: *G. marmoratus* (H = 26,45, p = 0), *S. sanguineus* (H = 22,53, p = 0)). Con respecto al volumen corporal, también no se presentó una distribución normal, en ambas especies (Shapiro-Wilk: *G. marmoratus* (W = 0,77 p = 0); *S. sanguineus* (W = 0,72, p < 0,01)), habiendo diferencias significativas entre los tres muestreos (Kruskal-Wallis: *G. marmoratus* (H = 14,21, p < 0,01), *S. sanguineus* (H = 11,45, p < 0,01)). Hubo diferencia entre los tres muestreos para la distribución de tamaño y el volumen (Tukey, p < 0,01) (Fig 8 y Fig 9).

Tabla 2. Datos morfométricos de Gobiesox marmoratus y Sicyases sanguineus.

Se muestran medidas de longitud corporal promedio (Lc (X)), altura corporal

	Datos morfométricas de <i>Gobiesox marmoratus</i> (mm)									
Muestreo		Lc	Lc		AC	AC	AC	AnC	AnC	AnC
	n	min	máx.	Lc (X)	min	máx.	(X)	min	máx.	(X)
2-Sep	61	2,67	7,67	4,12	0,43	1,86	0,76	0,24	1,10	0,50
9-Sep	136	3,14	8,62	4,89	0,48	1,43	0,82	0,29	1,19	0,54
4-Oct	72	3,29	7,33	4,71	0,43	1,86	0,79	0,24	1,10	0,50
Total	269	2,67	8,62	4,66	0,43	1,86	0,80	0,24	1,19	0,52

promedio (AC (X)); y ancho corporal promedio (AnC (X)).

	Medidas morfometricas de Sicyases sanguineus (mm)									
Muestreo		Lc	Lc		AC	AC	AC	AnC	AnC	AnC
	n	min	máx.	Lc (X)	min	máx.	(X)	min	máx.	(X)
2-Sep	17	3,33	5,57	4,65	0,43	0,95	0,74	0,29	0,71	0,46
9-Sep	49	4,00	9,48	5,72	0,67	1,48	0,87	0,33	1,05	0,57
4-Oct	19	4,24	7,76	5,48	0,52	1,29	0,82	0,33	1,10	0,57
Total	85	3,33	9,48	5,45	0,43	1,48	0,83	0,29	1,10	0,55



Figura 8. Histograma de frecuencia de distribución de tamaños y de volumen para: muestreo 1 (a y d), muestreo 2 (b y e), y muestreo 3 (c y f) de larvas de *Gobiesox marmoratus*.



Figura 9. Histograma de frecuencia de distribución de tamaños y de volumen para: muestreo 1 (a y d), muestreo 2 (b y e), y muestreo 3 (c y f) de larvas de Sicyases sanguineus.

5.3 Morfología de otolitos

La mayoría de los otolitos analizados en *Gobiesox marmoratus*, presentaron una forma circular, en comparación a los otolitos de *Sicyases sanguineus*, en donde algunos de ellos se mostraron una forma ovalada y/o con 2 primordios (Figura 10).



Figura 10. Sagitta con doble núcleo en *Gobiesox marmoratus*. Se indican ambos núcleos o primordios en el otolito (C1 y C2).

De los 269 muestras de *G. marmoratus*, se pudieron extraer 219 otolitos sagitales derechos, 178 sagittas izquierdas, 188 lapilus derecho y 125 lapilus izquierdo. En *S. sanguineus* del total de 85 muestras se extrajo 66 sagittas derecha, 57 sagittas izquierda, 54 lapilus derecho y 34 lapilus izquierdos.

En ambas especies, se encontró una banda de mayor grosor, correspondiendo a la banda de eclosión, donde esta es mas evidente en las sagittas que en los lapilus (Fig. 11). Para *G. marmoratus* el radio a la banda de eclosión promedio para las sagittas fue de $22,3 \pm 5,02 \mu m$; y para los lapilus 19,14 \pm 4,88 μm . En *S. sanguineus* el radio a la banda de eclosión promedio para los sagittas fue de 14,08 \pm 2,53 μm ; y para los lapilus derechos fue de 12,23 \pm 2,01 μm .

Los datos morfometricos de los sagittas en *G. marmoratus*, indican que el radio promedio varió entre 17,8 - 69,83 µm, el perímetro entre 104,8 – 463,3 µm, y el área entre 789,1 – 11968,2 µm². Para los lapilus el radio promedio varió entre 12,89 - 65,7 µm, el perímetro entre 86,9 – 406 µm, y el área entre 584,03 – 8591,7. (Tabla 3).

Con respecto a los datos morfométricos de las sagittas en *S. sanguineus*, se obtuvo que el radio promedio varió entre 19,06 - 43,86 µm, el perímetro entre 113,8 – 255,2 µm, y el área entre 1006,4 – 5114,3 µm². Para los lapilus el radio promedio varió entre 15,06 - 41,16 µm, el perímetro entre 79,2 – 222,4 µm, y el área entre 484,1 – 3881,8 µm² (Tabla 3).

Tabla 3. Datos morfométricas en otolitos para G. marmoratus y S. sanguineus. Se

Especie	Otolito	Promedio de Medidas Morfometricas en otolitos							
		Banda de eclosión (μm)	Radio (µm)	Perímetro (µm)	Área (μm²)				
Gobiesox	Sagittas	22,3 ± 5,02	17,8 - 69,83	104,8 – 463,3	789,1 – 11968,2				
marmoratus	Lapilus	$19,14 \pm 4,88$	12,89 - 65,7	86,9 – 406	584,03 – 8591,7				
Sicyases	Sagittas	14,08 ± 2,53	19,06 - 43,86	113,8 – 255,2	1006,4 – 5114,3				
sanguineus	Lapilus	12.23 ± 2.01	15.06 - 41.16	79.2 – 222.4	484.1 – 3881.8				

indica el promedio y la desviación estándar para cada medida.



Figura 11. Otolitos de *G. marmoratus* en donde se observa el core (c), y la marca de eclosión (e). A) Sagitta derecho y B) lapilu derecho de un individuo de 4,38 mm.

Mediante un test de Wilcoxon se compararon el número de microincrementos entre los sagittas y los lapilus (izquierdos y derechos), de ambas especies. Para G. marmoratus entre los sagittas y los lapilus, no hubo diferencias (sagitta: n=90, p= 0.82; lapilus: n= 38, p=0.23), pero entre ambas sagittas y ambos lapilus, se demostró que hay diferencias significativas (n=84, p<0,05), lo cual pueden ser comparables ambos sagittas, pero no entre los sagittas y los lapilus. Al tener un mayor tamaño de muestras de los sagittas (n = 178-219) se utilizaron estos últimos en vez de los lapilus (n = 125-188). Para S. sanguineus, en ambas sagittas no se obtuvieron diferencias significativas en el número de microincrementos (n=17, p=0,31), en cambio para los lapilus derecho e izquierdo, sí se obtuvo diferencias significativas (n=6, p=0,04). Con estos resultados se utilizaron los sagittas para los siguientes análisis, por no tener diferencias significativas entre izquierdo y derecho como también por tener un tamaño de muestra muy superior a los lapilus analizados.

