

ORIGINAL RESEARCH

## El desafío de crecer: patrones ontogenéticos y estacionales en juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*)

NADIA M. ALVES<sup>1, †</sup>, LUCIANA L. D'ATRI<sup>1, \*, †</sup>, JULIETA RODRIGUEZ<sup>1</sup>, STEFANIA COHEN<sup>1, 2</sup>, CLAUDIO O. RUARTE<sup>1</sup>, ÁNGELES N. LAGOS<sup>1</sup>, BRENDA TEMPERONI<sup>1, 2</sup> y MARINA V. DIAZ<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Paseo Victoria Ocampo N° 1, Escollera Norte, B7602HSA - Mar del Plata, Argentina. <sup>2</sup>Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP), Juan B. Justo 2550, B7608FBY - Mar del Plata, Argentina. ORCID *Nadia M. Alves*  <https://orcid.org/0000-0002-8957-3133>, *Luciana L. D'Atri*  <https://orcid.org/0009-0001-7609-2517>, *Julieta Rodriguez*  <https://orcid.org/0009-0009-8289-3810>, *Stefania Cohen*  <https://orcid.org/0000-0001-5872-7091>, *Claudio O. Ruarte*  <https://orcid.org/0009-0002-9820-0643>, *Ángeles N. Lagos*  <https://orcid.org/0009-0009-1982-9939>, *Brenda Temperoni*  <https://orcid.org/0000-0003-1580-221X>, *Marina V. Diaz*  <https://orcid.org/0000-0002-2912-5232>



\*Correspondence:  
datri@inidep.edu.ar

†Ambos autores comparten la  
primera autoría

Received: 23 February 2026  
Accepted: 27 August 2026

ISSN 2683-7595 (print)  
ISSN 2683-7951 (online)

<https://ojs.inidep.edu.ar>

Journal of the Instituto Nacional de  
Investigación y Desarrollo Pesquero  
(INIDEP)



This work is licensed under a Creative  
Commons Attribution-  
NonCommercial-ShareAlike 4.0  
International License

**RESUMEN.** La corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) es una especie de gran importancia pesquera en el Atlántico Sudoccidental. En Argentina, la Bahía Samborombón constituye su principal área de cría, donde los juveniles permanecen durante sus primeros años de vida. El objetivo de este trabajo fue analizar la estructura del crecimiento de los juveniles de corvina rubia en esta área y evaluar si estos patrones varían entre las temporadas cálida y fría. Para ello, se integró información sobre longitud, peso, edad y marcas de crecimiento registradas en los otolitos *sagittae*, y se analizó la relación entre el crecimiento corporal y otolítico. Los juveniles presentaron diferencias estacionales en la estructura de longitudes y en la relación longitud-peso, mientras que la relación entre la longitud corporal y el radio del otolito mostró un patrón similar entre temporadas. La estructura de longitudes fue consistente con la coexistencia de individuos originados en distintos momentos del período reproductivo prolongado de la especie. Asimismo, se actualizaron los rangos de longitud correspondientes a las clases de edad juvenil:  $\leq 18$  cm para la edad 0,  $> 18$  y  $\leq 25$  cm para la edad 1, y  $> 25$  y  $\leq 32$  cm para la edad 2. Las marcas registradas en los otolitos mostraron una progresión ontogenética, con variaciones estacionales en determinadas posiciones radiales. Finalmente, se desarrolló un modelo de retrocálculo basado en modelos aditivos generalizados mixtos (GAMM), que permitió reconstruir las trayectorias de crecimiento individual, con un mejor desempeño en las edades más tempranas. En conjunto, los resultados muestran que el crecimiento juvenil de la corvina rubia combina variabilidad ontogenética con diferencias estacionales en determinados componentes del crecimiento, y destacan el valor de integrar información corporal, etaria y otolítica para caracterizar esta etapa del ciclo de vida.

**Palabras claves:** Área de cría, anillos anuales, edad, *Micropogonias furnieri*, retrocálculo.

**The challenge of growing: ontogenetic and seasonal patterns in juvenile whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*)**

**ABSTRACT.** The whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) is an important fishery resource in the southwestern Atlantic. In Argentina, Samborombón Bay represents its main nursery area, where juveniles remain during their first years of life. This study aimed to characterize growth patterns of juvenile whitemouth croaker in this nursery area and to assess their variation between warm and cold seasons. We integrated information on body length, weight, age, and growth marks recorded in *sagittae* otoliths and examined the relationship between somatic and otolith growth. Juveniles showed seasonal differences in length structure and in the length-weight relationship, whereas the

relationship between body length and otolith radius remained consistent across seasons. Length structure was consistent with the coexistence of individuals originating at different times throughout the species' extended reproductive period. Length ranges for juvenile age classes were also updated:  $\leq 18$  cm for age 0,  $> 18$  to  $\leq 25$  cm for age 1, and  $> 25$  to  $\leq 32$  cm for age 2. Otolith growth marks showed a clear ontogenetic progression, with seasonal variation detected at specific radial positions. Finally, a back-calculation approach based on generalized additive mixed models (GAMMs) was developed to reconstruct individual growth trajectories, with better performance in younger age classes. Overall, our findings show that juvenile growth in whitemouth croaker reflects both ontogenetic variability and seasonal differences in specific growth components, and highlight the value of integrating somatic, age, and otolith information to characterize growth during the juvenile stage.

**Key words:** Nursery area, annuli, age, *Micropogonias furnieri*, back-calculation.

---

## INTRODUCCIÓN

---

La corvina rubia, *Micropogonias furnieri* (Desmarest 1823), es una de las especies de mayor importancia pesquera en el Atlántico Sudoccidental, con presencia destacada en Argentina, Uruguay y el sur de Brasil (Carozza et al. 2004; Haimovici et al. 2016). Se trata de un pez demersal y longevo, cuyo reclutamiento presenta una alta variabilidad (Acha et al. 2012; Carozza 2012; Alves et al. 2024). En el Río de la Plata, esta especie ha desarrollado una estrategia reproductiva que implica el desove en la zona interna del estuario y cerca del ecotono con el río (Macchi et al. 1996; Acha et al. 1999). El período reproductivo ocurre entre noviembre y marzo, con una primera puesta masiva que se inicia a mediados de noviembre y se intensifica en diciembre y enero (Macchi y Christiansen 1991). Sus larvas eclosionan en esta región y permanecen retenidas durante la metamorfosis a juveniles, un período crítico en su ciclo de vida que implica una elevada vulnerabilidad asociada a la transición larva-juvenil y al cambio de hábitat (Braverman et al. 2009, 2020). En Argentina, la Bahía Samborombón constituye la principal área de cría de la especie, proporcionando un refugio para los juveniles desde aproximadamente los 2 cm de longitud total hasta los 2-3 años de vida (Jaureguizar et al. 2003; Norbis y Verocai 2005; Acha et al. 2008; Borthagaray et al. 2011; Braverman et al. 2020; Alves et al. 2024). La estructura etaria de una población

permite determinar la dinámica y analizar variaciones en el crecimiento y la supervivencia, aspectos fundamentales para comprender los factores que regulan el éxito del reclutamiento y el estado general de las poblaciones (Venturelli et al. 2009; Brunel y Piet 2013; Stige et al. 2019; Ohlberger et al. 2022).

Los otolitos (estructuras calcificadas ubicadas en el oído interno de los peces) constituyen una de las herramientas más confiables para la estimación de la edad ya que no sufren procesos de reabsorción (Casselman 1990), y presentan anillos de crecimiento bien definidos, que pueden ser contados y analizados con alta precisión (Campana 2001; Panfili et al. 2002). A lo largo de las últimas décadas, los otolitos de corvina rubia se han consolidado como una herramienta clave para disentñar diversos aspectos de su biología, ecología y dinámica poblacional. Su análisis ha permitido reconstruir trayectorias de crecimiento, identificar movimientos migratorios y caracterizar poblaciones en distintas regiones del Atlántico Sudoccidental (Albuquerque et al. 2009; Borthagaray et al. 2011; Braverman 2011; Cavole y Haimovici 2015; Franco et al. 2019; Avigliano et al. 2021, 2025; Verocai et al. 2023).

Desde una perspectiva ontogenética, los otolitos han permitido también abordar preguntas sobre el desarrollo temprano de la corvina rubia. El inicio del estadio juvenil ha sido tradicionalmente determinado por la aparición de rasgos adultos, como la escamación y la estructura definitiva de las aletas (Fuiman y Werner 2002). En ambientes similares al Río de la Plata, Weiss (1981) propuso que indi-

viduos de 20 mm ya pueden considerarse juveniles, aunque el desarrollo de características morfológicas no ocurre de forma simultánea. En este sentido, los otolitos aportan una ventaja ya que permiten estimar la edad incluso cuando los rasgos externos aún no están completamente desarrollados, mediante el conteo de incrementos diarios o anillos anuales (Campana y Thorrold 2001; Braverman 2011; Xieu et al. 2021). Además, la morfometría del otolito se ha convertido en un enfoque valioso para explorar diferencias ontogenéticas y poblacionales. Aunque existen métodos modernos para analizar la forma de los otolitos (Tuset et al. 2021), también se ha avanzado en el estudio de sus proporciones biométricas para describir su desarrollo en distintas etapas de vida. Estas relaciones entre la longitud total (LT) del pez y el tamaño o forma del otolito han sido descritas por distintos autores (Volpedo y Echeverría 1999; Waessle et al. 2003; Rossi-Wongtschowski et al. 2014), aunque todavía existe un amplio potencial para profundizar en el análisis del desarrollo ontogenético mediante índices biométricos, como han propuesto Tuset et al. (2008) para otras especies.

Finalmente, los otolitos también han contribuido a revelar la elevada variabilidad del crecimiento durante los primeros estadios de vida. Se han registrado diferencias de hasta cinco veces en el peso de individuos de la misma edad (Ciechomski 1980), lo que evidencia que la edad cronológica por sí sola no necesariamente refleja las diferencias en las trayectorias de crecimiento individual. En ambientes estuarinos marcadamente estacionales, esta variabilidad puede expresarse además en cambios temporales en el crecimiento y en la estructura de longitudes de los juveniles. En la Bahía Samborombón, donde coexisten individuos provenientes de un período reproductivo prolongado (Macchi y Christiansen 1991) y los juveniles permanecen durante sus primeros años de vida (Acha et al. 2008; Braverman 2009; Alves et al. 2024), resulta particularmente relevante establecer si los patrones de crecimiento registrados en los otolitos se mantienen o varían entre temporadas. En este contexto, la integración de información corporal, etaria y oto-

lítica permite abordar de manera más completa la dinámica del crecimiento durante la etapa juvenil.

El objetivo de este trabajo fue analizar la estructura el crecimiento de los juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) durante sus primeros años de vida en la Bahía Samborombón y evaluar si estos patrones varían entre las temporadas cálida y fría. Para ello, se utilizó la información registrada en los otolitos *sagittae* en relación con el crecimiento corporal y la edad de los individuos, y se desarrolló un modelo de retrocálculo para reconstruir sus trayectorias de crecimiento individual.

---

## MATERIALES Y MÉTODOS

---

### Área de estudio

La Bahía Samborombón (35° 27' S-36° 22' S; ~ 2.240 km<sup>2</sup>) se localiza en el margen sudeste del Río de la Plata, el quinto estuario más grande del mundo, que drena aproximadamente el 20% del continente sudamericano a través de los ríos Paraná y Uruguay. El Río de la Plata constituye un ecosistema altamente productivo que sostiene importantes pesquerías para Argentina y Uruguay (Acha et al. 2008). La Bahía Samborombón es una bahía somera (profundidad < 10 m) reconocida como una de las principales áreas de cría de peces del estuario debido a sus particulares características hidrográficas, oceanográficas y ecológicas (Lasta 1995; Acha et al. 2008). Presenta un marcado gradiente ambiental, desde condiciones predominantemente estuarinas en el sector norte, influenciado por la pluma del Río de la Plata, hasta condiciones de mayor influencia marina en el sector sur, asociadas a la corriente litoral bonaerense, con una zona de transición de elevada heterogeneidad en salinidad, temperatura y turbidez. La interacción entre la escasa profundidad, la compleja red de canales de marea, las corrientes débiles y la circulación local favorece la retención de plancton y larvas de peces (Simionato et al. 2004, 2008; Acha et al. 2008). Estas condiciones convier-

ten a la bahía en la principal área de desove y cría de la corvina rubia, donde los juveniles permanecen hasta los dos o tres años de edad (Acha et al. 2008). Debido a su elevada biodiversidad e importancia ecológica, la Bahía Samborombón fue declarada Sitio Ramsar en 1997 (Kopprio et al. 2015).

### Colecta de muestras

Las muestras utilizadas en este estudio provienen de cuatro campañas de evaluación de juveniles de corvina rubia realizadas por el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP) en la Bahía Samborombón, abarcando dos temporadas del año: cálida (marzo 2018 y 2019) y fría (agosto 2017 y 2018). El diseño de muestreo

contempló 23 lances efectuados en estaciones fijas distribuidas a lo largo de la bahía, replicados en cada una de las campañas (Figura 1). Para este trabajo, se consideraron únicamente individuos juveniles hasta los 32 cm de LT. Este es el umbral correspondiente a la longitud de primera madurez sexual ( $L_{50\%}$ ) estimada para ambos sexos en conjunto (Militelli et al. 2013; Norbis y Galli 2013), y utilizado como criterio para delimitar esta etapa del ciclo de vida.

