



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
OCEANOGRÁFICAS**



“Distribución espacial y biología reproductiva de *Odontesthes mauleanum* (Steindachner, 1896) en la zona estuarina de Laraquete, Región del Biobío, Chile”

Pía Almendra Ampuero Ortiz



Seminario de Título presentado al
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Para optar al Título de
BIÓLOGA MARINA

Concepción – Chile

2025

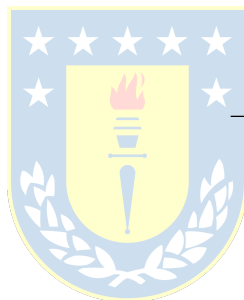
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA

Este Seminario de Título ha sido realizado en el Departamento de Oceanografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas

Profesor Guía

Dr. Eduardo Hernández Miranda

Ha sido aprobada por la siguiente comisión evaluadora



Dr. Erasmo Macaya Horta

Dr. Ariel Valenzuela Saldías

Jefe de Carrera

Dr. Ariel Valenzuela Saldías

DEDICATORIA

A mí y solo a mí

También a mi Papá y a mi Mamá



AGRADECIMIENTOS

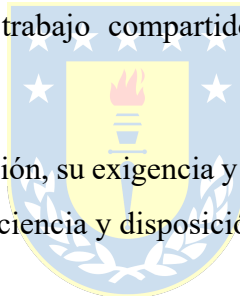
Agradezco profundamente a mi familia, por acompañarme en cada etapa de este proceso. A mi papá, por su esfuerzo constante, su cariño incondicional y por estar presente incluso en los momentos en que sentía que no podía continuar. A mi mamá, por su amor inagotable y la sabiduría con la que siempre me ha orientado. A mi hermana y a mi sobrina, por su cercanía, su apoyo y por invitarme a salir justo cuando más lo necesitaba.

A mis amigos: Sole, Tamy, Pato, Kriss, Ro, Tava, Vale y Jass. Gracias por sus palabras de aliento, sus consejos y su compañía, incluso en la distancia. Por estar ahí, aun cuando no sabía cómo pedirlo, y por distraerme con juegos, salidas y momentos que hicieron más llevadero este camino.

Agradezco sinceramente al equipo del laboratorio *LInEA*: Jass, Ernesto y Santiago, por su compromiso, por cada hora de trabajo compartido, por las conversaciones, por la paciencia, apoyo y el aprendizaje.

A mi profesor guía, por su orientación, su exigencia y la confianza en mí a lo largo de este proceso. Agradezco también su paciencia y disposición en cada etapa del trabajo.

Este estudio fue financiado por el Programa de Estudios Ecosistémicos del Golfo de Arauco (PREGA), a quienes agradezco por posibilitar esta investigación y contribuir al conocimiento.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE ANEXOS	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT	15
INTRODUCCIÓN.....	17
HIPOTESIS DEL TRABAJO	20
Objetivo general.....	21
Objetivo específico.....	21
MATERIALES Y MÉTODOS	22
Área de estudio y recolección de individuos.....	22
Mediciones de variables hidrográficas.....	23
Trabajo de laboratorio.....	23
Análisis de datos	25
Análisis estadísticos multivariados	26
RESULTADOS.....	27
Variables hidrográficas	27
Abundancia espacial y temporal de <i>O. mauleanum</i>	32
Crecimiento: Relaciones longitud-peso	35
Estado reproductivo.....	40
Estado de condición.....	43
Análisis estadísticos multivariados	45
DISCUSIÓN.....	53
Abundancia espacial y temporal	53
Crecimiento.....	54
Estado de condición fisiológica.....	57
Relación entre las variables hidrográficas y la abundancia	58
Conservación.....	60
Futuros trabajos	61
CONCLUSIONES.....	63

BIBLIOGRAFIA.....65
ANEXO 1.....70



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio y sitios de muestreo de <i>O. mauleanum</i> para esta investigación en el estuario de Laraquete.....	22
Figura 2. Esquema de la medición de longitud total (<i>Lt</i>) y longitud estándar (<i>Le</i>).....	23
Figura 3. Variación espacial de variables hidrográficas registradas al inicio (in) y al final (fin) de los tres sitios de muestreos (E2-E3=azul, M1=rojo, M2=verde) en los del estuario de Laraquete considerando los 4 períodos de muestreo. a–b) Salinidad; c–d) Temperatura; e–f) pH; g–h) Oxígeno disuelto (ODO); i–j) Potencial de óxido-reducción (ORP).....	30
Figura 4. Variación estacional (invierno=azul, primavera=rojo, verano=verde y otoño=morado) de variables hidrográficas promedio registradas al inicio (in) y al final (fin) considerando los 4 sitios de muestreos en el estuario de Laraquete. a–b) Salinidad; c–d) Temperatura; e–f) pH; g–h) Oxígeno disuelto (ODO); i–j) Potencial de óxido-reducción (ORP).....	32
Figura 5. Variación de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) promedio de <i>O. mauleanum</i> en el estuario de Laraquete por a) sitio de muestreo para los cuatro períodos de muestreo (E2-E3, M1 y M2) y b) por estación del año (invierno, primavera, verano y otoño) considerando los tres sitios de muestreo.....	33
Figura 6. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de <i>O. mauleanum</i> por estación del año (invierno, primavera, verano y otoño) y sitio de muestreo (E2-E3, M1 y M2).....	34
Figura 7. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de <i>O. mauleanum</i> por estación del año (invierno, primavera, verano y otoño) y sitio de muestreo (E2-E3, M1 y M2), diferenciando entre hembras, machos y juveniles.....	35
Figura 8. Relación entre la longitud total (cm) y el peso total (g) de <i>O. mauleanum</i> capturado en el estuario de Laraquete, donde a) para todas las estaciones del año, b) invierno, c) primavera y d) verano. La estación de otoño no fue graficada debido a que sólo se capturó un individuo.....	36

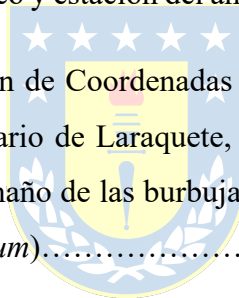
Figura 9. Relación entre la longitud total (cm) y el peso total (g) en hembras de <i>O. mauleanum</i> capturadas en el estuario de Laraquete, donde a) es para todas las estaciones del año, b) invierno, c) primavera y d) verano.....	37
Figura 10. Relación entre la longitud total (cm) y el peso total (g) de machos de <i>O. mauleanum</i> capturados en el estuario de Laraquete, donde a) es para todas las estaciones del año, b) invierno, c) primavera y d) verano.....	38
Figura 11. Relación entre la longitud total (cm) y el peso total (g) de juveniles de <i>O. mauleanum</i> capturado en el estuario de Laraquete, donde a) es para todas las estaciones del año, b) primavera y c) verano.....	39
Figura 12. Porcentaje estacional de individuos de <i>O. mauleanum</i> clasificados como hembras, machos o juveniles, capturados en el estuario de Laraquete. Se señala también el tamaño muestral de peces.....	41
Figura 13. Distribución porcentual de hembras y machos de <i>O. mauleanum</i> por estado de madurez sexual (EMS), según la escala de Holden & Raitt (1975). EMS 1: inmaduro, 2: virgen madurando o en recuperación, 3: maduro, 4: hidratado, 5: en regeneración. Valores obtenidos en el estuario de Laraquete a lo largo de las estaciones del año (invierno, primavera, verano y otoño).....	42
Figura 14. Índice Gonadosomático (IGS) promedio (+/- DE) por estación del año (invierno, primavera, verano y otoño) para hembras, machos y el total de individuos de <i>O. mauleanum</i> en el estuario de Laraquete.....	43
Figura 15. Índice Hepatosomático (IHS) promedio (+/- DE) por estación del año (invierno, primavera, verano y otoño) en <i>O. mauleanum</i> en el estuario de Laraquete.....	44
Figura 16. Índice de condición de Fulton (k) promedio (+/- DE) por estación del año (invierno, primavera, verano y otoño) para hembras, machos, juveniles y todos los individuos de <i>O. mauleanum</i> en el estuario de Laraquete.....	45

Figura 17. Análisis métrico de escalamiento multidimensional (mMDS) basado en el conjunto de variables hidrográficas registradas en el estuario de Laraquete, agrupadas por sitio de muestreo para las cuatro estaciones del año. Se entrega el centroide y el pseudointervalo de confianza al 95%.....46

Figura 18. Análisis métrico de escalamiento multidimensional basado en el conjunto de variables ambientales registradas en el estuario de Laraquete, agrupadas por estación del año para todos los sitios de muestreo. Se entrega el centroide y el pseudo-intervalo de confianza al 95%.....47

Figura 19. Análisis no métrico de escalamiento multidimensional (nMDS) para los sitios y estaciones de muestreo en el estuario de Laraquete, basado en el conjunto de variables hidrográficas normalizadas. Las burbujas representan la CPUE (captura por unidad de esfuerzo) para cada sitio de muestreo y estación del año.....49

Figura 20. Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) para los sitios y estaciones de muestreo en el estuario de Laraquete, basado en el conjunto de variables hidrográficas normalizadas. El tamaño de las burbujas representan la CPUE (captura por unidad de esfuerzo de *O. mauleanum*).....50



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala empírica de madurez sexual para hembras y machos de especies desovantes parciales (adaptada por Holden & Raitt, 1975).....	24
Tabla 2. Tabla 2. Estado de la marea durante los muestreos estacionales de <i>O. mauleanum</i> en el estuario de Laraquete. Se indican las fechas para cada sitio de muestreo y estación del año (Ver además Anexo 1, Figura 1). Estable = 0,8 metros.....	27
Tabla 3. Variables ambientales promedio registradas al inicio (I) y al final (F) de los muestreos por estación del año y sitio de muestreo en el estuario de Laraquete. Se incluyen: salinidad (psu), temperatura (°C), pH, potencial de óxido-reducción (ORP, mV), oxígeno disuelto (ODO, mg/l) y captura por unidad de esfuerzo (CPUE, ind/h)	28
Tabla 4. Valores de variables hidrográficas registradas en el sitio L del estuario de Laraquete durante las cuatro campañas estacionales de muestreo (invierno, primavera, verano y otoño). Se incluyen salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto (ODO), y potencial de óxido-reducción (ORP).....	29
Tabla 5. Coeficientes de la relación alométrica entre peso y longitud total para <i>O. mauleanum</i> en el estuario de Laraquete, considerando el peso total y el peso eviscerado. Se observa el número de individuos (n), el coeficiente "a", el exponente "b" y el coeficiente de determinación (R^2), diferenciados por estación y sexo. En negrita se señalan valores de pendiente mayor al ser estimado con el peso eviscerado.....	40
Tabla 6. Resultados del análisis Distance-based Linear Model (DistLM) que relaciona cada variable hidrográfica con la abundancia (CPUE) de <i>O. mauleanum</i> en el estuario de Laraquete para todos los sitios de muestreo y estaciones del año.....	51
Tabla 7. Modelos obtenidos por número de variables hidrográficas seleccionadas para la variación en la abundancia (CPUE) en el estuario de Laraquete.....	52

Tabla 8. Mejores modelos de las variables ambientales en conjunto de la variación en la abundancia (CPUE).....53



ÍNDICE DE ANEXOS

Figura 1. Ciclos mareales durante los días de muestreo de <i>Odontesthes mauleanum</i> en el estuario de Laraquete durante los 4 períodos de muestreo.....	71
Figura 2. Relación entre la abundancia de <i>O. mauleanum</i> (CPUE) y variables hidrográficas medidas al inicio (columna izquierda) y al final (columna derecha) de cada muestreo estacional en el estuario de Laraquete.....	72
Figura 3. Análisis de Componentes Principales (PCA) basado en el conjunto de variables hidrográficas registradas al inicio y final de cada período de muestreo en el estuario de Laraquete.....	73



RESUMEN

El presente estudio analizó la ecología espacial de *Odontesthes mauleanum* (Steindachner, 1896) conocido comúnmente como Cauque del Maule, un pez endémico y vulnerable de los sistemas acuáticos del centro-sur de Chile, en el estuario del río Laraquete, Región del Biobío. Los estuarios, son ecosistemas de transición entre ambientes dulceacuícolas y marinos, caracterizados por gradientes ambientales pronunciados y una alta variabilidad en factores como salinidad y temperatura. Estos ambientes presentan una elevada productividad biológica y cumplen un rol ecológico fundamental como zonas de alimentación, reproducción y refugio para diversas especies, además de sostener actividades humanas como la pesca y el turismo. Sin embargo, se encuentran entre los ecosistemas más amenazados, enfrentando presiones derivadas de la contaminación, la alteración hidrológica, la pérdida de hábitat y los efectos del cambio climático. Se desarrolló esta investigación para comprender cómo varían la distribución espacial, abundancia y estado reproductivo-fisiológico de *O. mauleanum* a lo largo de un año, en función de diversas variables hidrográficas.

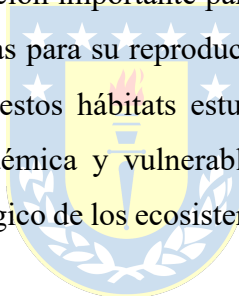
La investigación se desarrolló a través de cuatro campañas de muestreo estacionales (desde invierno 2024 hasta otoño 2025) en cuatro sitios del estuario con diferentes influencias de la marea, utilizando redes de enmalle para su captura. Para cada individuo, se registraron la longitud y el peso totales, el sexo, el estado de maduración gonadal, el peso de las gónadas y el peso del hígado. A partir de esta información se calcularon indicadores como la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), el índice gonadosomático (IGS), el índice hepatosomático (IHS) y el índice de condición de Fulton (k). Adicionalmente, se midieron diversas variables hidrográficas en cada sitio de muestreo. Se aplicaron análisis multivariados (DistLM, MDS y PCO) para evaluar las relaciones entre las condiciones hidrográficas y la abundancia de *O. mauleanum* al momento de los muestreos.

Los resultados mostraron que la mayor abundancia se registró en el sitio M2 durante el verano, coincidiendo con mayores temperaturas y salinidad intermedia (6-8 psu). En primavera también se observaron altos niveles de CPUE, mientras que en otoño la

abundancia fue nula. En el sitio L, sin intervención mareal, no se capturo ningún individuo. En cuanto al estado reproductivo, se obtuvieron altos valores de IGS en hembras durante primavera, lo que indica una intensa actividad reproductiva en esta estación del año. La presencia de juveniles en primavera y verano se asocia a un evento de reclutamiento posterior al desove. El crecimiento somático fue alométrico negativo en adultos, mientras que los juveniles presentaron un factor de crecimiento mayor a 3. El índice de condición de Fulton se mantuvo constante entre estaciones del año y el IHS no mostró disminuciones significativas durante el periodo reproductivo.

Los análisis estadísticos identificaron principalmente a la salinidad y secundariamente a la temperatura como las variables hidrográficas que mejor explican la presencia y variación en la abundancia de *O. mauleanum* durante el año de muestreo.

Estos resultados entregan información importante para el manejo y conservación de esta especie, al identificar zonas críticas para su reproducción y desarrollo dentro el estuario del Laraquete. La protección de estos hábitats estuarinos es esencial no sólo para la preservación de esta especie endémica y vulnerable, sino también para mantener la biodiversidad y el equilibrio ecológico de los ecosistemas costeros del centro-sur de Chile.



ABSTRACT

This study analyzes the spatial ecology of *Odontesthes mauleanum* (Steindachner, 1896), commonly known as the Cauque del Maule, an endemic and vulnerable fish species inhabiting aquatic systems in south-central Chile, within the estuary of the Laraquete River, Biobío Region. Estuaries are transitional ecosystems between freshwater and marine environments, characterized by pronounced environmental gradients and high variability in factors such as salinity and temperature. These environments exhibit high biological productivity and play a fundamental ecological role as feeding, breeding, and refuge areas for several species, in addition to supporting human activities such as fishing and tourism. However, they are among the most threatened ecosystems, facing pressures from pollution, hydrological alteration, habitat loss, and the effects of climate change. This research was carried out to understand how the spatial distribution, abundance, and reproductive-physiological status of *O. mauleanum* varies over the course of a year in relation to various hydrographic variables.

The study was conducted through four seasonal sampling campaigns (from winter 2024 to autumn 2025) at four sites within the estuary with different tidal influences, using gillnets for capture. For each individual, total length and weight, sex, gonadal maturation stage, gonad weight, and liver weight were recorded. Based on this information, indicators such as catch per unit effort (CPUE), gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI), and Fulton's condition factor (K) were calculated. Additionally, hydrographic variables were measured at each sampling site. Multivariate analyses (DistLM, MDS, and PCO) were applied to assess the relationships between hydrographic conditions and the abundance of *O. mauleanum* at the time of sampling.

Results showed that the highest abundance was recorded at site M2 during summer, coinciding with higher temperatures and intermediate salinity (6–8 psu). High CPUE levels were also observed in spring, while no individuals were captured in autumn. No specimens were captured at site L, site without tidal signals. Regarding reproductive status, high GSI values in females were recorded in spring, indicating intense reproductive activity during this season. The presence of juveniles in spring and summer is associated

with a recruitment event following spawning. Somatic growth was negative allometric in adults, while juveniles displayed a growth factor greater than 3. Fulton's condition factor remained constant across seasons, and HSI did not show significant decreases during the reproductive period.

Statistical analyses identified salinity as the primary hydrographic variable, followed by temperature, in explaining the presence and variation in abundance throughout the sampling year.

These results provide important information for the management and conservation of this species, by identifying critical areas for its reproduction and development within the Laraquete estuary. Protecting these estuarine habitats is essential not only for preserving this endemic and vulnerable species, but also for maintaining the biodiversity and ecological balance of south-central Chile's coastal ecosystems.



INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas estuarinos son zonas de transición en donde las aguas continentales de los ríos se encuentran y se mezclan con las aguas saladas del mar, representan ambientes de una alta productividad biológica y una complejidad ecológica significativa (Hernández *et al.*, 2024; Day *et al.*, 2012). Caracterizados por gradientes ambientales pronunciados y una alta variabilidad en factores como la salinidad, la temperatura, entre otros, estos sistemas albergan una rica biodiversidad (Hernández *et al.*, 2024) y cumplen funciones ecológicas importantes, actuando como áreas de crianza, alimentación y refugio para numerosas especies de peces, crustáceos, aves y otros organismos (Kennish, 2002). Su relevancia se extiende más allá de su valor ecológico intrínseco, ya que sustentan importantes actividades socioeconómicas como la pesca, la acuicultura y el turismo costero (Valdovinos & Stuardo, 1989). Sin embargo, a pesar de su importancia, los estuarios se encuentran entre los ecosistemas más amenazados y menos estudiados a nivel global, enfrentando presiones derivadas de la contaminación, la alteración hidrológica, la destrucción del hábitat y los efectos del cambio climático (Lotze *et al.*, 2006).

La Región del Biobío en Chile alberga una alta diversidad de ecosistemas costeros, incluyendo numerosas zonas estuarinas. Entre ellas, se destaca el Golfo de Arauco (36°45' S; 37°10' S), con una alta variabilidad hidrográfica por la influencia de variantes como la marea, viento, surgencia costera, la descarga de agua dulce del río Biobío, entre otras (Parada *et al.*, 2001; Sobarzo *et al.*, 2001; Vergara *et al.*, 2024). Dentro del Golfo de Arauco, en la zona sur, se encuentra el estuario y la desembocadura del río Laraquete, este ecosistema presenta una compleja interacción de factores ambientales y de origen antropogénico que potencialmente modulan la distribución y abundancia de las especies que lo habitan (Hernández *et al.*, 2024). Comprender la dinámica ecológica de este estuario es fundamental para establecer estrategias de conservación y manejo que permitan asegurar su funcionalidad a largo plazo.