El modelo lineal relacionando las medidas morfometricas de los otolitos con las mediciones registradas en las larvas de *G. marmoratus*, mostraron que el radio, el perímetro y el área comparado con la longitud corporal, obtuvieron una alta regresión significativa (Radio r²=0,8, Perímetro r²=0,76, Área r²=0,76) (Fig 12 A,B,C,D). En *S. sanguineus* se obtuvo una relación un poco más baja, pero con igual tendencia a la recta (Radio r²=0,63, Perímetro r²=0,55, Área r²=0,53) (Figura 12).



Figura 12. Gráficos de longitud corporal (Lc) versus medidas morfométricas de sagittas de *G. marmoratus* y *S. sanguineus*. Modelo lineal de radio promedio de sagittas versus la Lc para *G.m.* (A), y para *S.s.* (D); Modelo lineal del perímetro de las sagittas versus Lc para *G.m.* (B) y *S. s.* (E); Modelo exponencial del área del sagitta versus la Lc para *G. m.* (C) y *S. s.* (F).

5.4 Tasas de crecimiento

Mediante la lectura de los microincrementos desde la marca de eclosión, se obtuvo que la edad de la especie *G. marmoratus*, fluctuó entre 1 y 25 días para los sagitta y los lapilus analizados. Para la especie *S. sanguineus*, se encontraron muestras que tenían entre 1 a 25 días y entre 1 a 22 días para los sagittas y los lapilus, respectivamente.

Los grosores de los microincrementos fueron mayores en *G. marmoratus* (1,66 μ m en sagitta; 1,61 μ m en lapilus), que en *S. sanguineus* (0,95 μ m en sagitta; 0,9 μ m en lapilus) (Tabla 4).

Tabla 4. Datos de otolitos de *G. marmoratus* y *S. sanguineus*. Se observa el Nº de otolitos analizados, la medición promedio y desviación estándar de los microincrementos y la edad mínima y máxima.

Especie	Otolito	Ν	Microincrementos	Edad		
Especie	Otonito		(µm)	Mínima	Máxima	
Gobiesox	Sagitta	191	$1,66 \pm 0,42$	1	25	
marmoratus	Lapilus	90	1,61 ± 0,37	1	25	
Sicyases	Sagitta	38	0,95 ± 0,17	1	25	
sanguineus	Lapilus	19	$0,90 \pm 0,12$	1	22	

Las relaciones edad diaria-longitud corporal fueron significativamente lineales (p<0,01) en ambas especies, tanto en un análisis combinado (Fig 13a y 14a), como para cada muestreo por separado (Fig 14 y 15). En ambos enfoques *G. marmoratus* tuvo tasas de crecimiento significativamente mayores (0,23-0,28 mm día⁻¹) que en *S. sanguineus* (0,13-0,15 mm día⁻¹). El intercepto que indica el tamaño de eclosión fueron mayores en *S. sanguineus* (3,88 mm) que en G. marmoratus (3,44 mm). La relación edad diaria-volumen corporal siguió un modelo exponencial, con tasas de crecimiento mayores en *G. marmoratus* (0,14 mm día⁻¹) que en *S. sanguineus* (0,08 mm día⁻¹) (Fig 13b y 15b).

Con respecto a cada muestreo se obtuvo que para *G. marmoratus*, en el primer muestreo los individuos se estimó una tasa de crecimiento de 0,28 mm día⁻¹ (intercepto de 3,29 mm, n = 61); en el segundo muestreo presentaron una tasa de crecimiento de 0,24 mm día⁻¹ (intercepto de 3,53 mm, n = 135); y en el tercer muestreo presentaron una tasa de crecimiento de 0,23 mm día⁻¹ (intercepto de 3,51 mm, n = 72) (Fig 14). Para *S. sanguineus*, como se muestra en la Fig 16, en el primer muestreo los individuos mostraron una tasa de crecimiento de 0,15 mm día⁻¹ (intercepto de 3,71 mm, n = 8); en el segundo muestreo presentaron una tasa de crecimiento de 0,15 mm día⁻¹ (intercepto de 0,13 mm día⁻¹ (intercepto de 4,14 mm, n = 27); y en el tercer muestreo presentaron una tasa de crecimiento de 0,16 mm día⁻¹ (intercepto de 3,54 mm, n = 6).



Figura 13. Modelos de crecimiento para *G. marmoratus*. a) Modelo de crecimiento lineal para la longitud b) Modelo de crecimiento exponencial para el volumen corporal.



Figura 14. Modelo lineal de crecimiento para a) Muestreo 1 b) Muestreo 2 c)

Muestreo 3



Figura 15. Modelos de crecimiento para *S. sanguineus*. a) Modelo de crecimiento lineal para la longitud, b) Modelo de crecimiento exponencial para el volumen larval.







La tasa instantánea de crecimiento varió entre 0,06 y 0,42 mm día⁻¹ para *G. marmoratus* (promedio: 0,23 mm día⁻¹, d.e.: 0,11 mm día⁻¹), mientras que para *S. sanguineus*, varió entre 0,04 y 0,43 mm día⁻¹ (promedio: 0,21 mm día⁻¹, d.e.: 0,13 mm día⁻¹). Se observó en ambas especies (Fig 17), que en los primeros días la tasa instantánea de crecimiento fue disminuyendo mientras transcurrió el estado larval.



Figura 17. Tasa de crecimiento instantánea según la edad para G. marmoratus

y S. sanguineus.

En ambas especies no se apreciaron cambios sustantivos en el grosor medio de los microincrementos durante los primeros 25 días de vida larval (Fig 18 a y b). En general el grosor de los microincrementos fluctuó entre 1,44 - 2,05 µm y 0,8 – 1,5 µm, respectivamente.





(a) y S. sanguineus (b), las barras verticales indican desviación estándar.

5.5 Fases lunares

5.5.1 Gráfico de frecuencias según ciclo lunar

En *G. marmoratus*, mediante el retrocálculo de las fechas de eclosión de 187 muestras se observó que la distribución comenzó a aumentar en luna llena (día 2 del ciclo lunar), alcanzando un máximo de eclosión en cuarto menguante (día 9 del ciclo lunar), decreciendo paulatinamente hasta la luna nueva (día 16 del ciclo lunar) (Fig 21). Se observó que en luna creciente (día 23 del ciclo lunar) eclosionaron algunos individuos pero con valores poco considerables.