### Procesamiento de los otolitos

Se seleccionó sistemáticamente el otolito *sagitta* derecho de los ejemplares de más de 12 cm de LT para analizar las marcas de crecimiento y deter-

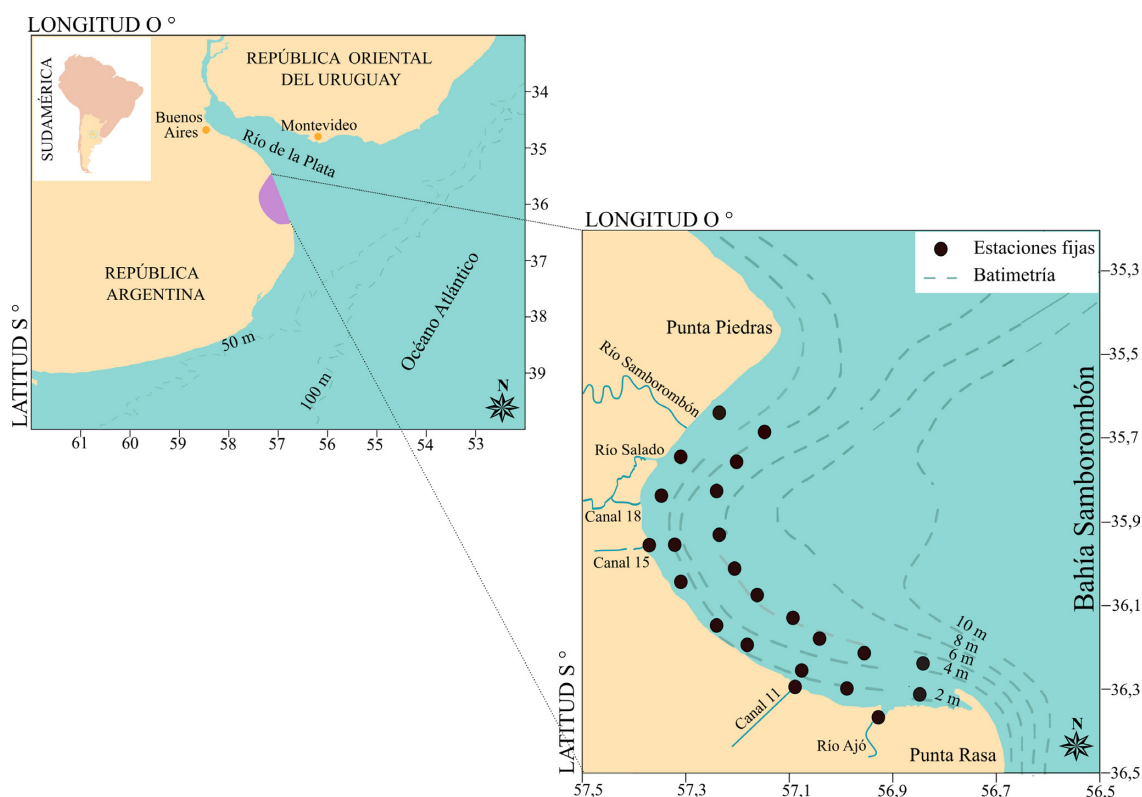


Figura 1. Mapa del área de estudio; se muestran las estaciones fijas de muestreo (puntos negros) realizadas durante las campañas de evaluación de juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) en el área costera de la Bahía Samborombón.

Figure 1. Map of the study area showing the fixed sampling stations (black dots) surveyed during the assessment cruises of juvenile whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) in the coastal area of Samborombón Bay.

minar la edad. Los otolitos izquierdo y derecho presentan equivalencia morfológica y morfométrica (Santos et al. 2017), al no existir asimetría fluctuante ni sesgo de crecimiento entre ambos lados, la elección de un lado fijo (en este caso, el derecho) sirve para estandarizar el procedimiento de pulido, lectura y mediciones. En cada otolito fue marcado el *sulcus acusticus* y el plano transversal con lápiz fino, para asegurar una correcta orientación. Posteriormente, fueron desgastados manualmente en el plano perpendicular a la línea del *sulcus acusticus*, que se extiende en sentido anteroposterior (Cotrina 1991). Para ello se usó una biseladora manual, permitiendo el pulido de la pieza directamente contra una muela de diamante giratoria, con un sistema de lubricación por agua. Una vez alcanzado un nivel adecuado de pulido, los otolitos fueron sometidos a un proceso de tostado sobre una plancha de inducción. Este

tratamiento térmico tiene como objetivo resaltar la visibilidad de los anillos y marcas de crecimiento (Christensen 1964) (Figura 2).

### Registro fotográfico, mediciones y asignación de edad

Los otolitos fueron analizados bajo una lupa binocular Carl Zeiss equipada con una cámara digital acoplada, utilizando el software Axio Vision (Carl Zeiss, Alemania). Cada ejemplar fue montado sobre un taco de madera y fijado con plastilina para permitir la estabilización de la pieza y la captura de la imagen. Así, para cada ejemplar se obtuvo una imagen digital de alta resolución, que permitió registrar con precisión las marcas de interés. A cada imagen se le incorporó una escala de referencia de 500  $\mu\text{m}$ , garantizando así la exactitud en las mediciones posteriores.

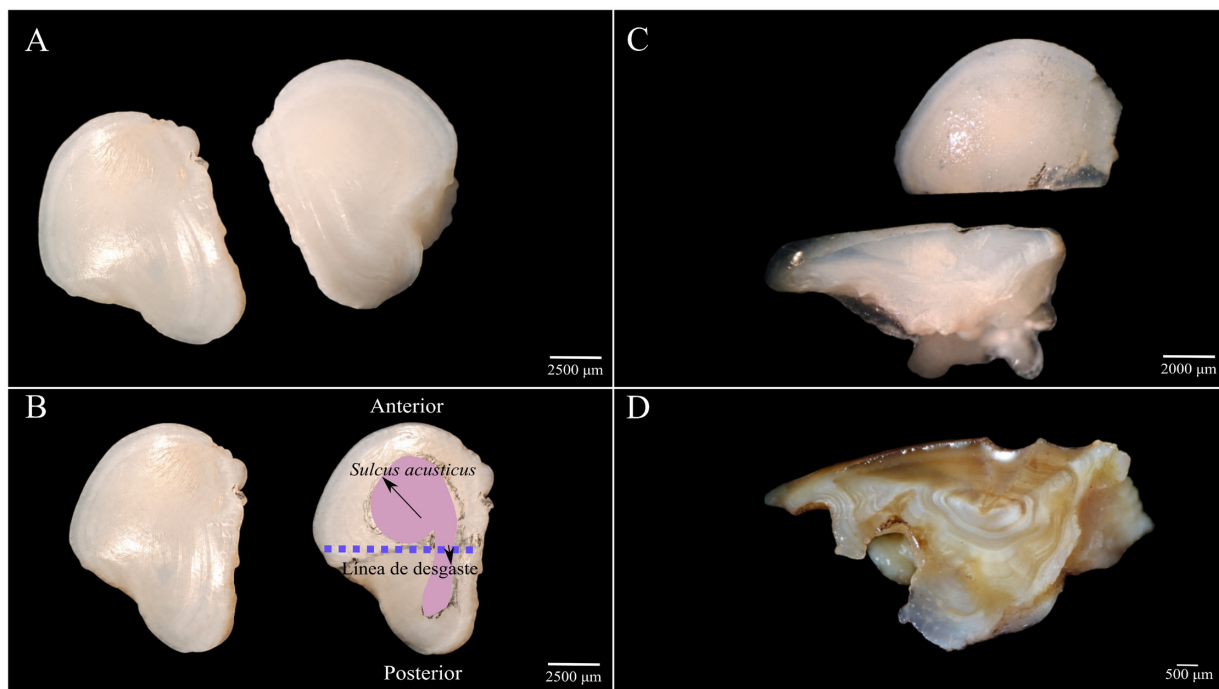


Figura 2. Principales etapas del procesamiento del otolito *sagitta* derecho de juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*).

A) Extracción de los otolitos. B) Marcado de la línea de desgaste. C) Pulido transversal del otolito. D) Otolito tostado.

Figure 2. Main stages of the processing of the right *sagitta* otolith of juvenile whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*). A) Otolith extraction. B) Marking of the grinding line. C) Transverse polishing of the otolith. D) Toasted otolith.

Las mediciones se realizaron sobre el eje de crecimiento en el plano transversal, paralelo al *sulcus acusticus*, desde el núcleo del otolito hasta el borde externo. Las variables cuantificadas incluyeron el radio del otolito, las marcas de crecimiento continuas y más conspicuas (M1, M2, M3, etc.) que en los ejemplares más grandes resultaron en un total de siete marcas y los anillos anuales (A1, etc.) que alcanzaron hasta dos (Figura 3). Para mejorar la precisión de las mediciones, cada una fue repetida cinco veces por un mismo operador, minimizando así el error asociado a la lectura e incrementando la consistencia de los resultados. El valor final asignado a cada otolito correspondió al promedio de las cinco mediciones. La repetibilidad intra-observador de las mediciones se evaluó mediante el coeficiente de variación (CV) (material suplemen-

tario). La edad de los ejemplares se determinó mediante el conteo de anillos opacos, los cuales, en combinación con la banda hialina, conforman el anillo anual de crecimiento. Para la asignación de edades, se consideró el 1º de enero como fecha de cumpleaños (Cotrina 1991).

## Análisis de datos

### Análisis morfométrico temporal

Para evaluar las diferencias en la LT entre temporadas (cálida y fría), se realizaron comparaciones estadísticas entre grupos. Se utilizó el test de Wilcoxon Rank Sum como método principal para comparar la ubicación central de las distribuciones, y el test de Kolmogorov-Smirnov para evaluar posibles diferencias en su forma. La relación entre la

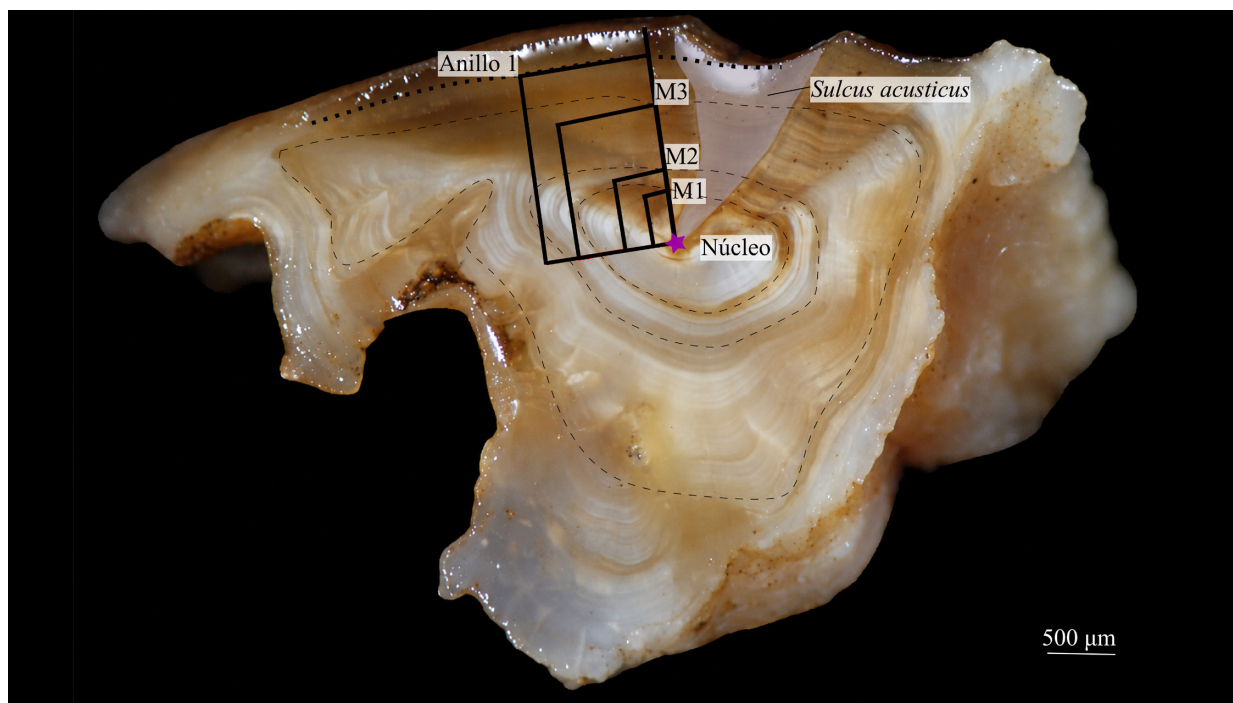


Figura 3. Otolito *sagitta* derecho de un ejemplar de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) de 1 año de edad, capturado durante la temporada cálida, con una longitud total (LT) de 24 cm y un peso total de 172 g. Se indican el núcleo, las marcas de crecimiento (M1-M3), el primer anillo anual (anillo 1) y el *sulcus acusticus*.

Figure 3. Right sagitta otolith of a 1-year-old whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*), captured during the warm season, with a total length (TL) of 24 cm and a total weight of 172 g. The nucleus, growth marks (M1-M3), first annual ring (ring 1), and sulcus acusticus are indicated.

LT y el peso de los ejemplares juveniles de corvina rubia fue analizada para evaluar posibles diferencias entre las temporadas. Dado que esta relación en peces suele seguir una función alométrica, se ajustaron modelos no lineales del tipo:

$$P = a \times LT^b$$

donde  $P$  es el peso en gramos (g),  $LT$  es la longitud total en centímetros (cm),  $a$  y  $b$  son los parámetros del modelo. Estos modelos fueron ajustados por separado para cada temporada mediante regresión no lineal por mínimos cuadrados, y los parámetros fueron utilizados para caracterizar y comparar los patrones de crecimiento morfométrico entre las mismas. Las curvas resultantes fueron representadas gráficamente con suavizado *loess* para facilitar la visualización de diferencias.

Con el fin de evaluar formalmente si la pendiente de la relación longitud-peso difería entre temporadas, se ajustó adicionalmente un modelo lineal sobre los datos transformados logarítmicamente, incorporando la interacción entre  $\log(LT)$  y la temporada. La significancia de dicha interacción fue evaluada mediante un análisis de varianza:

$$\log(P) = \beta_0 + \beta_1 \log(LT) + \beta_2 \text{Temporada} + \beta_3 [\log(LT) \times \text{Temporada}] + \varepsilon$$

donde  $P$  es el peso en gramos (g),  $LT$  es la longitud total en centímetros (cm),  $\beta_0$  representa al intercepto,  $\beta_1$  el efecto de la longitud total,  $\beta_2$  el efecto de la temporada,  $\beta_3$  efecto de la interacción entre la longitud total y la temporada, y  $\varepsilon$  el término de error del modelo.

#### *Relación entre el radio del otolito y el tamaño corporal de los individuos*

Para describir la relación entre la LT de los ejemplares y el radio del otolito, se ajustó un modelo lineal simple entre LT y radio estandarizado, pero se detectaron violaciones a los supuestos de homocedasticidad y linealidad, lo que motivó la elección de un enfoque más flexible. Para poder describir

dicha relación, se ajustó un modelo aditivo generalizado mixto (GAMM). La variable dependiente fue la LT (cm), mientras que la variable explicativa principal fue el radio del otolito ( $\mu\text{m}$ ), previamente estandarizado ( $\text{radio}_s$ ). Además, se incorporó la temporada del año como efecto fijo categórico. Para tener en cuenta la estructura de muestreo y la posible variación no explicada entre campañas y ejemplares, se modelaron efectos aleatorios para cada individuo y cada campaña. El modelo puede representarse de la siguiente forma:

$$LT_i = \beta_0 + f(\text{radio}_i) + \beta_1 \text{temporada}_i + b \text{ejemplar}_i + b \text{campaña}_i + \varepsilon_i$$

donde  $LT_i$  es la longitud total observada del individuo  $i$ ,  $f(\text{radio}_i)$  es una función suave no lineal del radio del otolito estandarizado,  $\text{temporada}_i$  es un factor que indica la temporada (cálida o fría),  $b \text{ejemplar}_i$  es un efecto aleatorio para el ejemplar  $i$ ,  $b \text{campaña}_i$  es un efecto aleatorio para la campaña de muestreo,  $\varepsilon_i$  es el error residual, asumido normalmente distribuido con media cero y varianza constante. El modelo se ajustó mediante un procedimiento de máxima verosimilitud restringida acelerada (fREML), adecuado para bases de datos de tamaño intermedio.