Dentro de la biota característica de los sistemas acuáticos costeros de Chile, el cauque del maule, *Odontesthes mauleanum* (Steindachner, 1896), perteneciente a la familia Atherinopsidae por su singular banda longitudinal plateada y borde superior más oscuro

y amarillento, se caracteriza como una especie de pez de importancia ecológica y, en algunos casos, pesquera. Distribuido a lo largo de la zona centro-sur de Chile (desde la V Región hasta la X región) (Zunino *et al.*, 2009; Ruiz & Marchant, 2004), *O. mauleanum* se adapta a una variedad de ambientes acuáticos, incluyendo ríos, lagos y, de manera significativa, estuarios (Dyer, 2000). Su ciclo de vida, caracterizado por migraciones entre hábitats, desoves entre la época de primavera y verano, su rol como depredador (pequeños invertebrados, escamas de peces y plancton) y presa (salmónidos) dentro de las tramas tróficas y, su estado de conservación según el libro rojo de los vertebrados terrestres, en estado vulnerable en ríos desde la VII hasta la X región (Ministerio del medio ambiente, 2019; Habit *et al.*, 2006), lo convierten en un componente clave de la estructura y función de los ecosistemas donde habita.

La ecología espacial, disciplina que estudia la distribución y abundancia de los organismos y sus interacciones con el entorno, ofrece un marco conceptual para comprender cómo las especies utilizan y se relacionan con su hábitat. En ambientes acuáticos, el análisis de los patrones espaciales de los peces puede revelar información sobre sus preferencias de hábitat, movimientos, interacciones biológicas y respuestas a las variaciones ambientales (Legendre & Fortin, 1989). La aplicación de técnicas, como el análisis de autocorrelación espacial, la modelación de distribución de especies y el uso de sistemas de información geográfica (SIG), permite identificar áreas de mayor abundancia, zonas de agregación, corredores ecológicos y la influencia de variables ambientales específicas en la distribución de las poblaciones (Guisan & Thuiller, 2005). Generar información básica sobre la distribución y abundancia de las especies, por lo tanto, es un insumo clave para la posterior realización de estos estudios más específicos.

A pesar de la relevancia ecológica de *O. mauleanum* en los sistemas acuáticos chilenos, el conocimiento detallado sobre su ecología espacial y reproductiva en ambientes estuarinos, como el de Laraquete, aún presentan importantes vacíos (Habit *et al.*, 2006). Comprender cómo *O. mauleanum* utiliza el espacio dentro del estuario, resulta fundamental para fundamentar estrategias de manejo y conservación efectivas para esta especie y su rol en el ecosistema en general. La alta variabilidad ambiental es propia de los estuarios, con sus gradientes de salinidad, temperatura, profundidad y tipo de sustrato,

entre otros, probablemente imponen fuertes presiones sobre la distribución y el comportamiento de *O. mauleanum*.

Desde el punto de vista biológico, el conocimiento del estado fisiológico y reproductivo de los peces, evaluado a través de indicadores como la relación longitud-peso, los índices de condición de Fulton (k), el índice hepatosomático (IHS) o gonadosomático (IGS), resultan fundamental para comprender cómo se encuentra la especie en su hábitat. Este enfoque permite no sólo evaluar la salud de los individuos, sino también vincular estos resultados con su dinámica poblacional y las etapas críticas de reproducción. De manera complementaria, es importante considerar las variables hidrográficas del medio, como la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, quienes estructuran el hábitat estuarino y pueden influir directamente en la distribución, abundancia, estado fisiológico y reproductivo de las especies.

Los resultados de esta investigación podrán contribuir a la identificación de áreas críticas para la especie y al desarrollo de estrategias de manejo basadas en el conocimiento del uso del hábitat y de su ciclo reproductivo. Por lo tanto, este estudio se centra en la ecología espacial de *O. mauleanum* en la zona estuarina de Laraquete, Región del Biobío, Chile, a través de un análisis de su presencia y abundancia en relación con algunas características ambientales del estuario.

Algunas preguntas que orientaron este estudio fueron: ¿Cómo varía la abundancia espacial y estacional de *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete, y qué factores hidrográficos pueden explicar mejor dicha variabilidad?; ¿La distribución espacial de *O. mauleanum* varía según el sexo, el tamaño corporal y el estadio de desarrollo, indicando posibles zonas preferenciales? y ¿Cómo varía el estado de condición fisiológica de *O. mauleanum* entre estaciones del año, considerando su condición reproductiva? Estas interrogantes permiten comprender el uso del hábitat y la dinámica biológica de esta especie en un ecosistema estuarino altamente variable.

HIPOTESIS DEL TRABAJO

En este estudio se emplean indicadores biológicos como el índice gonadosomático (IGS) que refleja el desarrollo de las gónadas, el índice hepatosomático (IHS) que estima las reservas energéticas almacenadas en el hígado, y el índice de condición de Fulton (k) que indica el estado corporal general, para evaluar el estado reproductivo y fisiológico del Cauque del Maule *O. mauleanum*. Estos índices, junto con el análisis de variables hidrográficas como temperatura y salinidad, permiten comprender cómo las condiciones ambientales del estuario del río Laraquete influyen en su distribución y abundancia.

Hipótesis general: La distribución espacial, abundancia, estado reproductivo y fisiológico de *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete presentan variaciones temporales asociadas a cambios estacionales y a factores ambientales locales como la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, presentando mayores abundancias y mejor condición corporal en primavera y verano, cuando se incrementa la productividad biológica del ecosistema y se desarrolla su período reproductivo.

Hipótesis específica 1: La abundancia de *O. mauleanum* será mayor en primavera y verano, asociada a períodos de reproducción y reclutamiento.

Hipótesis específica 2: La proporción de individuos maduros y los valores del índice gonadosomático (IGS) serán más altos en primavera.

Hipótesis específica 3: El índice hepatosomático (IHS) y el índice de condición de Fulton (k) serán inferiores en primavera y verano, reflejando una menor acumulación de reservas energéticas durante el período de desove.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar aspectos de la ecología espacial del *O. mauleanum* en el ecosistema estuarino de Laraquete, región del Biobío, en relación con diversas variables ambientales y su ciclo biológico reproductivo a lo largo de diferentes estaciones del año.

Objetivo específico

- Identificar la existencia de patrones de abundancia espacial de *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete durante cuatro estaciones en un año.
- Cuantificar y caracterizar las principales variables ambientales hidrográficas del estuario de Laraquete y correlacionarlas con la distribución y abundancia de *O. mauleanum* en el área de estudio.
- Analizar posibles patrones de segregación o agregación espacial de *O. mauleanum* en función de su tamaño corporal, sexo y estadio de vida.
- Cuantificar y evaluar el estado reproductivo y de condición fisiológica de *O. mauleanum* en el área de estudio en diferentes estaciones de un año.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y recolección de individuos

Los individuos de *O. mauleanum* fueron colectados en el Estuario Laraquete durante cuatro muestreos estacionales realizados entre agosto de 2024 (invierno) y mayo de 2025 (otoño), en 4 sitios de muestreo que consideran el estero El Molino (M1 y M2), el río Las Cruces (L), y el río Laraquete (E2-E3), formado por la convergencia de los dos cursos de agua anteriores (Figura 1). La obtención de las muestras fue mediante el uso de redes agalleras pejerreyeras (apretura de malla: 3,81 cm) y de tres telas (apretura de malla: 6,35 cm sección interna y 30,48 cm sección externa), dispuestas de manera longitudinal en los cursos de agua durante un lapso de 4-5 horas, tiempo en el que eran revisadas y los individuos atrapados colectados. Estos posteriormente se transportaron en un *cooler* con hielo al Laboratorio de Investigación en Ecosistemas Acuáticos (*LInEA*), en la Universidad de Concepción, donde fueron almacenados en frío (-20 °C) para su posterior análisis. Metodologías aprobadas mediante Permiso de Pesca de Investigación R. EX. N° E-2024-277 otorgado por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

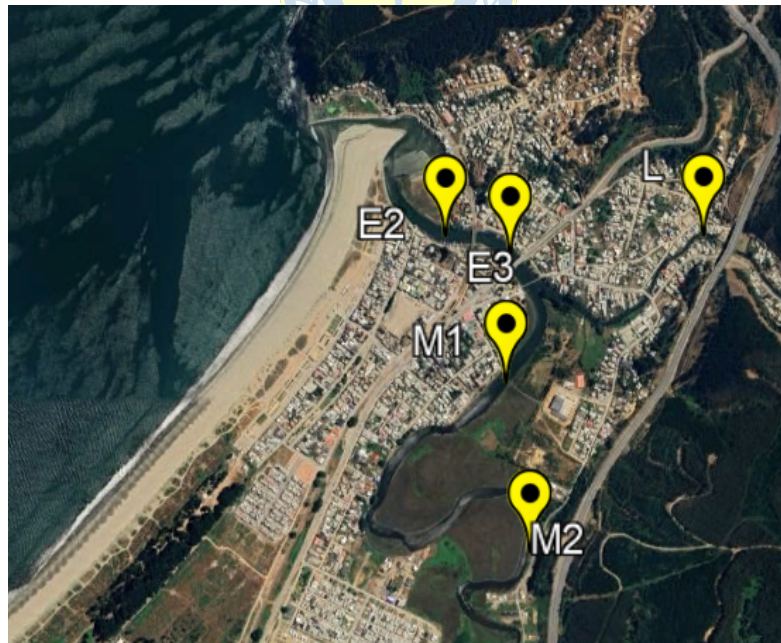


Figura 1. Área de estudio y sitios de muestreo de *O. mauleanum* para esta investigación en el estuario de Laraquete.

Mediciones de variables hidrográficas

En cada sitio de muestreo se midieron las siguientes variables ambientales e hidrográficas: salinidad (psu), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos disueltos totales (SDT, g/l), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, potencial Redox (mV) oxígeno disuelto (mg/l), utilizando un sensor portátil multiparámetros (YSI-556 MPS). Las mediciones fueron realizadas tanto al momento del calado de las redes de pesca (inicio), como en el momento del izaje de estas (final).

Complementariamente se describió el período mareal durante cada evento de muestreo. Los datos de marea fueron extraídos desde el sitio web del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), disponible en: <https://www.shoa.cl/php/index.php>.

Trabajo de laboratorio

Para cada individuo colectado se obtuvo una serie de medidas biológicas y morfométricas. La longitud estándar y total de cada individuo (Figura 2) fue registrada con un ictiómetro (resolución 1 mm), y la obtención del peso corporal completo y eviscerado se obtuvo mediante una balanza digital (resolución 0,01 g).

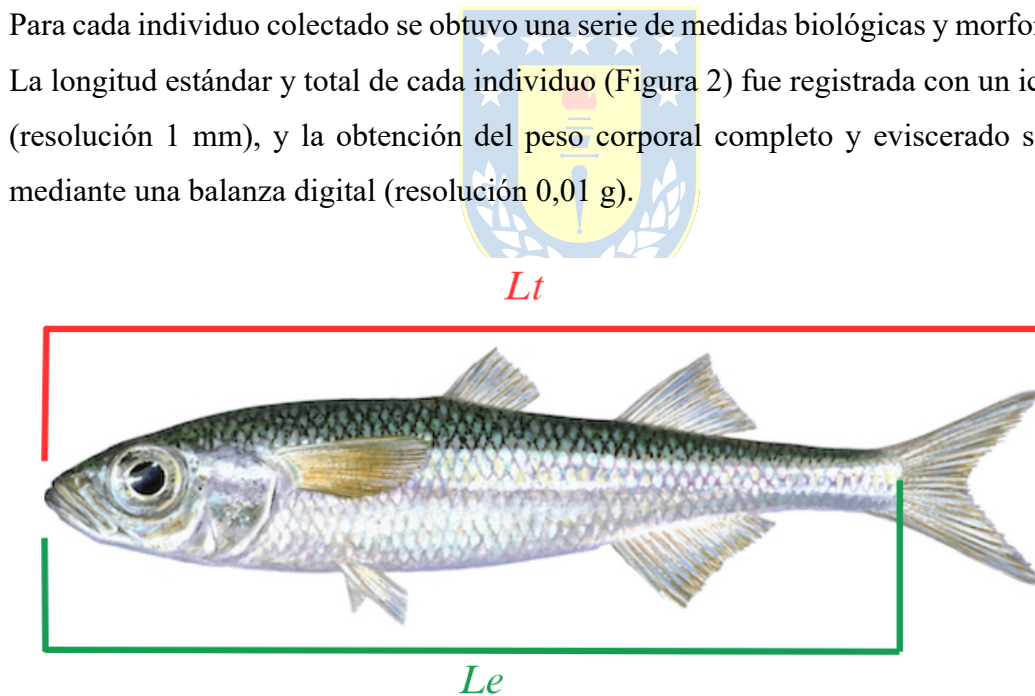


Figura 2. Esquema de la medición de longitud total (L_t) y longitud estándar (L_e).

Se extrajeron, además, gónadas y el hígado. Para ello, se realizó un corte en línea recta desde el ano hacia la cabeza del pez utilizando tijeras de disección. Ambos órganos fueron pesados en balanza digital (resolución 0,01 g).

Posteriormente, a partir de las gónadas, se evaluó el sexo de forma macroscópica (M = macho, H = hembra, I = indeterminado) y se determinó visualmente el estado de madurez sexual de acuerdo con la escala de peces desovantes parciales de Holden & Raitt (1975) (Tabla 1). Las gónadas posteriormente de ser pesadas fueron conservadas en frascos con formalina al 10 %. Los estómagos fueron preservados en etanol 95 %.

Las planillas de muestreo fueron digitalizadas mediante fotografías y los datos fueron traspasados a formato Excel.

Tabla 1. Escala empírica de madurez sexual para hembras y machos de especies desovantes parciales (adaptada por Holden & Raitt, 1975)

EMS	ESTADO	ASPECTO GENERAL
1	Inmaduro	Ovarios y testículos ocupan cerca de 1/3 de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos, traslúcidos, con ovocitos invisibles a simple vista. Testículos blancuzcos.
2	Virgen madurando y en recuperación	Ovarios y testículos ocupan casi la mitad de la longitud de la cavidad abdominal. Ovarios rosáceos con ovocitos invisibles a simple vista. Testículos blancuzcos, más o menos simétricos.
3	Maduro	Los ovarios y testículos cubren cerca de los 2/3 de la cavidad abdominal. Ovarios de color rosado a amarillento con aspecto granular, ovocitos visibles. Los ovocitos son grandes e identificables a simple vista. Se observan vasos sanguíneos superficiales. Testículos blancuzcos a crema.
4	Hidratado	Los ovarios y testículos ocupan toda la cavidad abdominal. Ovarios de color naranja opaco a rosado, casi transparente, con vasos sanguíneos superficiales poco visibles. Al presionar fluyen ovocitos hidratados, transparentes, del doble del tamaño que los ovocitos de una gónada madura. Testículos blancuzcos de color crema y blandos.
5	En regeneración	Ovarios y testículos flácidos, distendidos, contraídos a la mitad de la cavidad abdominal. Las paredes son delgadas, flojas y el lumen grande. Los ovarios pueden contener aún restos de ovocitos opacos, maduros y en deshidratación, oscurecidos a traslúcidos. Este ovario pasa a la etapa II de esta escala.

Análisis de datos

La Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) se calculó como un indicador de abundancia relativa en función del tiempo de muestreo, utilizando la siguiente fórmula:

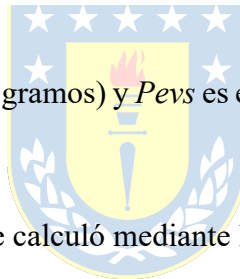
$$CPUE = \frac{N^{\circ} \text{ de individuos}}{h}$$

donde N° corresponde al número de individuos capturados y h al tiempo (horas) que la red permaneció calada.

Para obtener el Índice Gonadosomático (IGS) se utilizó la siguiente fórmula

$$IGS = \frac{PG}{(P_{evs} - PG)} \times 100$$

donde PG es el peso de gónada (en gramos) y P_{evs} es el peso eviscerado de cada individuo (en gramos).



El Índice Hepatosomático (IHS) se calculó mediante la siguiente fórmula

$$IHS = \frac{PH}{(P_{evs} - PH)} \times 100$$

donde PH es el peso del hígado (en gramos) y P_{evs} es el peso eviscerado de cada individuo (en gramos).

El Índice de Condición de Fulton (k) se obtuvo con la siguiente fórmula

$$k = WL^3$$

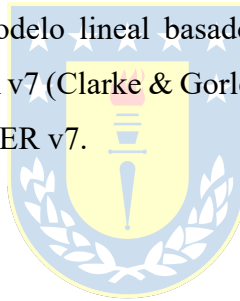
donde W es el peso del individuo (en gramos) y L su longitud total (en centímetros).

También con las variables *PT* y *L* se estimó la relación potencial, estimando el parámetro *b* alométrico.

Análisis estadísticos multivariados

Para realizar los análisis estadísticos multivariados se utilizó una serie de variables independientes y la variable dependiente de Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE). Las variables independientes fueron: salinidad (psu), conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos disueltos (SDT, g/l), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, potencial Redox (mV) oxígeno disuelto (mg/l) registradas al inicio y final de cada evento de pesca.

Los análisis estadísticos utilizados fueron PCO (Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales), nMDS y mMDS (Análisis no-métrico y métrico de Escalamiento Multidimensional) y DistLM (Modelo lineal basado en distancias). Los datos fueron analizados en el software PRIMER v7 (Clarke & Gorley, 2015). Los gráficos se realizaron en el programa Sigmaplot y PRIMER v7.



RESULTADOS

Variables hidrográficas

Durante los muestreos estacionales realizados entre invierno de 2024 y otoño de 2025 en el estuario de Laraquete, se registraron variaciones en la altura de la marea y en las condiciones hidrográficas, medidas tanto al inicio como al final del calado de las redes (Tablas 2 y 3; Ver, además, Anexo 1, Figura 1).

Las variables hidrográficas promedio presentaron una alta variabilidad entre estaciones del año y sitios de muestreo (Tabla 3). La salinidad fluctuó entre un valor mínimo de 0,01 psu (M2, primavera) y un máximo de 33,45 psu (E2-E3, verano). La temperatura varió desde 9,5 °C (E2-E3, invierno) hasta 21 °C (M2, primavera). El pH registró valores entre 6,32 (M2, primavera) y 7,88 (M1, otoño). El potencial de óxido-reducción (ORP) osciló entre 55 mV (E2-E3, invierno) y 205 mV (M2, primavera). Por último, el oxígeno disuelto (ODO) presentó un rango de 3,48 mg/L (E2-E3, verano) a 11,25 mg/L (E2-E3, invierno). Estos resultados evidencian condiciones contrastantes durante cada muestreo y entre las estaciones de invierno y primavera/verano.

Tabla 2. Estado de la marea durante los muestreos estacionales de *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete. Se indican las fechas para cada sitio de muestreo y estación del año Estable (E) = 0,8 m. S = Subiendo, B = Bajando. Ver además Anexo 1, Figura 1.

Sitio	Invierno 2024		Primavera 2024		Verano 2025		Otoño 2025	
	Fecha	Marea	Fecha	Marea	Fecha	Marea	Fecha	Marea
E2-E3	26-08-2024	S	18-11-2024	S y B	13-03-2025	B	06-06-2025	E
L	26-08-2024	S	18-11-2024	S y B	13-03-2025	B	06-06-2025	E
M1	27-08-2024	E	19-11-2024	S	14-03-2025	B	05-06-2025	B
M2	27-08-2024	E	19-11-2024	S	14-03-2025	B	05-06-2025	B

Tabla 3. Variables ambientales promedio registradas al inicio (I) y al final (F) de los muestreos por estación del año y sitio de muestreo en el estuario de Laraquete. Se incluyen: salinidad (psu), temperatura (°C), pH, potencial de óxido-reducción (ORP, mV), oxígeno disuelto (ODO, mg/l) y captura por unidad de esfuerzo (CPUE, ind/h).