Figura 19. Gráfico de eclosión de *Gobiesox marmoratus* (n = 187), según fases

lunares.

Para *S. sanguineus*, si se lleva a fase lunar el retrocálculo de las fechas de eclosión, mediante la lectura de los microincrementos de 49 muestras, se obtuvo que esta especie tiende a eclosionar en fases semilunares. Se obtuvo que esta especie empieza a eclosionar desde luna creciente hasta declinar en luna menguante. Se obtuvo los mayores valores de eclosión entre luna llena y menguante que entre luna creciente y llena. Se observó que existió poca tendencia a eclosionar en luna nueva (Fig 22).



Figura 20. Gráfico de frecuencia de eclosión de Sicyases sanguineus según fases

lunares.

5.5.2 Retrocálculo fechas de eclosión según días julianos

Para obtener el día exacto que eclosionó cada muestra de *G. marmoratus*, se realizó con ayuda del retrocálculo de la fecha de eclosión. Según las frecuencias acumuladas, se observaron 2 pulsos de eclosión, concentrados entre el día juliano 216 (4 de agosto) y 276 (3 de octubre). Se observaron dos pulsos, ambos en luna menguante; el primer pulso se observó desde el día 238 del año (26 de agosto), con un máximo el día 244 (1 de septiembre), decayendo el día 251 (8 de septiembre), día en que empieza la luna nueva. El segundo pulso de eclosión es de menos magnitud; es decir, que se observan menos individuos eclosionados, comenzando el día 268 (25 de septiembre), en donde no se observa un máximo o un aumento en los valores de individuos en eclosión, para posteriormente decaer en el día 276 del año (3 de octubre). La moda fue en el día 244 (1 de septiembre), día en que se obtuvo la mayor cantidad de muestras eclosionadas (Fig 23a).

Mediante un modelo talla-edad fue posible estimar la edad predicha de todos los ejemplares analizados. Las fecha de eclosión determinadas a partir de la edad estimada por el modelo siguió la misma tendencia, teniendo un a periodicidad lunar, con 1 máximo claro en luna menguante (Figura 23b).



Figura 21. Fecha de eclosión de *Gobiesox marmoratus*, durante los días del año. Se observa las fases lunares, para cada fecha. a) Datos obtenidos en todos los ejemplares mediante modelo talla-edad, n= 187, b) Gráfico con datos obtenidos a partir de retrocálculo talla-edad n= 269.

Con respecto al retrocálculo de fechas de eclosión de *S. sanguineus*, según las frecuencias acumuladas, se observó 2 pulsos de eclosión, uno en luna llena y otro en luna menguante, demostrando una periodicidad semilunar. La distribución del periodo de eclosión, comenzó desde el día 233 (21 de agosto), teniendo el máximo más alto el día 242 (30 de agosto), cayendo repentinamente el día 246 (3 de septiembre). Se observaron muestran que eclosionan hasta el día 272 (30 de septiembre), pero sin un patrón claro. La moda fue en el día 241 (28 de agosto), día entre la luna llena y menguante (Figura 24a).

Tambien para esta especie se realizó un modelo talla-edad, en donde se estimó la edad predicha de todos los ejemplares analizados. Las fecha de eclosión determinadas a partir de la edad estimada por el modelo siguió la misma tendencia, teniendo un patrón semilunar, con mayor número de eclosiones en luna llena y menguante (Figura 24b).



Figura 22. Fecha de eclosión de *Sicyases sanguineus*, durante los días del año. Se observa frecuencias acumuladas, indicando en qué fase lunar ha eclosionado el grupo de muestras. a) Datos obtenidos en en todos los ejemplares mediante modelo talla-edad, n= 42, b) Gráfico con datos obtenidos a partir de retrocálculo

talla-edad n= 85.

Mediante estadística circular, se demostró que las larvas de *G. marmoratus*, eclosionaron principalmente en luna menguante, en donde la media angular correspondió al día 22 del periodo lunar (Figura 25). Mediante el test de Rayleigh y Rao indicaron que los patrones de eclosión de las larvas no fueron uniformes dentro del ciclo lunar (Rayleigh=0,67, p = 6,03e-34; y Rao=319,6, p = 0).



Figura 23. Frecuencia de eclosión en el ciclo lunar para las larvas de *Gobiesox marmoratus*. Se muestra línea vertical rojo, se muestra la media angular y el intervalo de confianza 95%.

Mediante estadística circular se demostró que las larvas de *S. sanguineus*, eclosionaron principalmente entre luna llena y luna menguante, en donde la media angular se concentró en el día 16 del periodo lunar (Figura 26). Mediante el test de Rayleigh y Prueba de Rao, también indicaron que no las eclosiones no fueron uniformes durante todo el ciclo lunar (Rayleigh=0,48, p = 1,01e-36; Rao=222,1, p = 0).



Figura 24. Frecuencia de eclosión en el ciclo lunar para las larvas *Sicyases sanguineus*. Se muestra línea vertical rojo, se muestra la media angular y el intervalo de confianza 95%.

Cuando se comparó la media angular mediante el test de Mardia-Whatson-Wheeler, se demostró que hubo diferentes distribuciones lunares en la eclosión entre *G. marmoratus* y *S. sanguineus* (W = 15,85, p < 0,01).

4. DISCUSIÓN

En los muestreos realizados en El Quisco, se pudo observar un cambio en la abundancia larval, siendo mayor para *G. marmoratus* que para *S. sanguineus* en septiembre, concentrándose ambas especies en sectores costeros con baja probabilidad de adveccion afuera de la costa (Vélez *et al.* 2005). Esto también concuerda con la época de mayores abundancia reportados para *Gobiesox barbatulus* en las costas de Brasil, entre primavera y verano, producto del aumento de disponibilidad de alimentos (Pires & Gibran 2011). Estudios anteriores realizados por Hernández-Miranda *et al.* (2003), en sectores de la bahía El Quisco y Las Cruces, se reportaron mayores abundancias entre Junio y Octubre, concordando con las máximas abundancias en Julio para *G. marmoratus* (181 ind 1000 mm⁻³), como también para *S. sanguineus* (91 ind 1000 mm⁻³).

En el pejesapo *Gobiesox marmoratus* hubo baja variabilidad en término de longitud corporal, fluctuando entre 2,67 mm y 8,62 mm (promedio 4,66 mm). La larva de menor tamaño encontrada, poseía un pequeño saco vitelino y sus ojos pigmentados. La longitud mínima encontrada en este estudio, fue menor a lo descrito por Pérez (1981) (entre 4,1 a 4,3 mm), para esta especie en condiciones experimentales. Los tamaños de eclosión calculados según el modelo lineal, indicó que en promedio las larvas eclosionaron a los 3,44 mm de longitud corporal.