Para evaluar la relación entre el peso corporal y el radio del otolito, se empleó un GAMM. Se utilizó como variable dependiente el peso (g), mientras que la variable explicativa principal fue el radio del otolito, previamente estandarizado. Además, la temporada del año fue incorporada como efecto fijo categórico para examinar posibles diferencias estacionales.

Para controlar la variabilidad interindividual y la interanual, se incluyeron efectos aleatorios asociados a los ejemplares individuales y a las campañas de muestreo. La formulación general del modelo fue:

$$\text{Peso}_i = \beta_0 + f(\text{radio}_i) + \beta_1 \text{temporada}_i + b \text{ejemplar}_i + b \text{campaña}_i + \varepsilon_i$$

donde  $\text{Peso}_i$  es el peso observado del individuo  $i$ .

### *Asignación de edad y actualización de rangos de longitudes*

Para evaluar si la distribución de edades difiere entre temporadas del año, se aplicó una prueba de independencia de chi-cuadrado. La variable edad fue determinada previamente a partir de la lectura de otolitos y clasificada en tres categorías discretas: edad 0, edad 1 y edad 2. La variable temporada se categorizó como “cálida” o “fría” según la fecha de muestreo.

Para clasificar los ejemplares en grupos etarios sin superposición de LT, se definieron rangos de LT a partir de los valores descriptivos obtenidos para cada edad (0, 1 y 2 años) en ambas temporadas analizadas. Con el fin de establecer criterios comunes de clasificación y minimizar el solapamiento y la asignación errónea de individuos entre clases etarias adyacentes, se propuso una categorización conservadora basada en intervalos discretos de LT.

### *Marcas de crecimiento*

A fin de analizar las diferencias en los patrones de crecimiento del otolito entre temporadas del año, se analizaron siete marcas de crecimiento y dos anillos anuales registrados en los ejemplares recolectados durante los distintos periodos. Las primeras correspondieron a marcas conspicuas observadas sobre el eje de crecimiento del otolito, incluyendo únicamente aquellas claramente identificables, mientras que los anillos anuales correspondieron a las bandas opacas utilizadas para la determinación de la edad. Las estructuras fueron numeradas secuencialmente desde el núcleo hacia el borde según su orden de formación (M1 a M7, A1 y A2).

Se aplicaron análisis de densidad Kernel (KDE) para estimar la distribución de las posiciones radiales de estas estructuras. En primer lugar, se estimaron curvas de densidad para cada marca y anillo (M1-M7, A1 y A2), diferenciadas por temporada, con el fin de comparar su distribución radial entre las temporadas cálida y fría. En segundo lugar, se integraron las posiciones de todas las marcas y anillos en una única distribución de densidad para cada temporada, con el objetivo de identificar las regio-

nes del otolito donde estas estructuras tendieron a concentrarse independientemente de su orden de formación, tendencia que ya se visualizaba durante las mediciones. Las estimaciones de densidad se realizaron utilizando un kernel gaussiano, con un ancho de banda y un factor de ajuste de 1,2. La elección de este factor se realizó luego de explorar diferentes niveles de suavizado, seleccionándose aquel que representó de manera más adecuada la estructura de las distribuciones y los patrones reconocidos durante la observación directa de las marcas de crecimiento en los otolitos. Las curvas de densidad obtenidas fueron comparadas visualmente para detectar diferencias en su forma y en la localización de los picos de densidad entre temporadas, identificándose los máximos locales de cada curva.

Adicionalmente, para evaluar si las distribuciones radiales de cada marca y anillo diferían estadísticamente entre temporadas, se aplicaron dos pruebas no paramétricas: el test de Kolmogorov-Smirnov para dos muestras y el test de Wilcoxon de rangos sumados.

A fin de evaluar el desempeño del modelo ajustado para describir la relación entre el crecimiento del otolito (radio) y la LT de los ejemplares, se estimaron valores de LT a partir de las predicciones generadas por el modelo GAMM. Para ello, se aplicó el modelo sobre el mismo conjunto de datos utilizado en su ajuste, considerando como variables predictoras el radio del otolito estandarizado, la temporada y los efectos aleatorios asociados al ejemplar y a la campaña.

Para evaluar el grado de correspondencia entre los valores observados y los estimados por el modelo de retrocálculo, se compararon las LT observadas ( $LT_o$ ) y estimadas ( $LT_i$ ) mediante un gráfico de dispersión. Como métricas descriptivas del ajuste y del error de estimación, se calcularon el coeficiente de correlación de Pearson y el error cuadrático medio (RMSE), tanto a nivel general como desagregado por grupo etario. La clasificación por edad incluyó tres clases (0, 1 y 2 años), determinadas previamente a partir de la lectura de anillos de crecimiento en los otolitos.

Todos los análisis estadísticos y gráficos fueron realizados en el entorno R (R Core Team 2023), utilizando RStudio como interfaz de trabajo.

## RESULTADOS

Se evaluaron un total de 1.328 ejemplares juveniles de corvina rubia, cuyas LT se distribuyeron en un rango comprendido entre 3 y 32 cm; de estos,

763 correspondieron a la temporada cálida y 565 a la temporada fría. Durante la temporada cálida, la distribución de LT presentó un patrón bimodal con un modo principal concentrado entre 16 y 22 cm y un segundo modo menos pronunciado en el intervalo de 8-10 cm. Por el contrario, en la temporada fría, la distribución mostró un patrón disperso y multimodal, destacándose varios picos de frecuencia en las clases de LT de 8-10 cm, 16-18 cm, y alrededor de los 22 cm (Figura 4 A). El análisis estadístico confirmó diferencias significativas en

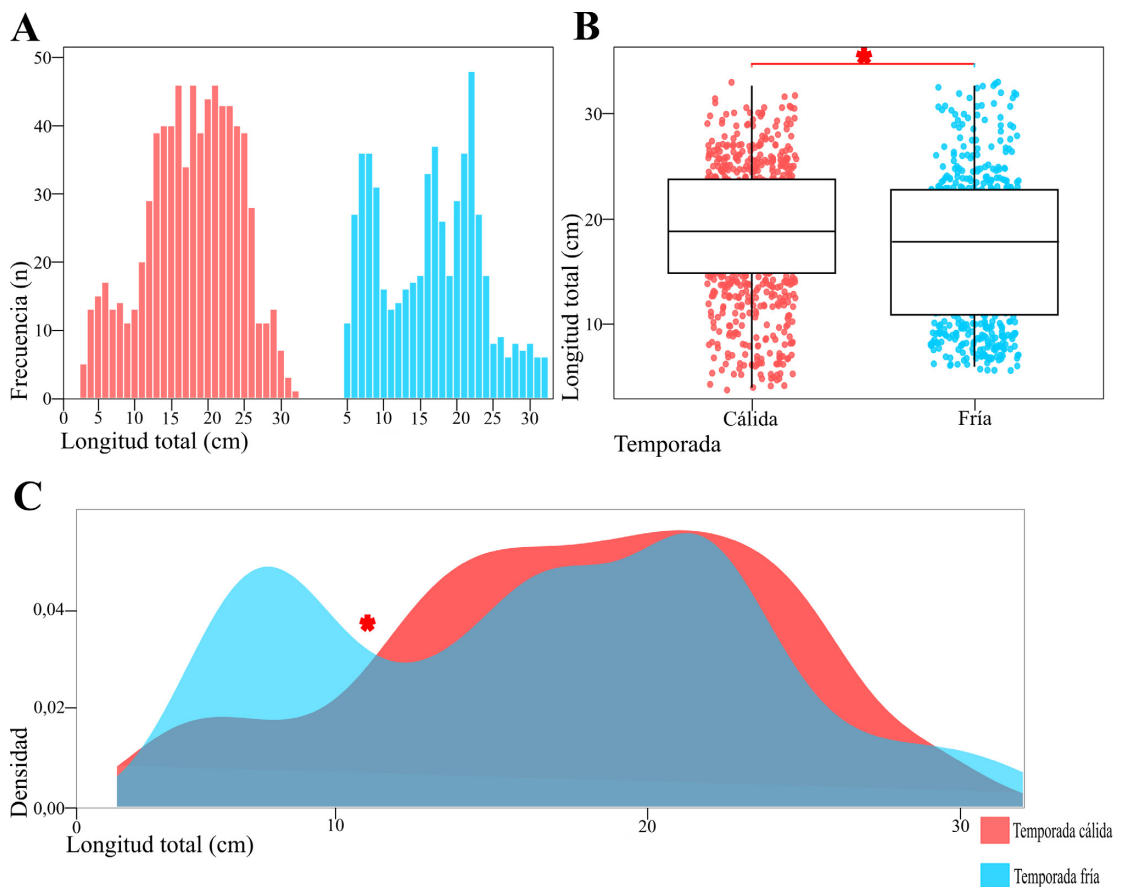


Figura 4. Distribución de la longitud total (LT) de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) en las temporadas cálida y fría. A) Histogramas de frecuencia. B) Diagramas de caja y bigotes (boxplots) que muestran la mediana, el rango intercuartílico y la dispersión de los datos. C) Distribución de densidad de LT para cada temporada. El asterisco (\*) indica diferencias significativas entre temporadas ( $p < 0,001$ ).

Figure 4. Distribution of total length (TL) of whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) during the warm and cold seasons. A) Frequency histograms. B) Boxplots showing the median, interquartile range, and the data dispersion. C) Density distribution of TL for each season. The asterisk (\*) indicates significant differences between seasons ( $p < 0.001$ ).

la distribución de la LT entre ambas temporadas. En particular, el test de Wilcoxon Rank Sum reveló diferencias altamente significativas en la ubicación central (mediana) de las distribuciones entre temporadas ( $W = 240971$ ,  $p < 0,001$ ). Asimismo, el test de Kolmogorov-Smirnov indicó diferencias significativas en la forma de ambas distribuciones (KS test,  $p < 0,001$ ) (Figura 4 B y 4 C).

Si bien la relación longitud-peso siguió el patrón ontogenético habitual de aumento del peso con la longitud, las diferencias entre temporadas resultaron notorias (Figura 5).

El ajuste de los modelos alométricos indicó diferencias significativas en la pendiente de la relación longitud-peso entre temporadas ( $F = 42,52$ ;  $p < 0,001$ ). Para la temporada cálida se obtuvo un valor de  $a = 0,014$  y  $b = 2,92$ , correspondiente a una alometría negativa, mientras que para la temporada fría los valores fueron  $a = 0,01$  y  $b = 3,06$ , indicando una alometría positiva. La pendiente fue

mayor durante la temporada fría, con un mayor incremento del peso a mayores longitudes en comparación con la temporada cálida.

Se detectó una relación no lineal y altamente significativa entre el radio estandarizado del otolito y el crecimiento corporal de los juveniles, tanto para la LT ( $\text{edf} = 4,60$ ;  $F = 918,5$ ;  $p < 0,001$ ) como para el peso ( $\text{edf} = 4,91$ ;  $F = 525,3$ ;  $p < 0,001$ ). Estos resultados indican que la relación entre el desarrollo del otolito y el crecimiento corporal no sigue una trayectoria lineal simple. Por otro lado, la temporada no ejerció un efecto significativo sobre ninguna de estas relaciones ( $p = 0,767$  para LT y  $p = 0,433$  para el peso), lo que sugiere que la asociación entre el radio del otolito y el tamaño corporal de los juveniles se mantiene estable entre los períodos cálido y frío (Figura 6 A y 6 B). Ambos modelos mostraron un buen ajuste, explicando el 84,4% y el 78,9% de la variabilidad observada ( $R^2$  ajustado = 0,844 para LT y  $R^2$  ajustado = 0,789 para el peso).

La edad de los ejemplares juveniles de corvina rubia fue determinada mediante la identificación de anillos anuales en los otolitos y la fecha de cumpleaños (Figura 7). En términos generales, la mayoría de los individuos correspondió a edad 0 (65,1%), seguida por edad 1 (29,9%) y un bajo porcentaje de edad 2 (5%). Al discriminar por temporada, durante el período cálido predominaron los ejemplares de edad 0 (64,6%), seguidos por edad 1 (33,3%) y edad 2 (2,4%). En la temporada fría, esta tendencia se mantuvo, con una mayor proporción de individuos de edad 0 (68,1%), seguida por edad 1 (26,5%) y edad 2 (5,3%). En ambas temporadas, los grupos etarios más jóvenes (edad 0 y 1) fueron los más representativos de la muestra, mientras que los individuos de edad 2 presentaron una baja frecuencia, en concordancia con el límite máximo de longitud total (32 cm) establecido para el estudio. Aunque se observaron diferencias descriptivas en las proporciones de individuos entre temporadas, la prueba de independencia de chi-cuadrado no evidenció diferencias significativas en la distribución de las clases de edad entre la temporada cálida y la fría ( $\chi^2 = 1,94$ ;

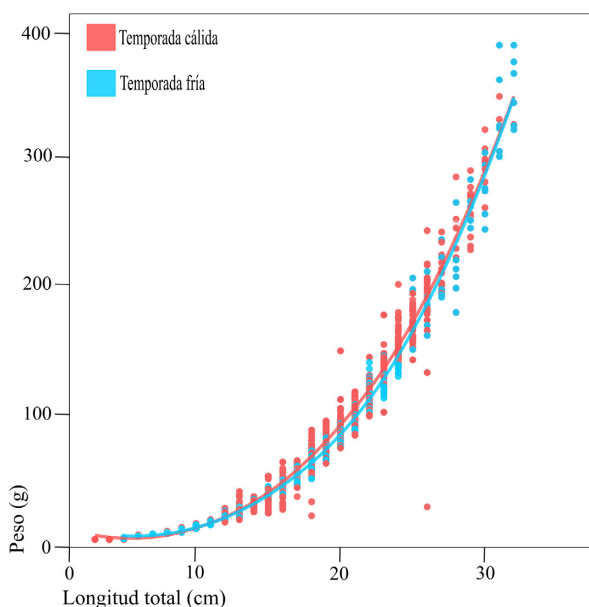


Figura 5. Relación LT-peso de juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) en la Bahía Samborombón durante las temporadas cálida y fría.

Figure 5. LT-weight relationship of juvenile whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) in Samborombón Bay during the warm and cold seasons.