Estación	Sitio	Salinidad (psu)		T (°C)		pH		ORP (mV)		ODO (mg/L)		CPUE
		I	F	I	F	I	F	I	F	I	F	
Invierno	E2-E3	0,08	33,36	9,55	10,87	7,35	7,41	55	108	11,25	9,38	0,20
Invierno	M1	0,29	0,36	10,79	12,13	7,24	7,22	84	101	9,23	9,38	6,11
Invierno	M2	0,12	0,13	9,77	10,87	7,43	7,40	74	96	8,95	9,29	2,91
Primavera	E2-E3	26,01	3,77	13,14	16,45	7,50	7,18	173	156	7,89	10,32	0,97
Primavera	M1	1,56	1,97	14,42	14,36	6,76	6,96	101	138	7,94	9,82	9,33
Primavera	M2	0,51	0,01	13,78	21,05	6,75	6,32	99	205	7,96	9,14	5,63
Verano	E2-E3	33,45	20,50	11,86	15,76	7,41	7,27	108	98	3,48	6,64	1,11
Verano	M1	32,42	33,36	12,95	13,52	7,46	7,57	166	166	7,82	7,47	3,36
Verano	M2	7,63	6,20	14,88	16,93	6,86	6,83	79	115	6,13	9,13	53,50
Otoño	E2-E3	25,79	7,22	10,52	9,63	7,52	7,06	108	123	7,81	9,56	0,00
Otoño	M1	10,11	23,69	10,80	12,25	7,05	7,88	118	149	7,48	10,93	0,20
Otoño	M2	1,59	1,59	10,43	12,61	6,86	6,99	119	119	7,43	10,07	0,00

En el sitio L, las mediciones de salinidad fueron extremadamente bajas durante todo el año, con valores iguales o cercanos a cero, lo que indica condiciones de agua dulce persistentes (Tabla 4). La temperatura promedio del agua alcanzó su valor más alto en verano y primavera (ambas con 13,7°C), y en otoño la más baja (7,7°C). El pH osciló entre un mínimo en primavera (7,1) y un máximo en otoño (7,7). Los niveles de oxígeno disuelto (ODO) fueron más bajos en verano (8,7 mg/l) y más altos en otoño (11,7 mg/l). El potencial de óxido-reducción (ORP) mostró valores bajos en invierno (42,8 mV), y alcanzó su valor máximo en primavera (97,9 mV). Cabe destacar que, aunque se registraron variables hidrográficas en este sitio, no se incluyeron en los análisis posteriores debido a que no se capturaron individuos en los cuatro períodos de muestreo.

Tabla 4. Valores de variables hidrográficas registradas en el sitio L del estuario de Laraquete durante las cuatro campañas estacionales de muestreo (invierno, primavera, verano y otoño). Se incluyen salinidad, temperatura, pH, oxígeno disuelto (ODO), y potencial de óxido-reducción (ORP).

Estación	Salinidad (psu)	T (°C)	pH	ODO (mg/L)	ORP (mV)
Invierno	0,01 ± 0,0	9,4 ± 0,002	7,2 ± 0,02	11,2 ± 0,0	96,2 ± 0,36
Primavera	0,22 ± 0,0	13,7 ± 0,02	7,1 ± 0,02	11 ± 0,009	97,9 ± 1,76
Verano	0,02 ± 0,0	13,7 ± 0,01	7,4 ± 0,01	8,7 ± 0,1	44,5 ± 1,69
Otoño	0,63 ± 0,07	7,7 ± 0,02	7,7 ± 0,07	11,7 ± 0,09	42,8 ± 3,31

Las variables hidrográficas presentaron diferencias entre los sitios de muestreo al considerar las 4 estaciones del año (Figura 3). La salinidad (Figura 3a y b) fue más alta en los sitios E2-E3 y M1, mientras que en M2 se registraron los valores más bajos al inicio y final de las capturas. La temperatura (Figura 3c y d) fue más elevada en M2, seguida por M1, y alcanzó sus valores más bajos en E2-E3. En cuanto al pH (Figura 3e y f), se observaron valores más altos en E2-E3 y M1, y menores en M2. El oxígeno disuelto (Figura 3g y h) mostró mayor variabilidad en E2-E3, mientras que M2 se mantuvo más estable. Finalmente, el potencial óxido-reducción (Figura 3i y j) se mantuvo relativamente estable en E2-E3 y M1, y en M2 hubo un aumento al finalizar el muestreo (Ver, además, Anexo 1, Figura 2).

Las condiciones hidrográficas mostraron patrones estacionales definidos al considerar los 4 sitios de muestreo (Figura 4). La salinidad (Figura 4a, b) alcanzó valores más altos en verano disminuyendo en otoño. La temperatura (Figura 4c, d) presentó su punto máximo en verano y primavera. El pH (Figura 4e, f) mostró una disminución en primavera y un incremento hacia verano y otoño. El oxígeno disuelto (Figura 4g, h) fue más alto en invierno y otoño, mientras que en verano presentó sus valores más bajos. Finalmente, el potencial óxido-reducción (ORP) (Figura 4i, j) fue menor en invierno y, más elevado y con una mayor variabilidad en primavera y verano (Ver, además, Anexo 1, Figura 2).

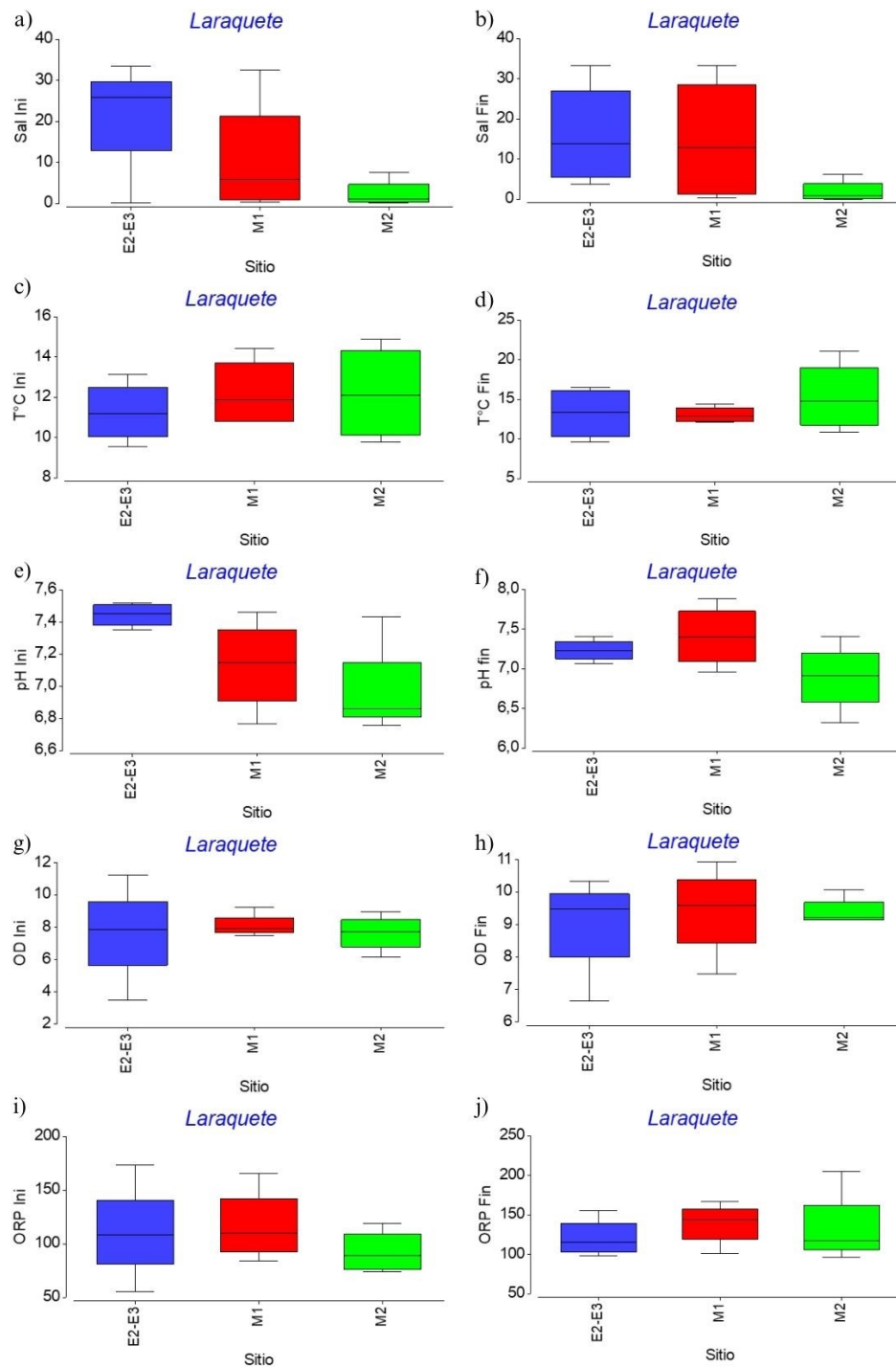


Figura 3. Variación espacial de variables hidrográficas registradas al inicio (in) y al final (fin) de los tres sitios de muestreo (E2-E3=azul, M1=rojo, M2=verde) en el estuario de Laraquete, considerando los 4 períodos de muestreo. a–b) Salinidad; c–d) Temperatura; e–f) pH; g–h) Oxígeno disuelto (ODO); i–j) Potencial de óxido-reducción (ORP).

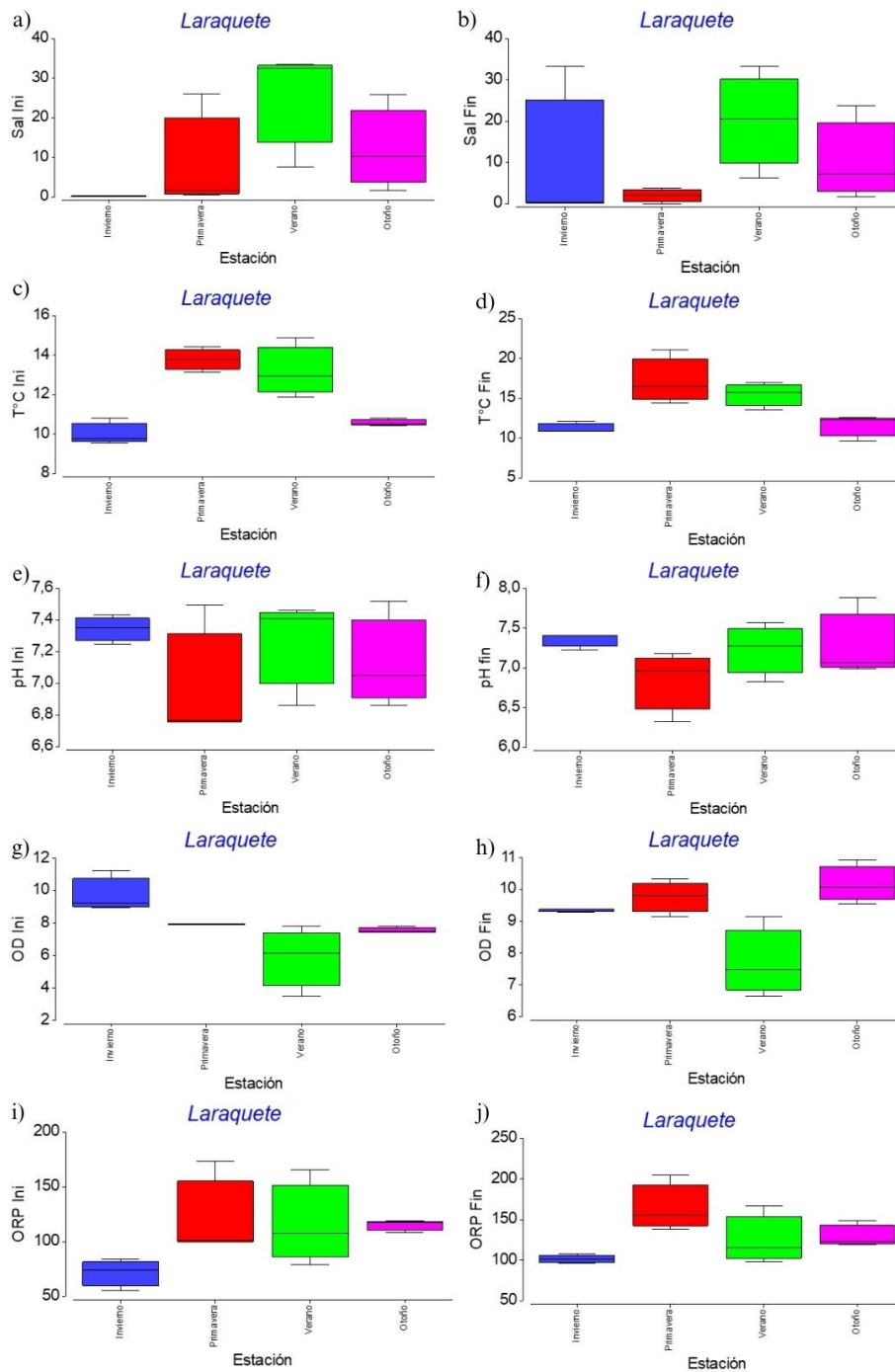


Figura 4. Variación estacional (invierno=azul, primavera=rojo, verano=verde y otoño=morado) de variables hidrográficas promedio registradas al inicio (in) y al final (fin), considerando los 4 sitios de muestreo en el estuario de Laraquete. a–b) Salinidad; c–d) Temperatura; e–f) pH; g–h) Oxígeno disuelto (ODO); i–j) Potencial de óxido-reducción (ORP).

Abundancia espacial y temporal de *O. mauleanum*

La abundancia de *O. mauleanum*, medida como captura por unidad de esfuerzo (CPUE), presentó una variación estacional y espacial en el estuario de Laraquete. Sólo fueron capturados individuos en red pejerreyera. Es importante destacar que mediante la red tres telas no se registraron capturas en ningún sitio de muestreo ni estación del año.

La CPUE promedio, mostró una variación a nivel espacial al considerar los 4 períodos de muestreo (Figura 5a). El sitio M2 presentó los valores más altos y variables, seguido por M1, mientras que en E2-E3 se observó la abundancia y variabilidad más baja. En cuanto a la CPUE estacional (Figura 5b), se observó un marcado incremento durante primavera y verano, mientras que en otoño se registró sólo una captura. El sitio L no presentó capturas en ninguno de los cuatro períodos de muestreo, razón por la cual no fue incorporado en las gráficas.

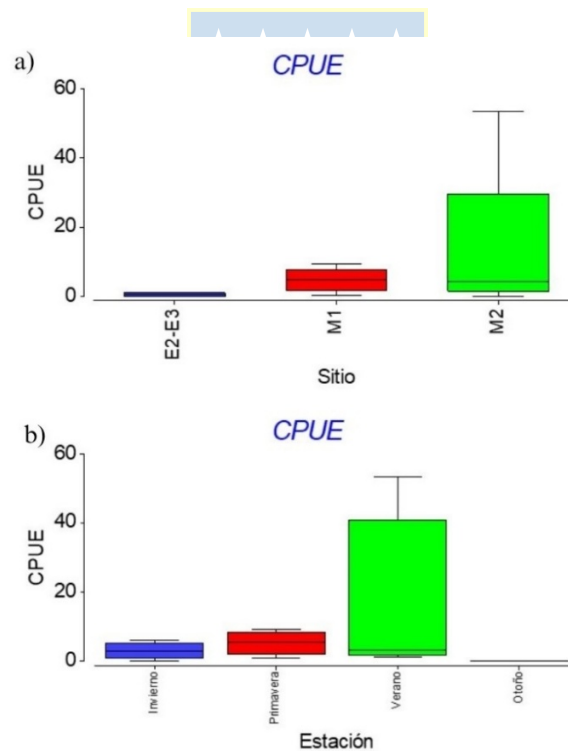


Figura 5. Variación de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) promedio de *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete por a) sitio de muestreo para los cuatro períodos de muestreo (E2-E3, M1 y M2) y b) por estación del año (invierno, primavera, verano y otoño) considerando los tres sitios de muestreo.

Espacialmente, la CPUE total de *O. mauleanum* mostró un patrón estacional, con máximos en verano en los sitios E2-E3 y M2, siendo este último el de mayor abundancia. En M1, el valor más alto se registró en primavera. En otoño, la CPUE fue baja en todos los sitios de muestreo, y en el sitio L, no se registraron capturas en ninguna estación del año (Figura 6).

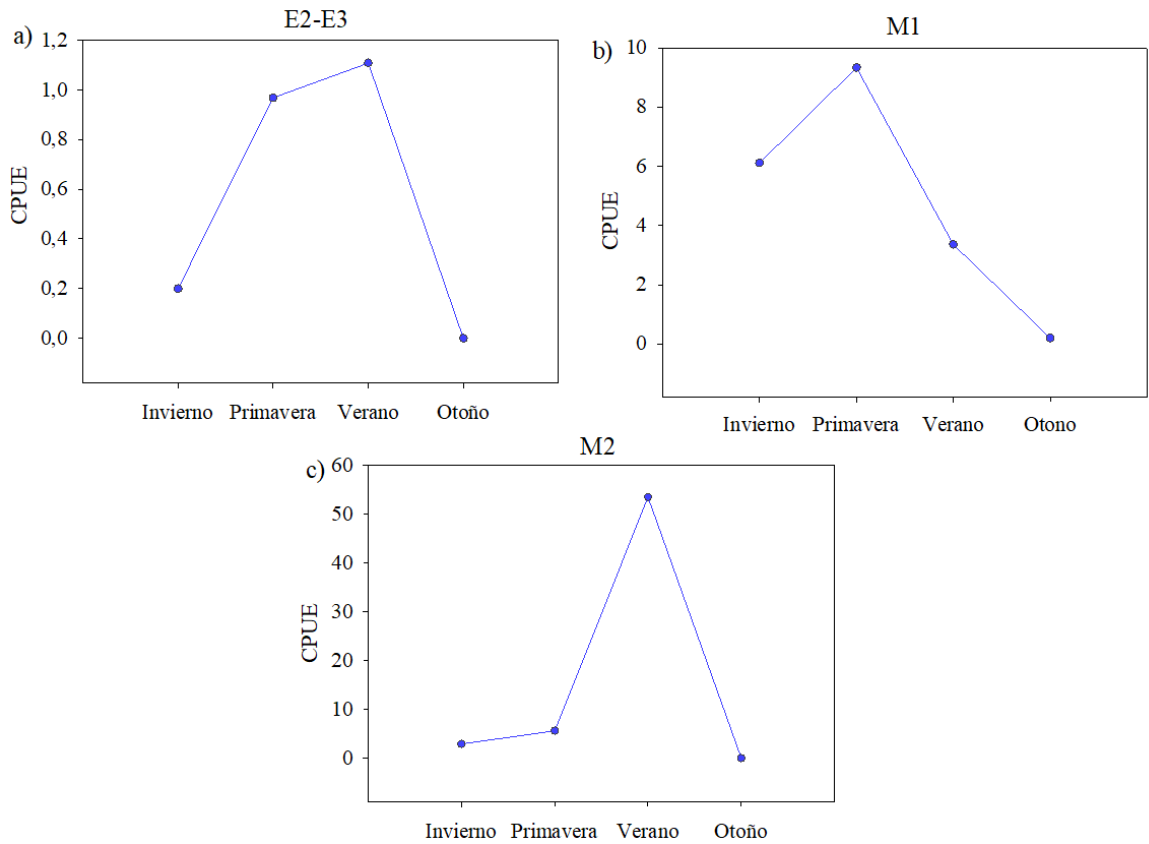


Figura 6. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de *O. mauleanum* por estación del año (invierno, primavera, verano y otoño) y sitio de muestreo (E2-E3, M1 y M2).

Espacialmente, la CPUE por sexo, presentó en E2-E3 un aumento de hembras en verano y de machos en primavera, con presencia de juveniles en primavera y verano. En M1, las hembras dominaron en invierno y primavera, mientras que machos y juveniles fueron escasos. En M2, se registró un máximo de hembras en verano, con machos y juveniles en baja abundancia y ausentes en otoño (Figura 7).