Para Sicyases sanguineus también hubo baja variabilidad en termino de longitud corporal, lo cual fluctuó entre 3,33 mm y 9,48 mm. Para esta especie a la longitud mínima observada, fue también menor a lo reportado por Pérez 1981 descrito en condiciones experimentales (entre 5 a 5,5 mm). También en esta especie la larva de menor tamaño (1 día), se encontraba aun con un saco vitelino y con ojos pigmentados. El modelo lineal indicó que en promedio el tamaño corporal al momento de la eclosión fue de 3,88 mm de longitud corporal. Las diferencias de tamaño a la eclosión en las larvas de ambas especies, se debe a la diferencia de la longitud corporal característico de ambos pejesapos, en donde en ocasiones un pez mas grande obtendrá, huevos y larvas mas grandes, que uno de menor tamaño, esto tomando en cuenta según lo descrito por Woynarovich & Horváth 1981, donde concluye que el tamaño de los huevos adheridos a sustratos, se determina por factores como la dimensión de la masa ventral, el espesor de la membrana o cubierta y las dimensiones del espacio perivitelino.

En términos de tamaños y volúmenes corporales las larvas *de S. sanguineus* fueron mayores que *G. marmoratus*, observándose en los rangos máximos y mínimos, como también en el promedio del total de las muestras. Esto puede tener implicancias ecológicas, en donde una larva con mayor tamaño y/o volumen, será más pesadas, teniendo menor capacidad de velocidad de nado, como también una mayor probabilidad de encontrarse en sectores bentónicos, antes de asentarse.

Las edades encontradas para ambas especies fueron de 1 a 25 días, sugiriendo que ambas especies tienen un PLD relativamente bajo. Esto nos indica que las larvas se encuentran en el plancton, menos de 1 mes, para luego de unos días asentarse. Aunque el PLD es bajo, es mayor por lo descrito por Beldade *et al.* (2007), que encontraron un PLD promedio entre 11 y 18 días, en 4 Gobiesocidae

(*Apletodon dentatus* (14 días), *Lepadogaster lepadogaster* (16 días), *Opeatogenys gracilis* (15 días), *Lepadogaster candolii* (16 días)). Estas diferencias de PLD, se dan ya que estas especies descritas por Beldade *et al.* (2007), fueron estudiadas en localidades del Mediterráneo, con mayores temperaturas (14 a 17,5°C), que las registradas para Chile central (11 a 13°C), lo cual se explica por el aumento de las temperaturas de las aguas, ya que disminuye el tiempo de desarrollo de los huevos y de las larvas (Blaxter 1969 *fide* Tojeira *et al.* 2012; Sponaugle 2010).

Mediante el análisis de otolitos se observó que en ambas especies se presenta una marca de eclosión, en donde existen bandas de crecimiento embrionales, que según Geffen (1983), no son depositaciones diarias, sino por el constante cambio de fotoperiodo y temperatura, que produce un cambio en la frecuencia de depositaciones en el otolito. Las marcas de eclosión se han observado en especies como Oncorhynchus mykiss, en donde se encuentran varios microincrementos antes de una marcada banda de eclosión (Mugiya 1987). Estas bandas concuerdan con estudios de ambas especies de pejesapos en laboratorio, en donde las bandas embrionales son producto de un largo desarrollo embrional en ambas especies, durando 20-21 días para S. sanguineus (13-17°C) y 14-15 días para G. marmoratus (16,5-17,8°C) (Pérez 1981). Las temperaturas registradas en los estudios en laboratorio, son mayores a las de Chile central (11-13°C), lo que se infiere segun lo descrito por Spounagle (2010), que la duración de periodo embrionario de las larvas del presente estudio, será mayor a lo registrado en laboratorio, observándose mayor cantidad de anillos embrionarios antes de la marca de eclosión. Los distintos periodos de incubación, indican la cantidad de

microincrementos en formación antes de la marca de eclosión, es decir, embriones con mayor periodos de incubacion, pueden formar varios microincrementos antes de eclosionar, mientras embriones que tienen períodos cortos de incubación pueden o no formar microincrementos hasta que eclosionan o absorben el saco vitelino (Radtke 1984). Estudios en otros gobiesocidos, también han detectando un desarrollo embrional prolongado, como es el caso de *Lepadogaster lepadogaster* (16 días) y de *Lepadogaster purpurea* (21 días) (Tojeira *et al.* 2012).

El crecimiento somático larval de G. marmoratus, resultó tener una tasa poblacional de crecimiento medio (según modelo lineal 0,24 mm, modelo Gompertz 0,23 mm día⁻¹), siendo mayor a las tasas calculadas para S. sanguineus, (0,14 mm día⁻¹ según modelo lineal, 0,21 mm día⁻¹). Esto indica que G. marmoratus siendo una especie que tiene una longitud máxima menor a S. sanguineus, crece a mayores tasas de crecimiento, lo cual da un mayor nivel de reclutamiento de juveniles, producto del aumento de la sobrevivencia en larvas y mayores niveles de asentamiento (Sponaugle 2010). Estas tasas son cercanas a estudios en peces costeros, como lo descrito por Palacios-Fuentes et al. (2012), en Helcogrammoides chilensis, con tasas poblacionales lentas (0,15 mm día⁻¹, según modelo lineal y 0,16 mm día⁻¹ según modelo Gompertz), también para *Maurolicus parvipinnis*, (0,13 mm día⁻¹, Landaeta *et al.* 2012) y Sebastes oculatus (0,15 mm dia⁻¹, Landaeta & Castro 2006). Las larvas de especies pelágicas como Engraulis rigens (0,4-0,57 mm día⁻¹, Hernández & Castro 2000; 0,68-0,79 mm día⁻¹ Castro & Hernández 2000) y Sardinops sagax (0,4-0,85 mm día-1, Serra &

Tsukayama 1988; 0,4-0,65 mm día⁻¹, Castillo *et al.* 1985), tienen tasas de crecimientos mayores, determinadas por la mayor longitud corporal de las larvas.