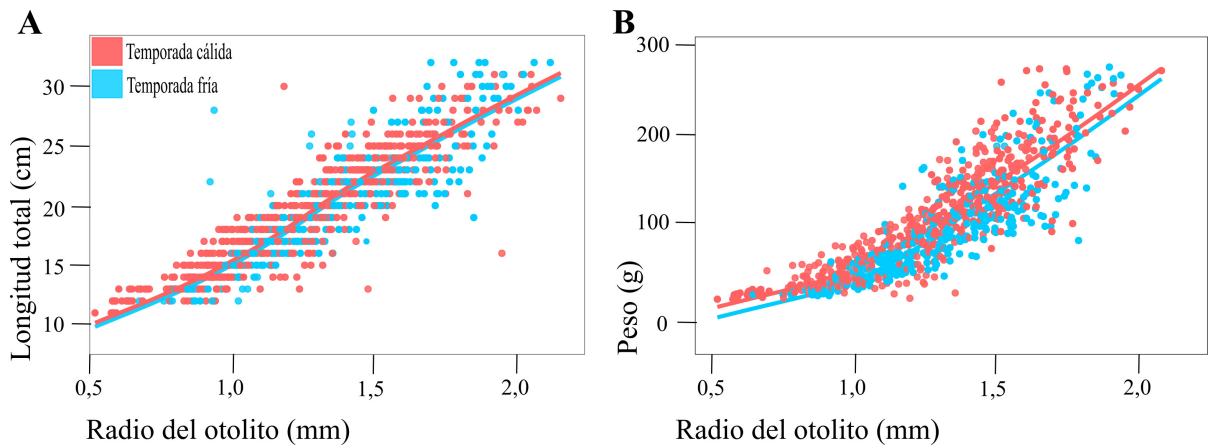


Figura 6. A) Relación entre la longitud total (cm) y el radio del otolito (mm). B) Relación entre el peso corporal (g) y el radio del otolito (mm), en juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) por temporada. Las líneas representan los ajustes del modelo aditivo generalizado mixto (GAMM).

Figure 6. A) Relationship between total length (cm) and otolith radius (mm). B) Relationship between body weight (g) and otolith radius (mm), in juvenile whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) per season. The lines represent the fits of the generalized additive mixed model (GAMM).

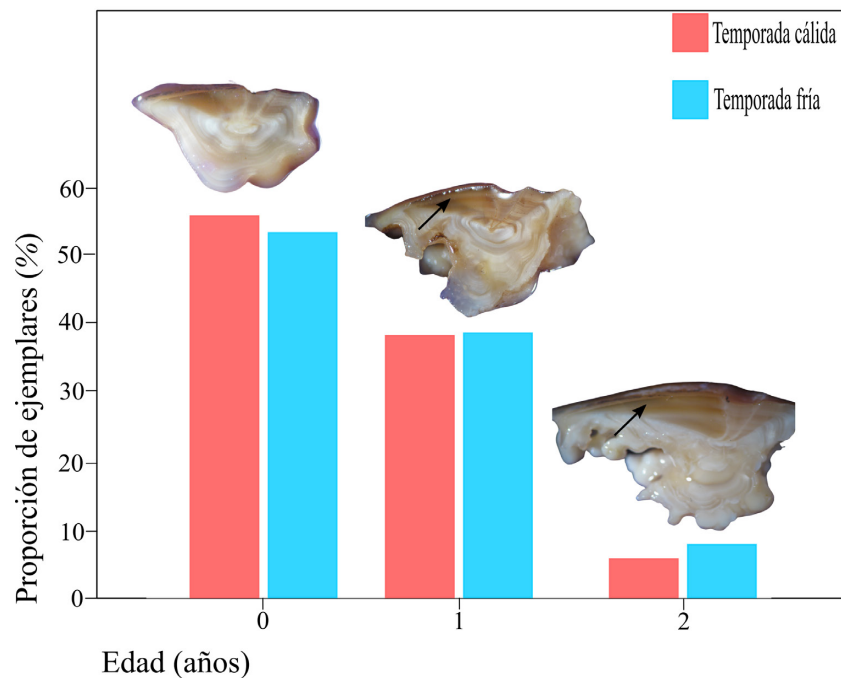


Figura 7. Proporción de ejemplares juveniles por edad de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) en la Bahía Samborombón por temporada. Se incluyen imágenes representativas de otolitos correspondientes a cada edad (0, 1 y 2 años). Las flechas negras indican los primeros anillos anuales observados.

Figure 7. Proportion of juvenile specimens by age of whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) in Samborombón Bay by season. Representative images of otoliths corresponding to each age (0, 1 and 2 years) are included. Black arrows indicate the first annual rings observed.

$gl = 2; p = 0,38$ ), indicando que ambas presentaron una estructura etaria comparable.

La longitud total (LT) mostró una tendencia creciente con la edad en ambas temporadas, consistente con el patrón esperado de crecimiento (Figura

8). Los estadísticos descriptivos indicaron valores de LT similares entre temporadas dentro de cada grupo etario, mientras que la variabilidad de la longitud tendió a disminuir con el incremento de la edad (Tabla 1).

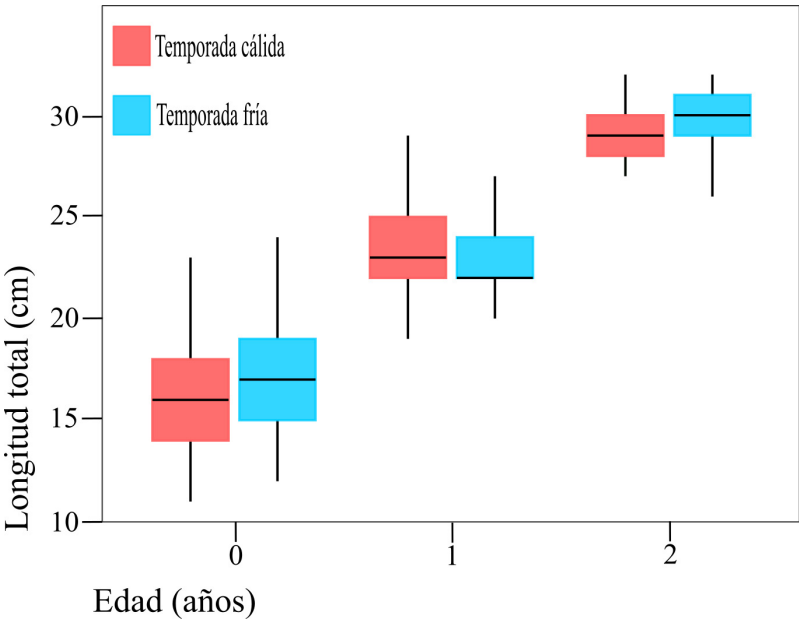


Figura 8. Distribución de la longitud total por edad (LT, en cm) de los ejemplares de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) (0, 1 y 2 años), representada mediante boxplots para cada temporada.  
Figure 8. Distribution of total length by age (TL, in cm) of specimens of whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) (0, 1 and 2 years), represented by boxplots for each season.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la longitud total (LT; cm) de juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) según edad (años) y temporada en la Bahía Samborombón. Se presentan la media, mediana, desvío estándar y los valores mínimo y máximo de LT para cada grupo etario y temporada.  
Table 1. Descriptive statistics of total length (TL; cm) of juvenile whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) according to age (years) and season in Samborombón Bay. The mean, median, standard deviation, and minimum and maximum TL values are presented for each age group and season.

| Edad | Temporada | Media | Mediana | Desvío estándar | Mínimo | Máximo |
|------|-----------|-------|---------|-----------------|--------|--------|
| 0    | Cálida    | 16,30 | 16,00   | 2,68            | 12     | 23     |
| 1    | Cálida    | 23,40 | 23,00   | 1,92            | 19     | 27     |
| 2    | Cálida    | 28,10 | 28,00   | 1,16            | 24     | 29     |
| 0    | Fría      | 17,00 | 17,00   | 2,55            | 12     | 24     |
| 1    | Fría      | 22,80 | 22,00   | 2,03            | 17     | 29     |
| 2    | Fría      | 28,10 | 28,50   | 1,60            | 26     | 30     |

A partir de los valores descriptivos observados para cada grupo etario y considerando la necesidad de una asignación conservadora, se definieron los siguientes intervalos: E0 (edad 0):  $\leq 18$  cm; E1 (edad 1):  $> 18$  cm y  $\leq 25$  cm; E2 (edad 2):  $> 25$  cm y  $\leq 32$  cm aproximadamente. Este último umbral superior se basó en el límite de 32 cm reportado como longitud de primera madurez sexual para la corvina rubia, a fin de garantizar que los individuos analizados correspondieran en su mayoría al estadio juvenil.

Por otra parte, se analizaron las marcas de crecimiento observadas en los otolitos para evaluar patrones de desarrollo según la edad. Las mediciones de la mediana del radio del otolito y de las marcas mostraron una progresión ordenada en relación con la LT de los ejemplares, evidenciando un patrón ontogenético de crecimiento radial. En el análisis general, sin diferenciar por temporada, se registró un incremento sistemático del radio, con valores medianos que pasaron de 1.110  $\mu\text{m}$  en edad 0 a 1.870  $\mu\text{m}$  en edad 2. Este mismo patrón se reflejó en las marcas de crecimiento, cuyos valores aumentaron desde las más internas hacia las más externas, en concordancia con el desarrollo progresivo del otolito. Al considerar los datos separados

por temporada, se mantuvo el mismo patrón general de incremento del radio y de las marcas con la edad, con valores comparables entre la temporada cálida y fría dentro de cada grupo etario (Tabla 2).

La relación entre el radio del otolito y la distancia de las marcas sucesivas evidenció un patrón estructurado por edad y temporada (Figura 9). En general, se observó una distribución creciente de las marcas con respecto al radio, indicando una acumulación progresiva hacia la periferia del otolito conforme aumenta la edad. Para los ejemplares de edad 0, la mayoría de las marcas se ubicaron en los primeros 1.000  $\mu\text{m}$  del radio total, con una agregación de marcas tempranas (1 a 3) en radios inferiores a 500  $\mu\text{m}$ , tanto en la temporada cálida como en la fría. En los individuos de edad 1, se observó una mayor dispersión de las marcas (probablemente relacionado al menor número de ejemplares de esta edad respecto a la 0), alcanzando valores cercanos a los 1.500  $\mu\text{m}$ , con patrones similares entre temporadas, aunque con una leve tendencia a valores de radio mayores en la temporada cálida. En los ejemplares de edad 2, las marcas se extendieron hasta los 2.000  $\mu\text{m}$ , especialmente en la temporada cálida, mostrando una progresión ordenada y una separación entre las primeras y úl-

Tabla 2. Valores medianos del radio del otolito ( $\mu\text{m}$ ), de las marcas de crecimiento (M1-M7) y de los anillos anuales (A1 y A2), diferenciados por edad (0, 1 y 2 años) y temporada del año (cálida y fría).

Table 2. Median values of the otolith radius ( $\mu\text{m}$ ), growth marks (M1-M7) and annual rings (A1 and A2), differentiated by age (0, 1 and 2 years) and season of the year (warm and cold).

|         | Edad | radio | M1  | M2  | M3  | M4  | M5    | M6    | M7    | A1    | A2    |
|---------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| General | 0    | 1.108 | 220 | 471 | 686 | 845 | 1.045 | 1.220 | 1.368 |       |       |
|         | 1    | 1.527 | 230 | 490 | 690 | 851 | 1.040 | 1.227 | 1.370 | 1.533 |       |
|         | 2    | 1.870 | 231 | 488 | 685 | 856 | 1.037 | 1.225 | 1.346 | 1.590 | 1.774 |
| Cálida  | 0    | 1.046 | 213 | 469 | 679 | 844 | 1.052 | 1.206 | 1.369 |       |       |
|         | 1    | 1.505 | 229 | 490 | 678 | 857 | 1.041 | 1.237 | 1.370 | 1.535 |       |
|         | 2    | 1.837 | 228 | 486 | 692 | 832 | 1.041 | 1.207 | 1.346 | 1.597 | 1.801 |
| Fría    | 0    | 1.160 | 230 | 475 | 696 | 846 | 1.038 | 1.234 | 1.335 |       |       |
|         | 1    | 1.545 | 227 | 490 | 704 | 844 | 1.034 | 1.219 | 1.367 | 1.526 |       |
|         | 2    | 1.885 | 238 | 521 | 663 | 860 | 1.030 | 1.235 | 1.356 | 1.559 | 1.739 |

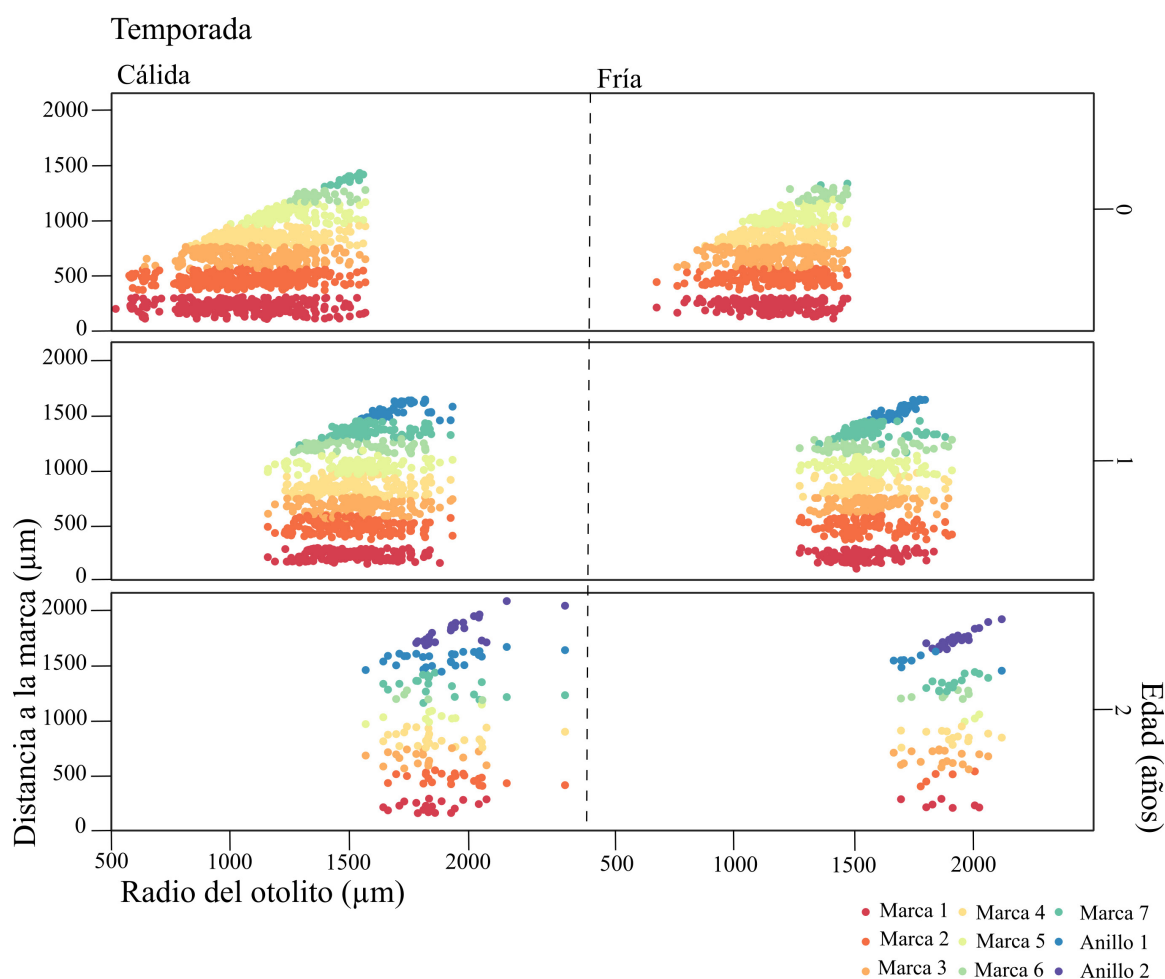


Figura 9. Relación entre el radio del otolito y la distancia de las marcas de crecimiento al núcleo en juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*), diferenciada por edad y temporada.