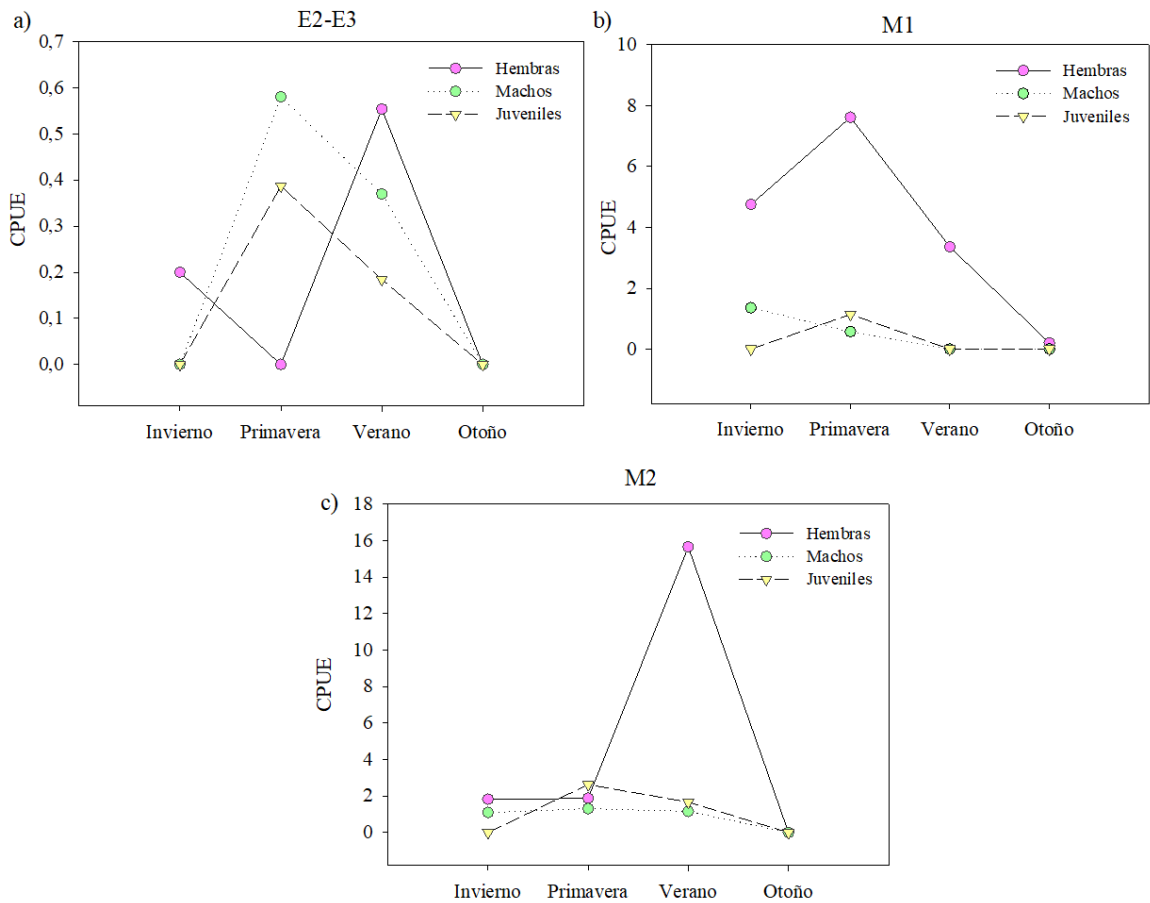


Figura 7. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de *O. mauleanum* por estación del año (invierno, primavera, verano y otoño) y sitio de muestreo (E2-E3, M1 y M2), diferenciando entre hembras, machos y juveniles.

Crecimiento: Relaciones longitud-peso

Se observó una relación no-lineal entre la longitud y el peso totales de *O. mauleanum* (Figura 8), indicando un crecimiento tipo alométrico negativo (i.e. parámetro $b < 3$). Para todo el año, la pendiente b fue de 2,76 ($R^2 = 0,827$), reflejando un crecimiento alométrico levemente menor a 3. El mayor ajuste se registró en invierno ($b \approx 2,85$; $R^2 = 0,889$), seguido de verano ($b \approx 2,79$; $R^2 = 0,859$). En primavera, la relación alométrica negativa fue más débil ($b \approx 2,57$; $R^2 = 0,689$).

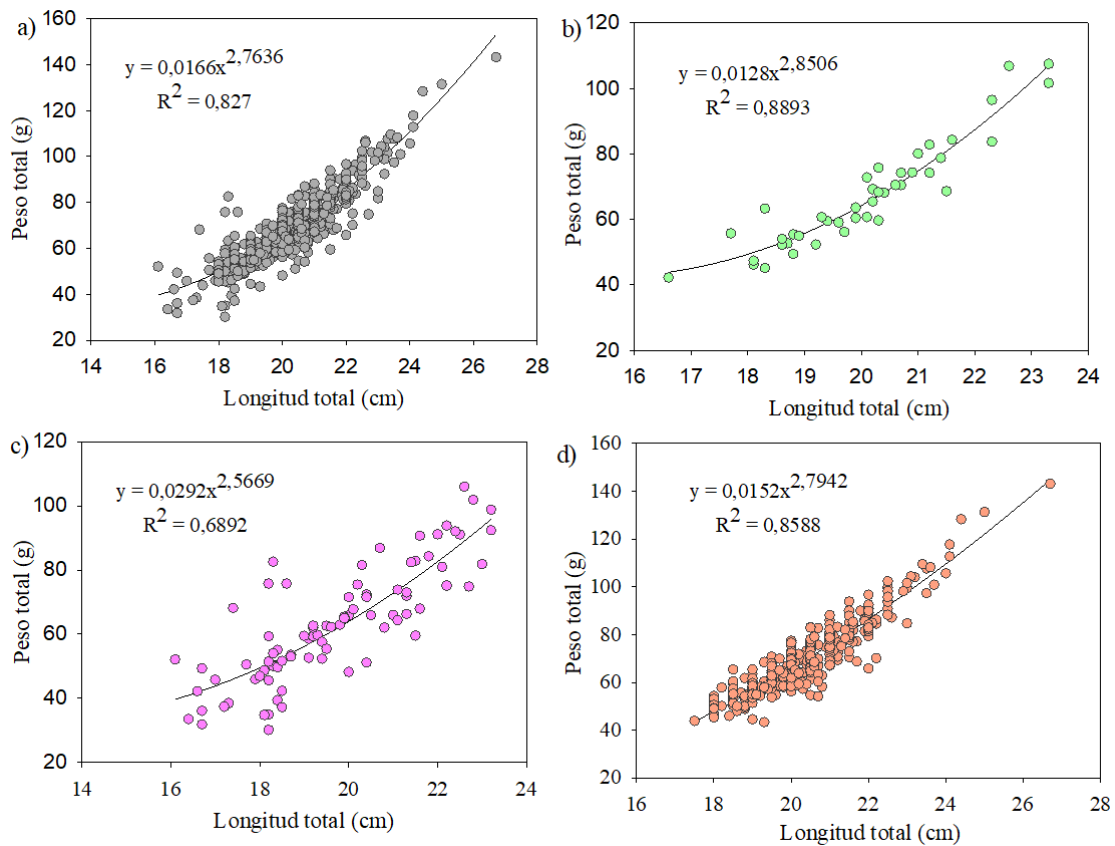


Figura 8. Relación entre la longitud total (cm) y el peso total (g) de *O. mauleanum* capturados en el estuario de Laraquete, donde a) para todas las estaciones del año, b) invierno, c) primavera y d) verano. La estación de otoño no fue graficada debido a que se capturó sólo un individuo.

En hembras de *O. mauleanum* (Figura 9), la relación entre longitud y peso total mostró un crecimiento alométrico negativo a lo largo del año ($b = 2,57$; $R^2 = 0,834$). En invierno, se observó un crecimiento alométrico ($b \approx 3,00$; $R^2 = 0,884$). En primavera, la pendiente disminuyó ($b \approx 2,21$) y el ajuste fue menor ($R^2 = 0,692$). Por último, en verano, la relación presentó el mejor ajuste ($R^2 = 0,903$) y una pendiente cercana al valor de 3 ($b \approx 2,96$).

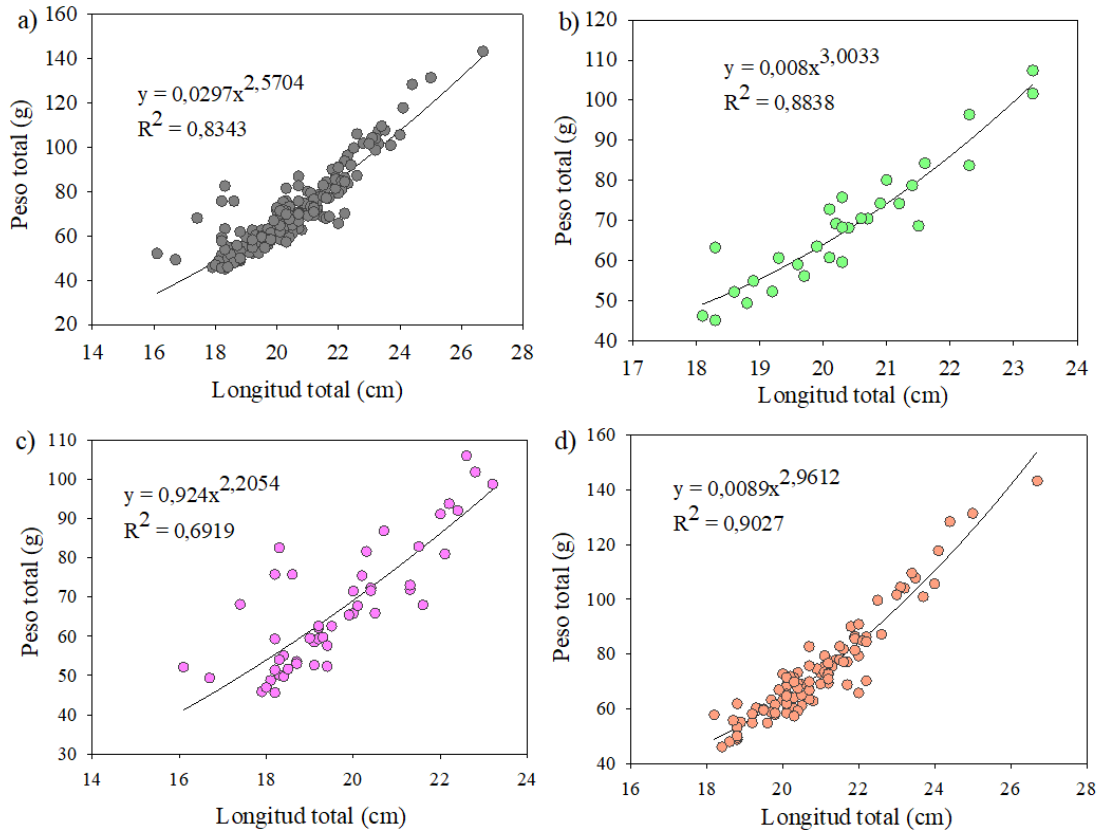


Figura 9. Relación entre la longitud total (cm) y el peso total (g) en hembras de *O. mauleanum* capturadas en el estuario de Laraquete, donde a) es para todas las estaciones del año, b) invierno, c) primavera y d) verano.

En machos de *O. mauleanum* (Figura 10), la relación entre longitud y peso total mostró un crecimiento alométrico negativo a lo largo del año ($b = 2,50$; $R^2 = 0,838$). El mejor ajuste se observó en verano ($b \approx 2,95$; $R^2 = 0,80$), indicando un crecimiento cercano al valor de 3. En primavera, la pendiente disminuyó ($b \approx 2,28$) con un ajuste $R^2 = 0,84$. Por último en invierno, el crecimiento se mantuvo alométrico negativo, pero con un mejor ajuste ($b \approx 2,84$; $R^2 = 0,92$).

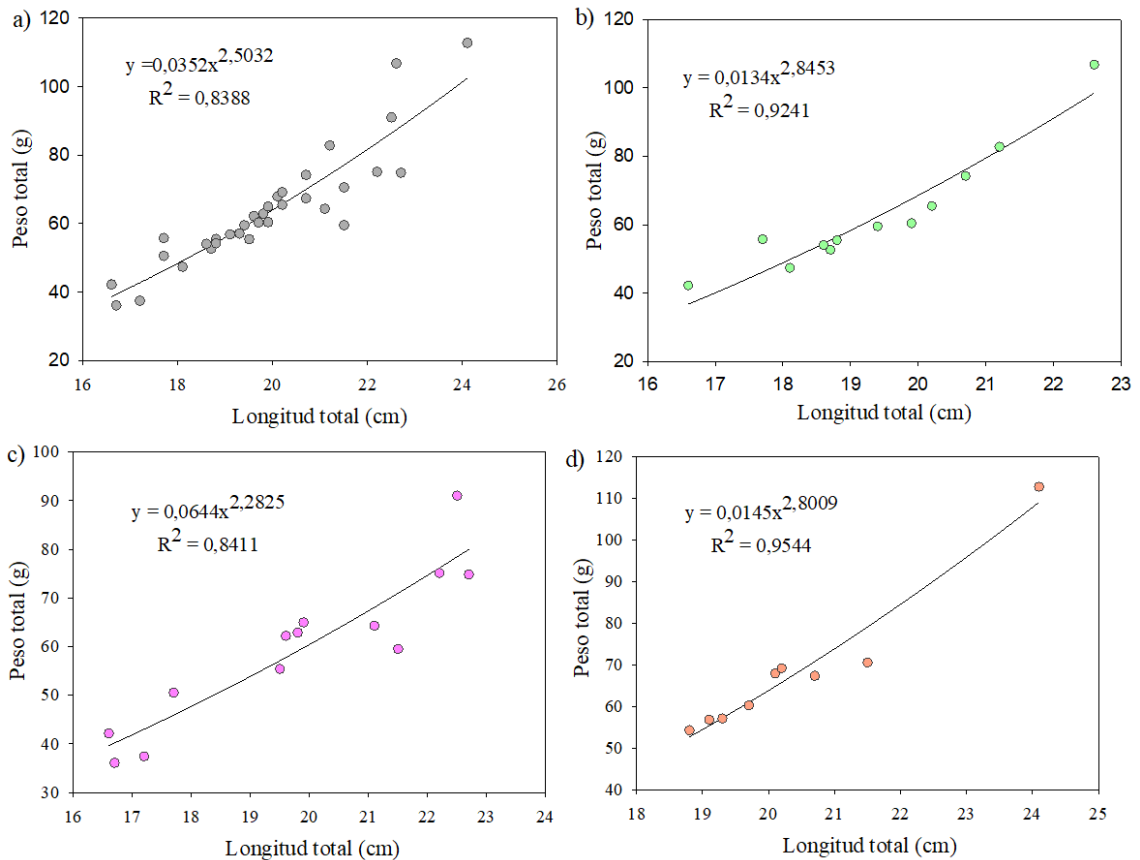


Figura 10. Relación entre la longitud total (cm) y el peso total (g) de machos de *O. mauleanum* capturados en el estuario de Laraquete, donde a) es para todas las estaciones del año, b) invierno, c) primavera y d) verano.

En juveniles de *O. mauleanum* (Figura 11), la relación entre longitud y peso total evidenció un crecimiento alométrico positivo en primavera y negativo en verano. En el análisis conjunto para ambos períodos de muestreo, la pendiente fue $b = 3,28$ ($R^2 = 0,830$).

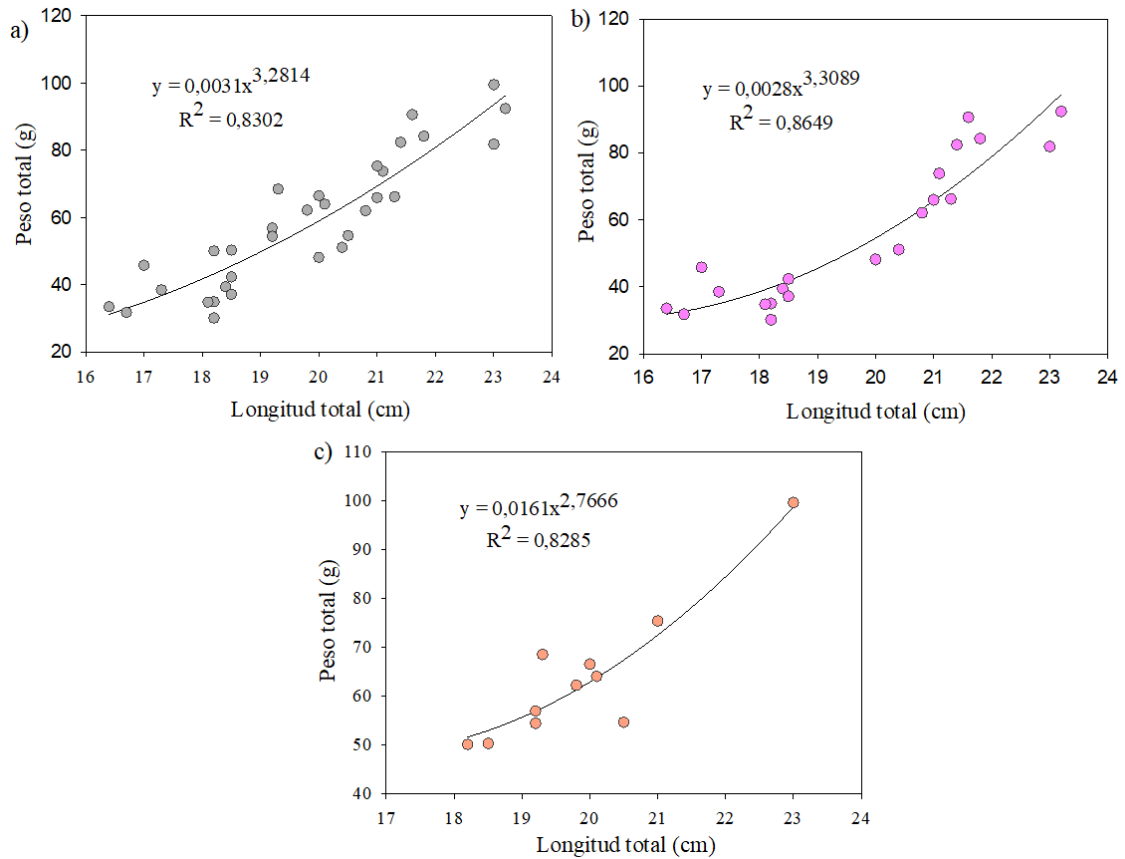


Figura 11. Relación entre la longitud total (cm) y el peso total (g) de juveniles de *O. mauleanum* capturado en el estuario de Laraquete, donde a) es para todas las estaciones del año, b) primavera y c) verano.

Todos los valores estimados para la relación longitud y peso totales y eviscerados, al igual que los tamaños muestrales de los peces son presentados en la Tabla 5. En general se observa que los valores de la pendiente disminuyen al realizar las estimaciones con el peso eviscerado.

Tabla 5. Coeficientes de la relación alométrica entre peso y longitud total para *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete, considerando el peso total y el peso eviscerado. Se observa el número de individuos (n), el coeficiente "a", el exponente "b" y el coeficiente de determinación (R^2), diferenciados por estación y sexo. En negrita se señalan valores de pendiente mayor al ser estimado con el peso eviscerado.