Los volúmenes calculados según la altura y ancho de las larvas, muestran que *G. marmoratus* aumenta su volumen con mayor rapidez que *S. sanguineus*, siendo más robustas, lo cual tienen implicaciones en las capacidades de nado. La diferencia entre los volúmenes de ambos pejesapos, sugieren que las larvas de *G. marmoratus* tendrían una baja velocidad de nado, o inferior a *S. sanguineus* reduciendo el tamaño de asentamiento, ya que van siendo más pesados, lo que podrían permitir asentarse con mayor rapidez. Por lo tanto, se espera que ambas especies a una misma edad tengan diferentes capacidades de nado, como también diferentes épocas de asentamiento. Las diferentes épocas de asentamiento les puede favorecer en no tener competencia en la retención y asentamiento larval, por ser especies fenotípicamente similares, siendo en parte especies corporalmente casi iguales, lo cual en un periodo de sus ciclo de vida, no habrá competencia por compartir hábitat, reduciendo la competencia por alimentación.

La variación en las tasas instantáneas de crecimiento, para ambas especies, se observó que en un comienzo, después de la eclosión de las larvas, crecen a tasas altas (0,42 mm día⁻¹ para *G. marmoratus*, 0,43 mm día⁻¹ para *S. sanguineus*), para después al transcurrir los días, disminuir y estabilizar las tasas de crecimiento (0,06 mm día⁻¹ para *G. marmoratus*, 0.04 mm dia⁻¹ para *S. sanguineus*). Se observa que *S. sanguineus*, crece a una mayor velocidad que *G. marmoratus*, hasta los 20 días, pero cae repentinamente, teniendo una tendencia
negativa. Esta caída en las tasas de crecimiento en las larvas, se puede deber a que van cambiando su gasto energéticos a cambios morfológicos, como el número de vertebras, radios de las aletas y branquiespinas, que según Pérez (1981) estos cambios empieza en *G. marmoratus* desde los 7,7 mm y para *S. sanguineus* desde los 7,2 mm, en donde a estas longitudes de ambas especies aumentan considerablemente las osificaciones de los elementos merísticos mencionados. Otro punto a considerar es la metamorfosis en ambas especies, que se caracteiza por la formación de la ventosa a partir de las aletas pélvicas. En *G. marmoratus*, la flexión está ya completa a los 7,7 mm, y se han definido los campos de la ventosa y las aletas ventrales. En *S. sanguineus* se produce entre los 7 y 7,2 mm, observándose las mismas características, empezando a aumentar el ancho y posición de la ventosa y aletas ventralen es (Pérez 1981).

Se descarta la hipótesis H2, ya que *G. marmoratus* crece con mayor rapidez que *S. sanguineus*, lo que se sugiere que no existe una relación directa entre un mayor tamaño larval a la eclosión y mayor longitud total de un pez, con mayores tasas de crecimiento, al menos en la etapa larval. Por lo observado *G. marmoratus* crece mucho más rápido para llegar a su estado juvenil, lo cual en *S. sanguineus* no tiene esa tendencia en crecer rápidamente hasta su estado juvenil, dando la incertidumbre si en estados juvenil-adulto, tendría esta misma tendencia, ya que los cambios metamórficos no estarían presentes, pero sí la competencia en territorio y de captura del alimento.

Solo se pudo comparar el rango de longitud de las larvas de pejesapos con las de otras especies. El volumen corporal es calculado raramente en los estudios

de ecología larval (Hovekamp & Witte 1990); que la incertidumbre sobre si este demuestra verdaderamente el crecimiento de la larva. Visto en volumen ¿será la misma tendencia entre peces que poseen alta o bajas tasas de crecimiento, con el modelo actual, observando solo la longitud corporal?

En ambas especies, los otolitos analizados, tanto sagittas como lapilus, mostraron diferencias notables en el grosor de las bandas de crecimiento entre ambos pares de otolitos. En las sagittas, el ancho de los microincrementos fue mayor que en los lapilus. Esto concuerda con lo observado en la mayoría de los peces teleósteos, como en las familias Gobiesocidae, Gobidae y Blenniidae o especies como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), donde observó este mismo patrón en las bandas de crecimientos (Geffen 1983; Beldade *et al.* 2007). Esto se debe a la diferencia del tamaño en ambos pares de otolitos, donde el crecimiento y el volumen se reflejarían en anillos (microincrementos) más gruesos en los sagittas, produciendo diferencias entre el ancho de las bandas de crecimiento con los lapilus, otolitos de menor tamaño y con grosores más delgados.

En ambas especies no se observó un cambio notorio en las bandas de crecimiento de los sagittas analizados, salvo en los últimos días registrados para ambas especies, en donde se observó una tendencia a aumentar el grosor longitud de cada banda en el transcurso de los días. Estos resultados concuerdan con algunas especies de Chile central y de aguas tropicales, en donde también se observa un cambio notorio en la medida de las bandas de crecimiento, como también en su apariencia, a medida que la larva va creciendo (Beldade *et al.* 2007,

Plaza *et al.* 2013). Este tipo de patrón es común en especies de aguas someras, como Blenniidae, Gobiidae y Gobiesocidae, en donde la constancia en el ancho de los microincrementos se ha observado en especies como *Graus nigra, Scartichthys viridis* e *Hypsoblennius sordidus* (Raventos & Macpherson 2001, Plaza *et al.* 2013).

Según los ciclos lunares, ambas especies mostraron diferentes tácticas de eclosión. En G. marmoratus el aumento del número de larvas eclosionadas se encontró entre las fases de luna llena y luna nueva, teniendo mayores frecuencias en la fase de luna menguante, lo cual correspondó a un periodo de eclosión lunar, mientras que en S. sanguineus eclosionó mayoritariamente en las fases de luna llena y menguante, lo que correspondió a un periodo de eclosión semi-lunar. Cabe destacar que en ambas especies, las frecuencias máximas de eclosión coincidieron, ocurriendo principalmente en cuarto menguante. En este escenario las larvas recién eclosionadas tienen la desventaja de que se enfrenten a una mayor depredación visual al momento de la eclosión, producto de la rápida dispersión (Takemura et al. 2010). Alternativamente al encontrarse las larvas en amplitudes de mareas bajas, estas no podrían dispersarse a grandes distancias, manteniéndose en sectores costeros, lo que sumado a un aumento en la protección parental (Takemura et al. 2010), puedan asentarse cerca del sitio de origen (i.e., autoreclutamiento). Estudios realizados en otros miembros de esta familia como Gobiesox barbatulus (Pires & Gibran 2011), Lepadogaster lepadogaster y Lepadogaster purpurea (Tojeira et al. 2012), muestran que estas especies tienen un cuidado parental, cerca de la camada de huevos puestos en

las rocas más grandes, en las zonas intermareales, ayudando a la oxigenación de los huevos, mediante la limpieza del nido.