Figure 9. Relationship between the radius of the otolith and the distance of the growth marks to the nucleus in juveniles of the whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*), differentiated by age and season.

timas marcas. Esta separación fue menos definida en la fría, donde las marcas tendieron a agruparse en el rango medio del radio otolítico. Cabe destacar que esta edad es la menos representada, debido no solo a la escasa cantidad de ejemplares presentes en los muestreos sino también porque deja afuera los individuos mayores a los 32 cm de LT. En todas las edades y en ambas temporadas, las marcas sucesivas revelaron una disposición relativamente constante entre individuos, lo cual sugiere una periodicidad en la formación de marcas.

Se analizaron las siete marcas de crecimiento y dos anillos anuales identificados en los otolitos con el fin de comparar su distribución radial entre temporadas. Las curvas de densidad Kernel mostraron variaciones en la posición y forma de las distribuciones para algunas marcas y anillos, mientras que otras presentaron un alto grado de superposición entre la temporada cálida y fría. Las marcas más internas (1 y 2) exhibieron distribuciones similares entre temporadas, con medianas próximas. En la marca 3 se detectaron diferencias

en la distribución radial entre temporadas, las cuales resultaron estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). A partir de marcas intermedias y externas, se observaron cambios en la forma de las distribuciones y desplazamientos en los picos de densidad y en las medianas en algunas marcas (Figura 10). El análisis estadístico también confirmó diferencias significativas entre temporadas en el anillo 2 ( $p < 0,05$ ; Tabla 3), correspondiente a la edad 2.

Con el fin de evaluar el patrón global de distribución radial de las marcas de crecimiento a lo largo del desarrollo del otolito, se integraron todas las marcas de crecimiento y los anillos anuales en una única distribución de densidad Kernel para cada temporada. Este enfoque permitió identificar las regiones del otolito donde las marcas tendieron a concentrarse, independientemente de su número u orden de formación. En la temporada fría se identificaron dos picos principales de densidad alrededor de los 230 y 750  $\mu\text{m}$ , mientras que en la temporada cálida se observó un patrón más complejo, con tres máximos locales en torno a los 230, 500 y 750  $\mu\text{m}$ . Estas diferencias en la distribución global de las

marcas entre temporadas fueron estadísticamente significativas (test de Kolmogorov-Smirnov para dos muestras,  $p = 0,037$ ), destacándose una divergencia pronunciada en la región media del otolito ( $\sim 500 \mu\text{m}$ ), donde la frecuencia relativa de marcas fue mayor durante la temporada cálida (Figura 11).

A partir del modelo ajustado, se estimaron las  $LT_i$  para cada ejemplar en función del radio del otolito estandarizado, la temporada y los efectos aleatorios asociados al ejemplar y a la campaña de muestreo. La validación del modelo, realizada mediante la comparación entre las  $LT_0$  y las  $LT_i$ , evidenció un alto grado de ajuste global, con una correlación de 0,92 y un error cuadrático medio (RMSE) de 1,83 cm. Estos resultados indican que las predicciones del modelo son precisas y mantienen una estrecha asociación con los valores reales, lo que respalda su aplicación como herramienta robusta para el retrocálculo del crecimiento individual (Figura 12; Tabla 4).

Al desagregar la evaluación por clase de edad, se observó un desempeño variable del modelo durante las distintas etapas del desarrollo ontogené-

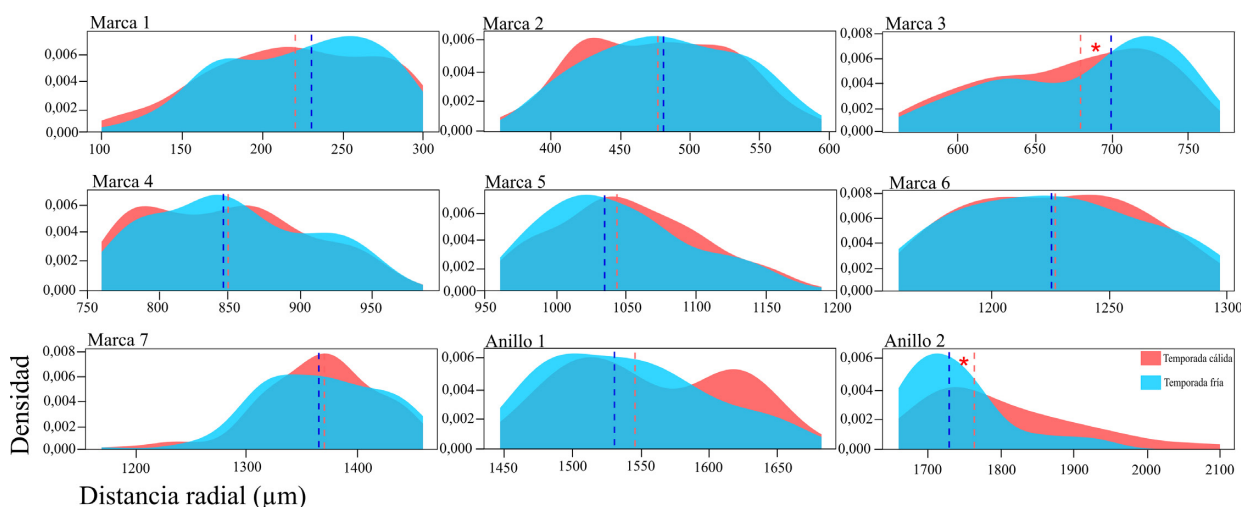


Figura 10. Distribución de densidad Kernel de la posición radial ( $\mu\text{m}$ ) de las marcas de crecimiento (M1-M7) y los anillos anuales (A1-A2) en otolitos de juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) durante las temporadas cálida y fría. Las líneas punteadas indican la mediana de cada distribución.

Figure 10. Kernel density distribution of the radial position ( $\mu\text{m}$ ) of growth marks (M1-M7) and annual rings (A1-A2) in otoliths of juvenile whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) during the warm and cold seasons. Dotted lines indicate the median of each distribution.

Tabla 3. Resultados de los tests estadísticos por marca de crecimiento en otolitos de juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) recolectados durante las temporadas cálida y fría en la Bahía Samborombón. Se muestran los valores de *p* y los estadísticos correspondientes al test de Kolmogorov-Smirnov (KS) y al test de Wilcoxon (W) para cada una de las marcas/anillos identificadas. Las diferencias estadísticamente significativas entre temporadas (*p* < 0,05) se resaltan en negrita.

Table 3. Results of statistical tests by growth mark on otoliths of juvenile whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) collected during the warm and cold seasons in Samborombón Bay. The *p*-values and corresponding statistics from the Kolmogorov-Smirnov (KS) and Wilcoxon (W) tests are shown for each of the identified marks/rings. Statistically significant differences between seasons (*p* < 0.05) are highlighted in bold.

| Marca    | p-valor KS  | D KS | Sig. KS   | p-valor Wilcoxon | W Wilcoxon | Sig. Wilcoxon |
|----------|-------------|------|-----------|------------------|------------|---------------|
| marca1   | 0,38        | 0,07 | No        | 0,40             | 48.704     | No            |
| marca2   | 0,36        | 0,07 | No        | 0,17             | 52.062     | No            |
| marca3   | <b>0,02</b> | 0,12 | <b>Sí</b> | <b>0,03</b>      | 47.504     | <b>Sí</b>     |
| marca4   | 0,45        | 0,07 | No        | 0,41             | 44.882     | No            |
| marca5   | 0,10        | 0,12 | No        | 0,08             | 26.122     | No            |
| marca6   | 0,96        | 0,07 | No        | 0,96             | 5.964      | No            |
| marca7   | 0,60        | 0,10 | No        | 0,91             | 8.713      | No            |
| Anillo 1 | 0,12        | 0,20 | No        | 0,15             | 2.613      | No            |
| Anillo 2 | <b>0,03</b> | 0,33 | <b>Sí</b> | 0,01             | <b>927</b> | <b>Sí</b>     |

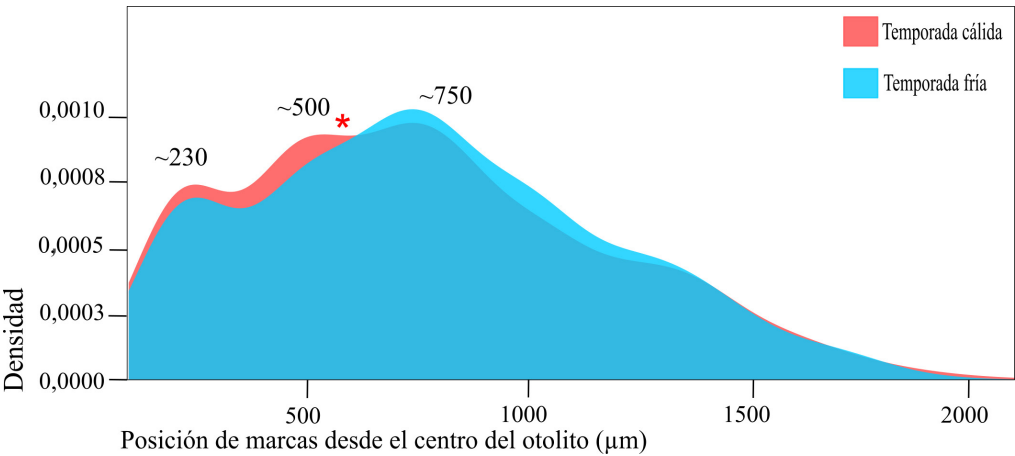


Figura 11. Estimación de densidad Kernel en otolitos de juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) en dos temporadas (cálida y fría) en la Bahía Samborombón. El asterisco indica diferencias significativas entre temporadas (\*, *p* < 0,05).

Figure 11. Kernel density estimation in otoliths of juvenile whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) in two seasons (warm and cold) in Samborombón Bay. The asterisk indicates significant differences between seasons (\*, *p* < 0.05).

tico (Figura 13). En los ejemplares de edad 0, que representaron la mayor parte de la muestra (*n* = 564), la correlación entre *LT<sub>i</sub>* y *LT<sub>0</sub>* fue elevada (*r* = 0,80) y el error medio relativamente bajo (RMSE = 1,75 cm), lo que reflejó una muy buena preci-

sión del retrocálculo. Para los individuos de edad 1 (*n* = 395), el ajuste fue menor (*r* = 0,67; RMSE = 1,71 cm), posiblemente como resultado de una mayor variabilidad individual en el crecimiento o una acumulación de error asociada al incremento

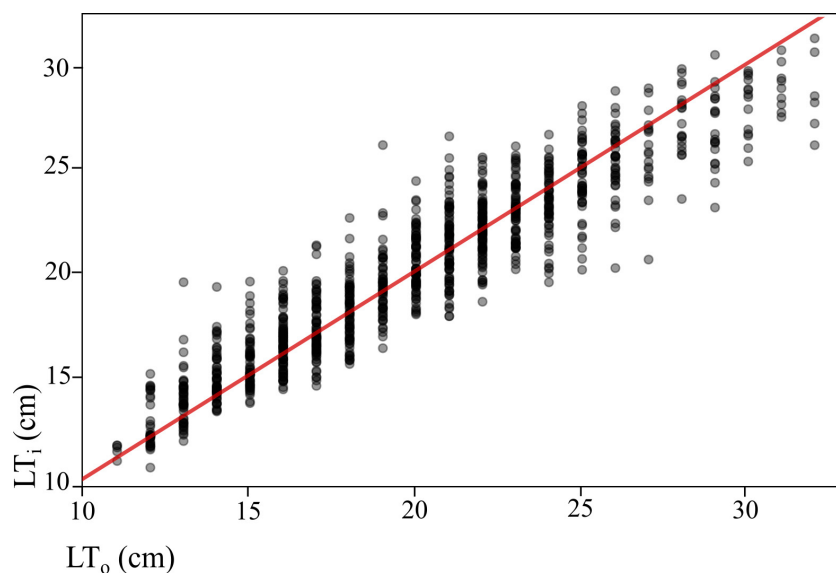


Figura 12. Relación entre la longitud total observada ( $LT_o$ , cm) y la ( $LT_i$ , cm) mediante el modelo aditivo generalizado mixto (GAMM) en juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*). La línea diagonal magenta representa la línea de identidad ( $y = x$ ).

Figure 12. Relationship between the total observed length ( $LT_o$ , cm) and the ( $LT_i$ , cm) using the generalized additive mixed model (GAMM) in juvenile whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*). The magenta diagonal line represents the line of identity ( $y = x$ ).

Tabla 4. Comparación entre las longitudes totales observadas ( $LT_o$ ) y las estimadas ( $LT_i$ ) mediante el modelo GAMM, desagregadas por edad. Se presentan los valores medios y las desviaciones estándar (DE) para cada grupo etario.