	Peso total				Peso eviscerado			
	n	a	b	R^2	n	a	b	R^2
Todas las estaciones	459	0,02	2,764	0,83	237	0,03	2,567	0,830
Invierno	43	0,01	2,851	0,89	42	0,14	2,029	0,778
Primavera	84	0,03	2,567	0,69	73	0,21	1,874	0,434
Verano	332	0,02	2,794	0,86	122	0,01	2,952	0,897
Hembras todas las estaciones	182	0,03	2,570	0,83	182	0,03	2,502	0,838
Hembras invierno	30	0,01	2,003	0,88	30	0,29	1,776	0,723
Hembras primavera	50	0,01	2,961	0,90	50	0,05	2,383	0,719
Hembras verano	102	0,92	2,205	0,69	102	0,01	2,993	0,905
Machos todas las estaciones	34	0,04	2,503	0,84	33	0,06	2,308	0,778
Machos invierno	12	0,01	2,845	0,92	12	0,02	2,763	0,916
Machos primavera	13	0,06	2,283	0,84	12	0,13	2,010	0,766
Machos verano	9	0,01	2,801	0,95	9	0,02	2,691	0,863
Juveniles todas las estaciones	32	0,00	3,281	0,83	22	0,00	3,346	0,853
Juveniles primavera	11	0,00	3,309	0,86	11	0,00	3,682	0,904
Juveniles verano	21	0,02	2,767	0,83	11	0,01	2,880	0,821

Estado reproductivo

A lo largo del año, se observó un claro predominio de hembras en todas las estaciones de muestreo (Figura 12). En invierno y verano representaron ~70 % y ~83 %, respectivamente. En primavera, su proporción disminuyó (~60 %), coincidiendo con el mayor porcentaje de juveniles (~26 %). Los machos estuvieron presentes en baja proporción durante todo el año, y en otoño sólo se registró una hembra.

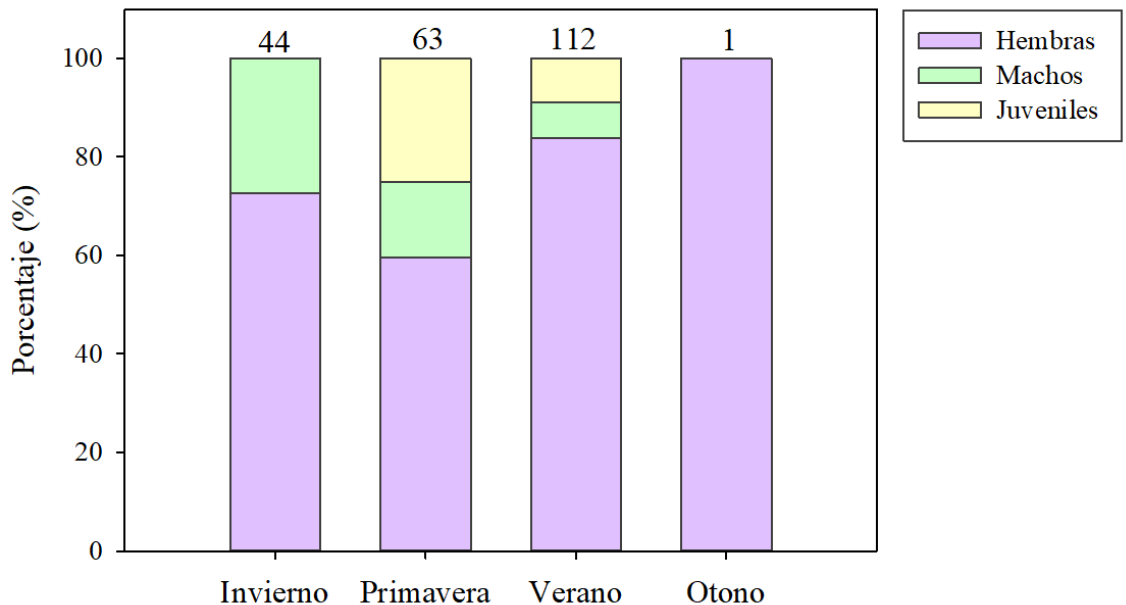


Figura 12. Porcentaje estacional de individuos de *O. mauleanum* clasificados como hembras, machos o juveniles, capturados en el estuario de Laraquete. Se señala también el tamaño muestral de peces.

La distribución estacional del Estado de Madurez Sexual (EMS) en *O. mauleanum* mostró una progresión reproductiva en el año (Figura 13). En invierno y primavera, las hembras se concentraron en el estado 3 (maduro), mientras que en verano predominó el estado 5 (regeneración). Los machos estuvieron presentes en bajas proporciones, principalmente en los estados 2, 3 y 4. En otoño solo se registró una hembra en estado 3.

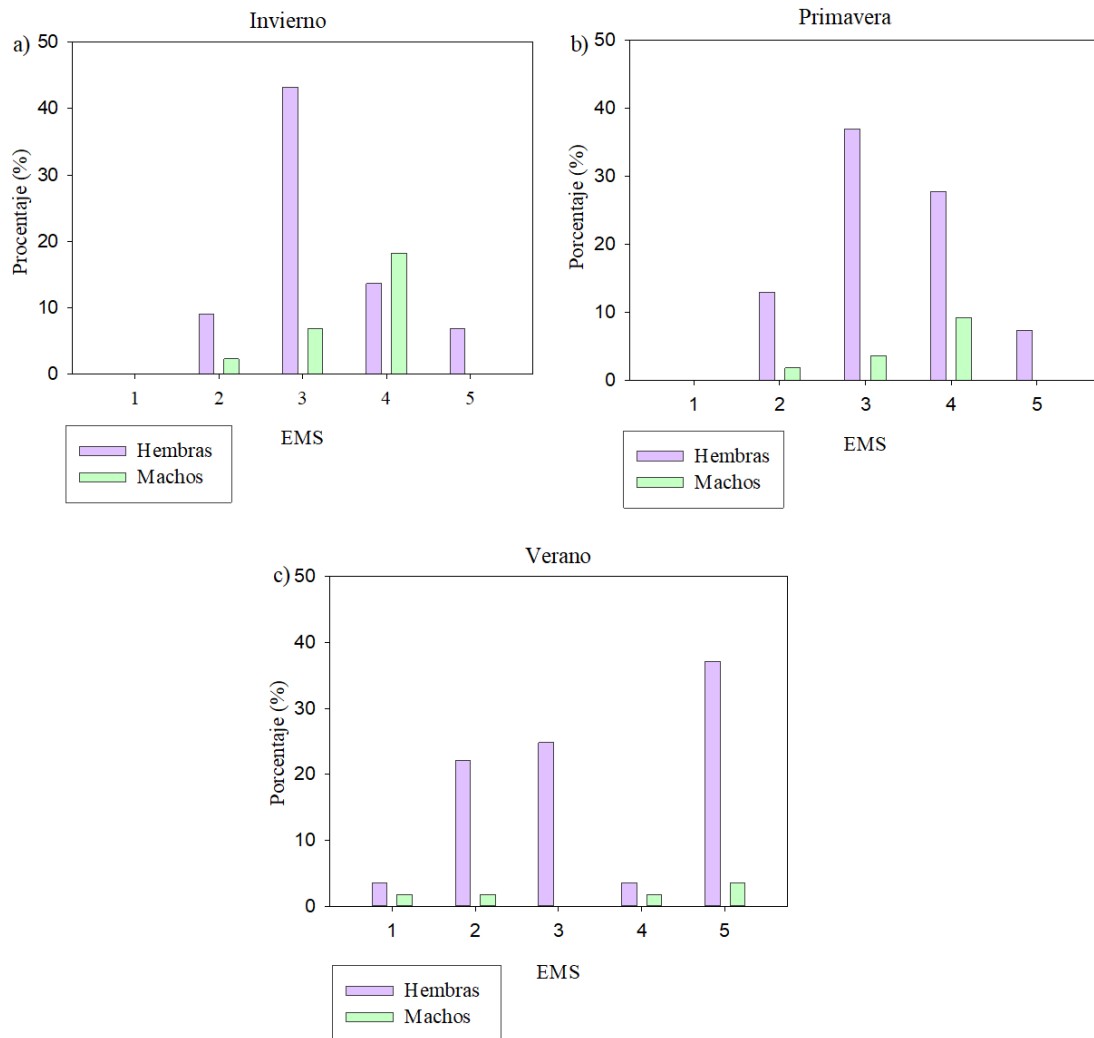


Figura 13. Distribución porcentual de hembras y machos de *O. mauleanum* por estado de madurez sexual (EMS), según la escala de Holden & Raitt (1975). EMS 1: inmaduro, 2: virgen madurando o en recuperación, 3: maduro, 4: hidratado, 5: en regeneración. Valores obtenidos en el estuario de Laraquete a lo largo de las estaciones del año (invierno, primavera, verano y otoño).

El Índice Gonadosomático (IGS) promedio alcanzó su valor máximo en primavera, especialmente en hembras (~7,5), seguido de una fuerte disminución en verano (~1) y una leve recuperación en otoño (~2). En machos, los valores fueron más estables (~4 en invierno y primavera), con una baja en verano (~2) y sin datos en otoño. En general se observa en el tiempo una alta variabilidad del IGS entre individuos.

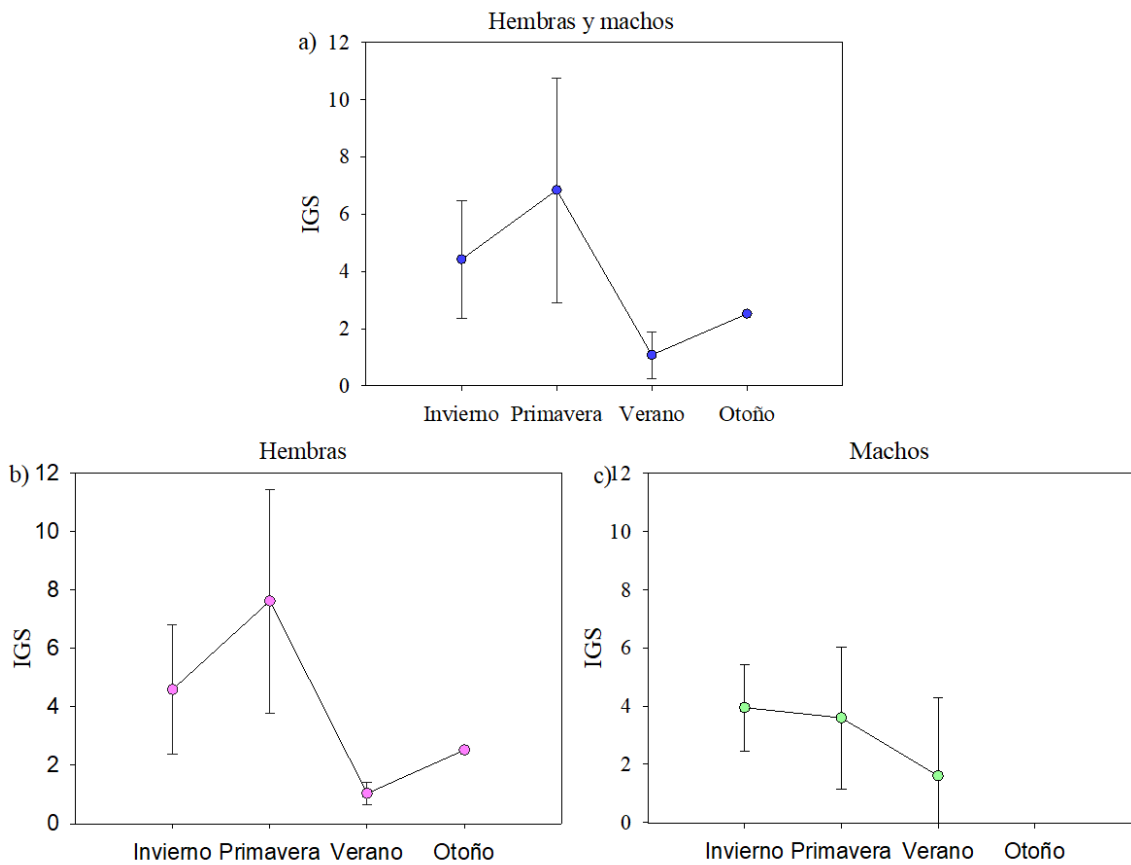


Figura 14. Índice Gonadosomático (IGS) promedio (+/- DE) por estación del año (invierno, primavera, verano y otoño) para hembras, machos y el total de individuos de *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete.

Estado de condición

El Índice Hepatosomático (IHS) promedio se mantuvo relativamente estable en hembras, machos y juveniles ($\sim 1,2$), con un leve aumento hacia verano y una baja en otoño (Figura 15a). En hembras (Figura 15b), el IHS fluctúa entre $\sim 1,2$ y $\sim 1,4$. En machos (Figura 15c), el IHS aumentó en primavera ($\sim 1,6$) y descendió ligeramente en verano. En juveniles (Figura 15d), alcanzó su valor máximo en primavera ($\sim 1,8$) y disminuyó drásticamente en verano ($\sim 0,7$), sin datos para invierno, ni otoño. En general se observa en el tiempo una alta variabilidad del IHS entre individuos.

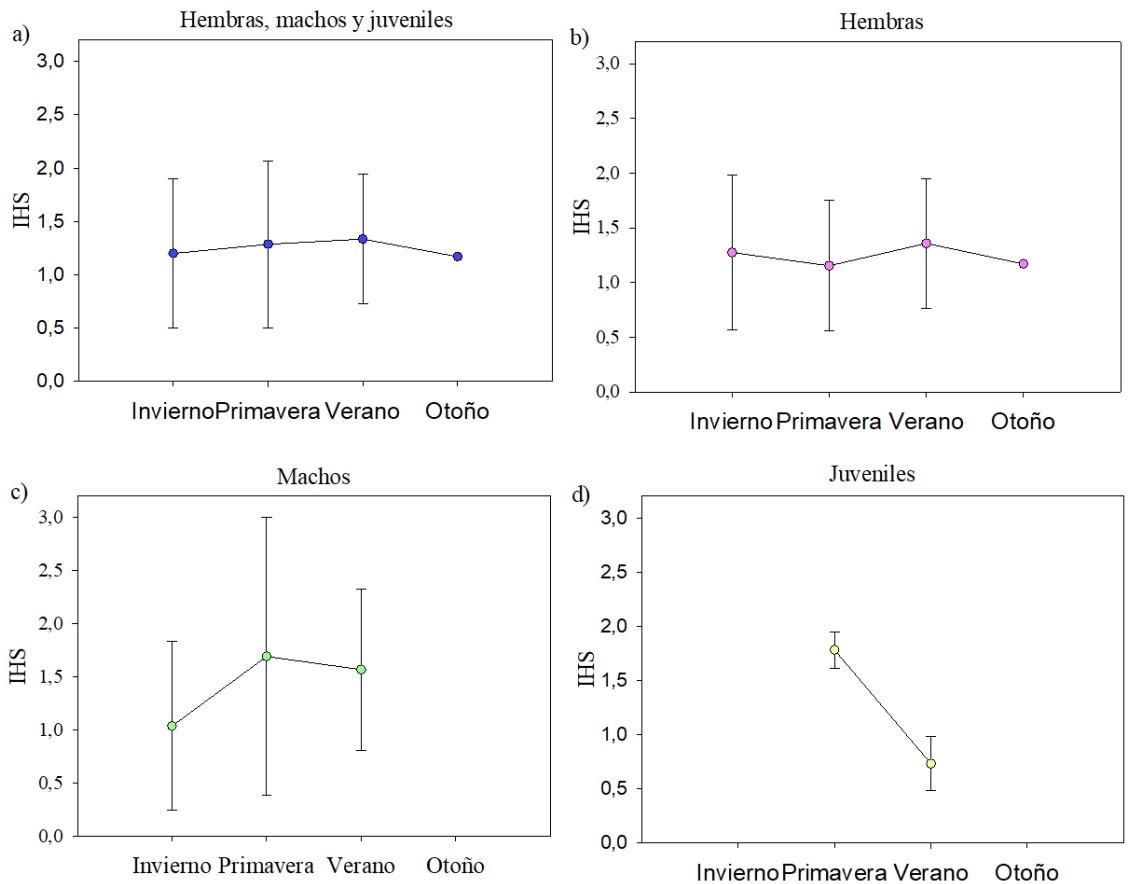


Figura 15. Índice Hepatosomático (IHS) promedio (\pm DE) por estación del año (invierno, primavera, verano y otoño) en *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete.

El índice de condición de Fulton (k) promedio total se mantuvo relativamente estable entre las diferentes estaciones del año (Figura 16a). En hembras (Figura 16b), el valor más alto se registró en primavera ($\sim 0,88$) y el más bajo en verano ($\sim 0,79$). En machos (Figura 16c), k fue mayor en invierno ($\sim 0,85$) y disminuyó en primavera y verano. En juveniles (Figura 16d), se observó un aumento desde primavera ($\sim 0,7$) a verano ($\sim 0,8$), sin datos para otoño. En general se observa en el tiempo una alta variabilidad del k entre individuos.

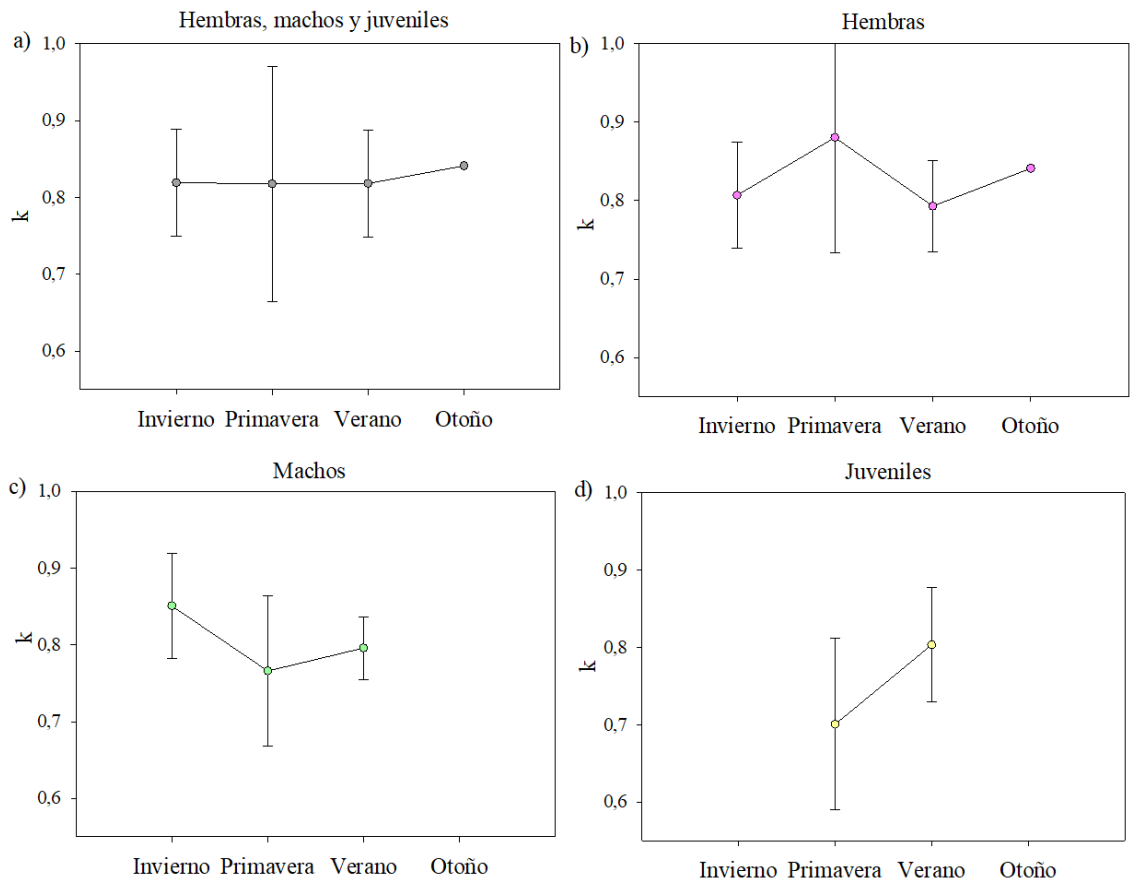


Figura 16. Índice de condición de Fulton (k) promedio (\pm DE) por estación del año (invierno, primavera, verano y otoño) para hembras, machos, juveniles y todos los individuos de *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete.

Análisis estadísticos multivariados

El Análisis Métrico de Escalamiento Multidimensional (mMDS) (Figura 17) permitió visualizar diferencias multivariadas entre los sitios de muestreo a partir de las condiciones hidrográficas en el estuario de Laraquete, incluyendo las cuatro estaciones del año. Los sitios E2-E3 (azul) y M1 (rojo) presentan un solapamiento, indicando mayor similitud en sus condiciones hidrográficas. En contraste, el sitio M2 (verde) se agrupa de forma separada, mostrando una diferenciación ambiental con respecto a E2-E3 principalmente.