En *S. sanguineus* a pesar de tener los máximos de eclosión en cuarto menguante, también posee frecuencias elevadas de eclosión durante luna llena, lo cual sugiere que hay dispersión de larvas hacia zonas cercanas a la bahía, producto del aumento de la amplitud de mareas, por lo que aumenta su dispersión geográfica mucho más que *G. marmoratus*, en donde no hubo altas frecuencias de eclosión en sicigia. Este aumento de eclosiones en *S. sanguineus* durante luna llena, crean una disminución en la competencia larval de su especie y de sus congéneres (*G. marmoratus*), ya que al haber mayor dispersión crea menos competencia interespecífica por el alimento a medida que crecen (Robertson *et al.* 1990).

Se ha observado la existencia de un patrón semilunar, en la eclosión de *Helcogrammoides chilensis*, en donde al igual que *G. marmoratus,* se privilegia la evasión de depredadores, el aumento de la protección parental y disminución de la mortalidad de la descendencia (Palacios-Fuentes *et al.* 2012). Esta estrategia es una tendencia en peces costeros en donde desovan menos huevos, lo cual tienen un mayor cuidado parental que otras especies (Ruck 1980).

Ya que ambas especies presentan tácticas diferentes según los ciclos lunares, ¿estas estrategias estarán presentes en el apareamiento?. Actividades reproductivas de muchas especies de peces costeros ocurren en sincronía con el ciclo lunar. En las especies que muestran relación lunar con los ciclos de desoves,

los ovocitos maduran en torno a una fase específica para reproductores, percibiendo señales de la luna por órganos sensoriales, pero aún no se conoce cómo se traducen en el ritmo de desove (Takemura *et al.* 2010).

Si bien las frecuencias máximas registradas en *G. marmoratus* y *S. sanguineus,* son en luna menguante, se observa una diferencia entre los periodos de eclosión en ambas especies, lo cual demuestra lo descrito e hipotetizado por Robertson *et al.* (1990), en donde se observa una estrategia a disminuir la competencia por alimentación en la columna de agua, entre especies, producto de las diferencias en las eclosiones entre fases lunares. Se ha observado un comportamiento voraz en la alimentación en larvas de *L. purpurea* y *L. lepadogaster*, siendo más activo este último, en donde puede o no fijarse en la presa antes de atacar (Tojeira *et al.* 2012).

De acuerdo a los resultados derivados de estadística circular, concuerdan los periodos de eclosion con las frecuencias antes analizadas en ambas especies, *G. marmoratus* con un patrón lunar y *S. sanguinues*, con un patrón semilunar, coincidiendo en las máximas en luna menguante. Esto también fue demostrado con los resultados obtenidos por los test de Rao y Reyleight, en donde se demostró que las frecuencias no están distribuidas uniformemente dentro del ciclo lunar, observándose un patrón lunar y semilunar en las especies estudiadas. Con esto finalmente se acepta la hipótesis H1, ya que si bien se observan eclosiones en los diferentes ciclos lunares, las frecuencias máximas en cada especie, se evidenció que cada especie de pejesapo eclosiona según las fases lunares, tomando diferentes estrategias durante sus primeros días de vida.

Finalmente, con la información obtenida para las dos especies de la familia Gobiesocidae, se hace necesario realizar estudios descriptivos durante todo el año, para determinar si hay cambios en las tasas de crecimiento, fases lunares y condición larval, en relación a los cambios estacionales y si estos cambios afectarían el periodo y forma de asentamiento. Si bien se considera que las temperaturas afectan las tasas de crecimiento en los peces, tanto en huevos y larvas, sería importante ver si los cambios de temperatura también afectan en ambas especies, y si este es favorable o no en aspectos ecológicos.

También se sugieren estudios sobre la modalidad reproductiva, con el fin de determinar la posición de los nidos en las rocas y si es así ¿será el mismo periodo de eclosión para los huevos que se encuentran en el extremo superior e inferior de la distribución vertical de la puesta? ¿Qué pasará con los huevos que se encuentran en el extremo superior del nido?. Según lo discutido, ambas especies poseen distintas tácticas relacionadas con los ciclos lunares, ¿existen estrategias diferentes en ambas especies en la posición de la camada para que eclosionen en diferentes ciclos? La ausencia de estos datos según Pires & Gibran (2011), están relacionados a las características del entorno donde estos peces habitan, la profundidad del hábitat y su vida bajo las rocas.

5. CONCLUSIONES

- Hubo diferencias de abundancia de las larvas y longitud corporal en ambas especies, en donde las larvas de *G. marmoratus* fueron mas abundantes pero de menor tamaño que las larvas de *S. sanguineus*, en los muestreos realizados.
- Las larvas de *G. marmoratus* crecen más rápidamente (0,24 mm dia⁻¹) que
 S. sanguineus (0,14 mm dia⁻¹), durante las primeras 4 semanas de vida
- Observando las tasas de crecimiento de ambos pejesapos, se determinó que no necesariamente un pez de mayor longitud, presenta una mayor tasa de crecimiento en su estadio larval, que uno mas pequeño a la misma edad.
- 4. Las eclosiones de ambas especies estuvieron asociadas a los ciclos lunares, lo cual, mediante el retrocualculo de eclosión, muestra un patrón lunar en *G. marmoratus* y un patrón semilunar en *S. sanguineus*. A pesar de ello ambas especies tienen sus mayores tasas de eclosión en luna cuarto menguante.

6. LITERATURA CITADA

- Allen LG. 1984. Gobiesociformes: Development and Relationships. American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication (1): 629-636.
- Beldade R, T Pedro & EJ Goncalves. 2007. Pelagic larval duration of the 10 temperate cryptobenthic fishes. Journal of Fish Biology 71: 376-382.
- Bustos C & MF Landaeta. 2005. Desarrollo de huevos y larvas tempranas de la Merluza del sur, *Merluccius australis*, cultivados bajo condiciones de laboratorio. Gayana 69 (2): 402-208.
- Casas GA, D Rodríguez & GA Téllez. 2010. Propiedades matemáticas del modelo Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 23 (3): 349-358.
- Castillo de Maruenda. 1962. Contribución al conocimiento de la historia natural de Sicyases sanguíneus. Ilustración Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 59 p.

- Castillo G, E Aguilera, G Herrera, PA Bernal, JL Butler, J Chong, H González, C Oyarzún & C Veloso. 1985. Larval growth rates of the Pacific sardine Sardinops sagax off central Chile, determined by count of daily rings inotoliths. Biología Pesquera 14: 3-10.
- **Castro LR & EH Hernández. 2000**. Early survival of the anchoveta *Engraulis rigens* off central Chile during the 1995 and 1996 winter spawning seasons. Transactions of the American Fisheries Society 129: 1107-1117.
- de Buen F. 1960. Los peje-sapos (Familia Gobiesocidae) en Chile. Revísta de Biología Marina 10 (1,2 y 3): 69-82.
- Ebeling AW, P Bernal & A Zuleta. 1970. Emersion of the amphibious Chilean Clingfish, Sicyases sanguineus. The Biological Bulletin 139: 115-137.
- FAO. 1982. Lectura de edades en otolitos de peces teleósteos.
 Departamento de Pesca 41 pp.
- Figueroa E. 2005. Biodiversidad marina: Valoración, usos y perspectivas.
 ¿Hacia dónde va Chile?. Edición Universitaria 1: 521.