Table 4. Comparison between total observed lengths ( $LT_o$ ) and estimated lengths ( $LT_i$ ) using the GAMM model, disaggregated by age. Mean values and standard deviations (SD) are presented for each age group.

| Edad | Media $LT_o$ (cm) | DE $LT_o$ | Media $LT_i$ (cm) | DE $LT_i$ |
|------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
| 0    | 16,60             | 2,73      | 16,90             | 2,74      |
| 1    | 23,20             | 2,07      | 23,00             | 2,11      |
| 2    | 29,30             | 1,63      | 27,50             | 2,10      |

en el tamaño del otolito. En cambio, en los ejemplares de edad 2 ( $n = 65$ ), el ajuste del modelo fue considerablemente más bajo ( $r = 0,23$ ;  $RMSE = 2,94$  cm), evidenciando una tendencia a subestimar la  $LT$  observada. Este patrón podría atribuirse tanto al reducido número de observaciones como a una mayor dispersión en las trayectorias de crecimiento individual, así como a limitaciones del modelo al extrapolar hacia edades más avanzadas dentro del

estadio juvenil y estar influenciado por la determinación de  $L_{50\%}$  en 32 cm.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo evidencian que el crecimiento de los juveniles de corvina

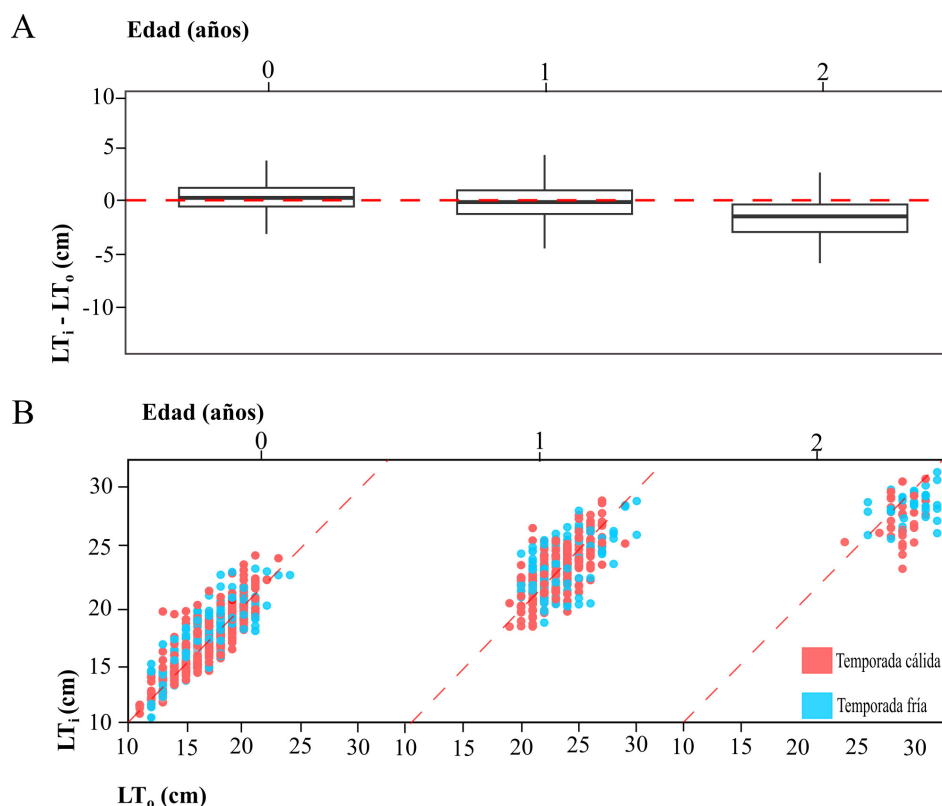


Figura 13. Evaluación de la precisión de las longitudes totales (LT) estimadas mediante el modelo de retrocálculo. A) Distribución de los errores de estimación, calculados como la diferencia entre la longitud total estimada ( $LT_i$ ) y la longitud total observada ( $LT_o$ ), para cada clase de edad. La línea roja punteada indica error igual a cero. B) Relación entre LT observada ( $LT_o$ ) y LT estimada ( $LT_i$ ), desagregada por clase de edad y temporada. La línea roja punteada representa la línea de identidad ( $LT_i = LT_o$ ).

Figure 13. Evaluation of the accuracy of total lengths (TL) estimated using the backcalculation model. A) Distribution of estimation errors, calculated as the difference between the estimated total length ( $LT_i$ ) and the observed total length ( $LT_o$ ), for each age class. The red dashed line indicates zero error. B) Relationship between observed TL ( $LT_o$ ) and estimated TL ( $LT_i$ ), disaggregated by age class and season. The red dashed line represents the line of identity ( $LT_i = LT_o$ ).

rubia durante sus primeros años de vida en la Bahía Samborombón presenta una marcada variabilidad, asociada tanto con la estructura etaria y la coexistencia de individuos originados en distintos momentos del período reproductivo como con la estacionalidad. En este contexto, el presente estudio actualiza el conocimiento sobre la edad y el crecimiento de los juveniles en la Bahía Samborombón y refuerza el valor de los otolitos como herramientas para reconstruir la historia de vida de los peces (Albuquerque et al. 2009; Braverman et al. 2015; Avigliano et al. 2021, 2025). En particular,

el análisis realizado constituye la primera actualización de los rangos de longitud por edad de los juveniles de corvina rubia en Bahía Samborombón desde la década de 1980 en Argentina (Cotrina y Lasta 1986). Los patrones observados son consistentes con una dinámica temporal de reclutamiento y crecimiento asociada al pulso de puestas masivas de fin de año y a la estrategia de desove parcial que se prolonga hasta marzo (Macchi y Christiansen 1996; Acha et al. 1999). Sobre la base de estos resultados, se discute cómo la dinámica reproductiva de la especie y la variabilidad estacional en la

Bahía Samborombón contribuyen a explicar la estructura demográfica y los patrones de crecimiento observados durante la etapa juvenil.

La variación en la distribución de longitudes entre temporadas evidencia la estrecha relación entre el ciclo reproductivo de la corvina rubia y las condiciones ambientales estacionales. Esta estructura podría estar asociada con la estrategia reproductiva de la especie, caracterizada por desoves múltiples y un período reproductivo prolongado (Macchi et al. 1996; Acha et al. 1999). La ocurrencia de sucesivos eventos de desove puede determinar la incorporación a la Bahía Samborombón de individuos originados en distintos momentos de la temporada reproductiva que, junto con el rápido crecimiento de los juveniles durante los meses cálidos (Macchi y Christiansen 1991), podría contribuir a explicar las diferencias de longitud observadas dentro de la clase de edad 0. En este sentido, Acha et al. (1999) señalan a la Bahía Samborombón como una de las principales áreas de cría de la especie y describen la conexión entre las áreas de desove y de cría durante los estadios tempranos del desarrollo. Asimismo, durante la temporada cálida se registraron individuos correspondientes a la clase de edad 1 ( $> 18$  y  $\leq 25$  cm), evidenciando la coexistencia de diferentes grupos etarios en el área.

Durante la temporada cálida, los juveniles de edad 0 ( $\leq 18$  cm) presentaron una distribución bimodal, con modas en torno a los 6 y 15 cm. Este patrón podría asociarse al carácter parcial y prolongado del desove de la especie, que determina la incorporación al área de crianza de individuos nacidos en distintos momentos a lo largo del período reproductivo (Acha et al. 1999) y, consecuentemente, la presencia de diferentes longitudes dentro de una misma clase de edad. A su vez, el rápido crecimiento de los juveniles durante los meses cálidos contribuiría a acentuar estas diferencias y explicaría la presencia de individuos de mayores longitudes, siendo que las muestras analizadas son del final de la temporada principal de puesta. Asimismo, durante este período comenzó a estar representada la clase de edad 1 ( $> 18$  y  $\leq$

25 cm), lo que evidenció la coexistencia de diferentes grupos etarios. En conjunto, la estructura de longitudes observada durante la temporada cálida resulta consistente con la dinámica reproductiva de la especie, caracterizada por un importante pulso de puestas hacia fines de año y un período reproductivo prolongado (Macchi y Christiansen 1991; Acha et al. 1999; Carozza et al. 2004). Esta variabilidad temporal resulta particularmente relevante considerando que la estructura etaria de la corvina rubia muestra una representación diferencial de las clases anuales, asociada con fluctuaciones en el éxito del reclutamiento (Acha et al. 2012).

En cambio, en la temporada fría la distribución de longitudes se fragmenta en múltiples picos, evidenciando una mayor heterogeneidad en la estructura de longitudes. Este patrón podría reflejar la coexistencia de individuos provenientes de distintos momentos del prolongado período reproductivo de la especie, cuyo desove puede extenderse hasta marzo (Macchi y Christiansen 1991; Acha et al. 1999; Carozza et al. 2004). A estas diferencias iniciales se sumaría el efecto de las condiciones ambientales durante los meses fríos, particularmente la disminución de la temperatura, que puede reducir la actividad metabólica y el crecimiento de los juveniles. Este período de crecimiento reducido, denominado “letargo invernal”, podría afectar diferencialmente a los individuos en función de las condiciones ambientales a las que se encuentran expuestos (Alves et al. 2024), contribuyendo a incrementar la variabilidad de longitudes observada durante la temporada fría.

En este contexto, la estructura de longitudes de los juveniles en Bahía Samborombón sería el resultado de la combinación entre la estrategia reproductiva prolongada, la variabilidad ambiental del área de crianza y a las características intrínsecas de la especie. Entre estos factores, la temperatura, la salinidad y el caudal del Río de la Plata pueden influir sobre las condiciones de crecimiento y sobre el éxito de las diferentes clases anuales. En particular, se ha demostrado que las variaciones en el caudal del Río de la Plata afectan los procesos de

retención de huevos y larvas y se relacionan con fluctuaciones en el éxito del reclutamiento de la corvina rubia (Acha et al. 2012).

La comparación de la alometría LT-peso entre la temporada cálida y la fría revelaría un doble efecto estacional en la condición corporal de los juveniles de corvina rubia. Durante la temporada fría, el exponente alométrico es significativamente mayor ( $b = 3,06$ ) que en la cálida ( $b = 2,92$ ), lo que sugiere que los peces invernales concentran más reservas a medida que aumentan de tamaño. Este patrón coincide con un cambio notable en la dieta (Pedernera 2020). Durante la temporada cálida, los juveniles consumen presas relativamente grandes y nutritivas, como el decápodo sergéstido *Peisos petrunkevitchi* (Mallo y Boschi 1982; Viñas y Hoffmeyer 2016), mientras que en la fría se alimentan principalmente del misidáceo *Neomysis americana* (Pedernera 2020), de menor longitud. En concordancia con estas diferencias, Alves et al. (2024), mediante indicadores fisiológicos basados en la relación ARN/ADN, registraron una mejor condición nutricional de los juveniles de corvina rubia durante la temporada cálida y una condición nutricional marcadamente menor durante la temporada fría. Estos resultados aportan evidencia independiente que respalda la existencia de diferencias nutricionales estacionales y permiten contextualizar los patrones de condición corporal observados en el presente estudio. Para cubrir las mismas demandas energéticas con presas más pequeñas, los peces invernales probablemente deban capturar un mayor número de presas, incrementando así su gasto de energía y reforzando la necesidad de acumular más reservas corporales.

Respecto de las etapas tempranas del ciclo de vida, la temperatura y la disponibilidad de alimento (tanto en cantidad como en calidad) son factores clave que modulan las tasas de crecimiento (Fui-man y Werner 2002). Además, las características oceanográficas predominantes (por ejemplo, corrientes, estratificación y turbulencia, ENSO -El Niño-Oscilación del Sur-) (Piola et al. 2018) influyen en la probabilidad de encuentro o desencuentro entre presas y depredadores, condicionando la

eficiencia de captura (Nunn et al. 2012). Así, en LT menores ( $< 23$  cm), los ejemplares de la temporada cálida registraron pesos significativamente superiores, evidenciando un “ventajismo” nutricional impulsado por la abundancia de alimento y temperaturas óptimas para el crecimiento somático rápido. A LT mayores de 23 cm, los juveniles de la estación fría parecen compensar esta ventaja inicial mediante un incremento proporcional del peso, lo que refleja un balance dinámico entre oferta de presas, condiciones térmicas y esfuerzo de forrajeo bajo distintas condiciones ambientales y oceanográficas.

El radio del otolito acompaña el crecimiento del pez de forma alométrica, aumentando a medida que la LT aumenta (Verocai et al. 2023). Esta relación, aunque por lo general es creciente y continua, puede matizarse en distintas fases del desarrollo bajo la influencia de la tasa de crecimiento y las condiciones ambientales (Morales-Nin 2000; Campana y Thorrold 2001).

El estudio mediante un modelo GAMM reveló una asociación alométrica fuerte y no lineal entre la LT y el radio de otolito en ambas temporadas, lo que indicaría que la tasa de depósito otolítico se mantiene esencialmente constante pese a las fluctuaciones temporales de temperatura y disponibilidad de alimento. Este patrón ya había sido registrado para la especie por Verocai et al. (2023). Sin embargo, en el estadio larval, Braverman (2011) observó una relación lineal marcada entre el radio mayor del otolito y la longitud estándar de la larva, demostrando un acople estrecho entre el crecimiento somático y la calcificación otolítica. Es posible que durante la ontogenia muy temprana esta relación se aproxime a la linealidad; no obstante, a medida que el pez progresa hacia fases juveniles, emergen procesos biológicos y ambientales (variaciones en la tasa de crecimiento, temperatura y alimento) que podrían inducir la dinámica alométrica y no lineal.

La deposición de carbonato de calcio en el otolito se encuentra íntimamente ligada a la tasa metabólica del pez, la cual aumenta con la tempe-

ratura ambiental (Gillooly et al. 2001). En peces, temperaturas más elevadas suelen acelerar tanto el crecimiento somático como la velocidad de formación de los anillos otolíticos (Reynolds y Casterlin 1980). Sin embargo, diversos estudios evidencian que incluso cuando el crecimiento corporal se detiene (por inanición o por condiciones térmicas extremas), el otolito continúa depositando material a un ritmo casi constante (Mosegaard et al. 1988; Wright et al. 1990). Este desacople parcial respalda el uso de los otolitos como archivos cronológicos fiables del crecimiento individual (Morales-Nin 2000), ya que su formación parece regularse por mecanismos intrínsecos robustos y no solo por la condición somática del pez.

En conjunto, estos hallazgos refuerzan un doble control del crecimiento en juveniles de corvina rubia, donde la disponibilidad de recursos y la temperatura modulan la acumulación de reservas somáticas y la condición nutricional, mientras que la relación entre crecimiento somático y depósito otolítico se mantiene notablemente estable, siendo los otolitos registros fiables para reconstruir la historia de vida de la especie.

La demostración de una relación no lineal altamente significativa entre el radio estandarizado del otolito y el peso corporal confirmaría que el vínculo entre la calcificación otolítica y el aumento somático en corvina rubia no es simplemente proporcional, sino que refleja fases de crecimiento diferenciales a lo largo de la ontogenia. En particular, el modelo GAMM sugiere que en etapas tempranas (cuando el radio del otolito es pequeño), el incremento de peso por unidad de radio es más pronunciado, lo cual podría obedecer a una fase de precipitación acelerada de aragonita asociada a procesos bioquímicos y metabólicos intensos durante la formación inicial de incrementos (Campana y Casselman 1993; Morales-Nin 1998). A medida que los otolitos crecen, la pendiente de esta curva se modera, revelando un desacoplamiento gradual entre el depósito de material otolítico y el crecimiento somático. En conjunto, estos hallazgos muestran que, si bien la trayectoria general de

crecimiento otolito-peso permanece estable frente a cambios temporales, la interacción de fenómenos biológicos (fases de alta precipitación de carbonato, márgenes de crecimiento temprano) y ambientales (temperatura, disponibilidad de presas más nutritivas en la estación cálida, presión de pesca en la estación fría, etc.) moldearían el desarrollo somático de las cohortes juveniles.