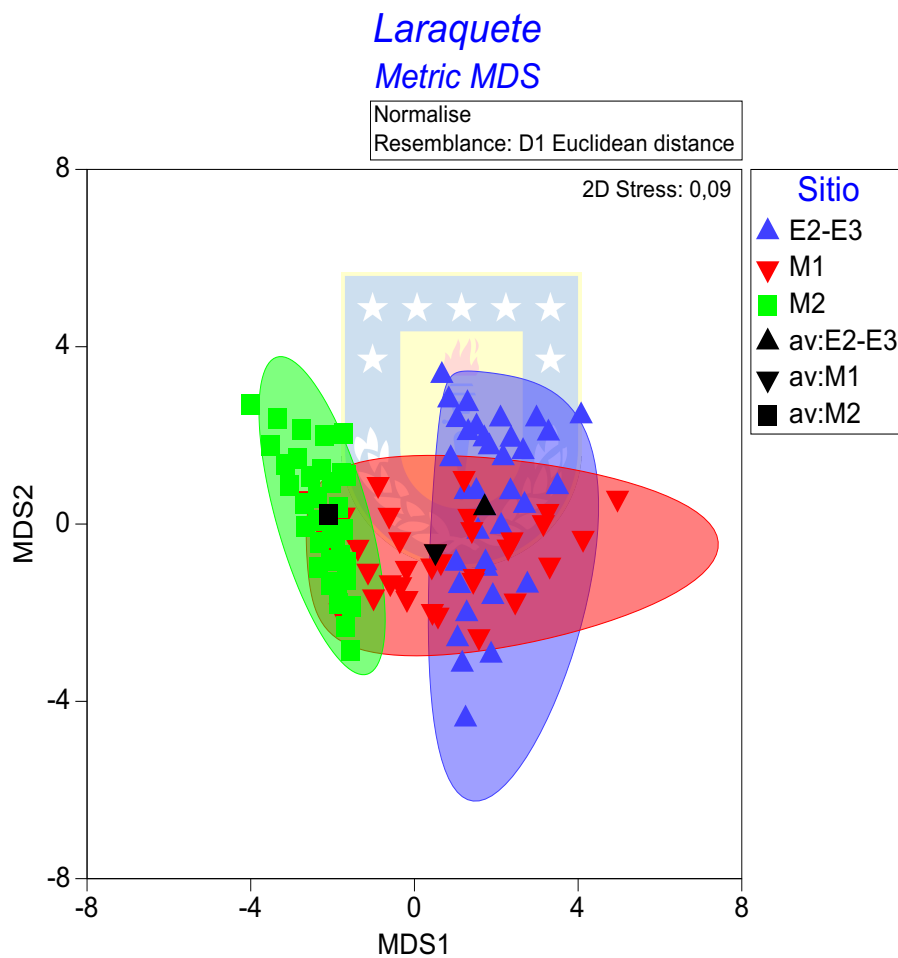


Figura 17. Análisis métrico de escalamiento multidimensional (mMDS) basado en el conjunto de variables hidrográficas registradas en el estuario de Laraquete, agrupadas por sitio de muestreo para las cuatro estaciones del año. Se entrega el centroide y el pseudo-intervalo de confianza al 95%.

El análisis Métrico de Escalamiento Multidimensional (mMDS) (Figura 18) permitió visualizar la diferenciación de las estaciones del año según las condiciones hidrográficas del estuario de Laraquete, incorporando todos los sitios de muestreo. Las estaciones de invierno (azul) y otoño (rosado) se posicionaron hacia la izquierda del gráfico, con una separación entre ambas. Primavera (rojo) y verano (verde) se ubicaron hacia la derecha, con cierto grado de solapamiento, lo que indica condiciones ambientales más similares. En conjunto, el gráfico refleja una diferenciación estacional, con una mayor proximidad entre primavera y verano, y una mayor separación de invierno respecto a las otras estaciones.

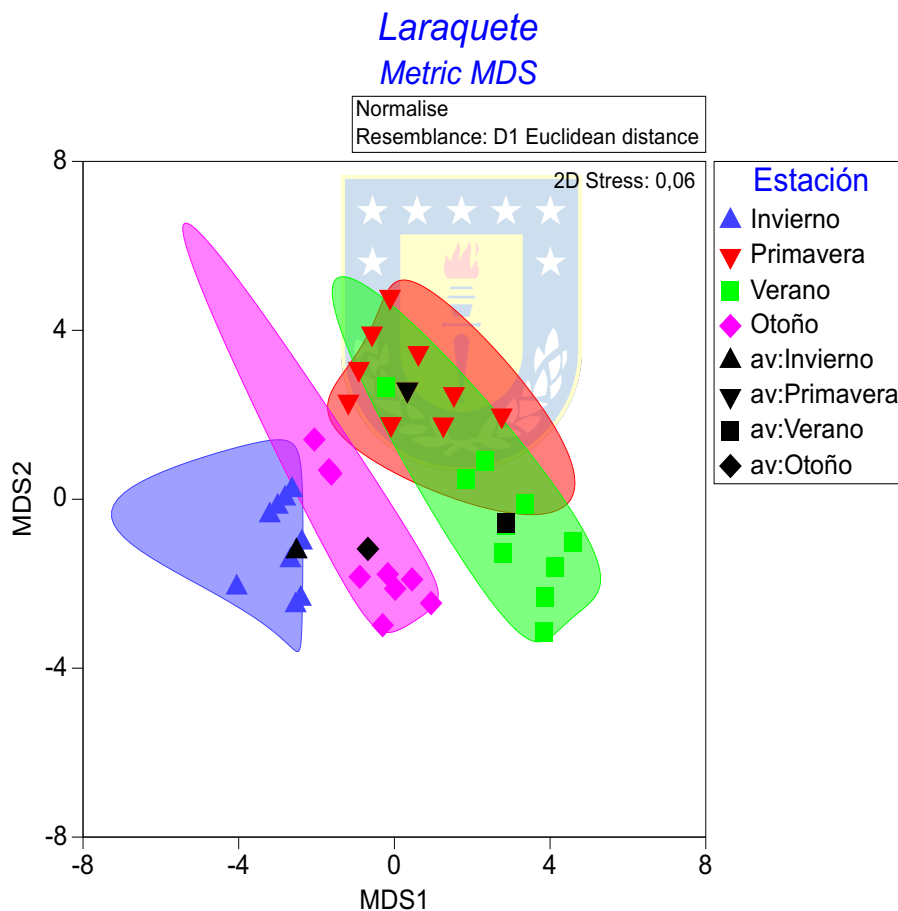


Figura 18. Análisis métrico de escalamiento multidimensional basado en el conjunto de variables ambientales registradas en el estuario de Laraquete, agrupadas por estación del año para todos los sitios de muestreo. Se entrega el centroide y el pseudo-intervalo de confianza al 95%.

El análisis nMDS evidenció una separación entre sitios de muestreo y estaciones del año en función de las condiciones ambientales hidrográficas y la abundancia de *O. mauleanum* (Figura 19). Las mayores capturas de *O. mauleanum* (CPUE) se registraron en el sitio M2 durante el verano (M2-V). Los sitios M1, M2 y E2-E3 durante invierno (M1-I, M2-I y E2-E3-I) se agruparon en la zona inferior derecha del gráfico, asociados a condiciones de baja salinidad, menor temperatura y altos niveles de oxígeno disuelto. En cambio, las muestras de primavera (M1-P, M2-P y E2-E3-P) se ubicaron en la zona superior derecha, caracterizadas por un aumento de la temperatura. Las variables correspondientes al verano (M2-V y M1-V) se distribuyeron en la parte superior del gráfico, con mayor dispersión en relación con las condiciones hidrográficas y asociadas a ambientes más cálidos y con menor concentración de oxígeno disuelto.

Los datos de marea registrados durante cada estación del año permitieron observar una influencia directa sobre los niveles de salinidad en los diferentes sitios de muestreo. Durante las fases de marea alta o ascendente, la salinidad tendió a aumentar, especialmente en los sectores más cercanos al mar (E2-E3), mientras que, en marea baja, los valores disminuyeron, reflejando una mayor influencia de agua dulce. Esta dinámica fue particularmente observada en el sitio M2, donde, se observaron importantes fluctuaciones salinas asociadas al ciclo mareal. Por ejemplo, en verano, durante el descenso de la marea, M2 presentó salinidades entre 6 y 8 PSU, condición salobre que coincidió con los mayores valores de abundancia (CPUE) de *O. mauleanum*.

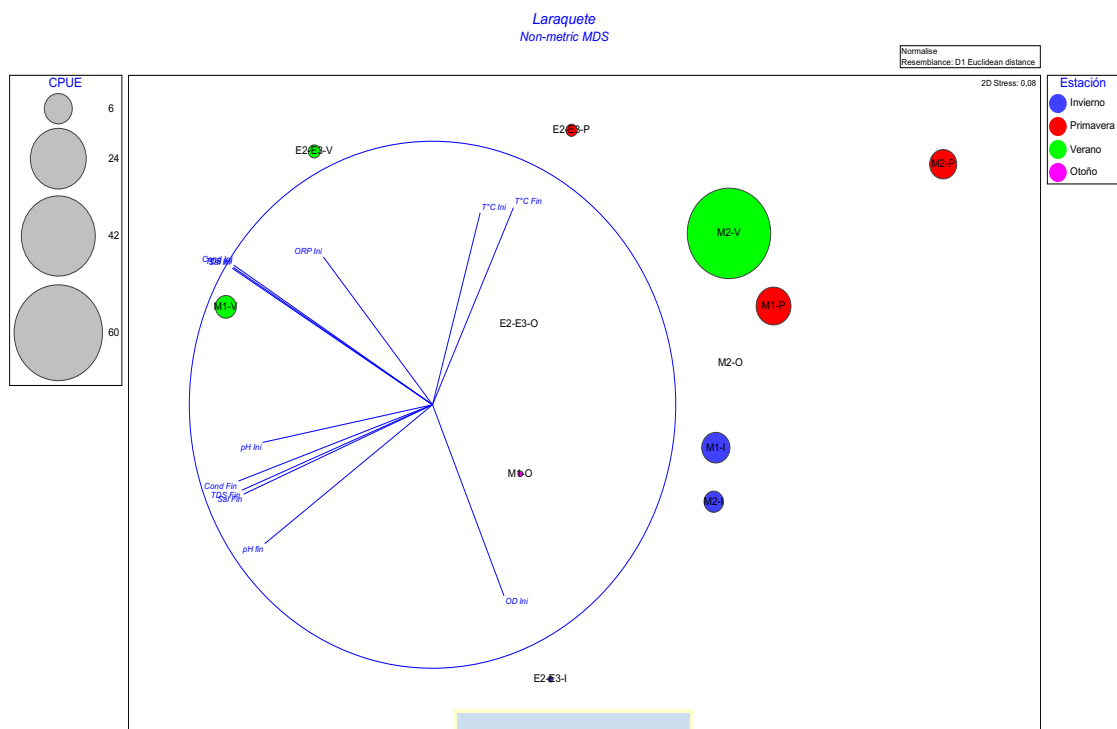


Figura 19. Análisis no métrico de escalamiento multidimensional (nMDS) para los sitios y estaciones de muestreo en el estuario de Laraquete, basado en el conjunto de variables hidrográficas normalizadas. Las burbujas representan la CPUE (captura por unidad de esfuerzo) de *O. mauleanum* para cada sitio de muestreo y estación del año.

El análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) (Figura 20) corresponde a una representación métrica del nMDS presentado en la Figura 19. Al incorporar valores porcentuales que cuantifican la disimilitud entre estaciones y sitios de muestreo en función de las variables hidrográficas, por medio de la varianza total explicada. El análisis PCO entrega un 67,4 % de explicación de la varianza total. Al igual que en el nMDS, las mayores capturas (CPUE) de *O. mauleanum* se concentraron en M2 durante el verano, mientras que la distribución de los puntos refleja la diferenciación ambiental entre estaciones del año y sitios de muestreo. La inclusión de coordenadas numéricas permite interpretar con mayor precisión las distancias relativas entre los diferentes grupos, dando cuenta de la influencia mareal en todos los períodos de muestreo.

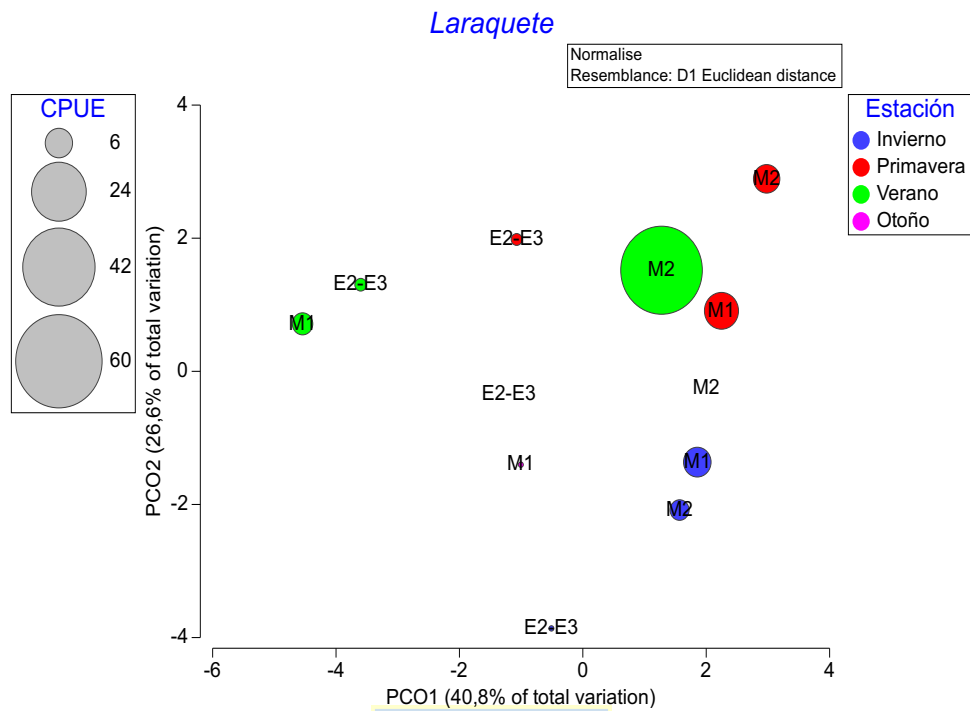


Figura 20. Análisis de Ordenación de Coordenadas Principales (PCO) para los sitios y estaciones de muestreo en el estuario de Laraquete, basado en el conjunto de variables hidrográficas normalizadas. El tamaño de las burbujas representa la CPUE (captura por unidad de esfuerzo de *O. mauleanum*).

El análisis DistLM realizado para el conjunto de variables hidrográficas evidenció que la variable individual con mayor influencia sobre la variación de la abundancia (CPUE) de *O. mauleanum* fue la temperatura inicial del agua ($T^{\circ}C$ Ini), con un valor de $R^2 = 0,36176$ y un Pseudo-F (5,66), $P = 0,003$ (Tabla 6).

Al comparar todos los modelos estimados considerando las variables hidrográficas en conjunto y por separado (Tabla 7), se identificaron múltiples combinaciones con alto valor explicativo de acuerdo con el índice de Akaike (AICc). El modelo de mejor ajuste fue el que incluyó las variables 1, 6, 9 y 13 (Salinidad inicial, pH final, Conductividad inicial y ORP inicial), al presentar el menor valor de AICc. Sin embargo, el modelo compuesto por sólo tres variables (1, 9 y 13) destacó por ser el más parsimonioso con un ajuste igualmente

sólido basado en el índice Akaike, lo que lo posiciona como la opción óptima con menor complejidad para explicar la variación espacial y temporal de la abundancia de *O. mauleanum* en función del conjunto de variables ambientales hidrográficas (Tabla 8).

Tabla 6. Resultados del análisis Distance-based Linear Model (DistLM) que relaciona cada variable hidrográfica con la abundancia (CPUE) de *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete para todos los sitios de muestreo y estaciones del año. En negrita valor $p < 0,05$.

Variable	SS (trace)	Pseudo-F	P	Prop.
Sal Ini	65,902	0,27505	0,812	0,026769
Sal Fin	92,38	0,38987	0,667	0,037524
T°C Ini	890,63	5,6682	0,003	0,36176
T°C Fin	321,33	1,5012	0,202	0,13052
pH Ini	430,62	2,1200	0,109	0,17491
pH fin	303,46	1,4059	0,210	0,12326
OD Ini	161,85	0,70366	0,270	0,06574
OD Fin	5,3658	0,021843	0,783	0,0021795
Cond Ini	45,42	0,18796	0,843	0,018449
Cond Fin	66,173	0,27621	0,765	0,026879
TDS Ini	56,135	0,23333	0,809	0,022801
TDS Fin	80,177	0,33663	0,706	0,032567
ORP Ini	190,92	0,84067	0,352	0,077548
ORP Fin	25,686	0,10543	0,816	0,010433

Tabla 7. Resultados análisis DistLM. Modelos obtenidos por número de variables hidrográficas seleccionadas para explicar la variación en la abundancia (CPUE) de *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete. La variable 1 corresponde a la salinidad al inicio del muestreo, y la 2 a la salinidad al final. Las variables 3 y 4 representan la temperatura al inicio y al final, respectivamente. El pH fue registrado como variable 5 al inicio y como variable 6 al final. Las variables 7 y 8 corresponden al oxígeno disuelto. La conductividad se encuentra numerada como variables 9 y 10 para el inicio y final del muestreo, mientras que los sólidos disueltos totales (TDS) corresponden a las variables 11 y 12. Finalmente, el potencial de óxido-reducción (ORP) fue asignado a las variables 13 y 14.

AICc	R²	RSS	No. Vars. Seleccionadas
63,830	0,36176	1571,3	1 3
61,954	0,59785	990,05	2 3;4
58,796	0,79133	513,74	3 1;9;13
57,221	0,89161	266,85	4 1;6;9;13
62,977	0,9159	207,05	5 1;5;9;10;13
65,489	0,96549	84,97	6 1;5;6;8;9;11
70,717	0,99147	21,002	7 1;8-13
98,790	0,99774	5,5701	8 1;2;6-9;11;14
177,59	0,99997	0,066118	9 1-3;5;6;8;11;13;14
∞	0,93882	150,61	10 1-10

Tabla 8. Resultados análisis DistLM. Mejores modelos considerando las variables ambientales en conjunto en función de la variación en la abundancia (CPUE) de *O. mauleanum* de acuerdo con el índice AICc. La variable 1 corresponde a la salinidad al inicio del muestreo, y la 2 a la salinidad al final. Las variables 3 y 4 representan la temperatura al inicio y al final, respectivamente. El pH fue registrado como variable 5 al inicio y como variable 6 al final. Las variables 7 y 8 corresponden al oxígeno disuelto. La conductividad se encuentra numerada como variables 9 y 10 para el inicio y final del muestreo, mientras que los sólidos disueltos totales (TDS) corresponden a las variables 11 y 12. Finalmente, el potencial de óxido-reducción (ORP) fue asignado a las variables 13 y 14. En negrita modelo más parsimonioso.

AICc	R ²	RSS	No. Vars. Seleccionadas
57,221	0,89161	266,85	4 1;6;9;13
58,796	0,79133	513,74	3 1;9;13
59,522	0,8687	323,25	4 1;3;9;13
59,597	0,86788	325,27	4 1;9;12;13
59,754	0,86614	329,55	4 1;9;10;13
59,836	0,86522	331,82	4 1;2;9;13
60,391	0,85885	347,51	4 1;8;9;11
60,645	0,85582	354,95	4 1;5;9;13
61,876	0,84024	393,3	4 1;7;9;13
61,954	0,59785	990,05	2 3;14

DISCUSIÓN

El presente estudio proporciona información sobre la ecología espacial de la especie *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete, revelando variaciones espaciales y estacionales en su abundancia, condición fisiológica y estado reproductivo. Si bien el diseño de muestreo cubre sólo un ciclo anual, los resultados permiten identificar algunos patrones que coinciden con los periodos reproductivos y probablemente de mayor productividad biológica del ambiente, particularmente en primavera y verano. También se identifican algunas características relevantes de las condiciones hidrográficas del estuario Laraquete y su relación con los ciclos mareales. A continuación, se discuten en detalle los resultados obtenidos, destacando las implicancias ecológicas y de conservación.