- García P & F Pérez. 2008. Propuesta de metodología para el análisis del error de posición en bases de datos espaciales mediante estadística circular y mapas de densidad. GeoFocus 8: 281-296.
- Geffen AJ. 1983. The deposition of otolith rings in Atlantic salmon, Salmo salar L., embryos. Journal of Fish Biology 23: 467-474
- Grove JS & RJ Lavenberg. 1997. The Fishes of the Galapagos Islands. Stanford University Press, Stanford California. 862 pp.
- Hernández EH & LR Castro. 2000. Larval growth of the anchoveta *Engraulis ringens* during the winter spawning season off central Chile. Fishery Bulletin 98: 704-710.
- Hernández-Miranda E, AT Palma & FP Ojeda. 2003. Larval fish assemblages in nearshore coastal water off central Chile; Temporal and spatian patterns. Estaurine Coastal and Shelf Science 56: 1075-1092.
- Hovenkamp F & JIJ Witte. 1991. Growth, otolith growth and RNA/DNA ratios of larval plaice *Pleuronectes platessa* in the north sea 1987 to 1989.
 Marine Ecology Progress Series 70: 105-116.

- Landaeta MF, P Inostroza, A Ramirez, S Soto-Mendoza & LR Castro.
 2010. Distributtion patterns, larval growth and hatch dates of early stages of the mote sculpin *Normanichthys crockery* (Scorpaeniformes, Normanichthyidae) in the upwelling ecosystem off central Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía 45(1): 575-588.
- Lahoz R, J Ortega & C Fernandez-Montraveta. 1994. Métodos estadísticos en Biologia del comportamiento. Editorial Complutense 1:159-187.
- Landaeta MF & LR Castro. 2006. Larval distribution and growth of the rockfish, *Sebastes capensis* (Sebastidae, Pisces), in the fjords of southern Chile. ICES Journal of Marine Science 63: 714-724.
- Landaeta MF, F Balbontín & GA Herrera. 2008. Larval development of the Patagonian brotula *Cataetyx messieri* (Pisces, Bythitidae) from fjords of southern Chile. Journal of Fish Biology 73: 302-310.
- Landaeta MF, G Lopez, N Suárez-Donoso, CA Bustos & F Balbontín.
 2012. Larval fish distribution, growth and feeding in Patagonian fjords: potential effects of freshwater discharge. Environmental Biology Fishes 93: 73-87.

- Leis JM & DS Rennis. 2000. Gobiesocidae (Clingfishes). The larvae of Indo-Pacific coastal fishes: An identification guide to marine fish larvae. Fauna Malesiana Hanbook 2: 131-134.
- Mann GF. 1954. Vida de los peces en aguas chilenas (claves para los peces chilenos). Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile. 342 pp.
- Martínez JA, MM Chávez, JL Tello, & A Morales. 2007. Utilización de otolitos como herramienta en la determinación de especies. Revista de Zoología, UNAM 18: 13-18.
- Merchant PF, PJA Martínez, AMM Chávez & MJL Tello. 2008. Estructuras que se toman en cuenta para la descripción de los otolitos. Revista de Zoología 19: 22-24.
- Muñoz A & F P Ojeda. 1997. Feeding guild structure of a rocky intertidal fish assemblage in central Chile. Environmental Biology of Fishes 49: 471-479.
- Navarro- Rodríguez M, L González, R Flores, M González & F Carrillo.
 2006. Composición y variabilidad del ictioplancton de la Laguna El Quelele, Nayarit, México. Revista de Biología Marina y Oceanografía 41 (1): 35-43.

- Paine RT & AR Palmer. 1978. *Sicyases sanguineus*: a unique trophic generalist from the chilean intertidal zone. Copeia 1: 75:81.
- Palacios-Fuentes P, MF Landaeta, G Muños, G Plaza, & FP Ojeda. 2012.
 The effects of parasitic copepod on the recent larval growth of a fish inhabiting rocky coasts. Parasotology Research 111(4): 1661-1671.
- Panella G. 1971. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns.
 Science 173: 1124-1125.
- Pardo-Gandarillas MC, F Garcías & M George-Nascimento. 2004. La dieta y fauna de endoparásitos del pejesapo *Gobiesox marmoratus* Jenyns, 1842 (Pisces: Gobiesocidae) en el litoral central de Chile están conectadas pero no correlacionadas. Revista Chilena de Historia Natural 77: 627-637
- Pérez R. 1981. Desarrollo embrionario y larval de los pejesapos Sicyases sanguineus y Gobiesox marmoratus en la Bahía de Valparaíso, Chile, con notas sobre su reproducción (Gobiesocidae: Pisces). Investigaciones Marinas 9 (1-2): 1-24.
- Pires T & F Gibran. 2011. Intertidal life: field observations on the clingfish Gobiesox barbatulus in southeastern Brazil. Neotropical Ichthyology 9 (1): 233-240.

- Plaza G, MF Landaeta, V Espinoza & P Ojeda. 2013. Daily growth patterns of six species of young-of-the-year of Chilean intertidal fishes. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 93 (2): 389-395.
- Quiñonez-Velázquez C, R Alvarado-Castillo & R Félix-Uraga. 2002. Relación entre el crecimiento individual y la abundancia de la población de la sardina del Pacífico Sardinops caeruleus (Pisces: Clupeidae) (Girard 1856) en Isla de Cedros, Baja California, México. Revista de Biología Marina y Oceanografía 37(1): 1-8.
- Radtke RL & JM Dean. 1982. Increment formation in the otolith of embryos, larvae and juveniles of the mummichong, *Eundulus heteroclitus*. Fishery Bulletin 80: 201-215.
- Raventós M & E Macpherson. 2001. Planktonic larval duration and settlement marks on the otoliths of Mediterranean litoral fishes. Marine Biology 138: 1115-1120.
- Robertson DR, CW Petersen & JD Brawn. 1990. Lunar reproductive cycles of benthic-brooding reef-fishes: reflections of larval biology or adult biology?. Ecological Monographs 60: 311–329.