La marcada dominancia de juveniles de edad 0 en ambas temporadas y aún más pronunciada en el período frío subraya el papel crítico de la Bahía Samborombón como zona de cría y reclutamiento de corvina rubia (Lasta 1995). Este patrón concuerda con el hecho de que los adultos tienden a desplazarse a aguas más profundas conforme crecen (Lagos y Acha 2003), y encaja perfectamente con el pulso reproductivo principal de la especie entre noviembre y marzo (Macchi y Christiansen 1991); los individuos de edad 0 detectados en la temporada fría serían los reclutas de las puestas de principio de año.

La trayectoria de crecimiento, reflejada en el aumento progresivo de la LT con la edad, fue homogénea en ambas estaciones del año, aunque los juveniles en la temporada cálida exhibieron longitudes promedio ligeramente mayores dentro de cada clase etaria. Esto podría atribuirse a condiciones más favorables de temperatura y disponibilidad de alimento durante esa temporada (Schiariti et al. 2006; Derisio et al. 2014; Di Mauro y Braverman 2019; Alves et al. 2024), lo cual acelera el crecimiento somático temprano.

Si bien la edad y el crecimiento de la corvina rubia han sido ampliamente estudiados a lo largo de su distribución, no se disponía hasta el momento de información actualizada sobre los rangos de longitudes correspondientes a las edades de los juveniles en la Bahía Samborombón, siendo los últimos registros en Argentina datados en la década del 80' haciendo uso de otra metodología que no permitía una buena lectura del primer anillo (Cotrino y Lasta 1986).

La asignación conservadora de rangos de LT para definir las clases de edad de los juveniles

constituye una mejora metodológica respecto al criterio de Cotrina y Lasta (1986). Mientras dichos autores emplearon un pulido longitudinal al *sulcus acusticus*, aquí se optó por el método transversal tradicionalmente utilizado en estudios de juveniles y adultos de la especie. Además, se incorporaron tecnologías de imagen de alta resolución para la medición de marcas y anillos de crecimiento en individuos juveniles, lo que refuerza la fiabilidad de las inferencias sobre la estructura poblacional y las dinámicas de crecimiento. Gracias a esta nueva metodología estandarizada, los rangos de LT correspondientes a las clases de edad 0 y 1 han sido actualizados. En concreto, la edad 0 ahora abarca ejemplares de hasta 18 cm de LT y la edad 1, aquellos entre 18 cm y 25 cm; en contraste, Cotrina y Lasta (1986) definieron la edad 0 hasta 12 cm y la edad 1 de 12 a 25 cm. Esta revisión no solo armoniza nuestros criterios con protocolos contemporáneos, sino que también mejora la precisión en la estimación etaria de los juveniles.

El análisis de las posiciones radiales de las siete marcas de crecimiento y los dos anillos en los otolitos de juveniles de corvina rubia confirmó un patrón ontogenético ordenado, en el que las distancias medianas de cada marca/anillo aumentan progresivamente con la edad. Aunque la forma general de las distribuciones radiales es similar entre las temporadas, existen ventanas concretas (marca 3 y anillo 2) en las que se altera la dinámica de depósito de carbonato cálcico.

Al comparar temporadas, emergen diferencias sutiles pero reveladoras: en la temporada fría, las densidades de marca se concentran en dos picos ( $\sim 230$  y  $\sim 750$   $\mu\text{m}$ ), mientras que en la cálida se observan tres máximos locales ( $\sim 230$ ,  $\sim 500$  y  $\sim 750$   $\mu\text{m}$ ). La primera marca ( $\sim 230$   $\mu\text{m}$ ) coincide con el “cierre primordial” descrito a los 60 días post-eclosión (Braverman et al. 2015) y es constante en ambas temporadas. El segundo pico ( $\sim 500$   $\mu\text{m}$ ) podría corresponder a un centro accesorio secundario vinculado al pulso reproductivo masivo de fin de año (Avigliano et al. 2021) o bien, dependiendo del momento de la eclosión a lo largo

de la temporada reproductiva, es la distancia promedio del cierre del núcleo.

El tercer máximo ( $\sim 750$   $\mu\text{m}$ ), común a ambas estaciones, pero más pronunciado en la cálida y observable a partir de  $\approx 15$  cm de LT, podría estar asociado con cambios fisiológicos u ontogenéticos que ocurren durante el crecimiento, los cuales pueden quedar registrados en la estructura del otolito (Grønkjær 2016). En este sentido, Verocai et al. (2023) describieron en corvina rubia cambios ontogenéticos en el *sulcus acusticus* asociados con modificaciones en las características de las llamadas de disturbio, particularmente a partir de  $\approx 20$  cm de LT (edad 1), coincidentes con un incremento relativo del área del *sulcus*. La proximidad entre este intervalo de talla y aquel en el que comienza a observarse el máximo de  $\sim 750$   $\mu\text{m}$  permite plantear una posible asociación entre ambos procesos. Sin embargo, esta interpretación debe considerarse una hipótesis, ya que no se dispone de evidencia que vincule directamente esta marca con la remodelación del *sulcus*.

Otra hipótesis es que las marcas de  $\sim 230$ ,  $\sim 500$  y  $\sim 750$   $\mu\text{m}$  en las distintas temporadas se corresponden con un desove parcial con sucesivas puestas ovocitarias y con una temporada reproductiva extendida en el tiempo. Esto implicaría una descendencia formada por sucesivos ejemplares nacidos a lo largo de varios meses. Los rangos de longitudes de cada generación guardan relación con el tiempo de vida que los individuos tengan, y si bien todos pertenecen a la misma clase anual, el rango de clases de longitudes encontrado será más amplio cuanto más extendida sea la temporada de puesta. Y las distancias al núcleo serán mayores en ejemplares nacidos al inicio de la temporada reproductiva que al final. Así, dentro de la clase de edad 1, habrá individuos de aproximadamente 15 meses, de 12 meses y menores a 12 meses, dependiendo de si el desove fue al inicio, al medio o al final de la temporada reproductiva.

En conjunto, estos resultados demuestran que la formación de marcas otolíticas en la corvina rubia no solo sigue un patrón ontogenético predecible,

sino que también incorpora señales de los eventos ecológicos y estacionales que experimentan los juveniles (Braverman 2011; Avigliano et al. 2025).

El retrocálculo de la LT media a partir de la microestructura otolítica es fundamental ya que permite reconstruir la historia de crecimiento individual en etapas tempranas, cuando faltan ejemplares jóvenes para muestrear, cuando se desea evaluar variaciones poblacionales en respuesta a cambios ambientales y para optimizar estrategias de manejo y conservación (Smith 1983; Powles y Warlen 1988). Aunque todos los métodos de retrocálculo parten de la hipótesis de proporcionalidad entre el crecimiento del otolito y el corporal, esta relación puede diferir según la especie, la población y las condiciones locales (Mosegaard et al. 1988; Secor y Dean 1989).

La validación del modelo GAMM de retrocálculo de LT demostró una alta precisión global, gracias a la integración del tamaño radial del otolito, el efecto fijo de temporada y los efectos aleatorios de ejemplar y campaña. Sin embargo, el desempeño varió con la edad: en los juveniles de edad 0 la correlación fue excelente, en los de edad 1 se mantuvo alta, mientras que en edad 2 el ajuste cayó notablemente, probablemente por el menor tamaño muestral, la mayor dispersión individual y al  $L_{50\%}$  asignado. Estos resultados indican que el modelo es especialmente confiable para las etapas más tempranas del crecimiento y sugieren precaución al aplicar el retrocálculo en individuos cercanos al límite juvenil ( $> 25$  cm), donde la variabilidad individual puede comprometer la exactitud de las estimaciones.

---

## CONCLUSIONES

---

Este trabajo revela el valor de los otolitos para estudiar el crecimiento de juveniles de corvina rubia en su principal área de cría en Argentina. Se identificaron claros patrones estacionales, con un pulso de reclutamiento a fin de año y desoves que

se extienden hasta marzo, reflejados en múltiples cohortes superpuestas y en la distribución de la LT durante la temporada fría. La alometría LT-peso mostró un efecto estacional sobre la relación entre el peso y la longitud de los juveniles, patrón compatible con las diferencias estacionales en la condición nutricional previamente descrita para la especie (Alves et al. 2024), con una mejor condición durante la temporada cálida y una condición nutricional reducida durante la fría. Asimismo, se establecieron rangos de longitud actualizados para cada clase de edad de los ejemplares juveniles, proporcionando criterios más precisos para su determinación.

Uno de los principales aportes metodológicos de este trabajo reside en la aplicación de un modelo GAMM como herramienta de retrocálculo, en lugar de los enfoques lineales tradicionales. Su capacidad para representar relaciones no lineales e incorporar simultáneamente la variabilidad estacional permitió superar la estricta suposición de proporcionalidad entre el radio del otolito y la longitud corporal. Complementariamente, el análisis microestructural de los otolitos permitió identificar tres marcas de crecimiento particularmente relevantes. La incorporación futura de enfoques analíticos complementarios permitirá fortalecer la validación de los retrocálculos basados en otolitos, particularmente para las clases de mayor edad.

En conjunto, este trabajo aporta información sobre los patrones de crecimiento de los juveniles de corvina rubia y sus variaciones estacionales en la Bahía Samborombón, que podrá contribuir como información de base para futuros estudios orientados al monitoreo y manejo de este importante recurso pesquero.

---

## AGRADECIMIENTOS

---

Los autores extienden su agradecimiento a todos los miembros que participaron en las campañas,

tanto en el apoyo como en la participación activa, en particular a Mara Braverman, Claudia Carozza, Juliana Despos, Pablo Izzo, Martín Díaz y Hugo Bracheta, por sus valiosas contribuciones. Además, los autores agradecen a Daniel Brown y al gabinete de otolitos por su apoyo incondicional a lo largo de esta investigación. El apoyo financiero para esta investigación fue proporcionado por el INIDEP, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET-PIP11220200102831CO) y el Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT-PICT 2020-03022). Este trabajo es reconocido como contribución INIDEP N° 2533.

### Contribución de autores

Nadia M. Alves: conceptualización, metodología, análisis formal, investigación, curación de datos, escritura-borrador original, redacción-revisión y edición, visualización. Luciana L. D'Atri: conceptualización, metodología, análisis formal, investigación, recursos, curación de datos, escritura-borrador original, redacción-revisión y edición. Julieta Rodríguez: análisis formal, curación de datos, redacción-revisión y edición, visualización. Stefania Cohen: redacción-revisión y edición. Claudio O. Ruarte: redacción-revisión y edición. Ángeles N. Lagos: redacción-revisión y edición. Brenda Temperoni: conceptualización, redacción-revisión y edición, supervisión. Marina V. Diaz: conceptualización, recursos, redacción-revisión y edición, supervisión.

### REFERENCIAS

- ACHA EM, MIANZAN H, GUERRERO R, CARRETO J, GIBERTO D, MONTOYA N, CARIGNAN M. 2008. An overview of physical and ecological processes in the Río de la Plata Estuary. *Cont Shelf Res.* 28 (13): 1579-1588. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2007.01.031>
- ACHA EM, MIANZAN H, LASTA CA, GUERRERO RA. 1999. Estuarine spawning of the whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* (Pisces: Sciaenidae), in the Río de la Plata, Argentina. *Mar Freshw Res.* 50 (1): 57-65. DOI: <https://doi.org/10.1071/MF98045>
- ACHA EM, SIMIONATO CG, CAROZZA C, MIANZAN H. 2012. Climate-induced year-class fluctuations of whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* (Pisces, Sciaenidae) in the Río de la Plata estuary, Argentina-Uruguay. *Fish Oceanogr.* 21 (1): 58-77. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2011.00609.x>
- ALBUQUERQUE CQ, MUELBERT JE, SAMPAIO LAN. 2009. Early developmental aspect and validation of daily growth increment in otoliths of *Micropogonias furnieri* (Pisces, Sciaenidae) larvae reared in laboratory. *Pan Am J Aquat Sci.* 4 (3): 259-266.
- ALVES NM, BRAVERMAN MS, TEMPERONI B, RODRÍGUEZ JS, DIAZ MV. 2024. Whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) are you ok? Reduction in nutritional condition of juveniles during winter in the Southwest Atlantic Ocean. *Fish Res.* 272: 106949. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2024.106949>
- AVIGLIANO E, ALVES NM, RICO MR, RUARTE CO, D'ATRI L, MÉNDEZ A, PISONERO J, VOLPEDO AV, BORSTELMANN C. 2021. Population structure and ontogenetic habitat use of *Micropogonias furnieri* in the southwestern Atlantic Ocean inferred by otolith chemistry. *Fish Res.* 240: 105953. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2021.105953>
- AVIGLIANO E, BRAVERMAN MS, MENDEZ A, GUIMPEL JJ, ALVES NM, PISONERO J. 2025. Exploring early life transitions in *Micropogonias furnieri* otoliths through elemental profiles and crystallographic analysis. *Austral Ecol.* 51 (1): e70161. DOI: <https://doi.org/10.1111/aec.70161>
- BORTHAGARAY AI, VEROCAI J, NORBIS W. 2011. Age validation and growth of *Micropogonias furnieri* (Pisces: Sciaenidae) in a temporally open coastal lagoon (South-western Atlan-