Abundancia espacial y temporal

La ausencia total de individuos de *O. mauleanum* en el sitio L, ubicado a aproximadamente a 1 km de la línea de costa, podría explicarse por sus condiciones ambientales particulares, caracterizadas por la presencia constante de agua dulce y una muy baja influencia mareal en comparación con los otros sitios muestreados. Este sector presenta una mayor pendiente, es decir, una mayor altura sobre el nivel del mar, lo que limitaría el ingreso de agua salada y explicaría los valores de salinidad cercanos a cero registrados durante todo el año. Además, es importante considerar que se trata de una zona con fuerte intervención antrópica, al estar rodeada de viviendas, lo que podría generar otros impactos adicionales sobre este hábitat.

En cambio, los sitios M1 y M2, a más de 1 km de distancia de la barra estuarina, mostraron valores altos de captura, especialmente en primavera y verano, coincidiendo con el periodo reproductivo de la especie. Esto puede atribuirse a condiciones óptimas en esta zona del río Laraquete para su reproducción y el rol de estas zonas como áreas de crianza. La presencia de juveniles en primavera y verano refuerza esta observación. Coincidiendo con estudios previos, Rojas *et al.* (2015) quienes reportaron que aproximadamente el 50 % de la biomasa total de *O. mauleanum* se registró en el mes de noviembre, y que entre noviembre y diciembre se detectó una alta abundancia de larvas, lo que indica una intensa

actividad reproductiva durante ese periodo. Por otra parte, el estudio de Valdovinos *et al.* (2012) reportó una mayor abundancia en el mes de agosto (invierno), sin embargo, se señala que la especie estuvo prácticamente ausente, ya que sólo se capturaron 12 individuos, pese al considerable esfuerzo de muestreo realizado.

Los estuarios son ecosistemas altamente productivos y complejos, influenciados por la mezcla del aporte de agua dulce de los ríos, la acción de las mareas y el ingreso de agua marina, generando gradientes de salinidad, temperatura y oxígeno disuelto (Hernández *et al.*, 2024; Day *et al.*, 2012; Valdovinos & Stuardo, 1989).

La mayor abundancia de *O. mauleanum* observada en primavera y verano podría explicarse por el aumento en la productividad biológica, favorecida por temperaturas más altas del agua dulce de origen continental, una mayor radiación solar, el aumento de la surgencia costera, procesos que en conjunto favorecerían la producción primaria (Day *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2024) y, por lo tanto, una mayor disponibilidad de alimento en la zona estuarina del río Laraquete. En contraste, durante el invierno, el aumento en la descarga de agua dulce desde los ríos genera una disminución en la temperatura y salinidad del estuario, mientras que la menor radiación solar y una disminución en la intensidad de la surgencia pueden disminuir la productividad del estuario (Salamanca *et al.*, 2024; Hernández *et al.*, 2024). Esto podría influir en los individuos para desplazarse hacia zonas más protegidas o con condiciones más favorables para su supervivencia.

Crecimiento

La relación longitud-peso de *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete mostró un crecimiento alométrico, con variaciones por estación del año, sexo y etapa de vida. Para la población total, se observó un coeficiente 'b' de 2,764, lo que indica un crecimiento alométrico negativo levemente menor que 3. Este tipo de crecimiento implica que a medida que los ejemplares de *O. mauleanum* aumentan su longitud, su ganancia de peso es menor de lo esperado (Cifuentes *et al.*, 2012).

En invierno, tanto machos como hembras mostraron valores más cercanos al tipo de crecimiento alométrico negativo ($b < 3$). En cambio, los juveniles mostraron un crecimiento alométrico positivo ($b > 3$), es decir, una mayor ganancia de peso en proporción a su longitud. Esto sugiere un crecimiento más rápido en peso durante las primeras etapas post-eclosión, posiblemente debido a una alta disponibilidad de alimento durante este período (Cifuentes *et al.*, 2012). Esta fase de crecimiento acelerado es fundamental para la supervivencia de las primeras etapas de la vida de los peces, ya que les permite alcanzar rápidamente un tamaño menos vulnerable a la depredación.

Estudios previos han evidenciado diferentes patrones de crecimiento de *O. mauleanum*. Cifuentes *et al.* (2012), en el río San Pedro (cuenca del Valdivia), encontraron un valor 'b' de 2,93, lo que indicaría un crecimiento alométrico levemente negativo, similar a los resultados obtenidos en este estudio. En cambio, Klink & Eckmann (1985) observaron coeficientes 'b' superiores en el Río Valdivia ($b = 3,26$), Río Calle Calle ($b = 3,32$) y Lago Calafquén ($b = 3,20$), indicando un crecimiento alométrico positivo mayor. Por otra parte, Rojas *et al.* (2015) obtuvieron un valor de 'b' de 2,15, con un ajuste de los datos de 0,58, indicando una alta dispersión en estos. Estos autores indicarían que posiblemente el muestreo pudo haber sido afectado por los artefactos de pesca utilizados.

Estas diferencias en la relación longitud-peso pueden estar relacionadas con las variables ambientales de cada zona, como la salinidad, temperatura y disponibilidad de recursos, las cuales pueden influir en el crecimiento de los individuos a escalas espaciales más pequeñas.

Reproducción

Se observó un dominio de hembras en las cuatro estaciones del año, con una proporción especialmente alta durante el verano (~ 83 %). Este dominio de hembras en las capturas es consistente con lo reportado para *O. mauleanum*. Klink & Eckmann (1985) evidenció que la proporción de hembras y machos es 3:2. Esta diferencia puede explicarse por diferencias en el crecimiento, la mortalidad y/o costes energéticos de la reproducción

(Araújo *et al.*, 2019). Para obtener una mayor fecundidad, las hembras presentan una cavidad peritoneal más amplia, lo que les permite colocar una mayor cantidad de huevos. En consecuencia, tienden a alcanzar tamaños corporales mayores (Araújo *et al.*, 2019).

En especies del mismo género, como *Odontesthes regia*, se ha reportado una mayor proporción de hembras maduras en las capturas, lo que podría reflejar una mayor disponibilidad de hembras adultas en las zonas de pesca. Por ejemplo, en la zona de Cochamó, al inicio de la temporada de pesca (mes de mayo), más del 80 % de los individuos capturados correspondían a hembras. De manera más general, para el área de estudio de dicha especie, se registró una proporción de hembras del 54,8 % (Pavez *et al.*, 2008).

En relación con los estados de madurez sexual (EMS), se observó una progresión temporal: las hembras pasaron del estado de madurez 3 (maduro) en invierno, al estado de madurez 3–4 (maduro e hidratado) en primavera, y finalmente el estado de madurez 5 (en regeneración) en verano. En cambio, los machos estuvieron constantemente en un estado de madurez sexual 2 – 3 – 4 (virgen madurando y en recuperación; maduro e hidratado, respectivamente) en invierno y primavera. Esta coincidencia con la estación de primavera sugiere que la especie ajustaría su reproducción a la época en que hay mayor alimento disponible en el ambiente, lo que aumenta las posibilidades de que las larvas y juveniles sobrevivan (Rojas *et al.*, 2015; Flores & Smith, 2010).

Estos resultados respaldan la existencia de una temporada reproductiva primaveral extendiéndose hasta verano en el estuario de Laraquete. La mayor proporción de individuos en estados de madurez sexual avanzados (EMS 3–4) durante esta estación, junto con el valor más alto del Índice Gonadosomático (IGS) en hembras ($7,6 \pm 3,8$), evidencian un máximo en la actividad gonadal en este período del año. En cambio, en verano predomina el estado de regeneración (EMS 5), lo que indica una fase post-reproductiva, evidenciando un patrón de especies desovantes parciales que liberan gametos en múltiples eventos durante una temporada extendida (Pauly *et al.*, 2023; Araújo *et al.*, 2019; Flores & Smith, 2010). Esto ha sido documentado en otras localidades del

centro-sur de Chile, como el estuario del río Andalién y el sistema Calle-Calle/Valdivia, en donde el desove de *O. mauleanum* ocurre entre octubre y febrero (Klink & Eckmann, 1985; Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

La presencia elevada de juveniles en primavera y verano sugiere la existencia de un evento de reclutamiento estacional posterior al desove. Este hallazgo coincide con registros previos que documentan la presencia de larvas de *O. mauleanum* en otros estuarios durante estos meses (Klink & Eckmann, 1985).

Estado de condición fisiológica

En el estuario de Laraquete, el Índice Hepatosomático (IHS) en *O. mauleanum*, no mostró grandes variaciones a lo largo del año. Sin embargo, se observó un leve aumento en primavera y verano. Según lo registrado en la literatura, existiría una relación inversa entre el IHS y el Índice Gonadosomático (IGS), donde un aumento del IGS, que está asociado al desarrollo gonadal, iría acompañado de una disminución del IHS, ya que las reservas energéticas serían asignadas hacia la reproducción y no hacia el crecimiento somático o metabolismo (Medina *et al.*, 2019; González & Oyarzún, 2002). Si bien, este patrón es ampliamente documentado en peces, los resultados obtenidos en el presente estudio dan cuenta que tanto el IHS como el IGS presentaron valores elevados en primavera. Esto sugiere que el crecimiento de las gónadas no afectó la capacidad del hígado para almacenar reservas energéticas (Mendez *et al.*, 2024), posiblemente favorecidos por una alta disponibilidad de alimento para esta especie en el estuario Laraquete durante ese período y, por lo tanto, favoreciendo una continua ingesta de alimento, permitiendo a los peces mantener un buen estado fisiológico incluso durante el proceso reproductivo.

En cuanto al Índice de Condición de Fulton (k), este se mantuvo estable entre las cuatro estaciones del año. Este resultado evidencia que, en general, los individuos de *O. mauleanum* mantuvieron un buen estado corporal independientemente de la etapa del ciclo reproductivo o de las condiciones ambientales estacionales, concordante con lo registrado en el IHS.

Cifuentes *et al.* (2012) registraron que el Índice de Condición de Fulton tuvo un valor máximo cercano a 1,3 en el mes de marzo para *O. mauleanum* en el río San Pedro. Sin embargo, debido a las bajas capturas durante los otros periodos del año, no fue posible obtener una variación anual. Por su parte, Rojas *et al.* (2015) obtuvieron valores bajos del índice en enero y marzo, que pudo estar relacionado con el bajo caudal registrado en ese periodo en el río Mataquito. Posteriormente, entre agosto y noviembre hubo un incremento en este índice.

Relación entre las variables hidrográficas y la abundancia

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que las condiciones hidrográficas del estuario de Laraquete son altamente variables, he influirían significativamente en la ecología espacial de *O. mauleanum*, probablemente condicionando su distribución y abundancia.

Las mayores abundancias (CPUE) de *O. mauleanum* se registraron en ambientes con salinidades bajas, pero nunca nulas, y temperaturas elevadas, condiciones que caracterizan ambientes de transición donde se mezclan aguas dulces y marinas producto de las mareas. Este tipo de hábitat parece ser especialmente favorable para *O. mauleanum* (Ayala-Pérez *et al.*, 2012). Se destaca particularmente el sitio M2 durante el verano, que presentó los valores más altos de CPUE, asociados a una salinidad entre 6 y 8 psu, una temperatura cercana a los 17 °C, oxígeno disuelto entre 6 y 9 mg/L y una marea en fase descendente, lo que sugiere un ingreso reciente de agua marina hasta esta zona del río Laraquete (Ver Anexo 1, Figura 1). En particular, los valores de oxígeno disuelto registrados en el estuario se mantuvieron siempre elevados durante todo el período de estudio, considerando que concentraciones menores a 2 mg L⁻¹ se reconocen como bajas (Salamanca *et al.*, 2024). Por lo tanto, esta variable no representó un factor limitante, ni tuvo una influencia significativa en la distribución y abundancia de *O. mauleanum*.

Además, el sitio M2-V compartió condiciones hidrográficas similares a las observadas en primavera, lo que podría explicar la presencia de los individuos en esta zona durante ambos periodos. En cambio, en sectores con salinidades extremadamente bajas (agua

dulce) o muy altas (agua marina), la abundancia fue considerablemente menor, lo que sugiere una preferencia por ambientes salobres intermedios. Es así como en el sitio L con características de agua dulceacuícola, a sólo un kilómetro de distancia de la desembocadura, nunca fueron capturados individuos de *O. mauleanum*. Patrón que debiera ser estudiada en mayor profundidad en futuros estudios.

Estos resultados coinciden con la idea de que las condiciones del ambiente, como la salinidad (producto de ciclos mareales) y la temperatura (de variación estacional) en los estuarios, influyen en la distribución y áreas en qué ciertas especies como *O. mauleanum* pueden residir y ser más abundantes, dependiendo de las características del hábitat (Colin *et al.*, 2012). En particular para el estuario de Laraquete, el análisis multivariado DistLM señala que la salinidad sería la variable que más explica los cambios de abundancia, medidos como CPUE, para todo el período de muestreo.

Si bien según Dyer (2000), García *et al.* (2012) y Pavez *et al.* (2008) reportan que *O. mauleanum* habita preferentemente en lagos y cursos superiores de ríos, es decir, exclusivamente en aguas dulceacuícolas, su presencia y notable abundancia en las zonas estuarinas de Laraquete sugieren una adaptación a aguas con condiciones de mayor salinidad en ambientes costeros. Esto coincide con los estudios de Klink & Eckmann (1985) y Zunino *et al.* (2009) quienes registraron la presencia de esta especie en aguas salobres de estuarios y desembocaduras de ríos en Valdivia y Valparaíso, respectivamente. Asimismo, Rojas *et al.* (2015) capturaron adultos y larvas de *O. mauleanum* en sectores con influencia marina del río Mataquito, Región del Maule, lo que corrobora su capacidad de habitar en ambientes de mayor salinidad.

Este patrón coincide con el ciclo reproductivo descrito para *O. mauleanum*, cuya actividad de desove se concentra en primavera y verano (Ministerio del Medio Ambiente, 2019), estaciones donde las temperaturas más cálidas parecen jugar un rol importante. Esto también se ve reflejado en el aumento del Índice Gonadosomático (IGS) durante dichos periodos y la presencia de juveniles, lo que sugiere que la temperatura del agua pudiera ser uno de los factores más influyentes en la reproducción de esta especie.

Conservación

El Ministerio del Medio Ambiente (2019) estima que la abundancia de *O. mauleanum* se ha reducido en un 46,5 %, según los índices de densidad registrados, además de evidenciarse una disminución en su área geográfica de distribución.

Habit *et al.* (2006) destacan la importancia de avanzar en el estudio del subgénero Cauque en Chile, al cual pertenece *O. mauleanum*, especialmente en lo que respecta a su taxonomía y filogenia. Asimismo, los autores subrayan la necesidad de profundizar en el conocimiento de su biología y ecología, mediante estudios cuantitativos que permitan comprender mejor su dinámica poblacional y su relación con el ambiente.

La escasez de información científica publicada sobre *O. mauleanum*, dificulta la generación de estrategias de conservación. Los resultados obtenidos en este estudio aportan información nueva y relevante al conocimiento ecológico, reproductivo y de condición de esta especie endémica y vulnerable (Ministerio del Medio Ambiente, 2019; Habit & Victoriano, 2012), permitiendo identificar zonas para su reproducción y desarrollo, y entregando así mismo conocimiento relevante de los estuarios como hábitats funcionales para su ciclo de vida, especialmente durante el desove y las etapas tempranas del desarrollo, especialmente para la zona estuarina de Laraquete.

En el caso de *O. mauleanum*, las amenazas a nivel nacional incluyen la alteración y pérdida de hábitat estuarino, la contaminación del agua, la sobreexplotación, los incendios forestales, la artificialización del ambiente y la introducción de especies exóticas, particularmente salmónidos depredadores (Ministerio del Medio Ambiente, 2019; Habit *et al.*, 2024; Zunino *et al.*, 2009). En el estuario de Laraquete, no existe un estudio específico que describa las amenazas que pueda enfrentar esta especie. En cuanto a su extracción, no existen registros de desembarque para esta especie en Chile (SERNAPESCA, 2025). En este sentido, la información obtenida en este estudio permite sugerir medidas de conservación orientadas a resguardar su ciclo de vida. Una de ellas sería la implementación de vedas reproductivas en primavera y verano, periodos en los que se concentra la reproducción y abundancia de juveniles. No obstante, esto requiere ser respaldada por investigaciones específicas y de largo plazo que permitan obtener con

mayor precisión sus periodos críticos de protección. Asimismo, se recomienda profundizar en el análisis de la interacción con especies introducidas, como la trucha café (*Salmo trutta*) y Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), que podrían representar una amenaza adicional por competencia o depredación (Habit *et al.*, 2024).

Herramientas como el análisis de la relación longitud-peso, los índices de condición, la proporción sexual y los patrones reproductivos temporales son esenciales para evaluar el estado fisiológico de los individuos y entender la dinámica poblacional de la especie (Cifuentes *et al.*, 2012). La protección de estuarios como el de Laraquete no sólo es vital para la conservación de *O. mauleanum*, sino también para la preservación de la biodiversidad y la ecología de los ecosistemas costeros del centro-sur de Chile.

Futuros trabajos

Como parte del trabajo futuro, se contempla la realización de estudios adicionales que permitan una comprensión más completa de la ecología de *O. mauleanum* en el estuario del río Laraquete. Este estudio se realizó sólo en un ciclo anual, lo que limita la exactitud para identificar patrones estacionales, por ello, sería recomendable realizar seguimientos poblacionales durante dos o más años para evaluar las tendencias observadas y determinar si las variaciones de abundancia, condición fisiológica y comportamiento reproductivo responden efectivamente a una dinámica estacional recurrente.

Para complementar la información obtenida, se sugiere incorporar en estudios futuros el análisis morfométrico de los ejemplares recolectados, con el fin de evaluar posibles variaciones morfológicas estacionales y espaciales entre sexos y etapas de vida. También sería recomendable realizar un análisis de contenidos estomacales y oferta ambiental de presas, lo que permitiría identificar y caracterizar la dieta de *O. mauleanum*, considerando posibles variaciones tróficas en función de la estacionalidad o de las condiciones ambientales locales. Asimismo, se podrían estudiar sus otolitos, con el objetivo de estimar la edad de los individuos y relacionarla con los patrones de crecimiento registrados y su fidelidad al estuario de Laraquete como área de residencia permanente o transiente.

A nivel ambiental, se sugiere analizar los sedimentos para describir la estructura del fondo estuarino, junto con la determinación del contenido de materia orgánica y potenciales contaminantes. Finalmente, identificar la fauna presente del zooplancton y macrofauna, lo que facilitaría una evaluación más completa de la oferta alimentaria y su relación con el uso del hábitat por parte de la especie.

Estas líneas de trabajo futuras permitirían abordar con mayor profundidad la ecología trófica, el crecimiento, la historia de vida y el uso del espacio por parte de *O. mauleanum*, así como su respuesta a factores ambientales locales y estacionales. En conjunto, estas investigaciones aportarían una comprensión más integral de los mecanismos ecológicos que regulan la distribución y dinámica poblacional de esta especie vulnerable, fortaleciendo así las bases científicas para su manejo y conservación en este y otros ecosistemas estuarinos.



CONCLUSIONES

El presente estudio aporta información sobre la ecología espacial y estacional del Cauque *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete, una especie endémica y vulnerable de Chile para la cual no existen muchos estudios científicos publicados.