- Ruck JG. 1980. Early development of *Forsterygion varium*, *Gilloblennius decemdigitatus*, and *G. tripennis* (Pisces: Tripterygiidae). New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research 14: 313-326.
- Russell GS & DJ Levitin. 1995. An expanded table of probability values for Rao's Spacing Test. Communication in statistics simulation and computation 24: 879:888.
- Sampaio CLS, JACC Nunes & LF Mendes. 2004. Acyrtus pauciradiatus, a new species of clingfish (Teleostei: Gobiesocidae) from Fernando de Noronha Archipielago, Pernambuco state, Northeastern Brazil. Neotropical Ichthyology 2 (4): 205-208.
- Sánchez Iturbe A, C Flores Coto & F Zavala García. 2006. Variación estacional del crecimiento y la mortalidad de larvas de Syacium gunteri (Pisces: Paralichthyidae) en el sur del golfo de México (ciclos, 1992 y 1993). Ciencias Marinas 32: 88-95.
- SERNAPESCA. 2010. Anuario estadístico de pesca artesanal.
- Serra R & I Tsukayama. 1988. Sinopsis de datos biológicos y pesqueros de la Sardina Sardinops sagax (Jenyns, 1842), en el Pacifico Suroriental.
 FAO Sinopsis sobre la Pesca (13) 1: 60 pp.

- Takemura A, MS Rahman & YJ Park. 2010. External and internal controls of lunar-related reproductive rhythms in fishes. Journal of Fish Biology 76: 7-26.
- Tojeira I, AM Faria, S Henriques, C Faria & EJ Goncalves. 2012. Early development and larval behavior of two clingfishes, *Lepadogaster purpurea* and *Lepadogaster lepadogaster* (Pisces: Gobiesocidae). Enviromental Biology of Fishes 93: 449-459.
- Vera R & G Pequeño. 2001. Comparación de caracteres merísticos y morfométricos entre peces del género *Sicyases* del archipiélago de Juan Fernández, Valparaíso y Valdivia (Osteichthyes: Gobiesocidae). Investigaciones Marinas 29 (2): 3-14.
- Woynarovich E & L Horváth. 1981. Propagación de peces de aguas templadas: manual para extensionistas. FAO Documento Técnico de Pesca (201): 187pp.
- Yáñez P. 1953. Peces útiles de la costa chilena, segunda parte. Revista de Biología Marina 6: 76-77.

7. ANEXOS

ANEXO 1.- Otros resultados a partir de mediciones del ancho de las larvas de *G. marmoratus* y mediciones y resultados de lapilus de ambos gobiesócidos.

 a) Modelos lineales y exponenciales entre las longitudes de otolitos vs el radio de lapilus izquierdo de ambos gobiesocidos.

Gobiesox marmoratus:





- b) Tasa crecimiento instantánea para sagittas derechos e Izquierdos de amobos Gobiesocidos.
 - *G. marmoratus:* sagittas derechos variaron entre 0,05-0,41 mm día⁻¹
 y para sagittas izquierdos vario entre 0,04-0,44 mm día⁻¹.



 S. sanguineus: sagittas derechos variaron entre 0,04-0,43 mm día⁻¹ y para sagittas izquierdos vario entre 0,06-0,58 mm día⁻¹.



c) Anchos corporales de G. marmoratus:

		Ancho corporal			
Muestreo	n	promedio	min	Max	desv estándar
1	61	0,50	0,24	1,10	0,16
2	136	0,54	0,29	1,19	0,16
3	72	0,50	0,24	0,90	0,16

Shapiro-Wilk (w:0,95 p= 0,01031)





Índice de crecimiento reciente de los otolitos (recent otolith growth index, ROGI).

Se determino el ROGI para ambos pejesapos, mediante la sumatoria de los últimos 3 microincrementos marginales, sin contar el último microincremento ya que no se encuentra completo, y se compararán con el radio promedio de los otolitos (promedio de tres medidas del radio de cada otolito). El método se basa en el análisis de los residuos de la relación entre la sumatoria de los incrementos más recientes, el radio de los otolitos (Hovenkamp & Witte 1991). Según la relación, cuando el ancho del incremento es mayor al esperado, los residuos de la regresión serán positivos, esto se debe a que el crecimiento del otolito ha sido mayor al promedio. Al contrario si el incremento es menor al esperado, los residuos serán negativos, lo que significa que el crecimiento del otolito fue bajo el promedio. A continuación las variables se transformaron a logaritmo (log) y así lograr que las varianzas fuesen independientes de la media (Landaeta *et al.* 2011).

Para observar si existían diferencias entre los los ROGI de los tres muestreos realizados, se utilizó el programa STATISTICA 7. Si los datos presentaron una distribución normal se aplicó un test ANOVA, y de lo contrario se aplicó un test no paramétrico de Kruskal Wallis.

Resultados

Mediante el modelo lineal de los logaritmos de las longitudes de los últimos 3 microincrementos versus el logaritmos radio del otolito en cada especie, se observó que en ambas especies tenían una variabilidad muy baja al aumentar el tamaño del otolito. En *G. marmoratus* el modelo lineal mostro una tendencia positiva, pero leve, como también una gran variabilidad con una baja regresión (b= 0,19; R^2 = 0.0464). A pesar de la dispersa distribución, no se observaron diferencias significativas en los estados de condición (P<0,015).

En los tres muestreos de *G. marmoratus*, se buscó si hubo diferencias significativas, mostrando que los datos no eran normales (Shapiro-Wilk, p=0,00042), lo cual no se observaron diferencias significativas entre los residuos de los 3 muestreos (Kruskal-Wallis, H=0,93, P=0,62).



Análisis modelo linear de los últimos 3 microincrementos y ROGI para *G. marmoratus.* a) Modelo lineal de los log de los últimos 3 microincrementos y el log del radio, b) Valores ROGI para el total de individuos para cada muestreo.

A diferencia de *G. marmoratus*, en *S. sanguineus*, los resultados obtenidos para el modelo lineal de la comparación de los log de últimos 3 microincrementos y el log del radio, fueron de una tendencia negativa, y con un nivel de regresión mucho menor (b= -0,0487, R=0.0017), lo cual nos muestra una tendencia muy rara en este pez, en donde quiere decir que los últimos 3 días de la larva, esta va bajando su estado de condición (Figura 20). Los datos al observarlos un test ANOVA, muestra que no son significativos (P<0,77), lo cual no podemos observar las condiciones de los residuos de cada estación.



Análisis modelo linear de los últimos 3 microincrementos versus el log del radio de las sagittas en *S. sanguineus.*

ANEXO 2.-

Con los resultados de la presente tesis, se generó un manuscrito científico, el cual fue publicado en el año 2013, en la revista Marine and Freshwater Research, con el título:

"The contrasting hatching patterns and larval growth of two sympatric clingfishes inferred by otolith microstructure analysis", que tiene por autores a Jorge E. Contreras, Mauricio F. Landaeta,, Guido Plaza, F. Patricio Ojeda y Claudia A. Bustos.