- tic-Rocha-Uruguay) based on otolith analysis. *J Appl Ichthyol*. 27: 1212-1217. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01778.x>
- BRAVERMAN MS. 2011. Historia de vida temprana de la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*, Sciaenidae) en el estuario del Río de la Plata [tesis doctoral]. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. [http://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis\\_n4941\\_Braverman](http://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n4941_Braverman).
- BRAVERMAN MS, ACHA EM, GAGLIARDINI DA, RIVAROSSA M. 2009. Distribution of whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*, Desmarest 1823) larvae in the Río de la Plata estuarine front. *Estuar Coast Shelf Sci*. 82 (4): 557-565. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.02.018>
- BRAVERMAN MS, BROWN DR, ACHA EM. 2015. Indirect validation of daily increments in whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) larvae otoliths. *Rev Invest Desarr Pesq*. 26: 59-67.
- BRAVERMAN MS, BROWN D, ACHA EM. 2020. Metamorphosis of whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* (Pisces, Sciaenidae). *Mar Fish Sci*. 33 (2): 163-182. DOI: <https://doi.org/10.47193/mafis.3322020301107>
- BRUNEL T, PIET G. 2013. Is age structure a relevant criterion for the health of fish stocks? *ICES J Mar Sci*. 70: 270-283. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fss184>
- CAMPANA SE. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J Fish Biol*. 59: 197-242. DOI: <https://doi.org/10.1006/jfbi.2001.1668>
- CAMPANA SE, CASSELMAN JM. 1993. Stock discrimination using otolith shape analysis. *Can J Fish Aquat Sci*. 50 (5): 1062-1083.
- CAMPANA SE, THORROLD SR. 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Can J Fish Aquat Sci*. 58 (1): 30-38. DOI: <https://doi.org/10.1139/f00-177>
- CAROZZA CR. 2012. Estructura y dinámica poblacional de la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*, Desmarest, 1823) del extremo sur de su distribución (Pcia. Buenos Aires, Argentina) [tesis doctoral]. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata.
- CAROZZA C, LASTA C, RUARTE C, COTRINA C, MIANZAN H, ACHA M. 2004. Corvina rubia (*Micropogonias furnieri*). En: SÁNCHEZ RP, BEZZI SI, editores. El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 4. Los peces marinos de interés pesquero. Caracterización biológica y evaluación del estado de explotación. Mar del Plata: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). p. 255-270.
- CASSELMAN JM. 1990. Growth and relative size of calcified structures of fish. *Trans Am Fish Soc*. 119 (4): 673-688. DOI: [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1990\)119<0673:GARSOC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1990)119<0673:GARSOC>2.3.CO;2)
- CAVOLE LM, HAIMOVICI M. 2015. The use of otolith microstructure in resolving issues of ageing and growth of young *Micropogonias furnieri* from southern Brazil. *Mar Biol Res*. 11 (9): 933-943.
- CHRISTENSEN JS. 1964. Burning of otoliths, a technique for age determination of soles and other fish. *J Cons Int Explor Mer*. 29: 73-81.
- CIECHOMSKI JD. 1980. Alimentación y crecimiento de juveniles de corvina *Micropogon opercularis* en condiciones experimentales. *Bol Inst Oceanogr*. 29 (2): 109-112. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0373-55241980000200024>
- COTRINA CP. 1991. Estudio sobre el borde de los otolitos sagittae de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*). *Frente Marit*. 17 (A): 39-42.
- COTRINA CP, LASTA CA. 1986. Estudio preliminar de la determinación de edad en la corvina (*Micropogonias furnieri*). En: Primer Simposio Científico; 1984 Nov 13-16; Mar del Plata, Argentina. *Publ Com Tec Mixta Frente Marit*. 1 (2): 311-318. <https://ctmf.org/wp-content/uploads/2021/08/Cotrina-y-Lasta.pdf>.
- DERISIO C, BRAVERMAN M, GAITÁN E, HOZBOR C, RAMÍREZ F, CARRETO J, BOTTO F, GAGLIARDINI DA, ACHA EM, MIANZAN H. 2014. The turbidity front as a habitat for *Acartia tonsa* (Co-

- pepoda) in the Río de la Plata, Argentina-Uruguay. *J Sea Res.* 85: 197-204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seares.2013.04.019>
- DI MAURO R, BRAVERMAN M. 2019. Características del zooplankton de la Bahía Samborombón derivadas del análisis de imágenes. *Inf Invest INIDEP* N° 15/2019.
- FRANCO TP, ALBUQUERQUE CQ, SANTOS RS, SAINT'PIERRE TD, ARAÚJO FG. 2019. Leave forever or return home? The case of the whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* in coastal systems of southeastern Brazil indicated by otolith microchemistry. *Mar Environ Res.* 144: 28-35.
- FUIMAN LA, WERNER RG, editores. 2002. *Fishery science: the unique contributions of early life stages*. Oxford: Blackwell Science.
- GILLOOLY JF, BROWN JH, WEST GB, SAVAGE VM, CHARNOV EL. 2001. Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science.* 293: 2248-2251. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1061967>
- GRØNKJÆR P. 2016. Otoliths as individual indicators: a reappraisal of the link between fish physiology and otolith characteristics. *Mar Freshw Res.* 67 (7): 881-888.
- HAIMOVICI M, CARDOSO LG, UNPIERRE RG. 2016. Stocks and management units of *Micropogonias furnieri* (Desmarest, 1823) in southwestern Atlantic. *Lat Am J Aquat Res.* 44.
- JAUREGUIZAR AJ, BAVA J, CAROZZA CR, LASTA CA. 2003. Distribution of whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* in relation to environmental factors at the Río de la Plata estuary, South America. *Mar Ecol Prog Ser.* 255: 271-282.
- KOPPPIO GA, BIANCALANA F, FRICKE A, CARDONA JEG, MARTÍNEZ A, LARA RJ. 2015. Global change effects on biogeochemical processes of Argentinian estuaries: an overview of vulnerabilities and ecohydrological adaptive outlooks. *Mar Pollut Bull.* 91 (2): 554-562.
- LASTA CA. 1995. La Bahía Samborombón: zona de desove y cría de peces [tesis doctoral]. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- LAGOS N, ACHA EM. 2003. Distribución espacial de los juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*, Sciaenidae) en el estuario del Río de la Plata. Proyecto FREPLATA (PNUD/GEF/RLA/99/G31).
- MACCHI GJ, ACHA EM, LASTA CA. 1996. Desove y fecundidad de la corvina rubia (*Micropogonias furnieri* Desmarest, 1823) del estuario del Río de la Plata, Argentina. *Bol Inst Esp Oceanogr.* 12 (2): 99-113.
- MACCHI GJ, ACHA EM, MILITELLI MI. 2003. Seasonal egg production of whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) in the Río de la Plata estuary, Argentina-Uruguay. *Fish Bull.* 101: 332-342.
- MACCHI GJ, CHRISTIANSEN HE. 1991. Análisis temporal del proceso de maduración y estimación de la frecuencia reproductiva en la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*). En: *Resúmenes del Octavo Simposio Científico-Tecnológico de la Comisión Técnica Mixta Frente Marítimo*. Montevideo. p. 20.
- MACCHI GJ, CHRISTIANSEN HE. 1996. Análisis temporal del proceso de maduración y determinación de la incidencia de atresias en la corvina rubia (*Micropogonias furnieri*). *Frente Marit.* 16: 93-101.
- MALLO JC, BOSCHI EE. 1982. Contribución al conocimiento del ciclo vital del camarón *Peisos petrunkevitchi* de la región de Mar del Plata, Argentina (Crustacea, Decapoda, Sergestidae). *Physis A.* 41 (100): 85-98.
- MILITELLI MI, MACCHI GJ, RODRIGUES KA. 2013. Comparative reproductive biology of Sciaenidae family species in the Río de la Plata and Buenos Aires Coastal Zone, Argentina. *J Mar Biol Assoc UK.* 93 (2): 413-423.
- MORALES-NIN B. 1998. Daily increments in otoliths: endogenous and exogenous growth regulation. En: *2nd International Symposium on Fish Otolith Research and Application*. Bergen.
- MORALES-NIN B. 2000. Review of the growth regulation processes of otolith daily increment formation. *Fish Res.* 46 (1-3): 53-67.

- MOSEGAARD H, SVEDÄNG H, TABERMAN K. 1988. Uncoupling of somatic and otolith growth rates in Arctic char as an effect of differences in temperature response. *Can J Fish Aquat Sci.* 45 (9): 1514-1524.
- NORBIS W, GALLI O. 2013. Spatial co-occurrence of two Sciaenid species (*Micropogonias furnieri* and *Cynoscion guatucupa*) subject to fishing in the Río de La Plata and oceanic coast of Uruguay: ecological or technological interdependence. *Bol Inst Pesca.* 39 (2): 137-148.
- NORBIS W, VEROCAI J. 2005. Presence of two whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*, Pisces: Sciaenidae) groups in the Río de la Plata spawning coastal area as consequence of reproductive migration. *Fish Res.* 74: 134-141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2005.03.005>
- NUNN AD, TEWSON LH, COWX IG. 2012. The foraging ecology of larval and juvenile fishes. *Rev Fish Biol Fish.* 22 (2): 377-408.
- OHLBERGER J, LANGANGEN Ø, STIGE L. 2022. Age structure affects population productivity in an exploited fish species. *Ecol Appl.* 32 (5): e2614. DOI: <https://doi.org/10.1002/eap.2614>
- PANFILI J, DE PONTUAL H, TROADEC H, WRIGHT PJ, editores. 2002. Manual of fish sclerochronology. Brest: Ifremer-IRD.
- PEDERNEIRA M. 2020. Hábitos alimentarios en juveniles de corvina rubia (*Micropogonias furnieri*) en la Bahía Samborombón [tesis doctoral]. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata.
- PIOLA AR, PALMA ED, BIANCHI AA, CASTRO BM, DOTTORI M, GUERRERO RA, MARRARI M, MATANO RP, MÖLLER OO JR, SARACENO M. 2018. Physical oceanography of the SW Atlantic Shelf: a review. En: HOFFMEYER MS, SABATINI ME, BRANDINI FP, CALLIARI DL, SANTINELLI NH, editores. Plankton ecology of the Southwestern Atlantic: from the subtropical to the subantarctic realm. Cham: Springer. p. 37-56.
- POWLES PM, WARLEN SM. 1988. Estimation of hatch periods for yellow perch, based on otolith reading from juveniles (age-0). *Am Fish Soc Symp.* 5: 60-67.
- R CORE TEAM. 2023. R: a language and environment for statistical computing [Internet]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>.
- REYNOLDS WW, CASTERLIN ME. 1980. The role of temperature in the environmental physiology of fishes. En: ALI MA, editor. Environmental physiology of fishes. New York: Plenum Press. p. 497-518.
- ROSSI-WONGTSCHOWSKI CLDB, SILIPRANDI CC, BRENHA MR, GONSALES SA, SANTIFICETUR C, VAZ-DOS-SANTOS AM. 2014. Atlas of marine bony fish otoliths (sagittae) of Southeastern-southern Brazil. Part I: Gadiformes (Macrouridae, Moridae, Bregmacerotidae, Phycidae and Merlucciidae); Part II: Perciformes (Carangidae, Sciaenidae, Scombridae and Serranidae). *Braz J Oceanogr.* 62: 1-103.
- SANTOS RS, COSTA MRD, ARAÚJO FG. 2017. Age and growth of the white croaker *Micropogonias furnieri* (Perciformes: Sciaenidae) in a coastal area of Southeastern Brazilian Bight. *Neotrop Ichthyol.* 15 (1): e160131.
- SCHIARITI A, BERASATEGUI AD, GIBERTO DA, GUERRERO RA, ACHA EM, MIANZAN HW. 2006. Living in the front: *Neomysis americana* (Mysidacea) in the Río de la Plata estuary, Argentina-Uruguay. *Mar Biol.* 149: 483-489. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00227-006-0248-x>
- SECOR DH, DEAN JM. 1989. Somatic growth effects on the otolith-fish size relationship in young pond-reared striped bass, *Morone saxatilis*. *Can J Fish Aquat Sci.* 46: 113-121.
- SIMIONATO CG, BERASATEGUI A, MECCIA VL, ACHA M, MIANZAN H. 2008. Short time-scale wind forced variability in the Río de la Plata Estuary and its role on ichthyoplankton retention. *Estuar Coast Shelf Sci.* 76 (2): 211-226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.07.031>
- SIMIONATO CG, DRAGANI W, MECCIA V, NUÑEZ M. 2004. A numerical study of the barotropic circulation of the Río de la Plata estuary: sensitivity to bathymetry, the Earth's rotation and

- low frequency wind variability. *Estuar Coast Shelf Sci.* 61 (2): 261-273.
- SMITH L. 1983. Summary of round table discussions on back calculation. NOAA Tech Rep NMFS. 8: 45-47.
- STIGE LC, ROGERS L, NEUHEIMER A, HUNSICKER M, YARAGINA N, OTTERSEN G, CIANNELLI L, LANGANGEN Ø, DURANT JM. 2019. Density- and size-dependent mortality in fish early life stages. *Fish Fish.* 20 (5): 962-976. DOI: <https://doi.org/10.1111/faf.12391>
- TUSET VM, LOMBARTE A, ASSIS CA. 2008. Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Sci Mar.* 72 (1): 7-198. DOI: <https://doi.org/10.3989/scimar.2008.72s17>
- TUSET VM, OTERO-FERRER JL, SILIPRANDI C, MANJABACAS A, MARTI-PUIG P, LOMBARTE A. 2021. Paradox of otolith shape indices: routine but overestimated use. *Can J Fish Aquat Sci.* 78 (6): 681-692. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfas-2020-0369>
- VEROCAI JE, CABRERA F, LOMBARTE A, NORBIS W. 2023. Form function of *sulcus acusticus* of the *sagittal* otolith in seven Sciaenidae (Acanthuriformes) species using geometric morphometrics (southwestern Atlantic). *J Fish Biol.* 103 (5): 1199-1213. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfb.15521>
- VENTURELLI PA, SHUTER BJ, MURPHY CA. 2009. Evidence for harvest-induced maternal influences on the reproductive rates of fish populations. *Proc Biol Sci.* 276: 919-924. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1507>
- VIÑAS M, HOFFMEYER M. 2016. Misidáceos. En: BOSCHI EE, editor. *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros*. Tomo 6. Los crustáceos de interés pesquero y otras especies relevantes en los ecosistemas marinos. Mar del Plata: Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). p. 41-49.
- VOLPEDO AV, ECHEVERRÍA DD. 1999. Morfología de los otolitos sagittae de juveniles y adultos de *Micropogonias furnieri* (Desmarest, 1823) (Sciaenidae). *Thalassas.* 15: 19-24.
- WAESSLER JA, LASTA CA, FAVERO M. 2003. Otolith morphology and body size relationships for juvenile Sciaenidae in the Río de la Plata estuary (35-36°S). *Sci Mar.* 67 (2): 233-240. DOI: <https://doi.org/10.3989/scimar.2003.67n2233>
- WEISS G. 1981. Ictioplankton del estuario de Lagoa dos Patos, Brasil [tesis doctoral]. La Plata: Universidad Nacional de La Plata. DOI: <https://doi.org/10.35537/10915/5041>
- WRIGHT PJ, METCALFE NB, THORPE JE. 1990. Otolith and somatic growth rates in Atlantic salmon parr, *Salmo salar* L.: evidence against coupling. *J Fish Biol.* 36 (2): 241-249. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1990.tb05599.x>
- XIEU W, LEWIS LS, ZHAO F, FICHMAN R, WILLMES M, HUNG T, ELLISON L, STEVENSON TA, TIGAN G, SCHULTZ AA, et al. 2021. Experimental validation of otolith-based age and growth reconstructions across multiple life stages of a critically endangered estuarine fish. *PeerJ.* 9: e12280. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.12280>