Se observó una mayor abundancia de individuos durante la primavera y el verano, especialmente en el sitio M2, caracterizado por temperaturas elevadas y aguas salobres. Estas condiciones coinciden con el periodo reproductivo de la especie, lo que sugiere que dichas zonas actúan como áreas de desove y crianza. En contraste, durante el invierno y el otoño, la abundancia fue menor, posiblemente debido al aumento del caudal de agua dulce y a una disminución de la temperatura y salinidad.

Los análisis reproductivos revelaron un período de desove en primavera, evidenciado por altos valores del índice gonadosomático (IGS) y una alta proporción de hembras maduras, seguido de una etapa post-reproductiva en verano. La alta presencia de juveniles en primavera y verano respalda la existencia de un evento de reclutamiento estacional.

Respecto del crecimiento somático, se observó un patrón predominantemente alométrico levemente negativo en adultos, mientras que los juveniles presentaron un crecimiento mayor a 3, reflejando un crecimiento en peso acelerado en etapas tempranas. La condición fisiológica, evaluada a través del índice hepatosomático (IHS) e índice de condición de Fulton (k), se mantuvo estable a lo largo del año, sin evidencias de deterioro entre períodos de muestreo, por lo tanto, un buen estado corporal y nutricional durante todo el estudio.

Finalmente, los análisis estadísticos multivariados demostraron que las variables hidrográficas, en especial la temperatura y la salinidad, influirían significativamente en la presencia, distribución y abundancia de *O. mauleanum* en el estuario de Laraquete. Al tratarse de un ecosistema de transición, el estuario presenta cambios en las condiciones del agua influenciados por las descargas fluviales y la marea. La capacidad de esta especie para adaptarse a dicha variabilidad resulta crucial para su supervivencia.

Este hallazgo resalta la importancia ecológica del estuario de Laraquete como hábitat funcional para esta especie endémica y vulnerable, reforzando la necesidad de implementar medidas de conservación que resguarden estos ecosistemas críticos tanto para *O. mauleanum* como para otras especies residentes.



BIBLIOGRAFIA

- Araújo, F. G., Nascimento, A. A., Gomes, I. D., Sales, A., & Oliveira, B. A. C. D. (2019). Gonadal development and reproductive period of the characin *Astyanax aff. bimaculatus* (Characiformes: Characidae) in a tropical reservoir in southeastern Brazil. *Zoologia (Curitiba)*, 36, e30610. <https://doi.org/10.3897/zoologia.36.e30610>
- Ayala-Pérez, L. A., Terán-González, G. J., Flores-Hernández, D., Ramos-Miranda, J., & Sosa-López, A. (2012). Variabilidad espacial y temporal de la abundancia y diversidad de la comunidad de peces en la costa de Campeche, México. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(1), 63–78. <https://doi.org/10.3856/vol40-issue1-fulltext-6>
- Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortiz, N., Piedra, P., & Habit, E. (2012). Relación longitud-peso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)*, 76, 86–100. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382012000100008>
- Clarke, K. R., & Gorley, R. N. (2015). *PRIMER-v7: User manual/tutorial*. PRIMER-E Ltd., Plymouth, United Kingdom.
- Colin, N., Piedra, P., & Habit, E. (2012). Variaciones espaciales y temporales de las comunidades ribereñas de peces en un sistema fluvial no intervenido: Río San Pedro, cuenca del río Valdivia (Chile). *Gayana (Concepción)*, 76, 1–9. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382012000100001>
- Day, J. W., Crump, B. C., Kemp, W. M., & Yáñez-Arancibia, A. (2012). *Estuarine ecology* (2nd ed.). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118412787>
- Dyer, B. 2000. Systematic review and biogeography of the freshwater fishes of Chile. *Estudios Oceanológicos* 19:77– 98.
- Flores, H., & Smith, A. (2010). Biología reproductiva de *Graus nigra* (Perciformes, Kyphosidae) en las costas del norte de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 45, 659–670. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572010000300023>

- García, A., González, J., & Habit, E. (2012). Caracterización del hábitat de peces nativos en el río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)*, 76, 36–44. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382012000100005>
- González, P., & Oyarzún, C. (2002). Variabilidad de índices biológicos en *Pinguipes chilensis* Valenciennes 1833 (Perciformes, Pinguipedidae): ¿Están realmente correlacionados? *Gayana (Concepción)*, 66(2), 249–253. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382002000200013>
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), 993–1009. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x>
- Habit, E., & Victoriano, P. (2012). Composición, origen y valor de conservación de la ictiofauna del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chile). *Gayana (Concepción)*, 76, 10–23. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382012000100002>
- Habit, E., Dyer, B., & Vila, I. (2006). Estado de conocimiento de los peces dulceacuícolas de Chile. *Gayana (Concepción)*, 70(1), 100–113. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382006000100011>
- Habit, E., Górski, K., Vila, I., Manosalva, A., Díaz, G., Toledo, B., Rojas, P., & Zurita, A. (2024). The effects of anthropogenic pressures on native Chilean fish and lamprey fauna. *Gayana (Concepción)*, 88(1), 76–104. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382024000100076>
- Hernández, A., Inostroza-Michael, O., Salamanca, M., Chandía, C., Hernández-Miranda, E., Vergara, O. A., & González, C. L. (2024). Usos de la zona costera en el Golfo de Arauco: Importancia ambiental y ecológica. *Gayana (Concepción)*, 88(2), 138–153. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382024000200138>
- Kennish, M. J. (2002). Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environmental Conservation*, 29(1), 78–107. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000061>

- Klink, A., & Eckmann, R. (1985). Age and growth, feeding habits, and reproduction of *Cauque mauleanum* Steindachner, 1896 (Pisces: Atherinidae) in southern Chile. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 20(4), 239–249. <https://doi.org/10.1080/01650528509360672>
- Legendre, P., & Fortin, M. J. (1989). Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, 80(2), 107–138. <https://doi.org/10.1007/BF00048036>
- Lotze, H. K., Lenihan, H. S., Bourque, B. J., Bradbury, R. H., Cooke, R. G., Kay, M. C., Kidwell, S. M., Kirby, M. X., Knowlton, N., Pantos, O., Simonson, W., & Jackson, J. B. C. (2006). Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science*, 312(5781), 1806–1809. <https://doi.org/10.1126/science.1128035>
- Medina, M., Espinoza, Y., & Reyes, W. (2019). Índices gonadosomático y hepatosomático en relación con la maduración y muda del camarón *Cryphiops caementarius* del río Pativilca (Perú). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(3), 1018–1029. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i3.16028>
- Mendez, E., Albanesi, C., Michiels, M. S., López-Mañanes, A., & González-Castro, M. (2024). Analyses of body condition and digestive/metabolic parameters of *Odontesthes argentinensis* (Atherinopsidae) from Mar Chiquita Coastal Lagoon (Argentina) during different phases of ovarian development. *Neotropical Ichthyology*, 22, e230139. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2023-0139>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2019). Ficha de clasificación de *Odontesthes mauleanum* (Steindachner, 1896) [Basado en la 10ª sesión del Comité de Clasificación de 2013]. https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/10/Odontesthes_mauleanum_P03R4_RCE_CORREGIDO.pdf
- Parada, C., Sobarzo, M., Figueroa, D., & Castro, L. (2001). Circulación del Golfo de Arauco en un período de transición estacional: Un nuevo enfoque. *Investigaciones Marinas*, 29, 11–23.

- Pauly, D., Froese, R., Liang, C., Müller, J., & Sorensen, P. (2023). Post-spawning growth acceleration in fish as a result of reduced live weight and thus, increased food conversion efficiency. *Environmental Biology of Fishes*, 106(11), 2031–2043. <https://doi.org/10.1007/s10641-023-01471-4>
- Pavez, P., Plaza, G., Espejo, V., Dyer, B., Cerisola, H., Saavedra, J., Almanza, V., & Matamala, M. (2008). Estudio biológico-pesquero del pejerrey de mar en la X Región (Informe final, Proyecto FIP N° 2006-58). Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Estudio y Documentación. 132 pp.
- Rojas Venegas, P., Colnot Biehl, T., Muñoz Torres, C., & Espinoza Alvarado, C. (2015). Informe final: Proyecto “Repoblación de pejerrey nativo en el río Mataquito”. Instituto de Fomento Pesquero
- Ruiz V & Marchant M. 2004. Ictiofauna de aguas continentales chilenas. Universidad de Concepción. Departamento de Zoología. 356 pp.
- Salamanca, M., Bermedo, L., Chandía, C., Hernández, A., & Hernández-Miranda, E. (2024). Physical-chemical conditions in coastal waters of the Gulf of Arauco. *Gayana (Concepción)*, 88(2), 172–194. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382024000200172>
- SERNAPESCA, 2025. Anuario Estadístico de Pesca y Acuicultura 2024. Ministerio de Economía, Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura. <https://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/anuarios-estadisticos-de-pesca-y-acuicultura/>
- Sobarzo, M., Figueroa, M., & Djurfeldt, L. (2001). Upwelling of subsurface water into the rim of the Biobío submarine canyon as a response to surface winds. *Continental Shelf Research*, 21(3), 279–299. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(00\)00088-2](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(00)00088-2)
- Valdovinos, C., Habit, E., Jara, A., Piedra, P., González, J., & Salvo, J. (2012). Dinámica espaciotemporal de 13 especies de peces nativos en un ecotono lacustre-fluvial de la cuenca del río Valdivia (Chile). *Gayana (Concepción)*, 76, 1–9. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382012000100001>

Valdovinos, J., & Stuardo, C. (1989). Estuarios y lagunas costeras: Ecosistemas importantes del Chile central. *Ambiente y Desarrollo*, 5, 107–115.

Vergara, O. A., Contreras-Rojas, J., Muñoz, R., Bermedo, L., Sobarzo, M., Saldías, G. S., Chandía, C., Hernández, A., Salamanca, M., Hernández-Miranda, E. (2024). Seasonal hydrographic changes along the Gulf of Arauco (37° S) coast. *Gayana*, 88(2), 154–171. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382024000200154>

Zunino, S., Aliaga, C., & Da Venezia, P. (2009). Comunidades de peces en desembocaduras de ríos y esteros de la Región de Valparaíso, Chile central. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1), 123–130. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572009000100012>

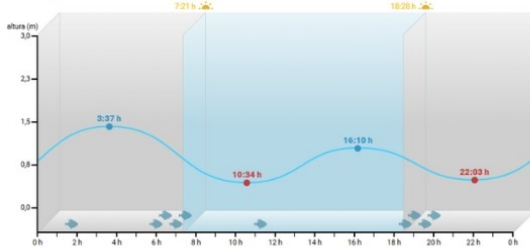


ANEXO 1

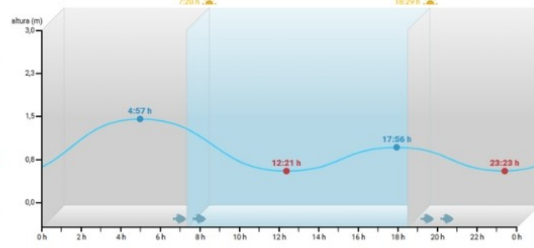
Ciclos mareales, variables ambientales en función de la CPUE y análisis PCA

Invierno

26 agosto 2024

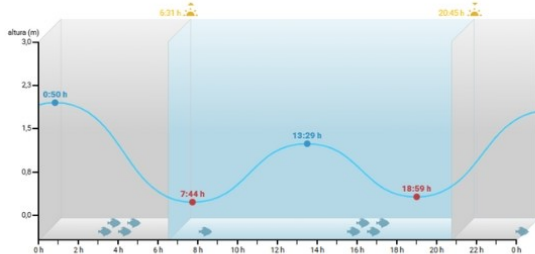


27 agosto 2024

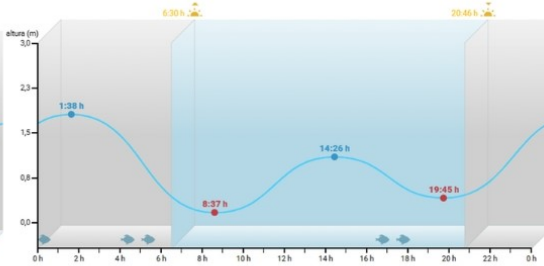


Primavera

18 noviembre 2024

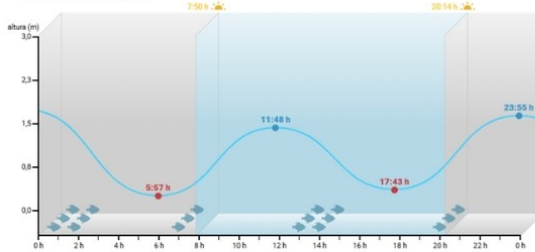


19 noviembre 2024

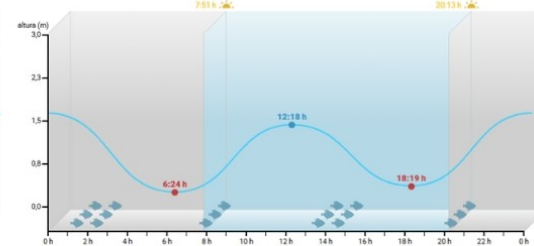


Verano

13 marzo 2025

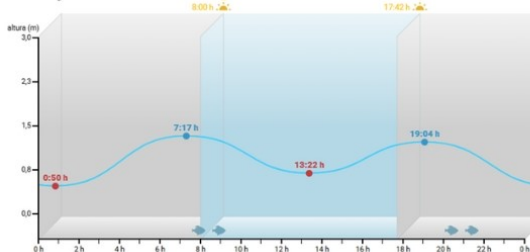


14 marzo 2025



Otoño

5 junio 2025



6 junio 2025

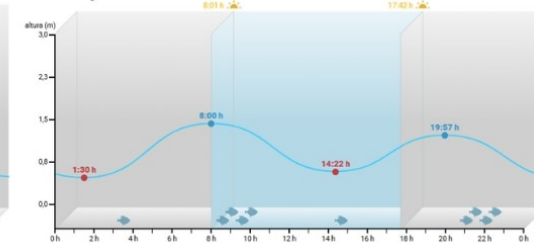


Figura 1. Ciclos mareales durante los días de muestreo de *Odontesthes mauleanum* en el estuario de Laraquete durante los 4 períodos de muestreo.

Relación entre la abundancia de *O. mauleanum* y variables hidrográficas

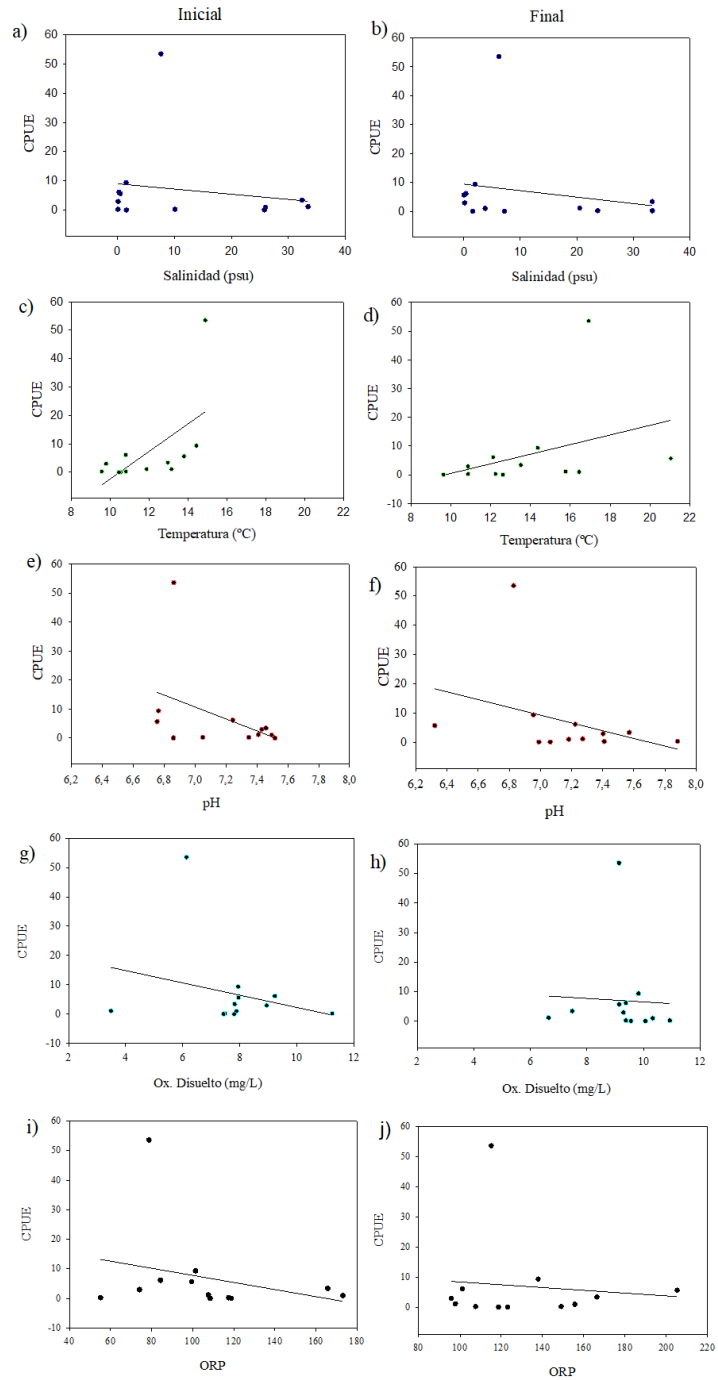


Figura 2. Relación entre la abundancia de *O. mauleanum* (CPUE) y variables hidrográficas medidas al inicio (columna izquierda) y al final (columna derecha) de cada muestreo estacional en el estuario de Laraquete.

Análisis estadístico: PCA

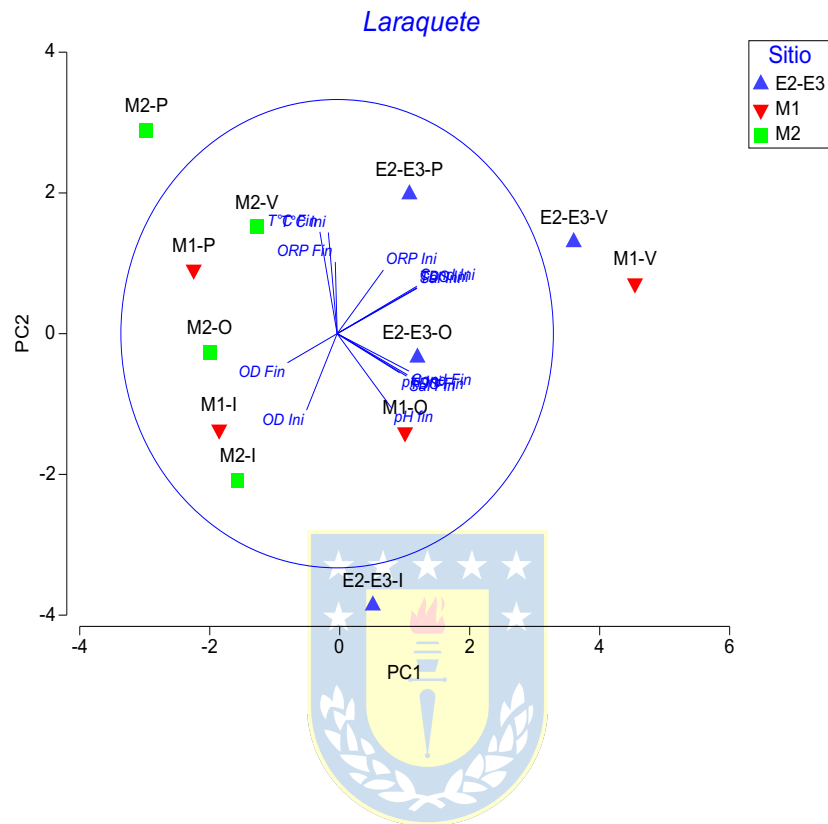


Figura 3. Análisis de Componentes Principales (PCA) basado en el conjunto de variables hidrográficas registradas al inicio y final de cada período de muestreo en el estuario de Laraquete.